

第3章 数字信号的基带传输

数字信号的传输通常分为基带传输和频带传输两种。由信源产生的原始信号所固有的频带称为基本频带，简称基带。通过话筒转换得到的语音信号、数字摄像机产生的视频信号、计算机等数字设备产生的数字信号都是基带信号。不经过调制而直接进行信号传输的方式称为基带传输。



3.1 数字基带信号

未经调制的数字信号称为数字基带信号，主要包括计算机等数字设备产生的信号及模拟信号经过 A/D 转换得到的信号。

3.1.1 数字基带信号的波形

信号的波形反映了信号的电压（或电流）随时间变化的情况。用于传输的数字基带信号的波形可以是各种各样的，本节介绍几种应用较广泛的数字基带信号的波形。

(1) 单极性 NRZ 波形

设数字信号是二进制信号，每个码元分别用“0”或“1”表示，则该信号的波形可以是如图 3-1 (a) 所示的形式，即单极性 NRZ 波形。这里，基带信号的零电平及正电平分别与二进制码元“0”“1”对应。容易看出，这种信号在一个码元时间内，不是有电压（或电流）就是无电压（或电流），电脉冲无间隔，极性单一。这种信号比较适合使用常用的数字电路进行处理。

(2) 双极性 NRZ 波形

双极性 NRZ 波形是指二进制码元“1”“0”分别与正、负电平对应的波形，如图 3-1 (b) 所示。它的电脉冲也无间隔。

与单极性 NRZ 波形相比，双极性 NRZ 波形有两个优点：一个是当“0”“1”码元等概率出现时，它将无直流成分；另一个是当接收端有正、负电平时，可以直接用零电平作为判决电平。

(3) 单极性归零 (RZ) 波形

单极性 RZ 波形也称占空码，它的特点是电脉冲的宽度小于码元长度，每个电（电压、电流）脉冲在一个码元时间内总是要回到零电平，如图 3-1 (c) 所示。一个码元时间内正电平的宽度与零电平的宽度之比称为占空比。单极性 RZ 波形的主要缺点是由于脉冲宽度变窄，因此信号带宽增加，传输时会占用更宽的信道带宽。

(4) 双极性 RZ 波形

双极性 RZ 波形是双极性 NRZ 波形的归零形式，如图 3-1 (d) 所示。此时对应每个码元

都有零电平的间隙，即便是连续的“1”或“0”，都能很容易地分辨出每个码元的起止时间，因此接收机在接收这种波形的信号时，很容易从中获取码元同步信号。

(5) 差分波形

差分波形是一种将信码“0”和“1”反映在相邻码元的相对极性变化上的波形。例如，以相邻码元的极性改变表示信码“1”，而以相邻码元的极性不改变表示信码“0”，如图3-1(e)所示。这样的波形在形式上与单极性NRZ波形或双极性NRZ波形相同，但它所代表的信码与码元本身极性无关，而仅与相邻码元的极性变化有关。差分波形也称为相对码波形，而相应地称前面的几种波形为绝对码波形。

(6) 曼彻斯特波形

如图3-1(f)所示，每个码元被分成高电平和低电平两部分，前一半代表码元的值，后一半是前一半的补码。例如，图3-1(f)中的1码，前半个码元是高电平，后半个码元是低电平，0码则反之。从这个波形中可以看到，无论信码如何分布，其高、低电平的延续时间不会超过一个码元长度，因此很适合从这种信号中提取码元同步信号，但曼彻斯特波形也有跟RZ波形一样的缺点，即由于脉冲宽度变窄，因此信号带宽增加。这种码常被用作数字信令码。

