



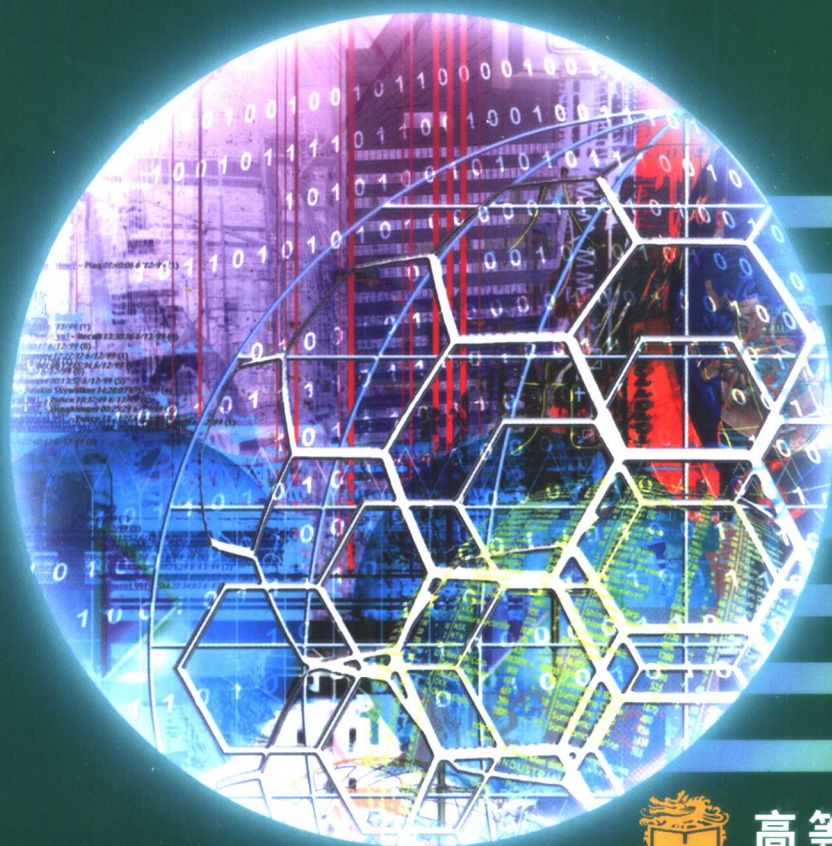
普通高等教育“十五”国家级规划教材

(高职高专教育)

现代通信系统原理

张会生 主 编

张会生 陈树新 编



高等教育出版社

普通高等教育“十五”国家级规划教材

(高职高专教育)

现代通信系统原理

张会生 主编

张会生 陈树新 编

高等教育出版社

内容简介

本书是普通高等教育“十五”国家级规划教材(高职高专教育)。本书全面介绍现代通信系统的基本原理、基本性能和基本分析方法,内容包括模拟通信和数字通信,侧重数字通信。全书共9章:绪论、信道与噪声、模拟调制系统、数字基带传输系统、数字信号的频带传输、模拟信号的数字传输、同步系统、差错控制编码、现代通信系统介绍。每章后均设有思考题和习题。书后有4个附录:常用三角函数公式,误差函数,傅里叶变换,部分习题答案。全书内容丰富,讲述由浅入深,简明透彻,概念清楚,重点突出,既便于教师组织教学,又利于学生自学。

本书可作为高等职业学校、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院和民办高校的通信、电子、信息、自动化、信号检测、计算机应用等专业的教材;也可供相关专业本科学学生和工程技术人员阅读和参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代通信系统原理/张会生主编. —北京:高等教育出版社, 2004. 7

ISBN 7-04-014648-7

I. 现... II. 张... III. 通信系统-高等学校-教材 IV. TN914

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第044187号

策划编辑 孙杰 责任编辑 王莉莉 封面设计 王凌波 责任绘图 朱静
版式设计 胡志萍 责任校对 杨雪莲 责任印制 孔源

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100011
总 机 010-82028899

购书热线 010-64054588
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所
排 版 北京高等教育照排中心
印 刷 北京四季青印刷厂

开 本 787×1092 1/16
印 张 18.25
字 数 440 000

版 次 2004年7月第1版
印 次 2004年7月第1次印刷
定 价 23.00元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

出版说明

为加强高职高专教育的教材建设工作,2000年教育部高等教育司颁发了《关于加强高职高专教育教材建设的若干意见》(教高司[2000]19号),提出了“力争经过5年的努力,编写、出版500本左右高职高专教育规划教材”的目标,并将高职高专教育规划教材的建设工作分为两步实施:先用2至3年时间,在继承原有教材建设成果的基础上,充分汲取近年来高职高专院校在探索培养高等技术应用性专门人才和教材建设方面取得的成功经验,解决好高职高专教育教材的有无问题;然后,再用2至3年的时间,在实施《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》立项研究的基础上,推出一批特色鲜明的高质量的高职高专教育教材。根据这一精神,有关院校和出版社从2000年秋季开始,积极组织编写和出版了一批“教育部高职高专规划教材”。这些高职高专规划教材是依据1999年教育部组织制定的《高职高专教育基础课程教学基本要求》(草案)和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》(草案)编写的,随着这些教材的陆续出版,基本上解决了高职高专教材的有无问题,完成了教育部高职高专规划教材建设工作的第一步。

