

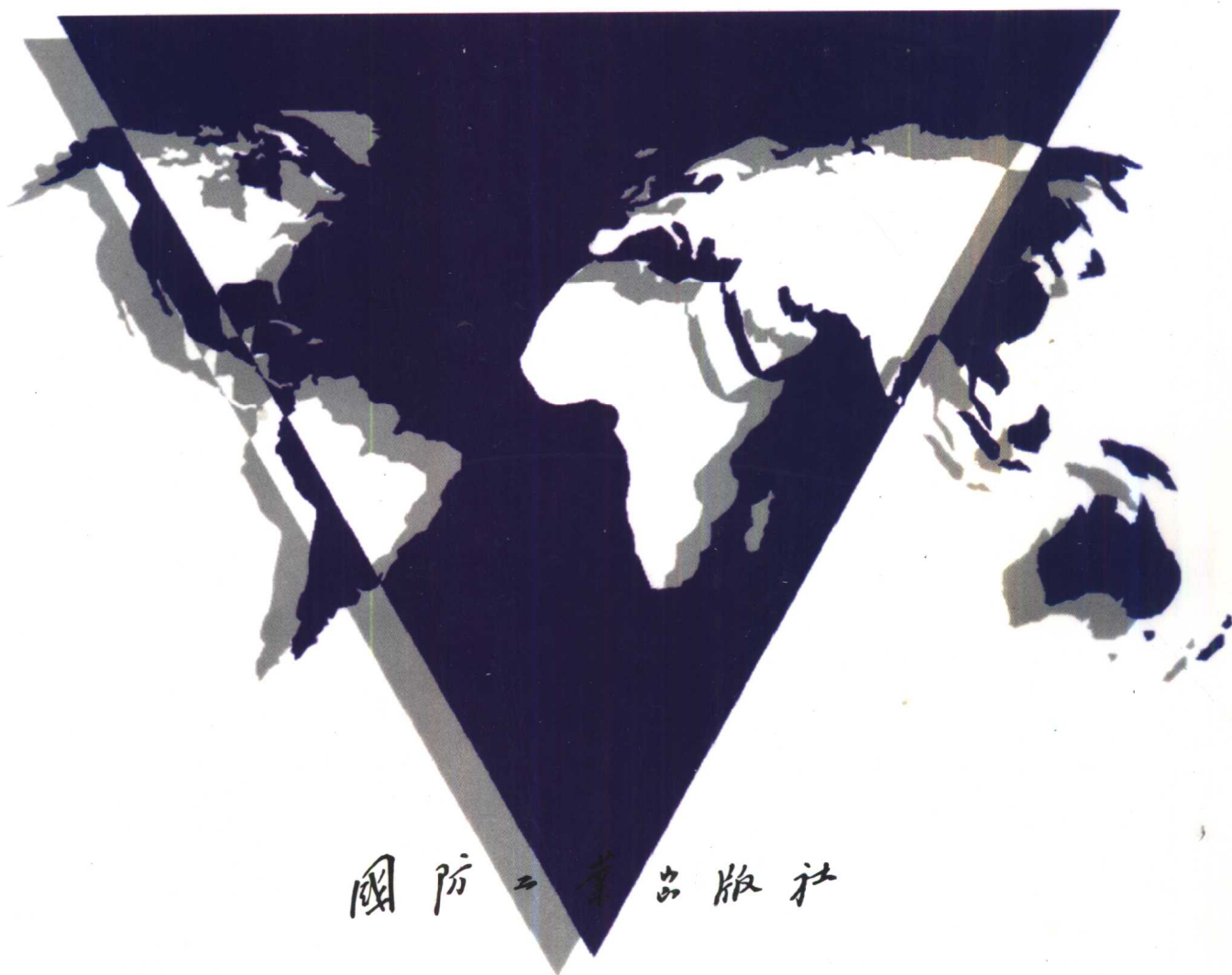


高等学校 规划教材
电子信息类

通信原理

(第5版)

樊昌信 张甫翊 徐炳祥 吴成柯 编著



国防工业出版社

通 信 原 理

(第5版)

