

绪 论

一、航空通信技术概论

飞机在飞行中要不断地与地面指挥塔台取得联系,无线电通信设备对飞机来说是必不可少的,靠它来保证飞机的安全飞行和完成飞行任务。

航空通信包括飞机通信(空—地,空—空)和航空设施间的地勤通信。目前多数飞机只用模拟的语音通信,特殊用途的飞机才使用数据通信和电传打字机。少数飞机还使用数字传真。地勤通信除了使用模拟的语音通信外,还使用数据通信。

现代飞机通信主要用甚高频(VHF) 100~150兆赫波段和特高频(UHF) 225~400兆赫波段。这是最普通的模拟通信,用语音进行调幅的通信方式。在这些波段中,每隔25千赫作为一个频道。通话时是半双工方式:即参加通话的各飞机和地面塔台同时使用一个频道,只是讲话时才发射电波,讲话完毕就停止发射,转入接收状态。这种方式每次只有一个电台发射,主要是指挥员讲,其他成员只能作简短的答话。表1所列是当前服役的几种美国军用电台。

表1 当前服役的美军航空电台

型 号	波 段	调 制	功 率
AN/ARC-164	UHF225-400兆赫	调幅	10瓦
AN/ARC-171	UHF225-400兆赫	调幅/调频	30~100瓦
AN/ARC-186	VHF30-88兆赫	调幅/调频	10~15瓦
AN/ARC-165	HF2-30兆赫	单边带/独立边带	250~1000瓦
AN/TRC-97A	SHF4.5-5千兆赫	调频/调分多路	1000瓦

这种通信的范围限于“视距”之内,称为“视距通信”。由于地球表面的弯曲,视距的范围与飞行高度有关。飞得越高,看得

越远，视距的范围也越大，见图0-1。如果飞行高度低，在阴影区内电波受地球表面的阻挡，电波不能直达，就不能通信了。在一定的飞行高度下，最大视距可由下式估算

$$R = 4.12(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})$$

其中 R 为最大视距，以公里为单位。

h_1, h_2 为两飞机的高度，以米为单位。

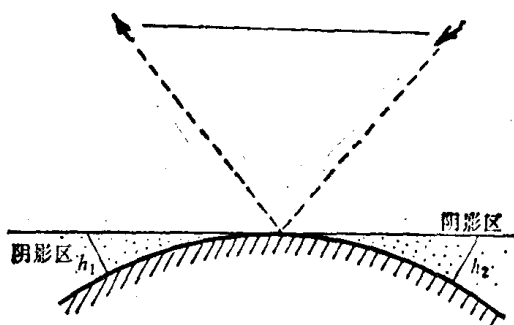


图0-1 视距通信范围

例如飞机的飞行高度为一万米，最大可通信距离约为 824 公里。

有些对地面作空中支援的飞机还加装了甚高频 (VHF) 30~88兆赫的调频语音通信电台。因为地面部队的坦克电台就是这种调频电台，这时飞机可以与它们连通。

另外，大型飞机的战略通信，还有短波 (HF) 2~30兆赫的短波电台，采用单边带调制。短波波段中，无线电波可以由数百公里高空上的电离层反射回来，通信距离几乎可以到达地球上任一点。而以这种电台能和远距离的指挥控制中心通信，也可以用于空中交通管制。因为电波经由高空的电离层反射下来，还能适用于超低空的通信。不过，电离层经常变化，日夜的强度和高度也不同，通信不稳定。此外，短波波段还常常遭受天电干扰，可用的频带也很窄。能够传输的信息很有限（即通信容量是很小的）。目前正在试验采用卫星通信来作远距离大容量的通信。另外为了解决中距离的视距外通信，也可以采用高空飞机作中继通信

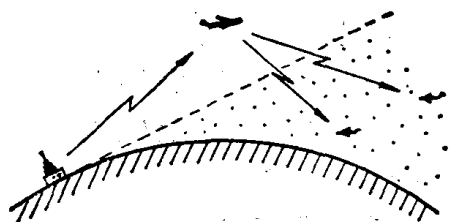


图0-2 高空中继通信的概念

(见图 0-2)。这种中继通信采用特高频波段，频带宽，容量大，不受天电干扰，也能较好地解决中距离通信问题。超低空通信也属于这种情况，所以这些技术也能解决超低空通信的问题。