2002年教育部确定了普通高等教育“十五”国家级教材规划选题,将高职高专教育规划教材纳入其中。“十五”国家级规划教材的建设将以“实施精品战略,抓好重点规划”为指导方针,重点抓好公共基础课、专业基础课和专业主干课教材的建设,特别要注意选择一部分原来基础较好的优秀教材进行修订使其逐步形成精品教材;同时还要扩大教材品种,实现教材系列配套,并处理好教材的统一性与多样化、基本教材与辅助教材、文学教材与软件教材的关系,在此基础上形成特色鲜明、一纲多本、优化配套的高职高专教育教材体系。

普通高等教育“十五”国家级规划教材(高职高专教育)适用于高等职业学校、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院、继续教育学院和民办高校使用。

教育部高等教育司

2002年11月30日

前 言

本书是普通高等教育“十五”国家级规划教材。本书全面介绍现代通信系统的基本原理、基本性能和基本分析方法。全书内容共9章:绪论(通信的基本概念)、信道与噪声、模拟调制系统、数字基带传输系统、数字信号的频带传输、模拟信号的数字传输、同步系统、差错控制编码、现代通信系统介绍。

作为高职高专教育电子信息类通信技术专业的一门核心技术基础课程教材,在本书的编写中考虑了以下的原则与特点:

符合高等技术教育特点。以应用为目的,以必需、够用为度,以讲清概念、强化应用为教学重点,适当考虑培养学生具有一定的可持续发展能力。

加强针对性和实用性。既介绍模拟通信,又介绍数字通信,但以数字通信为主;既讲述通信系统的基本知识和基本原理,又介绍新技术、新发展;注重通信技术在实际系统中的应用,注意吸收新技术和新的通信系统。

讲述由浅入深,简明透彻,概念清楚,重点突出。着重基本概念、基本原理阐述,减少不必要的数学推导和计算。

全书内容丰富,编排连贯,系统性强。教材的宏观体系是,先基础知识,后系统介绍;先模拟通信系统,后数字通信系统。每章后均设有思考题和习题,书后有4个附录:常用三角函数公式,误差函数,傅里叶变换,部分习题答案。既便于教师组织教学,又利于学生自学。

本书参考学时为64学时。本书内容可根据课程设置的具体情况、专业特点和教学要求的侧重点不同进行自由取舍,灵活讲授。如已学过“高频电子线路”,模拟调制系统一章可以少讲或不讲;目录中打*的章节属加深、拓宽内容,可以不讲。

本书既适用于高职高专层次的各类高校通信、电子、计算机应用等专业作为教材选用,也可作为高等技术教育独立本科院校、成人高等学校有关专业参考教材,还可供IT类专业工程技术人员参考。

本书由张会生主编,陈树新参编。张会生编写了第1、2、3、4、5章及附录,陈树新编写第6、7、8、9章。研究生秦勇等对本书初稿进行了阅读,并提出参考意见。

空军工程大学电讯学院吴家安教授担任本书的主审,对本书进行了仔细审阅,并提出了许多宝贵意见和修改建议,在此表示诚挚的感谢。

编写过程中得到了西北工业大学的大力支持和资助,在此表示感谢。

限于编者水平,书中难免存在错误和不足,恳请读者批评指正。

编 者
2004年2月

目 录

第 1 章 绪论	1	习题	102
1.1 通信的定义	1	第 5 章 数字信号的频带传输	105
1.2 通信系统的组成	1	5.1 二进制数字幅度调制	105
1.3 通信系统的分类及通信方式	5	5.2 二进制数字频率调制	111
1.4 通信系统的主要性能指标	9	5.3 二进制数字相位调制	120
思考题	14	5.4 二进制数字调制系统的性能比较	130
习题	15	* 5.5 多进制数字调制	132
第 2 章 信道与噪声	16	* 5.6 现代数字调制技术	143
2.1 信道的基本概念	16	思考题	152
2.2 恒参信道及其对所传信号的影响	20	习题	153
2.3 随参信道及其对所传信号的影响	22	第 6 章 模拟信号的数字传输	155
2.4 信道的加性噪声	26	6.1 引言	155
2.5 通信中的常见噪声	28	6.2 脉冲编码调制	155
2.6 信道容量的概念	33	6.3 增量调制	176
思考题	35	6.4 时分复用和多路数字电话系统	189
习题	35	思考题	195
第 3 章 模拟调制系统	37	习题	195
3.1 幅度调制的原理	37	第 7 章 同步系统	197
3.2 线性调制系统的抗噪声性能	45	7.1 引言	197
3.3 角度调制(非线性调制)的原理及 抗噪声性能	52	7.2 载波同步技术	198
3.4 各种模拟调制系统的比较	65	7.3 位同步技术	205
3.5 频分复用(FDM)	67	7.4 群同步技术	210
思考题	68	思考题	219
习题	68	习题	219
第 4 章 数字基带传输系统	71	第 8 章 差错控制编码	221
4.1 数字基带信号的码型	71	8.1 引言	221
4.2 基带传输系统的脉冲传输与码间 串扰	79	8.2 常用简单分组码	226
4.3 无码间串扰的基带传输系统	83	8.3 线性分组码	229
4.4 无码间串扰基带传输系统的抗噪声 性能	87	8.4 循环码	234
4.5 眼图	91	8.5 卷积码	240
* 4.6 时域均衡原理	93	思考题	241
* 4.7 部分响应系统	96	习题	242
思考题	101	* 第 9 章 现代通信系统介绍	243
		9.1 同步数字系列(SDH)的微波通信 系统	243
		9.2 VSAT 卫星通信系统	247