樊昌信 张甫翊 徐炳祥 吴成柯 编著

國防工業出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

通信原理/樊昌信等编著. —5版. —北京:国防工业出版社, 2001.5

ISBN 7-118-02481-3

I. 通… II. 樊… III. 通信理论—高等学校—教材 IV. TN911

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 05526 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

北京奥隆印刷厂印刷

新华书店经售

开本 787 × 1092 1/16 印张 27¼ 633 千字

2001 年 5 月第 5 版 2001 年 5 月北京第 1 次印刷

印数:1—6000 册 定价:36.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

出版说明

为做好全国电子信息类专业“九五”教材的规划和出版工作,根据国家教委《关于“九五”期间普通高等教育教材建设与改革的意见》和《普通高等教育“九五”国家级重点教材立项、管理办法》,我们组织各有关高等学校、中等专业、出版社,各专业教学指导委员会,在总结前四轮规划教材编审、出版工作的基础上,根据当代电子信息科学技术的发展和面向 21 世纪教学内容和课程体系改革的要求,编制了《1996—2000 年全国电子信息类专业教材编审出版规划》。

本轮规划教材是由个人申报,经各学校、出版社推荐,由各专业教学指导委员会评选,并由我部教材办商各专指委、出版社后,审核确定的。本轮规划教材的编制,注意了将教学改革力度较大、有创新精神、特色风格的教材和质量较高、教学适用性较好、需要修订的教材以及教学急需,尚无正式教材的选题优先列入规划。在重点规划本科、专科和中专教材的同时,选择了一批对学科发展具有重要意义,反映学科前沿的选修课、研究生课教材列入规划,以适应高层次专门人才培养的需要。

限于我们的水平和经验,这批教材的编审、出版工作还可能存在不少缺点和不足,希望使用教材的学校、教师、同学和广大读者积极提出批评和建议,以不断提高教材的编写、出版质量,共同为电子信息类专业教材建设服务。

电子工业部教材办公室

前 言

本教材系按原电子工业部《1996—2000 年全国电子信息类专业教材编审出版规划》，由全国高等学校通信和信息工程教学指导委员会编审、推荐出版的一本国家级重点教材。本教材由西安电子科技大学樊昌信教授等编著，由清华大学梅顺良教授主审，全国电子信息类通信和信息工程教学指导委员会委员副主任委员乐光新教授任责任编委。

本教材的参考学时数为 90 个计划学时。教师也可根据需要灵活安排较少的学时，比如 46 或 60 个计划学时，用来讲授该书的前几个章节。全书共 12 章，主要内容包括模拟通信和数字通信，但侧重数字通信。全书内容可分为三部分。第一部分，第 1~4 章，阐述通信基础知识和模拟通信原理，其中第 2 章扼要介绍本书其他章节所需的随机信号与噪声分析的数学知识；第二部分，第 5~8 章，主要论述数字通信、模拟信号数字化和数字信号最佳接收原理；第三部分，第 9~12 章，讨论数字通信中的编码和同步等技术，并简要叙述通信网的概念。各章均设有习题和思考题，书后附有部分习题答案。在实施教学过程中，尚需配合一定的示教和实验。

本书编著者有：第 1、3、4 章 徐炳祥；第 2、6 章 徐炳祥、张甫翊；第 5、8 章 张甫翊、徐炳祥；第 7、12 章 张甫翊；第 9 章 樊昌信、张甫翊；第 10 章 樊昌信；第 11 章 吴成柯。樊昌信对全部初稿作了修改和定稿，统编全书。

本教材是在前四版的基础上重新编写的，修改和补充了相当多的内容，删掉了过时的内容。本教材的前四版，在近 20 年来，得到全国数十所大专院校的支持和采用作为教材或教学参考书，并得到广大师生提出的许多宝贵意见，使得它能够不断改进。在这里对他们表示诚挚的感谢。

本书在编写中得到西安电子科技大学教材建设基金的资助。

由于水平限制，书中难免有缺点或错误，诚心希望读者指正。

编 者

内 容 简 介

本书是在1980、1984、1988、1995年出版的《通信原理》教材的基础上,根据科技发展和教学改革实践的需要,经评审和重新修订而成的。

本书讲述现代通信的基本原理,主要包括模拟通信和数字通信,而侧重于数字通信。全书共12章,可分为三个部分:第一部分(第1~4章)阐述通信基础知识及模拟通信原理;第二部分(第5~8章)主要论述数字通信、模拟信号数字化及数字信号最佳接收的基本原理;第三部分(第9~12章)讨论数字通信中的编码和同步等技术以及通信网的概念。各章均设有习题和思考题,书后并附有部分习题答案。全书内容丰富,讲述由浅入深,简明透彻,概念清楚,重点较为突出,既便于教学,也有助于广大工程技术人员参考。