航空设施间的地勤通信。机场之间、地面指挥控制中心、空军基地、各种地面上的航空设施之间的通信是很频繁的。除了使用普通的通信方式外，军用通信主要是采用对流层散射电台。美军AN/TRC-97A电台（见表 1）就是典型的一种。它采用直径为 8 英尺的抛物面天线，通信距离可达 160 公里，可传输 24 路数据，每路 2.4 千比特每秒。少数电台还加装有保密数字装置。这种电台可以移动，有一定的机动性。

对流层散射通信的原理见图 0-3。在数十公里的高空上，空气的密度、温度与压力都存在微小的不均匀性，电波照射时将会有散射现象。收发两端使用方向性强的抛物面天线，可以达到通

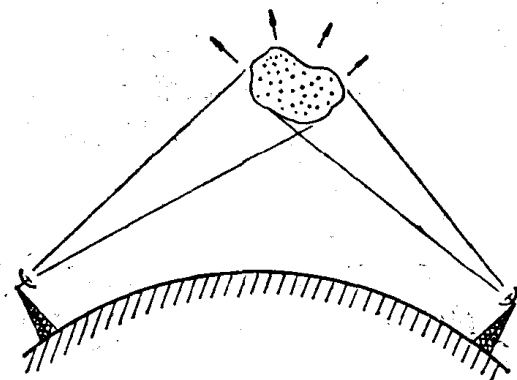


图0-3 对流层散射通信的概念

信的目的。当然,所使用的发射功率较大(1千瓦至数千瓦),频率也较高(4~5千兆赫),设备也较为复杂,它可以用汽车运载。加大发射功率时,通信距离还可以扩展到320公里。

地勤通信还使用短波电台,不过仅作为备分之用或前沿的指挥操作中心之间的应急通信之用。

二、航空通信技术未来的发展

由于计算机技术的发展,机载雷达、导航、驾驶、武器、预警、防撞等各个系统都可用计算机进行智能管理,必须具有数据通信能力。而目前却缺乏专门的数据通信系统,不能实现计算机对计算机的通信,不能对机内各系统进行智能管理。在军事应用方面,由于电子对抗(ECM)的急剧发展,通信随时可能被窃听和干扰,要求增加保密和抗干扰的措施。无论是飞机通信还是航空设施间的地勤通信都需要加强反电子对抗(ECCM)的手段,增加保密设备,增强生存能力。

下面以美空军目前的发展为例,说明航空技术的发展。

对于飞机语音通信,准备在八十年代增加语音通信的抗干扰能力,加装语言保密设备接口。八十年代末期,将使用直接序列法扩频技术(见第十章),采用自适应天线阵使天线的方向图零点自动对准干扰源。

对于飞机数据通信,八十年代正在研制新的数据通信系统,这就是所谓“联合战术信息分配系统”(JTIDS),它使用更高的频段965~1215兆赫。是一种以飞机为基础进行计算机对计算机的数据通信网络。传输的数据率不高(第一期工程为57.6千比特/秒),而用户数目很多,每个通信网内可以容纳成千上万个用户。使用双重扩频手段,即同时使用直接序列法扩频和跳频法扩频(见第八章)。具有保密、抗干扰和信号被截获概率低等性能。它的生存能力强。还可以进行高空中继,以扩展到视距范围外通信。采用强力的纠错编码,可以纠正连续发生120比特的突发错误,保证误码率不大于 10^{-6} 。目前这个系统已经进行试验,准备在八十年代末期布署。

对于地勤通信，目前使用典型的对流层散射电台 AN/TRC-97A 是六十年代布署的。新研制的对流层散射电台 AN/TRC-170 的性能比 AN/TRC-97A 有很大的改善。由表 2 可见，通信容量增加了，通信距离扩大了。此外，还缩短了电台架设和沟通的时间，加强了电台的机动性。这样，就可以不再依赖短波通信，因为短波通信质量差，容量小，不可靠。