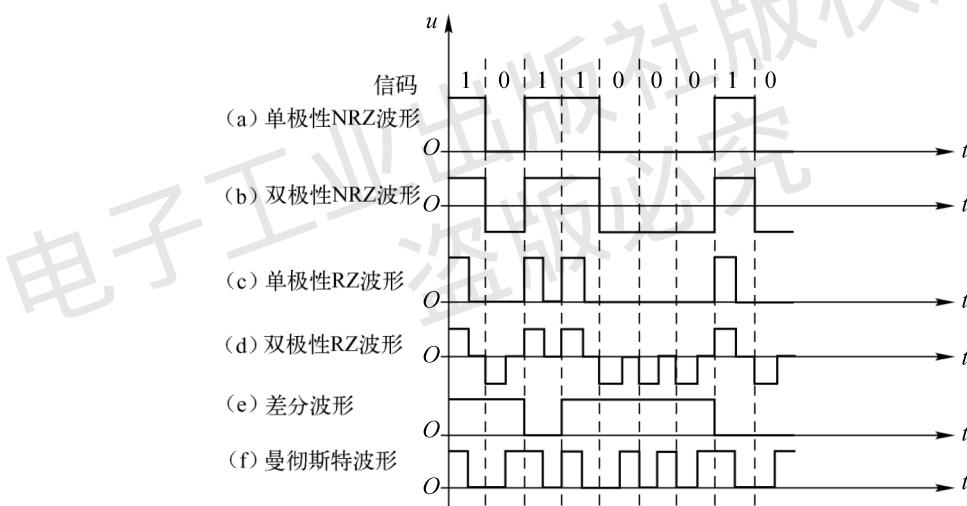


图3-1 数字基带信号波形图

3.1.2 数字基带信号常用信道编码码型

数字信号能否在数字通信系统中有效且可靠地传输，与数字信道的传输特性和数字信号的码型有很大的关系。受各种条件的制约，数字信道的传输特性往往不易控制，因此选择合适的信号码型以与信道相匹配显得非常重要。

信道编码必须根据信道的传输特性和通信系统的工作条件进行，一般所选码型的结构应满足以下几个方面的条件。

- ① 直流分量为零（对光纤传输为直流平衡度好），低频和高频分量小。
- ② 含有时钟分量或经过简单变换就含有位定时时钟分量。
- ③ 码型变换过程应与信源的统计特性无关，要便于进行时钟提取。例如，当信源信码中出现多个连续“1”码或“0”码时，接收端不会因此而失去同步。

- ④ 具有一定的误码检测能力。
- ⑤ 不应因编码而使通信系统的信息传输速率下降,也就是不应增加额外的码元。
- ⑥ 设备不能过于复杂,应避免生产成本增加。

在数字电话通信中,信道编码码型有很多种,包括信号交替反转(AMI)码、三阶高密度双极性(HDB₃)码、编码传号反转(CMI)码和差分模式反转(DMI)码、mBnB码等,其中AMI码和HDB₃码是较为常用的码型。

(1) AMI 码

AMI码又称双极性码,是一种1B1T码,即将一个二元码变换为一个三元码,一般用3个电平+E、0、-E表示。变换规则是:0电平表示“0”码;+E电平和-E电平都表示“1”码(传号)。但+E电平与-E电平要交替出现,如图3-2(a)所示。

由于+E电平与-E电平交替出现,因此功率谱中没有直流分量,低频分量也很小。如果传输过程中发生单个错误,则会违反传号交替反转规则,因此AMI码可用于进行误码检测。

AMI码的发送与接收电路实现简单,在电缆数字传输等场合得到广泛应用。但是AMI码有一个缺点,即当它用来获取定时信息时,如果出现长时间的“0”码,则接收端会出现长时间的0电平,这会造成提取码元同步信号的困难。

(2) HDB₃码

HDB₃码是AMI码的改进码型,解决了AMI码在长时间为“0”码时可能出现的位同步信息丢失问题。当输入信号中有4个连续“0”码时,就将它们替换为另外的4个码,其中包括违反极性交替规则的码,使接收端能识别出来。这样,HDB₃码中连续“0”码的个数最多为3。它的编码原理如下。

- ① 如果信码中没有4个及以上连续“0”码,则按AMI码的编码规则对信码进行编码。
- ② 当信码中出现4个及以上连续“0”码时,将4个连续“0”码看作一个连0段,将第4个“0”码改成非0符号(相当于“1”码),称为V码,如果V码之后紧接着再出现4个及以上连续“0”码,则将第二个连0段的第4个“0”码也改为V码。

③ 所有V码的极性必定与其前一个非0符号的极性相同。在编码过程中,当相邻两个V码的极性可能相同时,就在第二个V码所在的连0段中将第一个“0”码改为非0符号,其极性与前一个非0符号的极性相反,这个码称为B码,其后V码的极性仍与该B码的极性相同。

从图3-2(b)中可以看出,HDB₃码中连续“0”码的个数不会超过3,相邻V码的极性必定相反,V码与其前面相邻的非0符号之间的极性必定相同,同一连0段中B码与V码之间有两个“0”码。