本书是全国高等院校工科电子类通信专业的统编教材,又可作为从事通信及有关工程技术人员的重要参考书。

目 录

第1章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 通信系统的组成	1
1.3 通信系统的分类及通信方式	4
1.4 信息及其度量	6
1.5 主要性能指标	9
思考题	11
习题	11
第2章 随机信号分析	13
2.1 引言	13
2.2 随机过程的一般表述	13
2.3 平稳随机过程	15
2.4 平稳随机过程的相关函数与功率谱密度	16
2.5 高斯过程	19
2.6 窄带随机过程	21
2.7 正弦波加窄带高斯过程	26
2.8 随机过程通过线性系统	28
思考题	31
习题	31
第3章 信道	34
3.1 引言	34
3.2 信道定义	34
3.3 信道数学模型	35
3.4 恒参信道举例	37
3.5 恒参信道特性及其对信号传输的影响	42
3.6 随参信道举例	44
3.7 随参信道特性及其对信号传输的影响	48
3.8 随参信道特性的改善——分集接收	51
3.9 信道的加性噪声	53
3.10 信道容量的概念	56
思考题	60
习题	60

第4章 模拟调制系统	63
4.1 引言	63
4.2 幅度调制的原理及抗噪声性能	63
4.3 非线性调制(角度调制)的原理及抗噪声性能	75
4.4 各种模拟调制系统的比较	81
4.5 频分复用(FDM)	83
4.6 复合调制及多级调制的概念	84
思考题	85
习题	85
第5章 数字基带传输系统	89
5.1 引言	89
5.2 数字基带信号及其频谱特性	90
5.3 基带传输的常用码型	96
5.4 基带脉冲传输与码间干扰	100
5.5 无码间干扰的基带传输特性	102
5.6 部分响应系统	106
5.7 基带传输系统的抗噪声性能	111
5.8 眼图	115
5.9 时域均衡	116
思考题	123
习题	123
第6章 正弦载波数字调制系统	129
6.1 引言	129
6.2 二进制数字调制原理	130
6.3 二进制数字调制系统的抗噪声性能	142
6.4 二进制数字调制系统的性能比较	155
6.5 多进制数字调制系统	157
6.6 改进的数字调制方式	176
思考题	184
习题	185
第7章 模拟信号的数字传输	187
7.1 引言	187
7.2 抽样定理	187
7.3 脉冲振幅调制(PAM)	193
7.4 模拟信号的量化	195
7.5 脉冲编码调制(PCM)	206
7.6 差分脉冲编码调制(DPCM)系统	215
7.7 增量调制	218
7.8 DPCM 系统中的量化噪声	222

7.9 时分复用和多路数字电话系统	223
7.10 话音和图像的压缩编码	229
思考题	234
习题	234
第 8 章 数字信号的最佳接收	237
8.1 引言	237
8.2 数字信号接收的统计表述	237
8.3 关于最佳接收的准则	239
8.4 确知信号的最佳接收	241
8.5 随相信号的最佳接收	251
8.6 起伏信号的最佳接收	256
8.7 普通接收机与最佳接收机的性能比较	259
8.8 匹配滤波器	260
8.9 最佳基带传输系统	272
思考题	277
习题	277
第 9 章 差错控制编码	280
9.1 引言	280
9.2 纠错编码的基本原理	281
9.3 常用的简单编码	285
9.4 线性分组码	287
9.5 循环码	292
9.6 卷积码	303
9.7 网格编码调制	315
思考题	318
习题	319
第 10 章 正交编码与伪随机序列	322
10.1 引言	322
10.2 正交编码	322
10.3 伪随机序列	326
10.4 伪随机序列的应用	339
思考题	347
习题	348
第 11 章 同步原理	349
11.1 引言	349
11.2 载波同步的方法	349
11.3 载波同步系统的性能	355
11.4 载波相位误差对解调性能的影响	358
11.5 位同步的方法	359

