

第3章 物理层

本章主要讲解物理层的基本概念、数据通信的基本知识、数据通信的基本分析方法以及传输介质。通过本章的学习,应达到以下目标:

- 掌握物理层的基本特性。
- 掌握数据通信的理论基础。
- 熟练掌握数字通信系统。
- 熟练掌握数据编码。
- 熟练掌握数字调制技术和脉冲编码技术。
- 熟练掌握数据的通信方式和交换方式。
- 熟练掌握复用技术。
- 熟练掌握传输介质的特点。

3.1 物理层的基本特性

物理层考虑的是怎样才能连接各种计算机的传输媒体上传输数据比特流,而不是指连接计算机的具体物理设备或具体的传输媒体。现有的计算机网络中的物理设备和传输媒体的种类非常繁多,而通信手段也有许多不同方式。物理层的作用正是要尽可能地屏蔽掉这些差异,使物理层上面的数据链路层感觉不到这些差异,这样就可以使数据链路层只需要考虑如何完成本层的协议和服务,而不必考虑网络具体的传输媒体是什么。用于物理层的协议也常称为物理层规程(Procedure),物理层规程也就是物理层协议。

物理层的主要任务描述为确定与传输媒体的接口的一些特性。

(1) 机械特性:指明接口所用接线器的形状和尺寸、引线数目和排列、固定和锁定装置等。

(2) 电气特性:指明在接口电缆的各条线上出现的电压的范围。

(3) 功能特性:指明某条线上出现的某一电平的电压表示何种意义。

(4) 规程特性:指明对于不同功能的各种可能事件的出现顺序。

在物理连接的传输方式上一般都是串行传输,即一个一个比特按照时间先后顺序传输,但有时也可以采用多个比特的并行传输方式,处于经济上的考虑,远距离传输通常都是串行传输。

具体的物理层协议是相当复杂的,这是因为物理连接的方式很多(例如,可以是点对点的,也可以是一点对多点的连接或广播连接),而传输媒体的种类也非常多(例如,可以是架空明线、双绞线、对称电缆、同轴电缆、光缆以及各种波段的无线信道等)。因此,在学习物理层时,应将重点放在掌握基本概念上。

3.2 数据通信的理论基础

通信(Communication)作为电信(Telecommunication)是从 19 世纪 30 年代开始的。信号是消息(或数据)的一种电磁编码,信号中包含了所要传递的消息,信号按其因变量的取值是否连续,可分为模拟信号和数字信号,相应的也可将通信分为模拟通信和数字通信。傅里叶已经证明:任何信号(不管是模拟信号还是数字信号)都是由各种不同频率的谐波组成的,任何信号都有相应的带宽,而且任何信道在传输信号时都会对信号产生衰减,因此,任何信道在传输信号时都存在一个数据传输率的限制,这就是 Nyquist(奈奎斯特)定理和 Shannon(香农)定理所说的结论。

3.2.1 傅里叶分析

通信线路上传送的数据是以电信号的形式传送的,如果在传输介质上直接传送数字信号,则形成电压脉冲序列。这些电压脉冲序列都是时间的单值函数,它们包含的谐波分量可以用傅里叶级数表示其特征并进行分析,以便了解信道包含的带宽以及对信号提出的要求。

一般来说,基频为 f 的任意周期函数 $g(t)$ 都可表示为无限个正弦函数和余弦函数之和,即

$$\begin{aligned} g(t) &= \frac{1}{2}C + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin(2\pi nft) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \cos(2\pi nft) \\ a_n &= \frac{2}{T} \int_0^T g(t) \sin(2\pi nft) dt \\ b_n &= \frac{2}{T} \int_0^T g(t) \cos(2\pi nft) dt \end{aligned}$$

其中, C 是一个常数; f 为基频; 周期 $T=1/f$; a_n, b_n 分别是 n 次正弦和余弦函数。

$$\begin{aligned} C &= \frac{2}{T} \int_0^T g(t) dt \\ S(\omega) &= A\tau \frac{\sin(\omega\tau/2)}{\omega\tau/2} \end{aligned}$$