9.3 海事卫星移动通信系统		附录 B 误差函数	273
——Inmarsat	251	附录 C 傅里叶变换	276
9.4 GSM 数字蜂窝移动通信系统	255	附录 D 部分习题答案	278
9.5 CDMA 数字蜂窝移动通信系统	263	参考书目	282
思考题	271		
附录 A 常用三角函数公式	272		

第1章 绪 论

本章主要介绍通信的基本概念,如通信的定义,通信系统的组成、分类和工作方式,衡量通信系统的主要质量指标等,以使读者对通信的基本概念、术语以及本课程所要研究的主要对象有一个初步了解。这些基本概念是通信原理与技术的基础。

1.1 通信的定义

人类社会建立在信息交流的基础上,通信是推动人类社会文明、进步与发展的巨大动力。从远古时代到现代文明社会,人类社会的各种活动与通信密切相关,特别是当今世界已进入信息时代,通信已渗透到社会各个领域,通信产品随处可见。通信已成为现代文明的标志之一,对人们日常生活和社会活动及发展起着日益重要的作用。

一般地说,通信是指由一地向另一地进行消息的有效传递。满足此定义的例子很多,如打电话,它是利用电话(系统)来传递消息;两个人之间的对话,是利用声音来传递消息;古代的“消息树”、“烽火台”和现代仍使用的“信号灯”等则是利用光的方式传递消息的。

通信的目的是传递消息,消息具有不同的形式,例如:语言、文字、数据、图像、符号,等等。随着社会的发展,消息的种类越来越多,人们对传递消息的要求也越来越高。通信中消息的传送是通过信号来进行的,如:红绿灯信号、狼烟、电压、电流信号等,信号是消息的载体。在各种各样的通信方式中,利用“电信号”来承载消息的通信方法称为电通信,这种通信具有迅速、准确、可靠等特点,而且几乎不受时间、地点、空间、距离的限制,因而得到了飞速发展和广泛应用。如今,在自然科学中,“通信”与“电通信”几乎是同义词了。本课程中所说的通信,均指电通信。据此,不妨对通信重新定义:利用电子等技术手段,借助电信号(含光信号)实现从一地向另一地进行消息的有效传递称为通信。

通信从本质上讲就是实现信息传递功能的一门科学技术,它要将有用的信息无失真、高效率地进行传输,同时还要在传输过程中将无用信息和有害信息抑制掉。当今的通信不仅要有效地传递信息,而且还要有存储、处理、采集及显示等功能,通信已成为信息科学技术的一个重要组成部分。

1.2 通信系统的组成

1.2.1 通信系统的一般模型

实现信息传递所需的一切技术设备和传输媒质的总和称为通信系统。以基本的点对点通信为例,通信系统的组成(通常也称为一般模型)如图1-1所示。

图中,信源(信息源,也称发送端)的作用是把待传输的消息转换成原始电信号,如电话系统

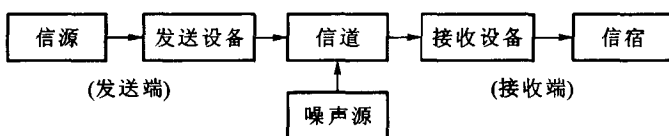


图 1-1 通信系统的一般模型

中电话机可看成是信源。信源输出的信号称为基带信号。所谓基带信号是指没有经过调制(进行频谱搬移和变换)的原始电信号,其特点是信号频谱从零频附近开始,具有低通形式,如语音信号为 $300 \sim 3400$ Hz,图像信号为 $0 \sim 6$ MHz。根据原始电信号的特征,基带信号可分为数字基带信号和模拟基带信号,相应地,信源也分为数字信源和模拟信源。

发送设备的基本功能是将信源和信道匹配起来,即将信源产生的原始电信号(基带信号)变换成适合在信道中传输的信号。变换方式是多种多样的,在需要频谱搬移的场合,调制是最常见的变换方式;对传输数字信号来说,发送设备又常常包含信源编码和信道编码等。