11.6	位同步系统的性能及其相位误差对性能的影响	367
11.7	群同步	370
11.8	扩展频谱系统同步	378
11.9	网同步的基本概念	382
	思考题	386
	习题	387
第 12 章	通信网	389
12.1	引言	389
12.2	通信网的分类和交换原理	389
12.3	通信网的拓扑结构协议和网举例	393
12.4	综合业务数字网(ISDN)	405
	思考题	409
附录		411
附录 A	PCM 量化误差功率谱公式的证明	411
附录 B	Q 函数和误差函数	415
附录 C	英文缩写名词对照表	417
附录 D	部分习题答案	419
参考资料		426

第1章 绪 论

1.1 引 言

通信按照传统的理解就是信息的传输与交换。在当今信息社会,通信则与传感、计算技术紧密结合,成为整个社会的高级“神经中枢”。没有通信,人类社会是不可想象的。一般来说,社会生产力水平要求社会通信水平与之相适应。若通信的水平跟不上,社会成员之间的合作程度就受到限制,社会生产力的发展也必然最终受到限制。可见,通信是十分重要的。

本教材讨论信息的传输、交换及通信网的基本原理,但侧重信息传输原理。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。

1.2 通信系统的组成

1.2.1 通信系统模型

通信的目的是传输消息。消息具有不同的形式,例如:符号、文字、话音、音乐、数据、图片、活动图像等等。因而,根据所传递消息的不同,目前通信业务可分为电报、电话、传真、数据传输及可视电话等。如果从广义的角度看,则广播、电视、雷达、导航、遥测、遥控等也可列入通信的范畴。

实际上,基本的点对点通信,均是把发送端的消息通过某种信道传递到接收端。因而,这种通信系统可由图1-1中模型加以概括。图中,在发送端信息源(也称发终端)的作用是把各种可能消息转换成原始电信号。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。图中的噪声源是信道中的噪声及分散在通信系统其他各处的噪声的集中表示。

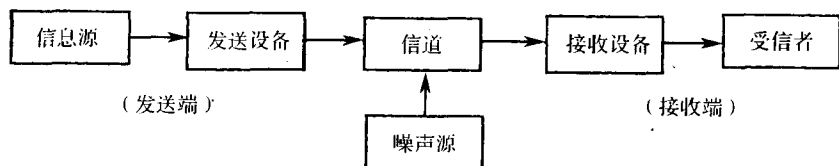


图 1-1 通信系统的一种简化模型

上述模型概括地反映了通信系统的共性。根据我们的研究对象及所关心的问题不同将会使用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。

1.2.2 模拟通信与数字通信系统模型

如上所述,通信传输的消息是多种多样的,可以是符号、文字、语音、数据、图像等等。各种不同的消息可以分成两类:一类称作离散消息;另一类称作连续消息。离散消息是指消息的状态是可数的或离散型的,比如符号、文字或数据等。离散消息也称为数字消息。而连续消息则是其状态连续变化的消息,例如,连续变化的语音、图像等。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。由图 1-1 的通信过程可知,消息与电信号之间必须建立单一的对应关系,否则在接收端就无法复制出原来的消息。通常,消息被载荷在电信号的某一参量上,如果电信号的该参量携带着离散消息,则该参量必将是离散取值的。这样的信号就称为数字信号。例如,电传机输出的信号就是数字信号。如果电信号的参量连续取值,则称这样的信号为模拟信号。例如,普通电话机输出的信号就是模拟信号。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两类:模拟通信系统和数字通信系统。

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。

自 1844 年 5 月 24 日莫尔斯(Morse)在华盛顿和巴尔的摩之间发送世界上第一份电报以来,电报通信已经经历了 150 多年。但是长期以来,由于电报通信不如电话通信方便,作为数字通信主要形式的电报却比 1876 年贝尔(Bell)发明的电话发展缓慢。直到 20 世纪 60 年代以后,数字通信才日益兴旺起来,甚至目前出现了数字通信替代模拟通信的某种趋势。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。第一,数字传输抗干扰能力强,尤其在中继时,数字信号可以再生而消除噪声的积累;第二,传输差错可以控制,从而改善了传输质量;第三,便于使用现代数字信号处理技术来对数字信息进行处理;第四,数字信息易于做高保密性的加密处理;第五,数字通信可以综合传递各种消息,使通信系统功能增强。