如果单个矩形脉冲的幅度为 A , 宽度为 τ , 在时间轴上两边对称, 这样的矩形脉冲通过傅里叶变换, 将时间函数变为频率函数, 经推导可得出如下关系:

式中, τ 为脉冲宽度, A 为振幅, 根据对该脉冲的频谱分析, 当 $\omega=4\pi/\tau$ 时, $\sin 2\pi=0$, $S(\omega)=0$, 近似地, 如果把 $S(\omega)$ 的第一个零点处的 $\omega=2\pi/\tau$ (或 $f=1/\tau$) 看做传输宽度为 τ 的矩形脉冲所需要的频带宽度, 即带宽为 $B=f=1/\tau$ 。

因此, 带宽和脉冲宽度成反比。数字传输频率越高, 脉冲宽度就越窄, 要求的信道带宽就越高。

3.2.2 有限带宽信号

信道上传输的信号可以看为不同字符编码脉冲的二进制比特流。现在以传输 ASCII 字符 b 编码脉冲信号为例, 说明信道的通过能力。图 3-1(a) 左边示出了该编码的电压脉冲波形, 该信号的傅里叶分析系数计算如下:

$$a_n = \frac{1}{\pi n} [\cos(\pi n/4) - \cos(3\pi n/4) + \cos(6\pi n/4) - \cos(7\pi n/4)]$$

$$b_n = \frac{1}{\pi n} [\sin(3\pi n/4) - \sin(\pi n/4) + \sin(7\pi n/4) - \sin(6\pi n/4)]$$

$$C_n = 3/8$$

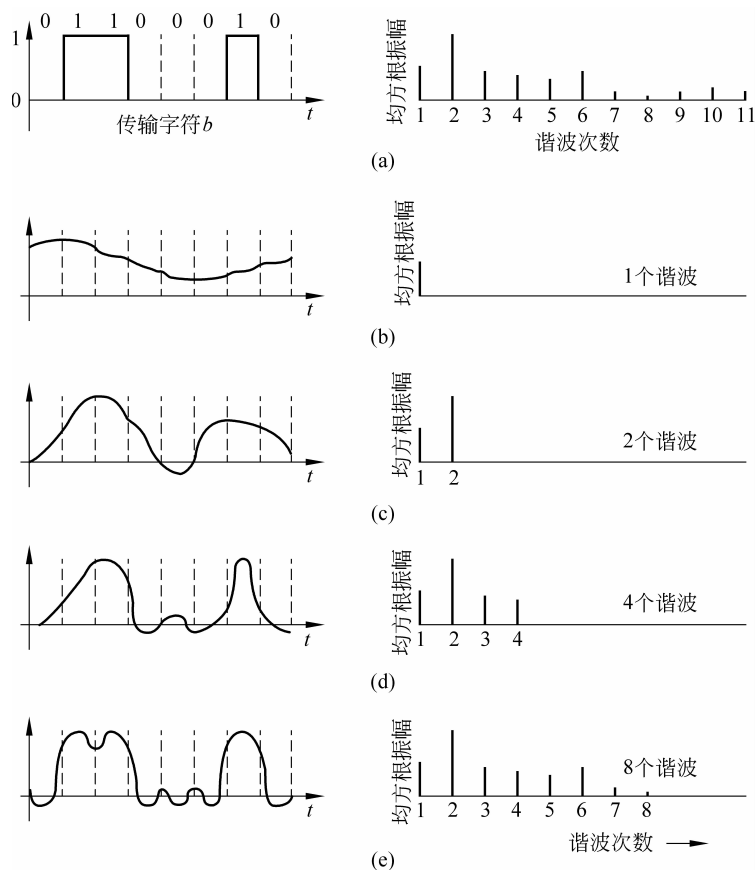


图 3-1 一个二进制信号和它的均方根傅里叶振幅与原信号的相继近似

各次谐波振幅可用 $\sqrt{a_n^2 + b_n^2}$ 求得, 此值的最小几次谐波振幅如图 3-1(a) 右边所示。各次谐波的能量与该次谐波的振幅成正比。