信道是指信号传输的通道,可以有线的,也可以是无线的,甚至还可以包含某些设备。图中的噪声源,是信道中的所有噪声以及分散在通信系统中其他各处噪声的集合。

在接收端,接收设备的功能与发送设备相反,即进行解调、译码、解码等。它的任务是从带有干扰的接收信号中恢复出相应的原始电信号来。

信宿(也称受信者或收终端)是将复原的原始电信号转换成相应的消息,如电话机将对方传来的电信号还原成了声音。

图 1-1 给出的是通信系统的一般模型,按照信道中所传信号的形式不同,可进一步具体化为模拟通信系统和数字通信系统。

1.2.2 模拟通信系统

信道中传输模拟信号的系统称为模拟通信系统。模拟通信系统的组成可由一般通信系统模型略加改变而成,如图 1-2 所示。这里,一般通信系统模型中的发送设备和接收设备分别用调制器、解调器所代替。

对于模拟通信系统,它主要包含两种重要变换。一是把连续消息变换成电信号(发端信源完成)和把电信号恢复成最初的连续消息(收端信宿完成)。由信源输出的电信号(基带信号)由于具有频率较低的频谱分量,一般不能直接作为传输信号而送到信道中去。因此,模拟通信系统里常有第二种变换,即将基带信号转换成适合信道传输的信号,这一变换由调制器完成;在收端同样需经相反的变换,它由解调器完成。经过调制后的信号通常称为已调信号。已调信号有三个基本特性:一是携带有消息,二是适合在信道中传输,三是频谱具有带通形式,且中心频率远离零频,因而已调信号又常称为频带信号。

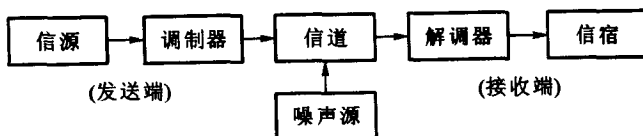


图 1-2 模拟通信系统模型

必须指出,从消息的发送到消息的恢复,事实上并非仅有以上两种变换,通常在一个通信系统里可能还有滤波、放大、天线辐射与接收、控制等过程。对信号传输而言,由于上面两种变换对信号形式的变化起着决定性作用,它们是通信过程中的重要方面。而其他过程对信号变化来说,没有发生质的作用,只不过是信号进行了放大和改善信号特性等,因此,这些过程都认为是理想的,而不去讨论。

1.2.3 数字通信系统

信道中传输数字信号的系统,称为数字通信系统。数字通信系统可进一步细分为数字频带传输通信系统、数字基带传输通信系统、模拟信号数字化传输通信系统。

1. 数字频带传输通信系统

数字通信的基本特征是,它的消息或信号具有“离散”或“数字”的特性,从而使数字通信具有许多特殊的问题。例如前边提到的第二种变换,在模拟通信中强调变换的线性特性,即强调已调参量与代表消息的基带信号之间的比例特性;而在数字通信中,则强调已调参量与代表消息的数字信号之间的一一对应关系。

另外,数字通信中还存在以下突出问题:第一,数字信号传输时,信道噪声或干扰所造成的差错,原则上是可以控制的,这是通过所谓的差错控制编码来实现的。于是,就需要在发送端增加一个编码器,而在接收端相应需要一个解码器。第二,当需要实现保密通信时,可对数字基带信号进行人为“扰乱”(加密),此时在收端就必须进行解密。第三,由于数字通信传输的是按一定节拍一个接一个传送的数字信号,因而接收端必须有一个与发送端相同的节拍,否则,就会因收发步调不一致而造成混乱。另外,为了表述消息内容,基带信号都是按消息特征进行编组的,于是,在收发之间一组的编码的规律也必须一致,否则接收时消息的真正内容将无法恢复。在数字通信中,称节拍一致为“位同步”或“码元同步”,而称编组一致为“群同步”或“帧同步”,故数字通信中还必须要有“同步”这个重要问题。

综上所述,点对点的数字通信系统模型如图 1-3 所示。

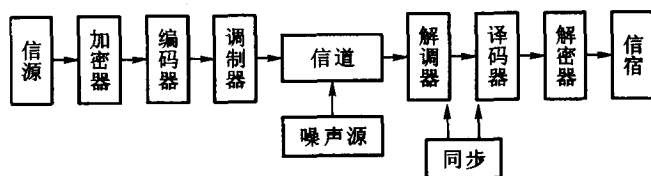


图 1-3 数字频带通信系统的模型

需要说明的是,图中调制器/解调器、加密器/解密器、编码器/译码器等环节,在具体通信系统中是否全部采用,要取决于具体设计条件和要求。但在一个系统中,如果发送端有调制/加密/编码,则接收端必须有解调/解密/译码。通常把有调制器/解调器的数字通信系统称为数字频带传输通信系统。

