

项目3 认识数据通信系统

在完成本项目后，你将能够：

- 初步了解物理层解决的一些技术问题。
- 对数据通信系统有基本了解。
- 掌握基本的信号传输技术、调制技术、编码技术、复用技术、同步技术和差错控制技术。

3.1 体验感知

【体验 1】 使用示波器检测和观察计算机串口通信线路上的电信号（也可以观察单片机中串口通信线路）。

【感受】

- 若线路上传输的电信号是数字信号，则观察到的是多个离散方波（电压脉冲），如图 3-1 所示。
- 可以使用电压的“有”和“无”（或“高”和“低”）两种状态来表示计算机里的数据“1”和“0”。

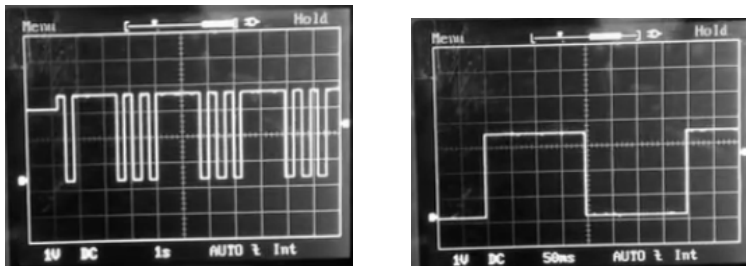


图 3-1 离散方波

【体验 2】 使用示波器检测和观察电话线路上的电信号。

【感受】

- 电话中听到的是连续的声音数据，在线路上观察到的是连续的电磁波信号，连续模拟信号如图 3-2 所示。

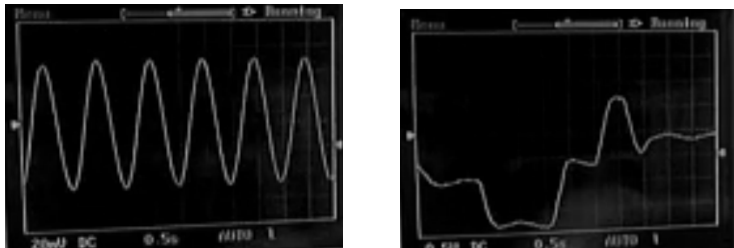


图 3-2 连续模拟信号

3.2 提出问题

信号在线路中是什么形式的？

什么情况传输的信号是连续的电磁波？什么情况传输离散的方波？

如何表示计算机产生的“0”和“1”数据？

每个波形只代表 1bit 吗？

3.3 探究学习

3.3.1 通信基本概念

信息：信息是对客观事物的反应，例如，对气温、性别、日期、声音、图像等事物的描述。

数据：能够反映信息的具体情况，例如，连续变化的温度值、男和女、连续变化的声波、图像中连续点的颜色值，这些都是数据。数据是事物的表示形式，而信息是数据的内容和解释。

数据有的是连续的、有的是离散的，我们将连续变化的数据称为模拟数据，将离散变化的数据称为数字数据。想一想，上述信息所反映的数据中哪些是数字数据？哪些是模拟数据？

信号：信号是数据在传输过程中的物理表现形式，当信号以电的形式传输时，称为电信号。电信号可以是连续的电磁波，称为模拟信号；也可以是离散的方波，称为数字信号，正如我们在体验课堂中通过示波器观察到的一样。信号还可以用无线电、光等形式传输。

模拟信号和数字信号可以直接传输，但是特性不同。

模拟信号的优点是直观且容易实现，并通过分配频段可以同时传输多路信号；主要缺点是抗干扰能力弱。

数字信号的优点是抗干扰性能好，传输的信号质量高；主要缺点是占用频带较宽，链路利用率低，技术要求复杂，对同步技术要求精度很高。在数字技术仍有众多问题的早期，远距离通信信号大多数在发送端将计算机产生的数字信号通过调制解调器（Modem）转换成模拟信号后再传输，到接收端再由调制解调器将模拟信号转换成数字信号传给计算机。