传输信号的信道不是理想的, 它对所传信号所含的各次谐波分量通过的能力不同: 有些谐振波分量通过了; 有些衰减了或衰减很大; 还有些谐振波分量甚至不能通过。另外, 不同谐波相位延迟也不同。也就是说, 信道对所传输信号各次谐波的振幅作不等量的衰减传送及相位延迟不同, 引起了信号波形的失真。因此要能保证信号传送的质量, 信道的频带要适应或高于信号本身的频带。

现在考察传输图 3-1(a) 的脉冲电压信号。如果信道只能一次谐波通过, 则如图 3-1(b) 所示。如果信道的频带增大, 允许 2 次、4 次和 8 次内的谐波分量通过, 相应传输的电信号波形如图 3-1(c)~图 3-1(e) 所示。由此看出, 随信道带宽的增高, 各谐波分量合成的波就愈接近原始待传输的波形, 当信道为理想时(带宽无限宽), 各次谐波全都通过, 则波形不会失

真。电话线是传送语音信号的,其带宽通常从 0 到 f_c 。 f_c 应取语音信号中最高频率分量的频率,一般取 3400Hz 就可以顺利传送话音而不引起严重的不等幅衰减压缩。现用语音信道传送脉冲编码的数据,采用二进制电平,码元速率(波特)和信息速率(位)就是一致的。现在每个字符 8 位,数据传输速率为 C ,传送一个字符的时间为 $8/C$,该值为一次谐波频率 $C/8$,则语音信道能通过的最大谐波数为 $3400/C/8$ 即 $27200/C$ 。表 3-1 示出了信道不同波特率时一次谐波频率和所能通过的最大谐波数。可以看出,用 300~38400Hz 带宽的电话线接收端,要能辨认传送信号,信道必须允许信号的 10 次谐波通过,这样该信道极限传输率为 2400B。

表 3-1 给出了信道数据率与通过的谐波数的关系。

表 3-1 信道数据率与通过谐波数的关系

波特率 /B	周期 /ms	一次谐波频率 /Hz	通过的 谐波数	波特率 /B	周期 /ms	一次谐波频率 /Hz	通过的 谐波数
300	26.67	37.5	90	4800	1.67	600.0	5
600	13.33	75.0	45	9600	0.83	1200.0	2
1200	6.67	150.0	22	1200	0.42	2400.0	1
2400	3.33	300.0	11	38400	0.21	4800.0	0

3.2.3 数字通信系统

1. 数字通信系统的组成

(1) 组成。有一些信源的信息本来就是离散的,如电报符号和数据等。所谓离散消息也称为数字信息,其信息的状态是可数的,不随时间作连续变化,最简单的一种数字信号如图 3-2 所示。

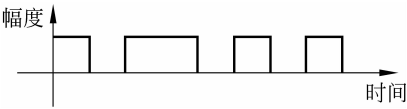


图 3-2 数字信号

它在时间上是不连续的,而在幅度上只有两个值,即“1”和“0”。另外,还可把信源的连续信息变为离散信息进行传输,到接收端再把它反变换成连续信息。这两种原始信息(无论是离散的还是连续的)进行各种数字处理后的通信系统,都称为数字通信系统,其构成模型如图 3-3 所示。

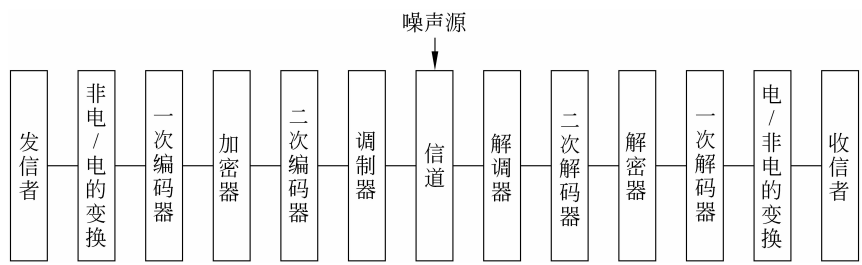


图 3-3 数字通信系统

在该系统中,如果原始消息是模拟的,要进行数字通信则需从左边第一个方框开始,如果原始信号已经是数字信号如数据信号等,则它相当于一次编码器的输出,一次编码器输出的信号在数字系统中称为基带信号。假设发信者发的是语音信号,经过“非电/电”变换器