2. 数字基带传输通信系统

与频带传输系统相对应,把没有调制器/解调器的数字通信系统称为数字基带传输通信系统,如图 1-4 所示。

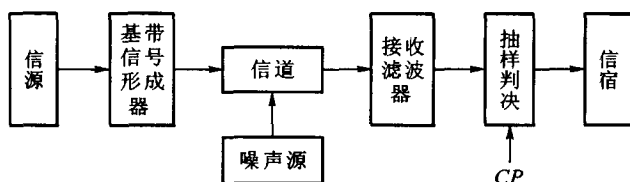


图 1-4 数字基带传输系统模型

图中基带信号形成器可能包括编码器、加密器以及波形变换等,接收滤波器亦可能包括译码器、解密器等。

3. 模拟信号数字化传输通信系统

上面介绍的数字通信系统中,信源输出的信号均为数字基带信号,实际上,在日常生活中大部分信号(如语音信号)为连续变化的模拟信号。那么要实现模拟信号在数字系统中的传输,则必须在发送端将模拟信号数字化,即进行 A/D 转换;在接收端需进行相反的转换,即 D/A 转换。实现模拟信号数字化传输的系统如图 1-5 所示。

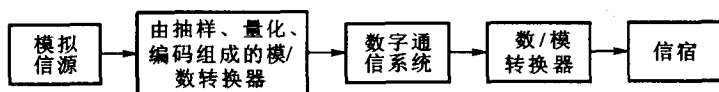


图 1-5 模拟信号数字化传输系统模型

1.2.4 数字通信的主要特点

目前,无论是模拟通信还是数字通信,在不同的通信业务中都得到了广泛的应用。但是,数字通信的发展速度已明显超过模拟通信,成为当代通信的主流。与模拟通信相比,数字通信更能适应现代社会对通信技术越来越高的要求。

1. 数字通信的主要优点

(1) 抗干扰能力强

由于在数字通信中,传输的信号幅度是离散的,以二进制为例,信号的取值只有两个,这样接收端只需判别两种状态。信号在传输过程中受到噪声的干扰,必然会使波形失真,接收端对其进行抽样判决,以辨别是两种状态中的哪一个。只要噪声的大小不足以影响判决的正确性,就能正确接收(再生)。而在模拟通信中,传输的信号幅度是连续变化的,一旦叠加上噪声,即使噪声很小,也很难消除。

数字通信抗噪声性能好,还表现在微波中继通信中,它可以消除噪声积累。这是因为数字信号在每次再生后,只要不发生错码,它仍然像信源中发出的信号一样,没有噪声叠加在上面。因此中继站再多,数字通信仍具有良好的通信质量。而模拟通信中继时,只能增加信号能量(对信号放大),而不能消除噪声。

(2) 差错可控

数字信号在传输过程中出现的错误(差错),可通过纠错编码技术来控制,以提高传输的可靠性。

(3) 易加密

数字信号与模拟信号相比,它容易加密和解密。因此,数字通信保密性好。

(4) 易于与现代技术相结合

由于计算机技术、数字存储技术、数字交换技术以及数字处理技术等现代技术飞速发展,许多设备、终端接口均采用数字信号,因此极易与数字通信系统相连接。

2. 数字通信的缺点

相对于模拟通信来说,数字通信主要有以下两个缺点。

(1) 频带利用率不高

系统的频带利用率,可用系统允许最大传输带宽(信道的带宽)与每路信号的有效带宽之比来表征,即

$$n = \frac{B_w}{B_i} \quad (1-1)$$

式中, B_w 为系统允许最大频带宽度; B_i 为每路信号的频带宽度; n 为系统在其带宽内最多能容纳(传输)的话路数。 n 值愈大,系统利用率愈高。

数字通信中,数字信号占用的频带宽,以电话为例,一路模拟电话通常只占据 4 kHz 带宽,但一路接近同样话音质量的数字电话可能要占据 20~60 kHz 的带宽。因此,如果系统传输带宽一定的話,模拟电话的频带利用率要高出数字电话的 5~15 倍。

(2) 系统设备比较复杂

数字通信中,要准确地恢复信号,接收端需要严格的同步系统,以保持接收端和发送端严格的节拍一致、编组一致。因此,数字通信系统及设备一般都比较复杂,体积较大。

不过,随着新的宽带传输信道(如光导纤维)的采用、窄带调制技术和超大规模集成电路的发展,数字通信的这些缺点已经弱化。随着微电子技术和计算机技术的迅猛发展和广泛应用,数字通信在今后的通信方式中必将逐步取代模拟通信而占主导地位。

1.3 通信系统的分类及通信方式

1.3.1 通信的分类

通信的目的是传递消息,按照不同的分法,通信可分成许多类别,下面将介绍几种较常用的分类方法。

1. 按传输媒质分

按消息由一地向另一地传递时传输媒质的不同,通信可分为两大类:一类称为有线通信,另一类称为无线通信。所谓有线通信,是指传输媒质为架空明线、电缆、光缆、波导等形式的通信,其特点是媒质看得见、摸得着。所谓无线通信,是指传输消息的媒质为看不见、摸不着的媒质(如电磁波)的一种通信形式。通常,有线通信可进一步再分类,如明线通信、电缆通信、光缆通信等。无线通信常见的形式有微波通信、短波通信、卫星通信、散射通信和激光通信等,其形式较多。