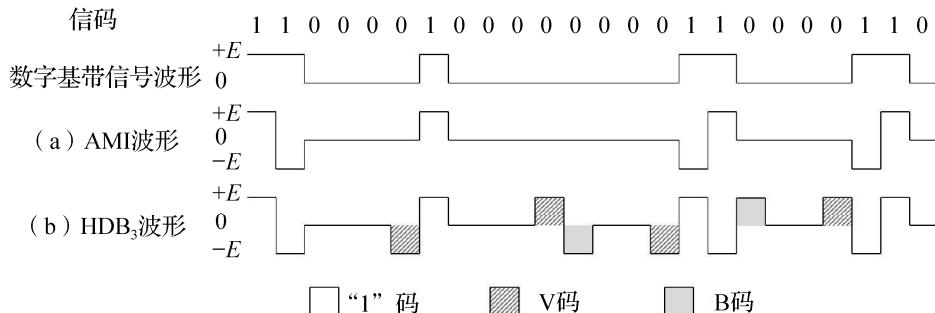


图3-2 AMI波形与HDB₃波形示例

虽然 HDB₃ 码的编码规则比较复杂，但其译码却相当简单，只要相邻两个非 0 符号的极性相同，后一个码就一定是 V 码，可译作“0”码；V 码前一定有 3 个“0”码，其中可能存在的 B 码就可以转换成“0”码；其余的非 0 符号无论是正电平还是负电平都译作“1”码，这样 HDB₃ 码的译码就完成了。

HDB₃ 码的优点是明显的，除保持了 AMI 码的优点以外，还增加了使连续“0”码减少到至多 3 个的优点，而不管信源的统计特性如何，这对于码元同步信号的提取是十分有利的。

(3) CMI 码和 DMI 码

CMI 码是一种二电平 NRZ 码，其编码规则为：NRZ 码中的“0”码编为“01”码；“1”码交替地编为“00”码或“11”码；编码后每位码占单位时隙的一半。

DMI 码也是一种二电平 NRZ 码，其编码规则为：NRZ 码中的“1”码交替地编为“00”码或“11”码；对“0”码，若前两个码为“01”码或“11”码则编为“01”码，若前两个码为“10”码或“00”码则编为“10”码。

CMI 波形和 DMI 波形示例如图 3-3 所示。二者共有的优点是，因为编码状态交替，所以具有误码检测能力；“0”码与“1”码变换频繁，连续“0”码和连续“1”码的个数最多为 3，有利于时钟的提取。

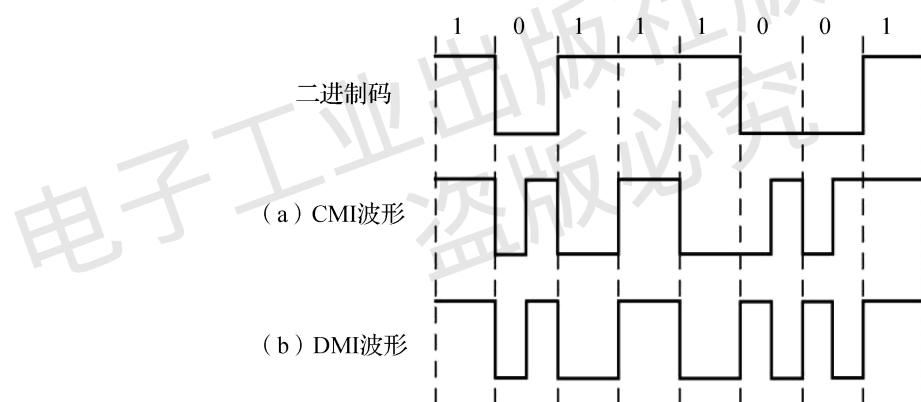


图 3-3 CMI 波形与 DMI 波形示例

(4) mBnB 码

尽管 HDB₃ 码有许多优点，但它实际上是一个三电平码，因为在接收端必须判别正电平、零电平和负电平，给信号的接收带来了很大的不便，而在有些情况下必须用二电平信号。例如，在光通信中，由于光只适合用来表示两种状态，因此可采用 mBnB 码。

mBnB 码又称分组码。上面介绍的 CMI 码和 DMI 码等属于 1B2B 码。用 2 位代表 1 个二电平码，要求线路的传输速率升高一倍，所需信道带宽也要增大。把 1B2B 码推广到一般的 mBnB 码，即 m 个二电平码按一定规则变换为 n 个二电平码，且 $m < n$ 。这样变换后的码流就有了冗余，除传送原来的信息外，还可以传送与误码检测等有关的信息，并且改善定时信号的提取和直流分量的起伏问题。 m 、 n 越大，编码器与解码器就越复杂。在光纤通信中，5B6B 码被认为在编码复杂性和比特冗余度之间有最合理的折中，在国内外三次、四次群光通信系统中应用较多。它的编译码电路较简单，并且具有一定的误码检测能力。