(此时即为发话器)变成模拟的电信号,然后经一次编码器,把模拟信号转换为数字信号,这种变换通常称为模拟/数字变换。有时通信需要保密,则上面的数字信号可经过加密器,按照内定的规律加上一些密码,对一次信号进行“扰乱”。有时为了控制由于信道噪声使传输的数字信号所造成的差错,可以在数字信号内再附加上一定数量的数字码,形成新的数字信号,使其内部数码间的关系形成一定的规律性,一旦新的数字信号发生差错,接收端就会按照一定的规律自动检查出来或进行自动纠正。这种功能称做自动差错控制。它由二次编码器(差错控制编码器)完成。为了使这一级输出信号能适应信道传输的要求,有时还需要再加一级调制器,使信号能较好地通过信道到达接收端。接收端的几个方框,其功能是进行与发送端的几个方框一一对应的反变换。具体的通信系统需要哪些变换器要视具体的应用系统而定。

(2) 数字通信的优缺点。

① 优点如下。

- 抗干扰能力强,尤其是数字信号通过中继再生后可消除噪声积累,理论上数字信号可以传送无限远。
- 数字通信可以通过差错控制编码,提高通信的可靠性。
- 由于数字信号传输一般采用二进制码,使用计算机对数字信号进行处理。数字通信可以完成计算机之间的通信,实现复杂的距离控制,例如由雷达、数字通信、计算机及导弹系统组成的自动化防空系统。
- 数字通信系统可以传送各种消息(模拟的和离散的),使通信系统灵活、通用,因而可以构成信号处理、传送、交换的现代数字通信网。
- 数字信号易于加密处理,所以数字通信保密性强。

另外,数字通信系统还具有集成化、体积小、重量轻、可靠性高等优点。

② 缺点如下。数字通信较突出的缺点是比模拟通信占用频带宽,如一路模拟电话占4kHz带宽,而一路数字电话约占20~64kHz的带宽。由于卫星通信和光纤通信的工作频率带宽可达几十兆赫、几百兆赫甚至更高,所以数字通信占用频带宽的矛盾可以得到解决。

2. 数字通信系统的主要技术指标

(1) 信道最大数据传输率(奈奎斯特定理)。早在1924年,Nyquist(奈奎斯特)推导出非理想有限带宽无噪声信道的最大数据传输率的表达式。一任意信号通过带宽为 H 的低通滤波器时,如果对通过的信号每秒采样 $2H$ 次,将采样值经过量化、编码后变为矩形脉冲传送,在接收端依据接收的采样脉冲的编码值就可完整地重现这个滤波的信号,取更高的采样频率对恢复原波形已无意义,因为信号的高频分量已被滤波器滤掉,无法再恢复了。如果被传信号电平分为 V 级,奈奎斯特定理限定的最高数据率 R_b 为

$$R_b = 2H \log_2 V \quad (\text{单位是 bps})$$

这个定理为估算已知带宽的信道最高速率提供了依据。虽然实际传送数据的速率远达不到这个极限值。

(2) 香农(Shannon)定理。实际的信道总是有噪声的,噪声影响信号的正常传送。相对于信号大小的噪声大小,经常用信噪比来度量。用 S 表示信号功率, N 表示噪声功率,则信噪比为 S/N ,信噪比常用dB表示,即 $10\lg S/N$,当 $S/N=10$,则 S/N 为10dB,当 $S/N=100$,则 S/N 为20dB。1984年,香农关于有噪声信道的主要结论是,带宽为 H ,信噪比为 S/N 的信道其最大数据传输率为 R_b 。

$$R_b = H \log_2(1 + S/N) \quad (\text{单位是 bps})$$

例如,信道带宽 H 为 3000Hz,信噪比为 30dB,即 S/N 为 1000,则极限数据率 R_b 约为 3000bps,香农公式提供了估计有噪声信道的最高极限速率的依据。