2. 按信道中所传信号的特征分

前面已经指出,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为模

拟通信系统与数字通信系统。

3. 按工作频段分

按通信设备的工作频率不同,通信系统可分为长波通信、中波通信、短波通信、微波通信等。

表 1-1 列出了通信中使用的频段、常用传输媒质及主要用途。

工作频率和工作波长可互换,其关系为

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1-2)$$

式中, λ 为工作波长, m; f 为工作频率, Hz; $c = 3 \times 10^8$ m/s 为电波在自由空间中的传播速度。

表 1-1 通信频段、常用传输媒质及主要用途

频率范围	波 长	频段名称	常用传输媒介	用 途
3 Hz~30 kHz	$10^8 \sim 10^4$ m	甚低频 VLF	有线线对 超长波无线电	音频、电话、数据终端、长距离导航、时标
30~300 kHz	$10^4 \sim 10^3$ m	低频 LF	有线线对 长波无线电	导航、信标、电力线通信
300 kHz~3 MHz	$10^3 \sim 10^2$ m	中频 MF	同轴电缆 中波无线电	调幅广播、移动陆地通信、业余无线电
3~30 MHz	$10^2 \sim 10$ m	高频 HF	同轴电缆 短波无线电	移动无线电话、短波广播、定点军用通信、业余无线电
30~300 MHz	$10 \sim 1$ m	甚高频 VHF	同轴电缆 超短波/米波无线电	电视、调频广播、空中管制、车辆通信、导航、集群通信、无线寻呼
300 MHz~3 GHz	$100 \sim 10$ cm	特高频 UHF	波导 微波/分米波无线电	电视、空间遥测、雷达导航、点对点通信、移动通信
3~30 GHz	$10 \sim 1$ cm	超高频 SHF	波导 微波/厘米波无线电	微波接力、卫星和空间通信、雷达
30~300 GHz	$10 \sim 1$ mm	极高频 EHF	波导 微波/毫米波无线电	雷达、微波接力、射电天文学
$10^5 \sim 10^7$ GHz	$3 \times 10^{-4} \sim 3 \times 10^{-6}$ cm	红外、可见光、紫外	光纤 激光空间传播	光通信

4. 按调制方式分

前面已经指出,根据是否采用调制,可将通信系统分为基带传输和频带(调制)传输。基带传输是将没有经过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再送到信道中传输的总称。调制的方式很多,将分别在第 3、5、6 章中论述。

5. 按业务的不同分

按通信业务分,通信系统可分为话务通信和非话务通信。电话业务在电信领域中一直占主导地位,它属于人与人之间的通信。近年来,非话务通信发展迅速,它主要包括数据传输、计算机通信、电子信箱、电报、传真、可视图文及会议电视、图像通信等。由于电话通信最为发达,因而其他通信常常借助于公共的电话通信系统进行。未来的综合业务数字通信网中,各种用途的消息都能在一个统一的通信网中传输。

另外从广义的角度来看,广播、电视、雷达、导航、遥控、遥测等也应列入通信的范畴,因为它

们都满足通信的定义。由于广播、电视、雷达、导航等的不断发展,目前它们已从通信中派生出来,形成了独立的学科。

6. 按通信者是否运动分

通信还可按收发信者是否运动分为移动通信和固定通信。移动通信是指通信双方至少有一方在运动中进行信息交换。由于移动通信具有建网快、投资少、机动灵活等特点,能使用户随时随地快速可靠地进行信息传递,因此,已被列为现代通信中的三大新兴通信方式之一。

另外,通信还有其他一些分类方法,如按多址方式可分为频分多址通信、时分多址通信、码分多址通信等;按用户类型可分为公用通信和专用通信以及按通信对象的位置分为地面通信、对空通信、深空通信、水下通信等。

1.3.2 通信方式

从不同角度考虑问题,通信的工作方式通常有以下几种。

1. 按消息传送的方向与时间分

对于点对点之间的通信,按消息传送的方向与时间,通信方式可分为单工通信、半双工通信及全双工通信三种。

所谓单工通信,是指消息只能单方向进行传输的一种通信工作方式,如图 1-6(a)所示。单工通信的例子很多,如广播、遥控、无线寻呼等。这里,信号(消息)只从广播发射台、遥控器和无线寻呼中心分别传到收音机、遥控对象和 BP 机上。