3.2 基带传输系统

3.2.1 基带传输系统的基本组成

基带传输是数字信号传输的基本形式。如果信道具有低通传输特性，则数字基带信号可以直接在信道中传输。这种情况一般发生在数字设备之间近距离的有线传输过程中，如计算机 LAN、计算机与外部设备之间的通信。基带传输系统的基本构成框架如图 3-4 所示。

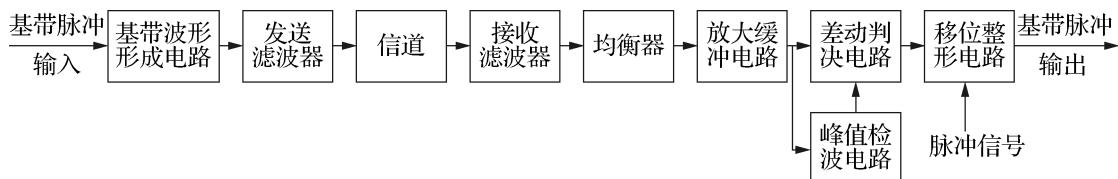


图 3-4 基带传输系统的基本构成框图

发送滤波器用于将原始的数字信号序列变换为适合信道传输的信号，即形成适合在信道中传输的信号波形。

接收滤波器用于滤除信号频带以外的噪声，避免带外噪声进入接收系统，以提高判决点的信噪比。

均衡器用于对信道的特性进行补偿，均衡信道畸变。从图 3-5 中可以看出，经过均衡以后，信号的波形已比较接近发送信号的波形，但仍然是非矩形波，还需要进行差动判决和移位整形。

峰值检波电路用于提取信号的平均值作为判决电平，差动判决电路用于对信号电平与判决电平进行比较，当信号电平高于判决电平时输出高电平，当信号电平低于判决电平时输出低电平。

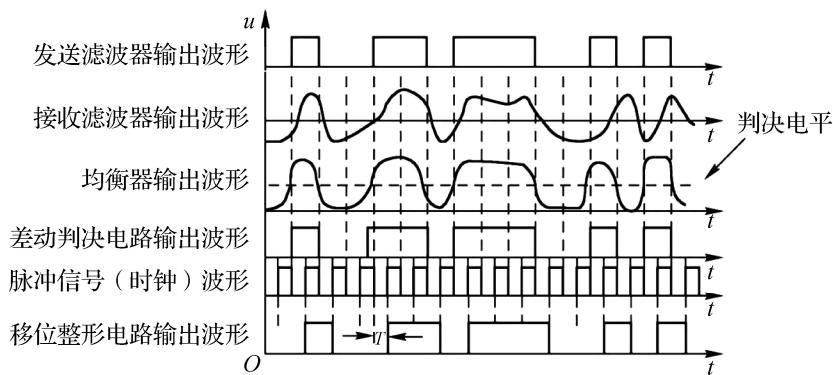


图 3-5 基带传输过程中的波形图

图 3-5 所示为基带传输过程中的波形图。差动判决后的信号波形虽然已是矩形波，但其脉冲的前、后沿时刻是随机的，发生在放大缓冲电路的输出电平与判决电平相交的时刻，这个时刻受信道传输特性与噪声的影响，每个码元的长度也是随机变化的，需要由脉冲信号(时钟)重新定时，并进行移位整形。这个脉冲信号与发送端的时钟是严格同步的，在它的控制下，每个码元的长度与发送端相同，如果不产生误码，那么移位整形电路将输出与发送端完



全一样的信号。

从图 3-5 中还可以看出，由于每个码元在中间时刻受信道传输特性的影响最小，因此重新定时的时间（脉冲信号的上升沿）选在这个时刻可以使误码产生的可能性减小，这样，信号在传输过程中除有信号传播时延之外，还要加上半个码元长度的处理时延 T 。