(3) 码元传输速率 R_B 。码元传输速率 R 又称传码率,是单位时间(每秒)内传送码元的数目,单位为“波特”(Baud)。注意波特与比特不是一回事。

(4) 信息传输速率 R_b 。信息传输速率 R_b 又称传信率,是单位时间(每秒)内传送信息量,单位为比特/秒(bps)。

码元传输速率 R_B 和信息传输速率 R_b 统称为系统的传输速率。在二进制码元的传输中,每个码元代表一个比特的信息量,所以这是码元传输速率 R_B 和信息传输速率 R_b 在数值上是相等的,即 $R_B = R_b$,只是单位不同。而在多进制脉冲传输中,码元传输速率 R_B 和信息传输速率 R_b 不相等。如在 M 进制中,每个码元脉冲代表 $\log_2 M$ 个比特的信息量。这时传码率和传信率的关系是: $R_b = R_B \log_2 M$ (bps)。

例如在四进制中($M=4$),已知码元传输速率 $R_B=1200$,则信息传输速率 $R_b=1200$ (bps)。

(5) 误码率 p_e 。误码率 p_e 是指通信过程中系统传错码元的数目与所传输的总码元的数目之比,也就是传错码元的概率,即

$$p_e = \frac{\text{传错码元的个数}}{\text{传输码元的总数}}$$

(6) 误比特率 p_b 。误比特率 p_b 又称误信率,是指传错信息的比特数目与所传输的总信息比特数之比,即

$$p_b = \frac{\text{传错的比特数}}{\text{传输的总比特数}}$$

3.2.4 数据编码

为了适应信道的传输特性及在接收端再生恢复数字信号、基带信号应考虑 6 个原则。

- 有利于提高系统的频带利用率。
- 基带数字信号应具有尽量少的直流、甚低频及高频分量。
- 基带数字信号中应具有足够大的供提取码元同步用的信号分量。
- 基带数字信号传输的码型应基本上不受信号源统计特性的影响。
- 基带数字信号传输的码型对噪声和码间串扰具有较强的抵抗力和自检能力。
- 尽量降低译码过程引起的误码扩散,提高传输性能。

码型及其编码方法主要掌握码型构成、波形及其特点。

1. 二电平码

二电平码是最基本的一种码型,它采用两种不同的电平来分别表示二进制中的“0”和“1”。例如,用恒定的正电平表示“1”,用无电平的状态表示“0”。下面主要介绍非归零电平

码(NRZ-L)它是一种负逻辑的码型。

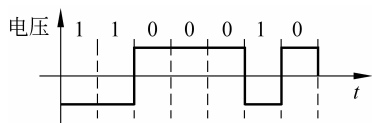


图 3-4 非归零电平码

(1) 码型构成。用正电平表示 0,用负电平表示 1。

(2) 波形如图 3-4 所示。

(3) 优缺点。

优点：码型简单，易于实现。

缺点：具有直流成分，不适于使用变压器和交流耦合的情况。连续的 1 比特和 0 比特难以实现同步。

2. 差分码

差分码是一种以电平跳变来表示数据信息的码型。以差分码传输数据时，在一个比特传输的持续时间内信号电平不会出现跳变，而且这段时间内的电平值与数据无关。差分码主要介绍非归零反相码（NRZ-I, Not Return to Zero-Invert on ones）。