表 2 美军车载数字对流层散射电台的比较

型 号	AN/TRC-97A	AN/TRC-170
频率	4.4~5 千兆赫	4.4~5 千兆赫
容量	保密数字 24×2.4 千比特/秒	保密数字 2 兆比特/秒
多路方式	FDM(频分多路)	TDM(时分多路)
天线直径	8 英尺	15 英尺
功率	1 千瓦	2×6.6 千瓦
分集方式	二重空间分集	四重空间分集
通信距离	160 公里	320 公里

预计九十年代电子对抗斗争将激烈增加，通信设备没有足够的反电子对抗手段(ECCM)将不能生存。随着对航空通信和容量的需求的提高，各种通信系统间的联通性将日益突出。随着超大规模集成电路和微处理机的出现，保密技术，编码技术、调制技术、数字信号处理技术、语音和图象信号的处理技术、自适应天线阵和保形天线（与机身、机翼表面齐平的飞机天线，不产生额外的气动阻力）、毫米波技术（反电子对抗的结果，必然使频率向上扩展）、新的器件如声表面波器件（SAM器件）和电荷耦合器件（CCD器件）等都发展很快。这些新工艺、新技术、新器件的发展，都为提高航空通信的性能创造了条件。使航空通信将进一步增强反电子对抗（ECCM）能力，包括增强抗干扰能力和增强反窃听的能力；进一步降低发射信号的被截获概率；进一步提高机动性；进一步减小尺寸、重量、功率，降低价格等。

第一篇 数字通信

第一章 数字通信概论

§ 1-1 数字通信系统及其主要性能指标

通信是利用电子设备将消息从发信者传送到受信者的过程。一般说来,发信者所发出的原始消息都是非电参量,例如语言、音乐、图象、文字、数据等,必须将它们变换为用电压或电流来表示的电信号(简称信号)后,才能利用电子设备来传输。例如,电话和广播中,利用话筒将语音变换为音频信号。如果我们用电子示波器来观察音频信号,就会发现这类信号有一个显著的特征:它的幅值是连续变化的,即幅值是时间的连续函数。而且,幅值大小模拟了话音的强弱,有无限多种可能的取值状态,幅值大小变化的速度(频率的高低)则与原始消息的强弱变化速度一致。这类信号称为模拟信号。如图 1-1 所示。不仅音频信号具有

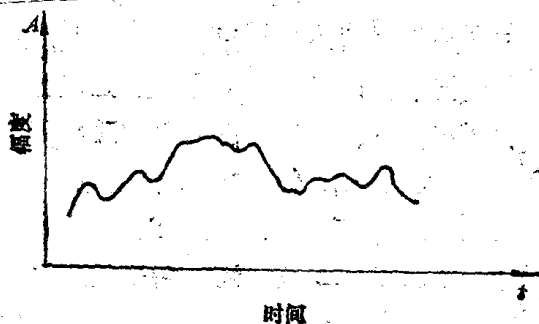


图1-1 模拟信号示意图

这种特征,大多数消息所对应的信号都有这种特征。例如电视图象信号也是一种典型的模拟信号。直接传输模拟信号的通信系统称为模拟通信系统。模拟通信系统有两个基本的缺点:一是它的抗干扰性能较差,传输消息的可靠性较低;二是接收端收到的信

号是模拟信号，不能直接进入电子计算机，很难实现对消息的自动分析和处理。

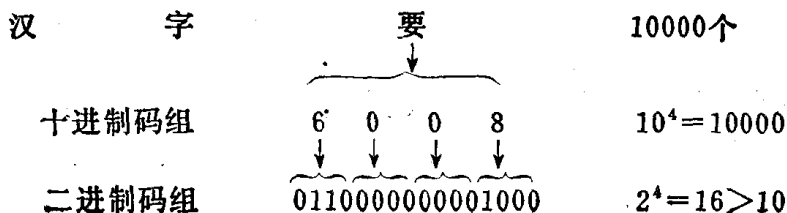
数字通信系统不直接传输模拟信号，而是将模拟信号变换为数字信号后再传输。数字信号的基本特征是它的参数取值只有有限个取值状态。例如，电子计算机中所处理的信号只有两种可能的取值状态，分别用数码 1 和 0 来表示。这种只有两种基本元素的信号称为二进制信号。这是最简单的一种数字信号。