信道：传输模拟信号的信道称为模拟信道；传输数字信号的信道称为数字信道。信道



还有物理信道和逻辑信道之分。用来传输信号的物理通路称为物理信道，物理信道由传输介质和连接器件组成。逻辑信道指在物理信道的基础上，通过节点内部建立的多条逻辑通道。例如，按照频带不同，一条物理信道上可以有多条逻辑信道。

3.3.2 调制和编码

“调制”是将基带信号转换成适于信道传输的频带信号的过程。将已调信号恢复成原始的基带信号的过程称为“解调”。基带信号是未经过调制的数字信号或模拟信号，它是原始信号，也被称为调制信号。

调制过程需要载波信号，载波或载频（载波频率）是一个物理概念，其实就是一个特定频率的无线电波，单位为Hz。我们将数字信号或模拟信号调制到一个连续的高频载波上，然后再发送和接收。所以载波是传输信息（话音和数据）的物理基础，是最终的承载工具。形象地说，载波是一列火车，用户的信息是货物。

调制的具体过程是用基带信号去控制载波信号的某个或几个参量的变化，将信息荷载在其上形成已调信号。调制技术包括幅度调制、频率调制和相位调制，如图 3-3 所示。

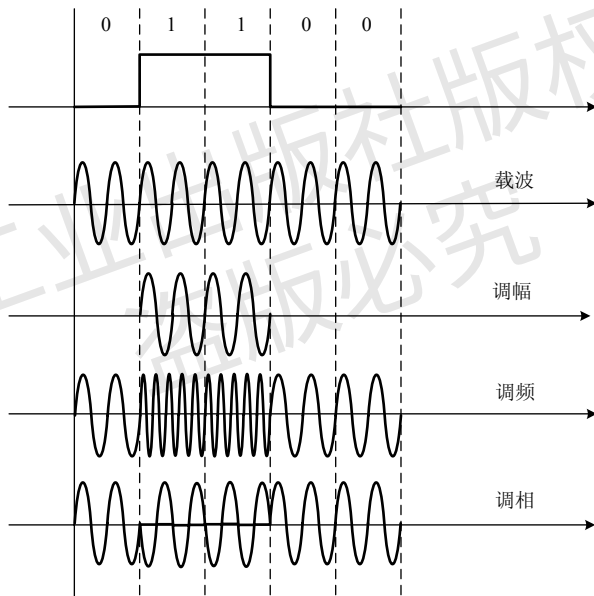


图 3-3 调制技术

调幅（Amplitude Modulation, AM），使载波的幅度随调制信号的大小变化而变化的调制方式。

调频（Frequency Modulation, FM），使载波的瞬时频率随调制信号的大小而变，但幅度保持不变的调制方式。

调相（Phase Modulation, PM），利用调制信号控制载波信号的相位。

用来实现调制解调功能的设备称为调制解调器（Modem）。由于普通电话线上只能传输模拟信号，因此调制解调器要将计算机上的数字信号调制成模拟信号后经电话线传输，载波携带着计算机上的数字信息传输到对方的调制解调器上进行解调后才能传输给对方计算机。

调制后传输的是高频电磁波，编码后传输的则是脉冲信号。

脉冲编码调制（Pulse Code Modulation, PCM）技术是将模拟信号转换为数字信号的一种编码技术。它的具体过程分为三步：采样、量化和编码，脉冲编码调制如图 3-4 所示。