（1）码型构成。传输一个比特的起始电平发生跳转，这个比特表示二进制的 1；如果此刻电平没有发生跳转，这个比特表示二进制的 0。

（2）波形如图 3-5 所示。

（3）优缺点。

优点：抗干扰能力强，在传输连续的比特 1 时，每个比特开始时刻都将发生电平的转换，此时信号具备了同步信息。

缺点：在传输连续的比特 0 时，却不具备同步能力。

3. 双极性码

用三电平表示二进制数的码型。常用的双极性码有信号交替反转码（AMI）、8 零替换码（B8ZS）和高密度双极性 3 零码（HDB3）。其中，8 零替换码（B8ZS）和高密度双极性 3 零码（HDB3）均是信号交替反转码（AMI）的变种，主要解决在数据序列中传输连续的比特 0 时，信号的同步问题。

（1）信号交替反转码（AMI）。

① 码型构成。信号交替反转码用无电压的状态表示二进制的 0，用交替的正、负电平表示 1。

② 波形如图 3-6 所示。

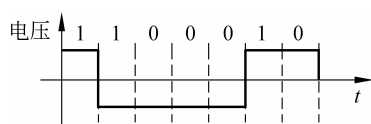


图 3-5 差分非归零反相码

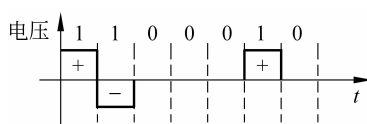


图 3-6 信号交替反转码

③ 优缺点。

优点：信号交替反转码用交替变换的正、负电平表示比特 1 的方法，使其所含的直流分量为 0。能取得同步信号。

缺点：对于较长的比特 0 序列，它还是无法取得同步信号。

（2）双极性 8 零替换码。8 零替换码是北美地区使用的一种 AMI 的变形码，为解决长 0 串提供同步信息的问题。

① 替换方法。B8ZS 通过对连续 8 个比特 0 进行替换来实现上述功能，具体的替换方法如图 3-7 所示。两种模式的选择取决于待转换序列的前导比特 1 所采用的极性。

② 接收端解码。无论选择哪种模式，在替换后的序列中均会出现两次相邻非零电平同极的现象。接收端正是通过检测这个特征来确定被替换序列的位置，以便把它还原成连续的 8 个比特 0。

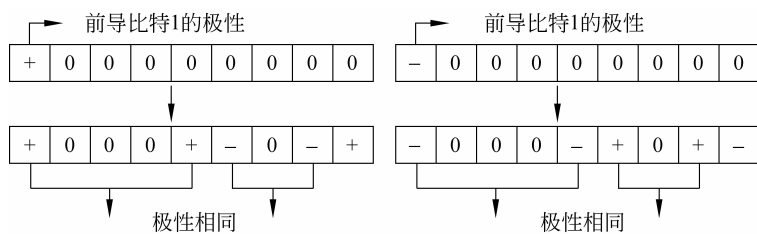


图 3-7 B8ZS 的替换方法

波形如图 3-8 所示。

(3) 高密度双极性 3 零码。为了克服传输波形中出现长连“0”的情况,人们在 AMI 码的基础上设计了改进型的 HDB3 码。在它的码字中最长连“0”数不超过 3 个。

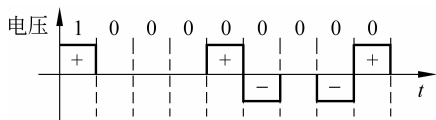


图 3-8 双极性 8 零替换码

HDB3 码的编码规则如下。

① 在传输的二进制序列中,当连“0”码不大于 3 个时,HDB3 码的编码规律与 AMI 码相同,即“1”码变为“+1”、“-1”的交替脉冲,“0”码保持不变。

② 当代码序列中出现 4 个连“0”码或超过 4 个连“0”码时,把连“0”码按 4 个“0”分节,并使第 4 个“0”码变为“1”码,用 V 脉冲表示,即将“0000”变为“000V”。为了便于识别 V 脉冲,要使 V 脉冲的极性与前一个“1”码脉冲极性相同。由于连“0”节的这种安排破坏了 AMI 码的极性交替变化规律,故称 V 脉冲为破坏点脉冲。“000V”称为破坏节。