二进制数字信号只有两种不同的取值状态，如何表示千差万别的不同消息呢？我们以电报信号为例来说明这个问题。

常用汉字有将近一万个，数量很大。如果直接用电压或电流来表示汉字的话，就需要有一万种不同大小或不同频率的电压或电流，这是相当复杂的。在普通的明码电报中，是先将汉字编码，利用四位基本阿拉伯数字（0、1、2、…9）的不同组合来表示不同的汉字。例如，数码 6008 就表示汉字“要”。十中取四的组合数共有 $10^4 = 10000$ 个（从 0000 到 9999），完全可以表示一万个不同的汉字。用十种不同的电压来表示十个基本的阿拉伯数字，再用它们的不同组合来表示不同的汉字，就得到了十进制数字信号（十进制数码或码组）。

十进制数字信号只有十种基本取值状态，比直接对应于汉字的信号（一万种取值状态）简单得多。但是，要用电键来直接打出十种不同的状态仍然是相当困难的，故进一步简化为“传号”和“空号”（分别记为数码 1 和 0）这两种键控信号的不同组合， n 个二进制数码的不同组合有 2^n 种。为了表示十种基本阿拉伯数字，要求 $n \geq 4$ 。

上述过程归结如下：



上述码组都是由四个基本元素组成，基本元素称为码元。每个码元有 P 种取值状态，就是 P 进制码组。一个码组中码元的个数，称为码组长度 n ，简称码长。上例中，码长 $n = 4$ 。码长为 n 的 P 进制码组共有 $L = P^n$ 个，能表示 L 种不同的状态。

显然，二进制码组最简单，它的码元只有 1、0 两种不同的取值。可以用脉冲的有、无或脉冲极性的正、负来表示。一般说来，表示码元不同取值的脉冲具有从 0 到数兆赫的基本频带，故在电子技术中常称它们为基带信号。数字通信中常用的基带信号波形如图 1-2 所示。

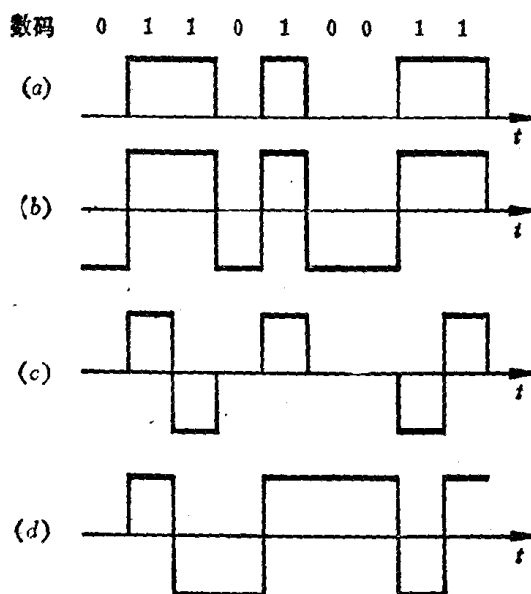


图1-2 基带信号波形

(a) 单极性脉冲；(b) 双极性脉冲；(c) 平衡对称脉冲；(d) 差分脉冲。

单极性脉冲和双极性脉冲与码元取值的对应关系一目了然。平衡对称脉冲是用无脉冲表示码元 0，交替地用正脉冲和负脉冲来表示码元 1。即在传送数码序列时，如果前一个码元 1 用正脉冲来表示，则相邻的后一个码元就用负脉冲来表示。其目的是消除单极性脉冲序列中存在的直流分量。差分脉冲不是利用单个脉

冲幅度的取值来表示码元的取值，而是利用相邻两个脉冲之间的相位变化来表示码元不同取值。在二进制系统中，如果相邻两个脉冲的相位相同表示码元 0 的话，则相邻两个脉冲相位相反则表示码元 1。