3.2.2 无码间串扰的基带传输系统

(1) 码间串扰及其产生原因

基带传输系统要获得良好的性能，必须使码间串扰和噪声的综合影响足够小，使系统总的误码率达到规定的要求。

码间串扰（或干扰）简单来讲是指相邻码元间的互相影响。它的产生是因为信道频率特性不理想引起波形畸变，当将一个矩形脉冲输入一个带宽有限的系统中时，其输出会延续比脉冲宽度更长的时间，从而导致每个码元的实际取样判决值是本码元脉冲波形的值与同一信号中前面所有码元脉冲波形拖尾的叠加。码间串扰会导致系统抗干扰能力下降，严重时会使接收端判决困难进而直接产生误码。

为了使基带脉冲传输获得足够低的误码率，必须最大限度地减小码间串扰和噪声的影响。这也是研究数字基带信号传输的基本出发点。

(2) 码间串扰的消除

无码间串扰是基带传输系统设计的基本目标。由于信道的传输频带不可能无限宽，因此前一个码元脉冲必定会出现拖尾现象。如果在特定的时刻（取样时刻）前一码元对后一码元的影响正好为零，那么仍然可以准确无误地恢复后一个码元。这就是所谓的奈奎斯特第一准则的本质。

设基带传输系统具有理想的低通传输特性，其截止频率为 B ，则该系统无码间串扰时最高的传输速率为 $2B$ (Baud)。这个速率通常被称为奈奎斯特速率，它是系统的最高码元速率。相应地， $T_b = 1/(2B)$ 为系统无码间串扰时的最小码元间隔，称为奈奎斯特间隔。

反之，输入的码元序列若以 $1/T_b$ 的码元速率进行无码间串扰传输，则所需的最小传输带宽为 $1/(2T_b)$ (Hz)。通常称 $1/(2T_b)$ 为奈奎斯特带宽。

单位频带所能传输的码元速率称为频带利用率，理想基带传输系统的频带利用率为 $2\text{Baud}/\text{Hz}$ ，这是最大的频带利用率。实际上，理想基带传输系统并不存在，因此码间串扰也不可能完全消除，通常在基带传输系统中会附加一个可调的补偿电路以改变系统的传输特性，通过观察眼图的方式进行调试，以尽可能在取样时刻获得最小的码间串扰。

数字信号在基带传输系统中传输时除受到码间串扰的影响以外，还会受到各种噪声的影响。在单极性基带传输系统与双极性基带传输系统波形的峰值相等、噪声均方根也相等时，单极性基带传输系统的抗噪声性能不如双极性基带传输系统。因此，基带传输系统多采用双极性信号进行传输。

3.2.3 眼图

眼图观测是衡量码间串扰最直观的方法，也是对基带传输系统进行调试以消除码间串扰

的有效手段。眼图由示波器显示。示波器采用外同步方式，扫描周期为码元周期 T_B 或 T_B 的整数倍，多个波形叠加在一起会在示波器上显示出类似人眼的图形，故得名眼图。

当输出码元之间无码间串扰时，每个波形都是规则的，多个波形完全重叠，这时在示波器上可以看到一个理想的图形，如图 3-6(a) 所示。这里示波器的扫描周期为码元周期 T_B ，图中显示一个完全张开的“眼睛”，其特点是“眼睛”大而清晰。

当输出码元之间有码间串扰时，各波形不能完全重叠，“眼眶”会明显减小且模糊，如图 3-6(b) 所示。由此可以看出，眼图的“眼睛”张开的大小反映了码间串扰的程度。眼图可以简化为一个模型，如图 3-7 所示。