模拟通信系统正如图 1-1 表明的那样,需要两种变换。首先,发送端的连续消息要变换成原始电信号,接收端收到的信号要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,一般不宜直接传输。因此,模拟通信系统里常需要有第二种变换: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。经过调制后的信号称为已调信号,它应有两个基本特征:一是携带有消息,二是适应在信道中传输。通常,我们将发送端调制前和接收端解调后的信号称为基带信号。因此,原始电信号又称为基带信号,而已调信号则常称为频带信号。

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

认为都是足够理想的,而不予讨论。

于是,一般的模拟通信系统模型可由图 1-1 略加改变而成,如图 1-2 所示。这里的调制器与解调器就代表图 1-1 中的发送设备与接收设备。

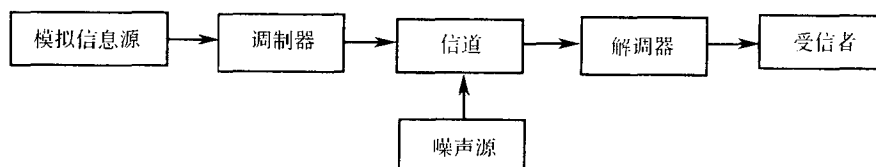


图 1-2 模拟通信系统模型

那么,数字通信系统的模型是怎样的呢?正如前面指出的,数字通信的基本特征是,它传输的信号是“离散”或数字的,从而使数字通信有许多特点。比如,对于上面提到的第二个变化来说,在模拟通信中强调变换的线性特性,即强调已调参量与基带信号成比例;而在数字通信中,则强调已调参量与基带信号之间的一一对应。

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人为“搅乱”,即加上密码,这叫加密,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,使接收性能变坏。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(相当于写文章要有标点符号那样)。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”。可见,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,一般的可用图 1-3(a)表示。图中,同步环节没有出示,因它的位置往往不是固定的。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。比如,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,在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。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。尚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 4kHz 带宽,而一路传输质量相同的数字电话则可能要占用数十千赫的带宽。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的场合,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。考虑到现有大量模拟通信系统这一事实,目前还常常需要利用它来传输数字信号。这就需要对其做些改造,或者加装数字终端设备。

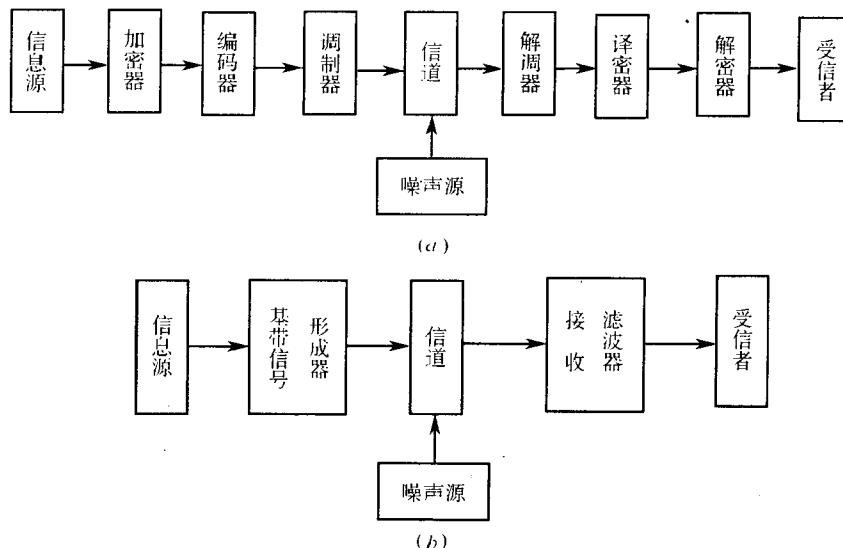


图 1-3 数字通信系统模型

1.3 通信系统的分类及通信方式

为了便于今后的讲述,本节把常见的通信系统和通信方式作一综合介绍。

1.3.1 通信系统分类

通信系统有不同分类方法。这里从通信系统模型的角度讨论分类。

1. 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。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。又如,随着电子计算机发展而迅速增长起来的数据通信,在远距离传输数据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。