③ 为使代码序列不含直流分量,要使相邻破坏点 V 脉冲的极性交替变化。

④ 要使两个相邻的破坏点 V 脉冲之间有奇数个“1”码,如果原序列中两个相邻的破坏点之间“1”码的个数为偶数个,则必须补为奇数。这就要使破坏节中的第一个“0”变为“1”码,并用 B 脉冲表示。这时破坏节变为“B00V”的形式。 B 脉冲的极性要求与前一个“1”脉冲相反,而保持 V 脉冲极性相同。

【例 3.1】 将二进制信息 10110000000110000001 编为 HDB3 码。

解:

二进制码: 1 0 1 1 0 0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 0 0 0 1

HDB3 码①: 1 0 -1 1 0 0 0 V_{+1} 0 0 0 -1 1 B 0 0 V_{-1} 0 1

HDB3 码②: 1 0 -1 1 B 0 0 V_{-1} 0 0 0 1 -1 B 0 0 V_{-1} 0 -1

上例中,HDB3 码①是指左边一个破坏点到假设破坏点 V_0 脉冲之间有奇数个“1”脉冲的情况。

而 HDB3 码②指左边一个破坏点到假设破坏点 V_0 脉冲之间有偶数个“1”脉冲的情况。所以第②种情况的第一个破坏节用 $B_{-1}00V_{-1}$ 表示。

需要指出的是: B_{+1} , B_{-1} 和 V_{+1} , V_{-1} 脉冲代表 +1, -1 脉冲。其波形是相同的。另外, HDB3 码的波形不是唯一的,它与出现 4 个连“0”码元前的状态有关。

HDB3 码的特点如下。

① 正负脉冲平衡,无直流分量,便于直接传输。

② 克服了出现长连“0”的缺点,也避免了因失去定时信息而造成的问题。

③ HDB3 码具有检错能力,当传输过程出现单个误码时,破坏点序列的极性交替规律将受到破坏,在接收端通过检查相邻的破坏点脉冲的极性是否符合极性交替规律便可进行差错检查,而且检查设备比较简单。正因为如此,HDB3 码在 PCM 基带传输和高次群传输中得到了广泛的应用。

波形如图 3-9 所示。

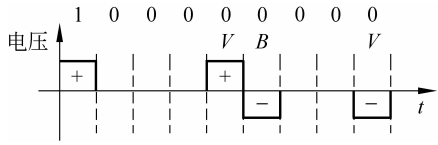


图 3-9 高密度双极性 3 零码

4. 裂相码

裂相码是一种在比特中点位置上电平跳转为相反极的码型。常用的两种裂相码是曼彻斯特码和差分曼彻斯特码。

(1) 曼彻斯特码。码型构成：在比特中点位置上电平的跳变既作为数据信息又作为同步信息。在比特中点位置上出现的从负电平到正电平的跳变表示二进制的“1”码,将此刻出现从正电平到负电平的跳变表示二进制的“0”码。

波形如图 3-10 所示。

(2) 差分曼彻斯特码。码型构成：以比特中点位置上电平的跳变作为同步信息。以比特开始时刻是否出现电平跳变作为数据信息,比特开始时刻出现电平跳变,则该比特表示 0,否则表示 1。