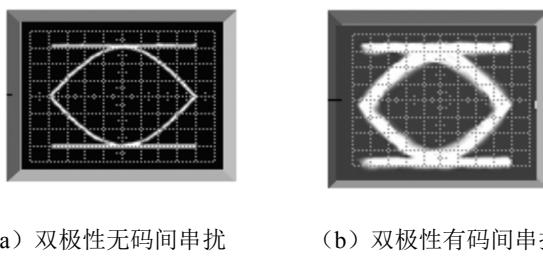


图 3-6 眼图

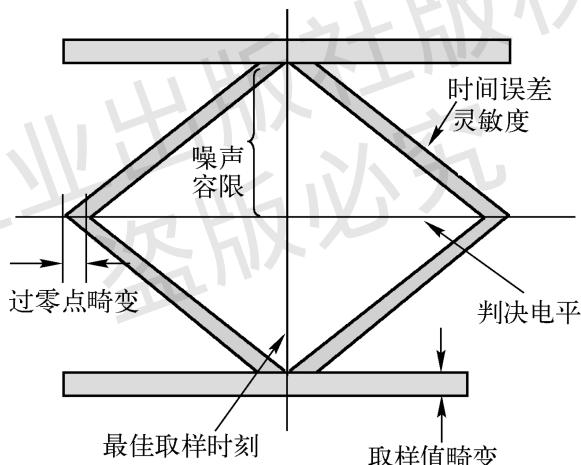


图 3-7 理想眼图模型

图 3-7 的特性如下。

- (1) 最佳取样时刻应是“眼睛”张开得最大的时刻。
- (2) 眼图斜边的斜率表示对取样时刻误差的灵敏度，称为时间误差灵敏度，斜率越大，表示时间误差灵敏度越高，在定时不稳定的情况下产生误码的概率就越大，通信质量就越容易下降。
- (3) 图中阴影区的垂直高度表示信号的畸变范围。
- (4) 图中央的横轴位置应对应判决电平。
- (5) 在取样时刻，上、下两阴影区之间距离的一半称为噪声容限（或称噪声边际），若噪声瞬时值超过它，则可能发生错误判决。

3.2.4 再生中继

当数字信号在信道中以基带方式传输时，由于信道传输特性不理想，且存在噪声和干扰，

因此传输的信号波形会失真、幅度会减小、信噪比会下降，并且随着传输距离的增加，这种情况会越来越严重，以至于传输了一定距离后，接收端无法识别接收到的信码是“1”码还是“0”码，从而导致通信无法进行。为了确保信号的正常接收，信号的传输距离不能太长。

如果要延长通信距离，则可以采用每隔一定距离加一个再生中继器的方式，由再生中继器对已经失真和受到干扰的信号进行再生处理，在码间串扰和干扰尚未造成误码时恢复原来的数字信号，继续向下传送。

再生中继器由均衡放大、定时提取和再生判决三部分功能电路组成。在延长通信距离后信号虽然有失真和衰减，但因为程度较低，所以经过均衡放大、定时提取和再生判决后还可以完全恢复原来的数字信号。能够再生中继是数字通信与模拟通信相比最大的优点之一，即数字通信可以消除传输过程中的噪声积累。



3.3 数字通信的基本方式

3.3.1 并行传输与串行传输

数字通信系统在传输信号时有两种方式：一种是使用8条信号线和1条公共线（地线）同时传送8位二进制码，这种方式称为并行传输；另一种是使用1条信号线和1条地线依次传送8位二进制码，这种方式称为串行传输。图3-8所示为数据的并行传输与串行传输示意图。

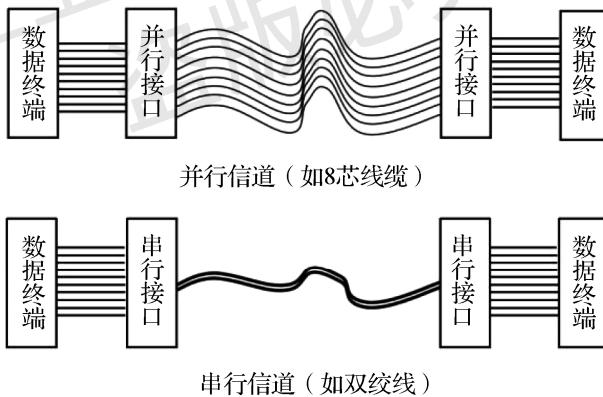


图3-8 数据的并行传输和串行传输示意图

并行传输的特点是各数据位同时传输，传输速度快、效率高，设备简单，但由于要用到多条信号线（信道）和收发设备，因此传输成本高，且只适合进行近距离传输，常用于计算机主机与外部设备之间的连接及室内计算机之间的联网。

串行传输的特点是数据一位一位地按顺序传输，最少只需一对传输线（一个信道）即可完成，传输成本低但传输速度慢，在远距离有线通信和无线电通信场合串行传输几乎是唯一的选择。

3.3.2 单工传输与双工传输

数据通常在两个站（如DTE和微机）之间进行相互传输，按照数据流的方向可分为三种

基本的传输方式：全双工传输、半双工传输和单工传输。

如果在通信过程中的任意时刻信息只能由一方传到另一方，则这种传输方式称为单工传输。采用单工传输方式的典型发送设备有早期计算机的读卡器，典型接收设备有打印机。单工传输方式目前已很少采用。