2. 按调制方式分类

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。调制方式很多,常见的一些如表 1-1 所列。

3. 按信号特征分类

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成模拟通信系统与数字通信系统两类。

4. 按传输媒介分类

按传输媒介,通信系统可分为有线(包括光纤)和无线两类。

表 1-1 常用调制方式及用途

调 制 方 式			用 途 举 例
载波调制	线性调制	常规双边带调幅 AM	广播
		单边带调制 SSB	载波通信、短波无线电电话通信
		双边带调制 DSB	立体声广播
		残留边带调制 VSB	电视广播、传真
	非线性调制	频率调制 FM	微波中继、卫星通信
		相位调制 PM	中间调制方式
	数字调制	振幅键控 ASK	数据传输
		频移键控 FSK	数据传输
		相位键控 PSK、DPSK	数据传输
		其他高效数字调制 QAM、MSK	数字微波、空间通信
脉冲调制	脉冲模拟调制	脉幅调制 PAM	中间调制方式、遥测
		脉宽调制 PDM	中间调制方式
		脉位调制 PPM	遥测、光纤传输
	脉冲数字调制	脉码调制 PCM	市话中继线、卫星、空间通信
		增量调制 DM(ΔM)	军用、民用数字电话
		差分脉码调制 DPCM	电视电话、图像编码
		其他编码方式 ADPCM	中速数字电话

5. 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。频分复用是用频谱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。

1.3.2 通信方式

对于点与点之间的通信,按消息传送的方向与时间关系,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传输的工作方式,如图 1-4(a)所示。例如遥测、遥控,就是单工通信方式。

所谓半双工通信,是指通信双方都能收发消息,但不能同时进行收发的工作方式,如图 1-4(b)所示。例如,使用同一载频工作的无线电对讲机,就是按这种通信方式工作的。

所谓全双工通信,是指通信双方可同时进行收发消息的工作方式,如图 1-4(c)所示。例如,普通电话就是一种最常见的全双工通信方式。

在数字通信中,按照数字信号码元排列方法不同,有串行传输与并行传输之分。

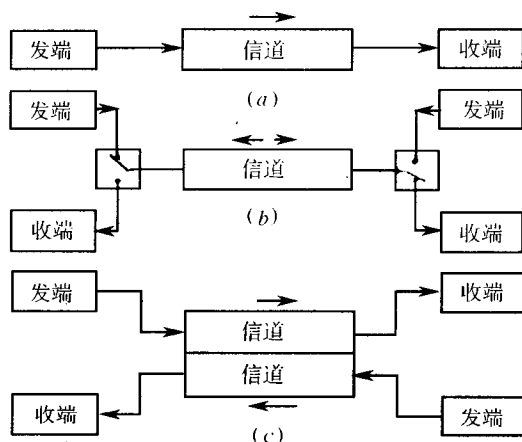


图 1-4 通信方式示意图

(a)单工通信方式;(b)半双工通信方式;(c)全双工通信方式。

所谓串行传输,是将数字信号码元序列按时间顺序一个接一个地在信道中传输,如图 1-5(a)所示。如果将数字信号码元序列分割成两路或两路以上的数字信号码元序列同时在信道中传输,则称为并行传输,如图 1-5(b)所示。

一般的远距离数字通信大都采用串行传输方式,因为这种方式只需占用一条通路。并行传输在近距离数字通信中有时也会遇到,它需要占用两条或两条以上的通路,比如,使用多条导线传输。

实际的通信系统分为专线和通信网两类。专门为两点之间设立传输线的通信,称之为专线通信,有时简称为点与点通信。多点间的通信属于网通信。显然,网通信的基础仍是点与点的通信。因此,本书重点讨论点与点通信的原理。