波形如图 3-11 所示。

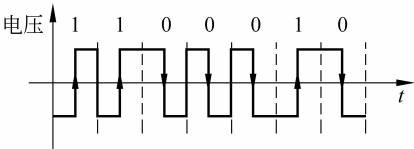


图 3-10 曼彻斯特码波形图

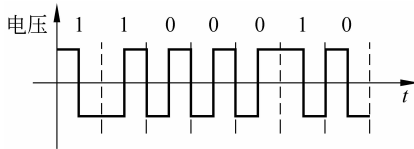


图 3-11 差分曼彻斯特码

裂相码的特点：裂相码通过位于比特中点电平跳变使数据信号自身夹带了时钟节拍,从而确保收发双方能够同步工作。但传输裂相码时需要更大的带宽。

在以太网(Ethernet)中就使用曼彻斯特码、差分曼彻斯特码技术。

5. 多电平码

多电平码是一种以 M 个电平状态表示由 n 个比特组成的码元的编码(其中 n 与 M 的关系是 $n = \log_2 M$)。常用多电平码有自然码、格雷码。多电平码所需的 M 个电平是以 0 电平为中心对称等距离设置的。例如,当 $M=4$ 时多电平码所选用的 4 个电平为 $3a$ 、 a 、 $-a$ 和 $-3a$ 。表 3-2 列出了在 4 电平自然码和 4 电平格雷码中电平与码元的对应关系。

表 3-2 $M=4$ 时自然码和格雷码的定义表

自然码		格雷码		自然码		格雷码	
电平	码元	电平	码元	电平	码元	电平	码元
$-3a$	00	$-3a$	00	a	10	a	11
$-a$	01	$-a$	01	$3a$	11	$3a$	10

优缺点如下。

优点：提高了传输效率和频带利用率。

缺点： M 越大抗干扰能力越低， M 一般不易超过 16。4 电平自然码波形如图 3-12，4 电平格雷码波形如图 3-13 所示。

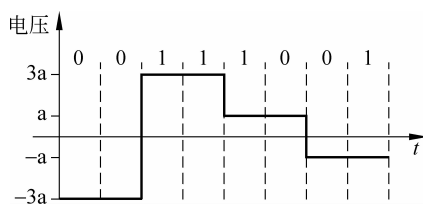


图 3-12 电平自然码

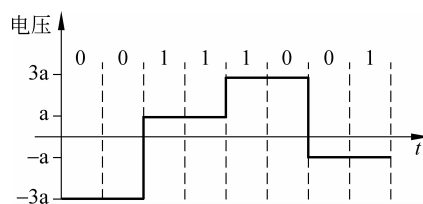


图 3-13 4 电平格雷码

通过上面的介绍可知，常用的码型很多，每种码型都各有其特点，在选择码型过程中根据实际情况从差错检测能力，信号的自同步能力，抗干扰能力，实现费用等因素出发进行综合考虑。

3.2.5 数字调制技术

数据通信中数字信号的传输方式，分为基带传输和频带传输。

基带传输：当二进制编码的“0”和“1”的符号用电脉冲的“正”、“负”表示时，形成的是基带信号，将基带信号直接在信道上传输的方式称为基带传输方式。

频带传输：将数字基带信号变换成适合信道传输的数字频带信号，用载波调制方式进行传输，这种传输方式称为频带传输。频带传输系统的基本结构如图 3-14 所示。

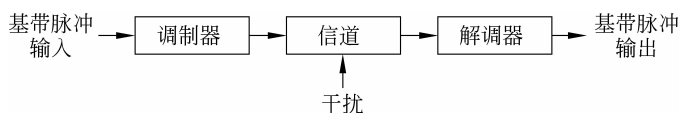


图 3-14 频带传输系统的基本结构

数字信号的载波调制有 3 种方法：即以数字基带信号去控制正弦载波的振幅、频率和相位，实现幅度键控(ASK)、频率键控(FSK)、相位键控(PSK)。

1. 数字幅度调制

用数字基带信号去控制正弦载波的振幅，使载波信号振幅随基带信号的变化而变化。

(1) 2ASK 信号的表示。在幅度键控调制(ASK)方式下，用载波的两个不同的振幅来表示两个二进制的值。假设用载波振幅等于 0 表示二进制数字信号的 0，用载波振幅等于 A 表示二进制数字信号的 1。即用振幅恒定载波的有无来表示二进制数字信号的 1,0，如图 3-15 所示。

(2) 2ASK 的特点。2ASK 含有较大的载波分量，而载波分量不携带基带信号的任何内容的，所以 2ASK 系统的频带利用率和功率利用率较低。

2. 数字频率调制技术

数字频率调制是用数字基带信号去控制正弦载波的频率，使载波信号的频率随基带信号的变化而变化，载波振幅保持不变。