第一步：将连续变化的模拟信号（语音信号）通过一定频率的采样变成离散的采样电信号。

第二步：将每个采样点的幅值用一组规定的电平值量化。

第三步：将每个采样点量化后的幅值使用一组二进制码来表示，即编码。

脉冲编码调制技术是最常用的将语音信号数字化编码的方法。

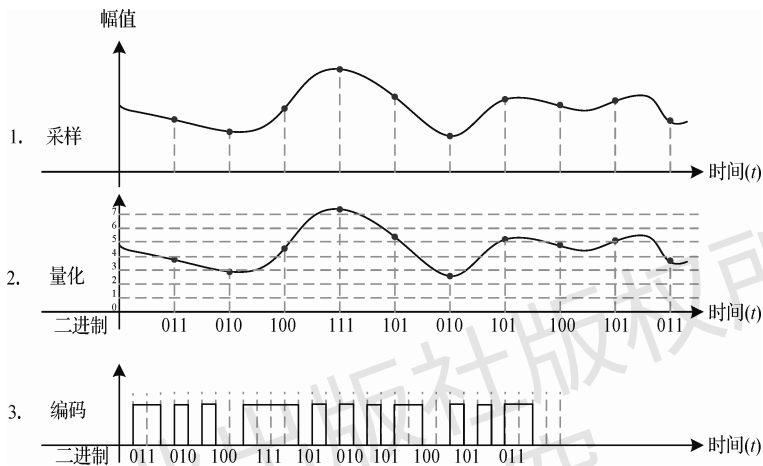


图 3-4 脉冲编码调制

传输数字信号的过程必须解决编码和同步问题。编码即什么信号代表“1”和“0”，同步即如何从连续的脉冲信号中精确地区分每个信号的起始和结束。用来进行编码和解码的设备是编解码器。

常见的编码方法有非归零编码、曼彻斯特编码和差分曼彻斯特编码。其中，曼彻斯特和差分曼彻斯特编码规则中信号自带同步信息。目前为适应高速以太网的发展，数字编码又出现了许多新的技术，二进制数据通过各种编码技术后在传输过程中的代码不同，各种编码的抗噪声特性、定时能力和实现费用都不一样。

非归零编码的规律是当“1”出现时电平跳变，当“0”出现时电平不变。通过电平是否跳变来区分“1”和“0”。这种编码不能自己定时，收发双方需要再配置定时线路。非归零编码用在终端到调制解调器的接口中。

曼彻斯特编码的规律是用高电平到低电平的跳变表示“0”，而用低电平到高电平的跳变表示“1”。比特中间的跳变既反映了数据，也作为定时信号使用。曼彻斯特编码用在以太网中。

差分曼彻斯特编码的规律是比特中间的电平跳变仅作为定时信号，不表示数据。每比特开始处是否有电平跳变代表数据：有电平跳变代表“0”，没有电平跳变代表“1”。差分曼彻斯特编码用在令牌环当中。

数字编码技术如图 3-5 所示，表示了三种编码方案的区别。

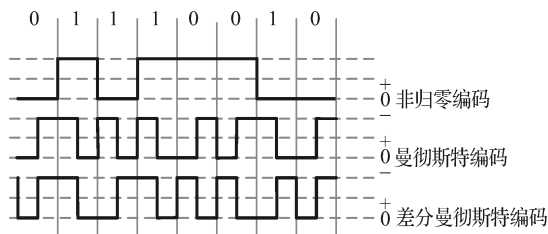


图 3-5 数字编码技术

3.3.3 数据通信系统模型

数据通信系统的一般结构包括三部分：数据终端设备（Data Terminal Equipment, DTE）、数据通信设备（Data Communication Equipment, DCE）和通信线路，数据通信系统模型如图 3-6 所示。

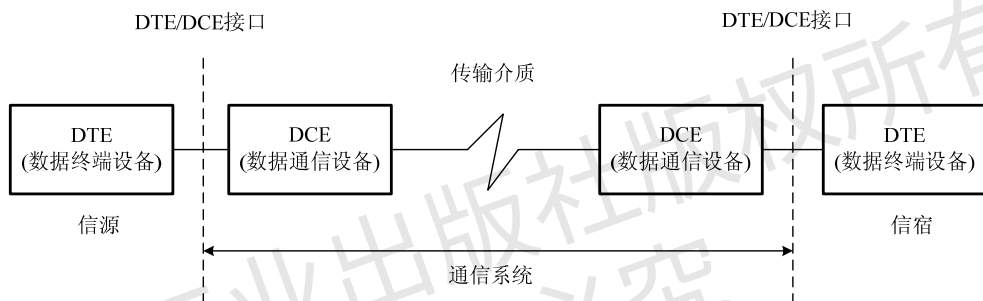


图 3-6 数据通信系统模型

数据终端设备：指用于处理用户数据的设备，是数据通信的信源和信宿。

数据通信设备：连接在信源和信宿之间，用来将 DTE 发出的信号转换成传输介质上传输的信号形式，在接收端再转换成计算机能够接收的数字信号形式的设备。调制解调器、编码解码器都称为数据通信设备。