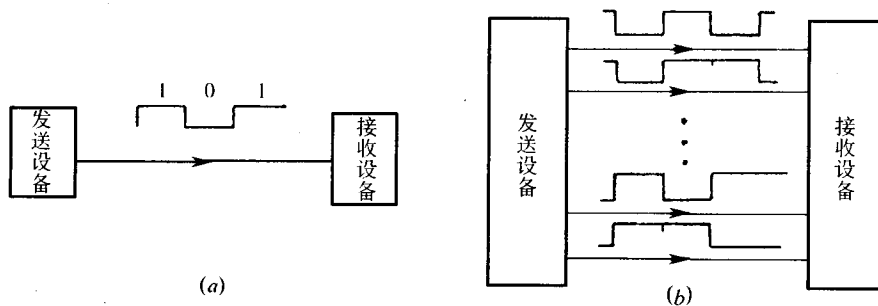


图 1-5 串行和并行方式传输

(a)串行传输;(b)并行传输。

1.4 信息及其度量

通信的目的在于传递信息。为了便于今后对通信系统的主要性能做定量的分析,对信息这个术语的含义以及它的定量描述做扼要的讨论是十分必要的。

信息一词在概念上与消息的意义相似,但它的含义却更普遍化、抽象化。信息可被理解为消息中包含的有意义的内容。这就是说,不同形式的消息,可以包含相同的信息。例如,分别用话音和文字发送的天气预报,所含信息内容相同。如同运输货物多少采用“货运量”来衡量一样,传输信息的多少使用“信息量”去衡量。现在的问题是信息如何度量

已经指出,消息是多种多样的。因此度量消息中所含的信息量的方法,必须能够用来度量任何消息的信息量,而与消息种类无关。另外,消息中所含信息量的多少也应与消息的重要程度无关。

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,但对于接收者而言,某些消息比另外一些消息却含有更多的信息。例如,若一方告诉另一方一件非常可能发生的事件:“今年冬天的气候要比去年冬天的更冷些”,比起告诉另一方一件很不可能发生的事件:“今年冬天的气候将与去年夏天的一样热”来说,前一消息包含的信息显然要比后者少些。因为在接收者看来,前一事件很可能发生,不足为奇,但后一事件却极难发生,听后使人惊奇。这表明消息确实有量值的意义。而且,我们可以看出,对接收者来说,事件越不可能,越是使人感到意外和惊奇,信息量就越大。

概率论告诉我们,事件的不确定程度,可以用其出现的概率来描述。亦即事件出现的可能性越小,则概率就越小;反之,则概率就越大。据于这种认识,我们得到:消息中的信息量与消息发生的概率紧密相关,消息出现的概率越小,则消息中包含的信息量就越大。如果事件是必然的(概率为1),则它传递的信息量应为零;如果事件是不可能的(概率为0),则它将有无穷的信息量。如果我们得到不是由一个事件构成而是由若干个独立事件构成的消息,那么这时我们得到的总的信息量,就是若干个独立事件的信息量的总和。

综上所述可以看出,为了计算信息量,消息中所含的信息量 I 与消息 x 出现的概率 $P(x)$ 间的关系式应当反映如下规律:

(1)消息中所含的信息量 I 是出现该消息的概率 $P(x)$ 的函数,即

$$I = I[P(x)] \quad (1.4-1)$$

(2)消息的出现概率越小,它所含的信息量越大;反之信息量越小,且当 $P(x) = 1$ 时, $I = 0$ 。

(3)若干个互相独立事件构成的消息,所含信息量等于各独立事件信息量的和,即

$$I[P(x_1)P(x_2)\cdots] = I[P(x_1)] + I[P(x_2)] + \cdots \quad (1.4-2)$$

不难看出,若 I 与 $P(x)$ 间的关系式为

$$I = \log_a \frac{1}{P(x)} = -\log_a P(x) \quad (1.4-3)$$

就可满足上述要求。所以我们定义公式(1.4-3)为消息 x 所含的信息量。

信息量的单位的确定取决于上式中对数底 a 的确定。如果取对数的底 $a = 2$,则信息量的单位为比特(bit);如果取 e 为对数的底,则信息量的单位为奈特(nit);若取 10 为底,则信息量的单位称为十进制单位,或叫哈特莱。上述三种单位的使用场合,应根据计算及使用的方便来决定。通常广泛使用的单位为比特。

下面我们先来讨论等概率出现的离散消息的度量。若需要传递的离散消息是在 M 个消息之中独立地选择其一,且认为每一消息的出现概率是相同的。显然,为了传递一个消息,只需采用一个 M 进制的波形来传送。也就是说,传送 M 个消息之一这样一件事与