声音、音乐、图象等所对应的模拟信号是在时间上和幅值上都连续的信号，不能像文字一样简单处理，必须用模/数变换器将它们变换为数字信号后，才能在数字通信系统中传输。典型的数字通信系统的方框图如图 1-3 所示。

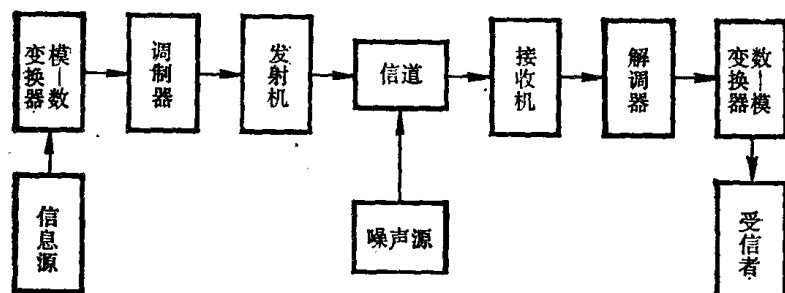


图1-3 数字通信系统方框图

系统中各个部件的功能如下：

信息源也就是发信者，可以是人也可以是机器。它产生需要系统传输的消息，使之变换为电信号。如前所述，这种信号一般是模拟信号，它在模/数变换器中被变换为数字信号。如有必要，还可在模/数变换后再加纠错编码，以提高数字信号传输的可靠性；加保密编码以提高通信的保密性。

模/数变换器（习惯上也称为编码器）输出的数字信号（码组）是基带脉冲序列，不适合在信道中远距离传输，还必需在调制器中调制到高频载波（正弦波）上，变为高频数字脉冲序列在发射机中经变频或倍频，将高频数字脉冲序列的载波频率搬移至适当的通信频段，再经功率放大后送入信道，传送给接收端。由于高频数字脉冲序列的频谱较宽，故数字通信发射机大多工作于微波波段。

信道就是传输媒介。无线电通信中,信道是指收、发天线之间的空间。有线电通信的信道是联接两个终端的导线、电缆或波导等。

解调器将收到的高频数字脉冲序列还原为基带脉冲序列,再经数/模变换器恢复出与传输的消息相对应的模拟信号,传送给受信者(用户)。如果发送端采用了纠错编码,则解调器输出的是纠错码组,还必须经专用的译码器恢复出基带脉冲序列,才能进行数/模变换。

通信系统中各个部分都可能存在一些使传输波形变形的因素,例如电源波纹、放大器失真、元、器件的热噪声、外界干扰……等,它们都不利于信号传输,统称为噪声或干扰。为了研究的方便,将它们用噪声源来集中表示。

图 1-3 中没有表示出数字通信系统中另一个十分重要的组成部分——同步系统。因为数字通信系统是按照一定的时间顺序和节拍传输数字信号的,故必须保证收、发两端严格地按照共同的“时间标准”工作,这就是同步。如果不同步,则系统将无法正常传输数字信号。

数字通信系统的基本技术指标是传输速率和差错率。

传输速率通常以码元传输速率来衡量。码元传输速率又常称为码元速率、传码率、数码率,其定义为每秒钟所传输的码元总数,单位是“波特”,常用符号 B (baud) 表示。

在通信时,传输消息就意味着传输信息。信息,可理解为是消息中所包含的、对受信者有意义的那部分内容,其数量的多少用信息量来表征,单位是“比特”,常用符号 b (bit) 表示。通信系统的传输速率也常用信息传输速率来衡量。信息传输速率又称为传信率或信息速率,其定义为系统每秒钟传输的信息量,单位是比特/秒 (b/s)。

虽然码元速率和信息速率都是衡量系统传输速率的指标,但是,两者有着完全不同的含意,在使用中不能相互混淆。不过,它们在数值上有一定的关系。在二进制系统中,规定每个码元所