通信线路：物理上指连接在信源和信宿之间的传输介质，逻辑上可以是一条逻辑通信线路。

3.3.4 数据通信的性能指标

1. 比特率

- 指单位时间内所传输的二进制代码的有效位数。
- 单位：bps, kbps 等。

2. 码元

- 指信道上传的一个数字脉冲或一个电磁波，它是信息传输的最小单位。
- 单位：个。

3. 波特率

- 指在线路上每秒钟传输的码元个数。

- 单位：Baud。
- 衡量载波模拟信号的传输速率或数字脉冲的传输速率。

4. 数据传输速率

- 单位时间信道内传输的信息量，用来衡量设备传输数据的能力。
- 单位：bps, kbps。
- 信号经调制后的数据传输率公式是：

$$S=B\log_2 N$$

式中， S 为数据传输率； B 为调制后的脉冲频率； N 为调制电平数或码元状态数。

5. 信道容量

- 指信道传输信息的最大能力，也称极限传输速率，用来衡量信道承载信息的能力。
- 单位：bps。
- 用来计算信道容量的公式，也称“香农定理”，它是有噪声、有限带宽信道极限容量的计算方法。

$$C=B\log_2(1+S/N)$$

式中， C 为信道容量 (bps)； B 为信道带宽 (Hz)； S 为接收端信号的平均功率 (W)； N 为信道内噪声的平均功率 (W)。

6. 吞吐量

- 指单位时间内网络能够处理的信息总量，通常指组成网络的设备单位时间内能够成功传输信息的总量，可以理解成设备或由设备组成的网络系统的最大数据传输率。
- 单位：bps。
- 总线网络的吞吐量=信道容量×传输效率。

7. 误码率

- 指信息传输的错误率。
- 是衡量传输可靠性的指标。
- 计算公式： $P_e=N_e/N$

式中， P_e 为误码率； N_e 为出错的位数； N 为传输的总位数。

8. 信道带宽

- 指信道所能传输的信号频率宽度。
- 单位：Hz。
- 计算公式：最高频率-最低频率。

9. 信道的传播延迟

- 指信号从信源传播到信宿所需要的时间，也称时延。
- 单位：s, ms, μ s 等。
- 计算公式：时延=距离/信号传播速度。



3.3.5 数据传输技术

1. 基带传输、频带传输、宽带传输

基带传输：在传输线路上直接传输未经调制的基带信号的方法称为基带传输。

频带传输：将代表数据的二进制信号，通过调制解调器，变换成具有一定频带范围的模拟信号进行传输，在接收端将模拟信号解调成数字信号的过程。

宽带传输：将信道划分成多个逻辑信道，能同时提供数字信息服务和模拟信息服务，传输声音、图像和数据的过程。宽带传输现已被广泛运用在各种类型的网络中。

2. 并行传输和串行传输

并行传输：在传输过程中，一次传输一组（多位）二进制数的过程称为并行传输。在计算机内部各部件之间都采用并行传输，每次传输的二进制位数由总线位数决定。并行传输适用于短距离、传输速率要求高的环境。

串行传输：在传输过程中，一次只传输一位二进制数的过程称为串行传输。串行传输适用于远程传输的环境，例如，在使用调制解调器进行数据通信时，发送端计算机内部产生的并行数据转换成串行数据，接收端仍需要将串行数据转换成并行数据传输给计算机。