所谓半双工通信方式,是指通信双方都能收发消息,但不能同时进行收和发的工作方式,如图 1-6(b)所示。对讲机、收发报机等都是这种通信方式。

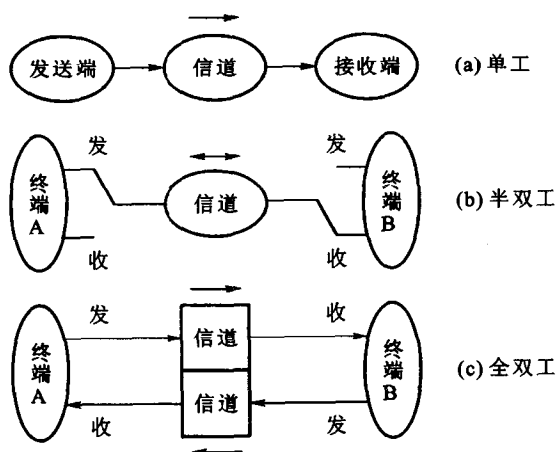


图 1-6 单工、半双工和全双工通信方式示意图

所谓全双工通信,是指通信双方可同时进行双向传输消息的工作方式,如图 1-6(c)。在这种方式下,双方都可同时进行收发消息。很明显,全双工通信的信道必须是双向信道。生活中全双工通信的例子非常多,如普通电话、手机等。

2. 按数字信号排序方式分

在数字通信中,按照数字信号代码排列顺序方式的不同,可将通信方式分为串行传输和并行传输。

所谓串行传输,是将代表信息的数字信号序列按时间顺序一个接一个地在信道中传输的方式,如图 1-7(a)所示。如果将代表信息的数字信号序列分割成两路或两路以上的数字信号序列同时上传,则称为并行传输通信方式,如图 1-7(b)所示。

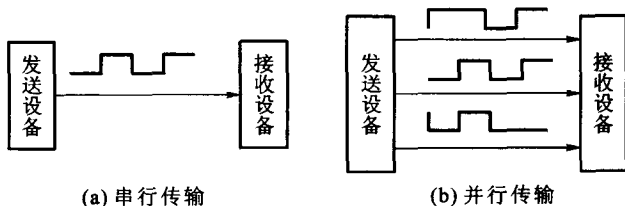


图 1-7 串行和并行传输方式

一般的数字通信方式大都采用串行传输,这种方式只需占用一条通路,缺点是传输时间相对较长;并行传输方式在通信中也会用到,它需要占用多条通路,优点是传输时间较短。

3. 按通信网络形式分

通信的网络形式通常可分为三种:两点间直通方式、分支方式和交换方式,它们的示意图如图 1-8 所示。

直通方式是通信网络中最简单的一种形式,终端 A 与终端 B 之间的线路是专用的。在分支方式中,每一个终端(A、B、C、…、N)经过同一信道与转接站相互连接,此时,终端之间不能直通信息,必须经过转接站转接,此种方式只在数字通信中出现。交换方式是终端之间通过交换设备灵活地进行线路交换的一种方式,即把要求通信的两终端之间的线路接通(自动接通),或者通过程序控制实现消息交换,即通过交换设备先把发方来的消息存储起来,然后再转发至收方;这种消息转发可以是实时的,也可以是延时的。

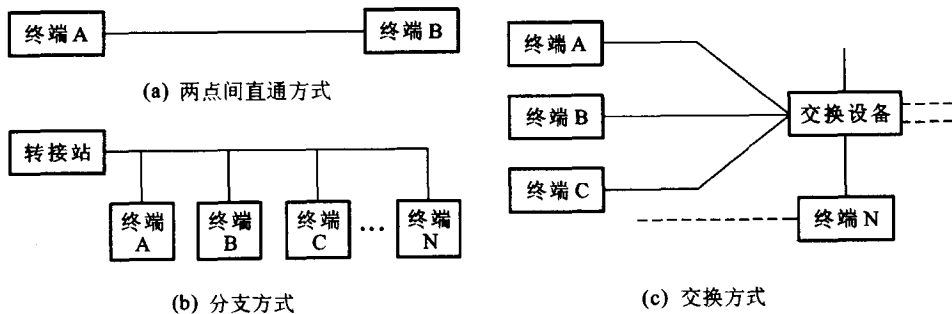


图 1-8 按网络形式划分的通信方式

分支方式及交换方式均属网通信的范畴。无疑,它们和点与点直通方式相比,还有其特殊的一面。例如,通信网中有一套具体的线路交换与消息交换的规定、协议等;通信网中既有信息控

制问题,也有网同步问题等。尽管如此,网通信的基础仍是点与点之间的通信,因此,本书中只把注意力集中到点与点通信上,而不涉及网通信的其他问题。

1.4 通信系统的主要性能指标

通信系统的主要性能指标也称主要质量指标,它们是从整个系统上综合提出或规定的。

1.4.1 一般通信系统的性能指标

一般通信系统的性能指标归纳起来有以下几个方面:

- ① 有效性。指通信系统传输消息的“速率”问题,即快慢问题。
- ② 可靠性。指通信系统传输消息的“质量”问题,即好坏问题。
- ③ 适应性。指通信系统适用的环境条件。
- ④ 经济性。指系统的成本问题。
- ⑤ 保密性。指系统对所传信号的加密措施。这点对军用系统尤为重要。
- ⑥ 标准性。指系统的接口、各种结构及协议是否合乎国家、国际标准。
- ⑦ 维修性。指系统是否维修方便。
- ⑧ 工艺性。指通信系统各种工艺要求。