含的信息量为 1 比特，此时码元速率 R_b 与信息速率 R_b 在数值上相等，只是单位不同。在 P 进制系统中，每个码元所含的信息量为 $\log_2 P$ 比特，故有

$$R_b = R_b \log_2 P \quad \text{比特/秒}$$

例如，在某一四进制系统中，每秒钟传输 8000 个码元，则

$$R_b = 8000 \quad \text{波特}$$

$$R_b = 8000 \log_2 4 = 16000 \text{ 比特/秒}$$

在另一个二进制系统中，同样是每秒钟传输 8000 个码元，则仍有 $R_b = 8000$ 波特，但此时

$$R_b = 8000 \log_2 2 = 8000 \text{ 比特/秒}$$

差错率是数字通信系统另一个重要的技术性能指标，用以衡量系统传输信号的可靠性。影响系统传输可靠性的原因是系统存在着各种各样的干扰，因此，差错率也是系统抗干扰能力高低的量度。也有两种表达方法：误码率与误比特率。

误码率定义为错误接收的码元数在传输的码元总数中所占的比例，或者说是码元被系统传错的概率。所谓传错，是指发送端发出码元 1，而接收端错误地收到码元 0，或发码元 0，而收到码元 1。误码率是一个统计平均值。例如，某系统的误码率为 10^{-4} ，则意味着系统传输的 50000 个码元中，有 5 个码元被传错了。

误比特率的定义是错误接收的比特数（信息量）在传输的总比特数中所占的比例。也是一个统计平均值。

§ 1-2 数字通信的优缺点及其发展

与模拟通信相比，数字通信具有几大优点，更能满足通信技术的要求。

首先，虽然需要传输的消息有多种多样的形式，但在数字通信系统中，都被变换为统一的数字信号形式传输，这就使数字通信系统变得灵活、通用。尤其是数字通信系统中通常都是采用二进制数字信号，与计算机中采用的信号形式一致。这就不仅可以在数字通信系统中大量采用数字逻辑部件，简化了调整工序，维

修方便,提高了系统的可靠性。更重要的是使数字通信系统可以与计算机直接联接,从而实现对消息的自动分析、处理和交换。事实上,随着计算机技术的发展,数字通信系统中的控制、信息处理等部件本身就是一部专用的微处理机。这样,就可以构成以计算机为核心的大型自动交换的通信网。

数字通信系统还可和数控仪表、机械系统联用,实现“人-机通信”。飞机上采用数字通信系统后,除了完成现行模拟通信系统所承担的通信任务外,地面控制指令还可通过数字通信系统直接传送给机上有关系器,操纵飞机。同时,数字通信系统也是实现电子设备综合化[●]的必要前提之一。

其次,数字通信系统的抗干扰性强,通信的可靠性高。模拟通信是利用信号参数(幅度、频率或相位)的变化来传输信息,干扰对信号参数的任何影响,都会使信号波形失真,丢失信息。因此,模拟通信的抗干扰性能较差。数字通信中是利用脉冲的不同组合来传输信息的。在二进制数字通信系统中,接收端仅需判决脉冲的有、无或脉冲极性的正、负即可,干扰所造成的脉冲波形失真,只要不造成判决的错误,就不会丢失信息。而且,在远程中继通信中,中继转发站可对收到的脉冲进行整形、再生处理,从而消除干扰积累。这是在模拟通信系统中很难实现的。因此,数字通信的抗干扰性能比模拟通信强得多。同时,数字通信系统还可以用纠错编码技术提高抗干扰性。

与模拟通信相比,数字通信第一个缺点是数字信号占用的频带较宽。一路模拟电话通常只占用4kHz带宽,而一路数字电话至少要占用20~60kHz带宽。第二个缺点是数字通信系统中必须有模/数变换器、数/模变换器和同步系统等,故电路比较复杂。

数字通信的发展经历了漫长的过程。十九世纪中叶发明的有线电报是最早的数字通信方式。但是,在其后约一个世纪的时间

●电子设备综合化是当前电子设备的主要发展方向,它是利用以机载计算机为核心的一套设备,完成目前需要多种设备才能完成的通信、雷达、导航、敌我识别、电子对抗……等多种功能。