如果通信系统中使用同一条传输线既进行接收又进行发送，虽然数据可以在两个方向上传输，但通信双方不能同时收、发数据，则这种传输方式称为半双工(Half Duplex)传输，如图3-9所示。当采用半双工传输方式时，通信系统每一端的发送器和接收器通过收/发开关转接到通信线上，收/发开关用于进行信号传输方向的切换。例如，很多手持对讲机就是半双工设备，发送数据和接收数据使用同一个信道，在同一时刻只能有一方说话。



图3-9 半双工传输示意图

如果通信系统中数据的发送和接收分别由两个传输通道进行传输，通信双方能在同一时刻进行发送和接收操作，则这种传输方式称为全双工(Full Duplex)传输，如图3-10所示。这种传输方式要求通信双方的发送器和接收器同时工作，数据同时在两个方向上传输，且没有切换操作产生的时间延迟，这对那些不能有时间延误的交互式应用（如远程监测和控制系统）十分有利。例如，电话是全双工设备，通信双方可同时说话和接听。

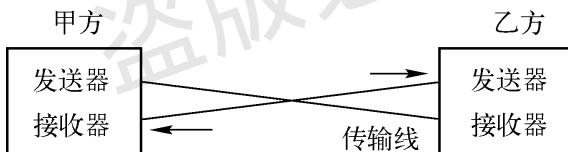


图3-10 全双工传输示意图

3.3.3 同步传输与异步传输

(1) 同步的含义

在数字通信过程中，当发送器通过传输介质向接收器传输数字信号时，如每次发出一个字符（或一个数据帧），接收器必须识别出该字符（或数据帧）的起始位和停止位，以便在适当的时刻正确地读取该字符（或数据帧）每一位的信息，这就是接收器与发送器之间的基本同步问题。

因此，当以数据帧传输数字信号时，要求发送器对所发送的数字信号采取以下两种措施：在每帧数据的前面和后面分别添加有别于数字信号的起始位和停止位；在每帧数据的前面添加时钟同步信号，以控制接收器的时钟同步。

接收端一般可通过三种方式获得时钟同步信号：①由一个主时钟为收、发双方提供码元定时脉冲，这种方式称为主时钟方式，如图3-11所示；②接收端从发送端获得码元定时脉冲，这种方式称为引导时钟方式，如图3-12所示；③接收端自行产生码元定时脉冲。前两种方法

接收端与发送端的码元定时脉冲保持同步，相应的数据传输称为同步传输（Synchronous Transmission）；后一种方式接收端与发送端各自采用两个互不相关的时钟电路，其频率与相位总会有一些差异，不能同步，相应的数据传输称为异步传输（Asynchronous Transmission）。

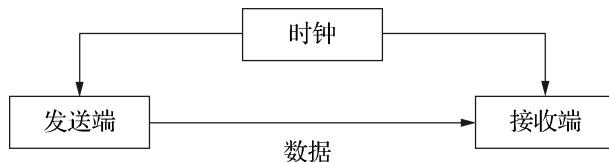


图 3-11 主时钟方式示意图



图 3-12 引导时钟方式示意图

(2) 同步传输

在同步传输模式下，通信双方需要有一个公共的时钟。在主时钟方式下，接收端从单独的时钟通道中获取码元定时脉冲；在引导时钟方式下，接收端与发送端之间可以用专用的通道传送码元定时脉冲，也可以由接收端直接从接收的信号中提取码元定时脉冲，这种方法称为自同步。

在进行同步传输时，为了使接收端能判定数据块的开始和结束，还必须在每个数据块的开始及结束处各加一个帧头和一个帧尾，加有帧头和帧尾的数据称为一帧数据。

同步传输以数据帧为单位传输数据，可采用字符形式或位组合形式的帧同步信号（后者的传输效率和可靠性高），由发送器或接收器提供专用于同步的时钟信号。

同步传输模式由于传输效率高、可靠性好，因此被广泛应用于业务量较大的通信系统。

(3) 异步传输

异步传输以字符为单位传输数据，它将比特数据分成小组进行传送，小组可以是 1 个 8bit 的字符或更长的字符，采用位形式的字符同步信号，发送器和接收器具有相互独立的时钟（频率相差不能太大），并且两者中任一方都不向对方提供时钟同步信号。异步传输的发送器与接收器在数据可以传输之前不需要协调：发送器可以在任意时刻发送数据，而接收器必须处于随时准备接收数据的状态。异步传输的一个常见例子是键盘与计算机的通信，按下一个字母键、数字键或特殊字符键，就发送一个 8bit 的 ASCII 码。键盘可以在任意时刻发送 ASCII 码，这取决于用户的输入速度，内部的硬件必须能够在任意时刻接收键入的字符。