通信的任务是快速、准确地传递信息。因此,从研究消息传输的角度来说,有效性和可靠性是评价通信系统优劣的主要性能指标,也是通信技术讨论的重点。至于其他指标,如工艺性、经济性、适应性等不属本书研究范围。

通信系统的有效性和可靠性,是一对矛盾。一般情况下,要增加系统的有效性,就得降低可靠性,反之亦然。在实际中,常常依据实际系统的要求采取相对统一的办法,即在满足一定可靠性指标下,尽量提高消息的传输速率,即有效性;或者,在维持一定有效性的条件下,尽可能提高系统的可靠性。

对于模拟通信系统,系统的有效性和可靠性可用系统频带利用率和输出信噪比(或均方误差)来衡量。

对于数字通信系统,系统的有效性和可靠性可用传输速率和误码率来衡量。

在具体叙述传输速率、误码率等概念之前,首先简要地介绍一下信息及其度量的一些基本知识。

1.4.2 信息及其度量

“信息”一词在概念上与消息的意义相似,但它的含义却更具普遍性、抽象性。信息可被理解为消息中包含的有意义的内容;消息可以有各种各样的形式,但消息的内容可统一用信息来表述。传输信息的多少可直观地使用“信息量”进行衡量。

在一切有意义的通信中,虽然消息的传递意味着信息的传递,但对接收者而言,某些消息比另外一些消息的传递具有更多的信息。例如,甲方告诉乙方一件很可能发生的事情:“今年秋季比去年秋季冷”,比起告诉乙方一件极不可能发生的事情:“今年秋季比去年冬季冷”来说,后一消息包含的信息显然要比前者多些。因为对乙方(接收者)来说,前一事情很可能发生,不足为奇,

而后一事情却极难发生,听后会使人惊奇。这表明消息确实有量值的意义,而且可以看出,对接收者来说,事件愈不可能发生,愈会使人感到意外和惊奇,信息量就愈大。正如已经指出的,消息是多种多样的,因此,度量消息中所含的信息量的方法,必须能够用来估计任何消息的信息量,且与消息种类无关。另外,消息中所含信息的多少也应和消息的重要程度无关。

由概率论可知,事件的不确定程度,可用事件出现的概率来描述。事件出现(发生)的可能性愈小,则概率愈小;反之,概率愈大。基于这种认识,可以得到:消息中的信息量与消息发生的概率紧密相关。消息出现的概率愈小,则消息中包含的信息量就愈大。且概率为0时(不可能事件),信息量为无穷大;概率为1时(必然事件),信息量为0。

综上所述,可以得出消息中所含信息量与消息出现的概率之间的关系应反映如下规律:

① 消息 x 中所含信息量 I 是消息 x 出现概率 $P(x)$ 的函数,即

$$I = I[P(x)]$$

② 消息出现的概率愈小,它所含信息量愈大;反之信息量愈小。且

$$P=1 \quad \text{时} \quad I=0$$

$$P=0 \quad \text{时} \quad I=\infty$$

③ 若干个互相独立事件构成的消息 $(x_1, x_2, \dots)$, 所含信息量等于各独立事件 $x_1, x_2, \dots$ 信息量的和,即

$$I[P(x_1) \cdot P(x_2) \cdot \dots] = I[P(x_1)] + I[P(x_2)] + \dots$$

可以看出,若 I 与 $P(x)$ 间的关系式为

$$I = \log_a \frac{1}{P(x)} = -\log_a P(x) \quad (1-3)$$

就可满足上述要求。所以,定义公式(1-3)为消息 x 所含的信息量。

信息量 I 的单位取决于上式中对数底数 a 的取值

$$a=2 \quad \text{单位为比特(bit, 简写为 b)}$$

$$a=e \quad \text{单位为奈特(nat, 简写为 n)}$$

$$a=10 \quad \text{单位为哈特莱}$$

通常广泛使用的单位为比特。

例 1.1 设二进制离散信源, 数字 0 或 1 以相等的概率出现, 试计算每个符号的信息量。

解: 二进制等概率时

$$P(1) = P(0) = \frac{1}{2}$$

由式(1-3), 有

$$I(1) = I(0) = -\log_2 \frac{1}{2} = 1 \text{ bit}$$

即二进制等概率时, 每个符号的信息量相等, 为 1 bit。

同理, 对于离散信源, 若 M 个符号等概率 ($P=1/M$) 出现, 且每一个符号的出现是独立的, 即信源是无记忆的, 则每个符号的信息量相等, 为

$$I(1) = I(2) = \dots = I(M) = -\log_2 P = -\log_2 \frac{1}{M} = \log_2 M \text{ bit} \quad (1-4)$$

式中, P 为每一个符号出现的概率, M 为信源中所包含符号的数目。一般情况下, M 是 2 的整