里,因未找到将话音信号变换为数字信号的有效方式而停滞不前。直到发现脉冲编码调制(PCM)(1937年)和增量调制(ΔM)(1946年)这两种有效的模/数变换技术后,数字通信才受到人们重视。1948年制成全电子管PCM电话设备,证明了数字通信的可行性,但因设备体积大而笨重,未获推广。六十年代相继制成全晶体管PCM电话设备(1962年)和 ΔM 电话设备(1965年)后,数字通信才进入实用阶段。以后,由于半导体电路技术、集成电路技术日趋成熟,解决了设备体积大、重量大、故障率高等问题,为数字通信技术的发展提供了物质基础;卫星通信、跨洲越洋通信的发展,对通信系统的抗干扰性提出了更高的要求;计算机的广泛使用,“人——机通信”、自动交换通信网的实现,有力地促进了数字通信的发展。因此,近十余年来,数字通信技术获得了飞速发展,已成为通信技术的主要发展方向之一。数字通信取代模拟通信已成为必然趋势。现在,世界上各主要工业国家都已制定了从模拟通信向数字通信过渡的计划,准备在本世纪内实现通信的数字化。

第二章 脉码调制与增量调制

§ 2-1 脉码调制的基本原理

前已指出, 数字通信系统中传输的是数字信号, 而绝大多数传输的信号是模拟信号。因此, 实现数字通信时, 发送端必须将模拟信号变换为数字信号, 即实现模拟-数字变换 (简称模/数变换), 接收端则必须将数字信号还原为模拟信号, 即实现数/模变换。目前, 常用的模/数变换技术是脉冲编码调制 (简称脉码调制, 记为 PCM) 和增量调制 (记为 ΔM 或 DM)。我们先讨论脉码调制, 再讨论增量调制。

脉码调制由取样、量化和编码三个步骤组成, 其基本原理如图 2-1 所示。

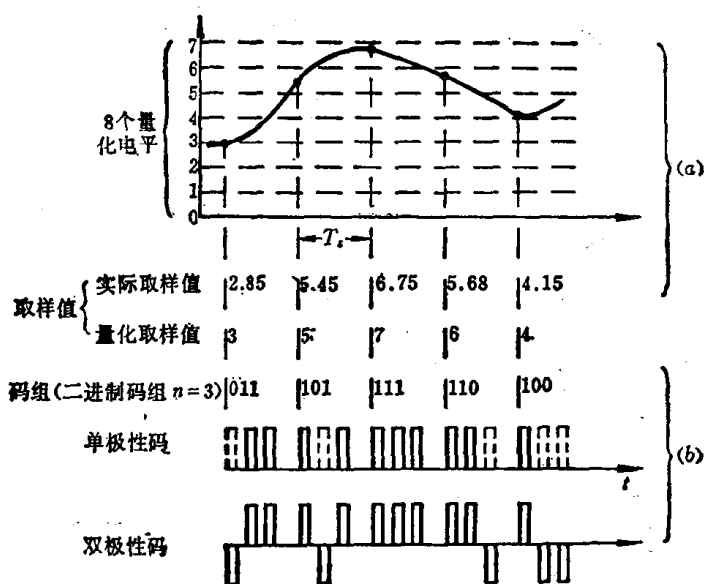


图2-1 脉冲编码调制原理图

(a) 模拟信号, (b) 编码信号。

第一步,是将模拟信号(连续信号)按照取样定理 (§ 2-2) 所确定的时间间隔 T_s 取样,得到一系列取样值(离散的脉冲序列),本例中,其数值大小为 2.85、5.45、6.75、5.68、4.15……。这些取样值是该模拟信号在取样时刻的瞬时值。显然,随着原信号幅度大小的连续变化,取样值的大小会有无穷多个可能值,仍然不便于用数码来代替。所以,还必须进行量化处理,减少取样值的可能状态。量化是用“四舍五入”或“舍零取整”的方法,将每一个取样值都变为最接近的标准幅度。本例中,经过量化后的各个取样值(称为量化信号)为 3、5、7、6、4。标准幅度的数目只要能覆盖模拟信号的全部动态范围,有数百、甚至数十个就够了。这样的量化信号便于用一定长度的数码来代替。用数码代替量化信号的过程就是编码。本例中,对应于上述各量化信号的二进制数码依次为 011、101、111、110、100。数码中各位码元可用脉冲的不同取值状态来表示。图 2-1 b 中,单极性码是用有脉冲表示码元 1,无脉冲表示码元 0;双极性码是用正脉冲表示码元 1,负脉冲表示码元 0。