常见的码组同步方法是起止同步法，它将数据流以 5 个或 8 个码元为单位分组，每组之前加一位起始码，固定为低电平，每组之后加 1 位或 2 位停止码，固定为高电平，所有空闲时间也均为高电平，如图 3-13 所示。起始码用来通知接收端数据已经到达，这就给了接收端响应、接收和缓存数据比特的时间；在传输结束时，停止码表示该次传输信息的终止。例如，按键盘上的数字 1 键，按照 8bit 的扩展 ASCII 码，将发送“00110001”，同时需要在 8bit 数据的前面加一个起始位，后面加一个停止位。

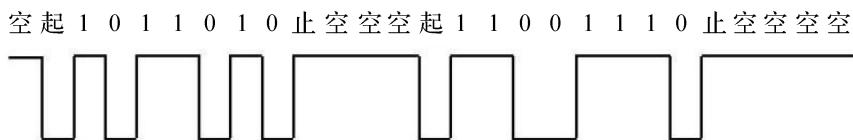


图 3-13 起止同步法

异步传输的实现比较容易，但由于每个信号都加上了同步信号，因此产生了较大的开销。在上面的例子中，每 8bit 数据要多传送 2bit 数据，总的传输负载就要增加 25%。因此，异步传输常用于低速设备，如键盘与计算机、电视机与遥控器之间的通信，因为在这种情况下，发送端并不是一直在发送信号，接收端也就很难获得同步时钟信号。另外，这类通信不要求具有过高的数据传输速率，没有必要采用较复杂的同步传输方式。



本章小结

未经调制的数字信号称为数字基带信号，数字基带信号可以直接在基带传输系统中进行传输。数字基带信号有很多种波形，常见的有单（双）极性 NRZ 波形、单（双）极性 RZ 波形等。为了使信号能同时携带时钟同步信号、消除信号中的直流分量，在进行基带传输时往往会对信号的码型进行一些变换，常用的信道编码码型有 AMI 码和 HDB₃ 码。

用于数字信号基带传输的介质一般都是双绞线，数字基带信号在信道中传输时会衰减、失真并受到各种干扰和噪声的影响。如果信道的带宽与码元速率相近，则会出现同一个信号相邻码元之间的相互串扰，称为码间串扰。根据数字信号的特点在基带传输系统的接收端合理地设计均衡器以补偿信道传输特性，可以减少甚至消除码间串扰。衡量码间串扰最直观的方法是眼图观测。为了消除码间串扰及各种干扰和噪声的影响，基带传输系统在接收到信号后一般都要进行码元的判决和整形。为了延长通信距离，可以每隔一定距离加一个再生中继器。

数字基带信号可以并行传输，通常传输距离在几米的范围内，也可以串行传输，传输距离与双绞线的规格有关，一般在几千米的范围内。

信号只单向传输的方式称为单工传输。双工传输有半双工传输和全双工传输两种方式，在半双工传输方式下，传输系统两端只占用一个信道，分时进行正向和反向数据传输；在全双工传输方式下，传输系统两端占用两个不同方向的信道同时进行双向的数据传输。

传输系统的两端可以用同一个时钟进行信号的发送与接收判决，这种传输方式称为同步传输，常用于连续的数据传输；也可以用两个不同的时钟（频率相差不能太大）进行发送和接收判决，这种传输方式称为异步传输，常用于偶发性的数据传输。



思考与练习题

- 3.1 选择线路码型应考虑哪些问题？
- 3.2 从传输角度考虑，AMI 码有何特点？
- 3.3 设 NRZ 码为 010000100000001100000，画出相应的 AMI 码、HDB₃ 码、CMI 码和 DMI 码的波形。

- 3.4 码间串扰是如何形成的？
- 3.5 无码间串扰传输的条件是什么？
- 3.6 眼图的作用是什么？理想的眼图模型是怎样的？
- 3.7 串行传输和并行传输有什么不同？
- 3.8 在数字通信中，为什么要实现同步？什么是同步传输？
- 3.9 什么是异步传输？

电子工业出版社版权所有
盗版必究