§ 2-2 取样定理和取样器

一、取样定理

如前所述,实现模/数变换的第一步是将连续信号变为离散脉冲序列,这一过程称为“取样”,也称“抽样”或“采样”。取样时,应根据取样准则选取取样时间间隔 T_s ,或者取样脉冲序列的重复频率 f_s ,接收端才能根据收到的离散脉冲序列无失真地恢复出原来的连续信号。这个准则就是本节将要讨论的取样定理。

取样定理可分为时间域取样定理和频率域取样定理。

时间域取样定理:一个具有有限频谱的连续函数 $V(t)$,可由在时间域 t 上每间隔 $T_s = 1/2F_{\max}$ 的函数值序列 $V_s(n/2F_{\max})$ 确定。

具有有限频谱的含意是:函数 $V(t)$ 的频带限制在 $0 \sim F_{\max}$ 赫以内,没有高于 $F_{\max}$ 赫的频率分量。

时间域取样定理的数学表达式为

$$V(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} V_n \left(\frac{n}{2F_{\max}} \right) \cdot \frac{\sin(2\pi F_{\max} t - n\pi)}{2\pi F_{\max} t - n\pi} \quad (2-1)$$

上式中, n 为整数, $F_{\max}$ 是 $V(t)$ 的最高频率。 $V_n(n/2F_{\max})$ 是连续信号 $V(t)$ 在第 n 个取样时刻的瞬时值, 即第 n 个取样值。 $2F_{\max}$ 是最低的取样频率, 称为“奈奎斯特频率”。可以证明, 如果取样频率 $f_s < 2F_{\max}$, 则各取样值的频谱就会发生重叠, 接收端恢复出的信号将会产生严重的失真。因此, 必须保证取样频率 f_s 不低于 $2F_{\max}$, 即满足 $f_s \geq 2F_{\max}$ 。

频率域取样定理: 时间有限的函数 $V(t)$ 的频谱 $F(\omega)$ 可由间隔 $\frac{1}{T_2 - T_1} = \frac{1}{T}$ 赫的离散取值序列 $f(n/T)$ 确定。

时间有限的含意是: 函数 $V(t)$ 仅在时间区间 $T_1 \leq t \leq T_2$ 内有值, 在此区间外 $V(t) = 0$ 。

取样定理的重要意义在于: 首先, 它指出了只要以不低于 $2F_{\max}$ 的速率对连续信号取样, 就能根据离散的取样序列准确地恢复出原来的连续信号。从而为连续信号变为离散信号提供了理论依据, 奠定了数字通信和时分多路通信的理论基础。其次, 取样定理的数学表达式表明, 接收端只要将收到的离散的取样序列 $V_s(n/2F_{\max})$ 通过一个传输函数为 $H(\omega) = \frac{\sin x}{x}$ 的网络 ($x = 2\pi F_{\max} t - n\pi$), 就能恢复出原来的连续信号 $V(t)$ 。也就是说, 取样定理提供了离散信号变为连续信号的方法。很容易证明, 如果取样脉冲具有冲量的形式, 则所需的网络就是带宽为 $F_{\max}$ 的理想低通滤波器。

二、取样器

取样器的工作原理相当于一个由定时脉冲控制的电子开关, 如图 2-2 所示。有定时脉冲时, 电子开关 K 接通, 电路输出此刻的信号值 $V_s(nT_s)$; 无定时脉冲时, 开关 K 断开, 电路无信号输出, 从而完成取样。 T_s 是定时脉冲序列的重复周期, 也就是取样