3. 单工、半双工和全双工（见图 3-7）

单工通信：通信的一方只有发送设备，另一方只有接收设备。单工通信只支持数据在一个方向上传输。

半双工通信：通信双方均有发送设备和接收设备，但只能轮流工作而不能同时发、收。半双工通信支持数据轮流在两个方向上分别传输。

全双工通信：通信双方各有发送设备和接收设备并可以同时收、发数据。全双工通信一般采用四线制，一对线用于发送数据，另一对线用于接收数据。显然，全双工通信方式效率较高。

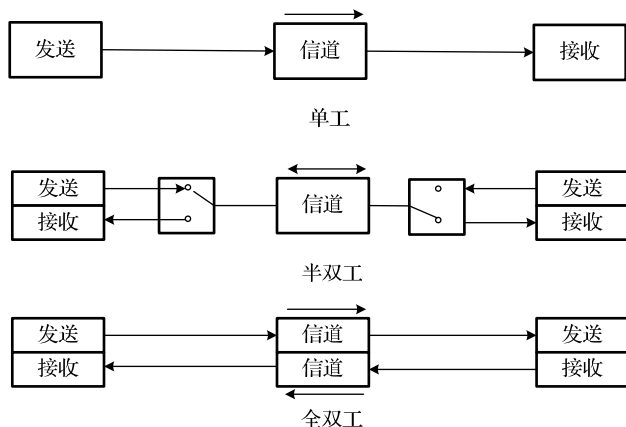


图 3-7 单工、半双工和全双工

4. 同步技术

不同的编码方案中都需要解决定时问题，定时的目的是使收发双方能够精准定位每一位的开始和结束。无论是曼彻斯特编码还是差分曼彻斯特编码，编码方案中解决的都是每比特之间的同步，称为“位同步”。为解决同步问题，保证接收精准，提高传输效率，在传输一个字符或由多个字符组成的数据块时，也需要让接收方知道什么时候开始接收，即解决“字符同步”的问题，字符同步可以有异步传输和同步传输两种方法。

异步传输：以字符为数据传输单位，在字符之间插入同步信息。同步信息包括在字符前插入起始位“0”，在字符后插入停止位“1”。没有字符传输时连续传输停止位，当接收方接收到起始位时，立即置位时钟，接收8~11位的起始位精准定位后开始传输字符，如图3-8所示。因为起止位和校验位的加入，异步传输增加了20%~30%的数据开销，传输速率不高，不适合传输大的数据块。

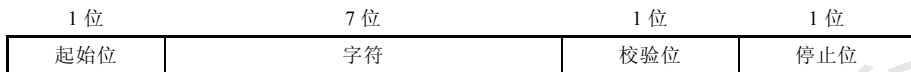


图 3-8 异步传输数据块结构

同步传输：指以一个数据块为传输单位，在发送数据块前先发送一串同步字符 SYNC，接收方只要检测到连续两个以上 SYNC 字符就确认已进入同步状态，准备接收信息。在数据传输过程中双方以同一个频率工作（编码中自带时钟同步信号），直到传输结束。同步传输适合短距离高速率数据传输场合，如图3-9所示。

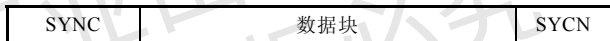


图 3-9 同步传输数据块结构

5. 多路复用技术

多路复用技术用于将多个低速信道组合成多个高速信道的场合。实现多路复用技术的设备称为多路器。在发送端多路器起到复用的作用，在接收端多路器起到分配的作用。常见的多路复用技术包括频分多路复用、时分多路复用和波分多路复用等。

频分多路复用（Frequency Division Multiplexing, FDM）是在一条物理传输线路上使用多个频率不同的载波信号进行多路传输的技术。每个载波信号形成一个子信道，各个子信道的中心频率不重合，子信道之间留有一定宽度的隔离频带。公共交换电话网采用频分多路复用技术将多户住宅线路复用到一根通往局方交换机的传输线路上，如图3-10所示。频分多路复用技术将线路在频域上划分为多个信道。

时分多路复用（Time Division Multiplexing, TDM）是设置某个固定时隙的时间片，时间片顺序轮流分配给每个子信道，得到时间片的信道占用整个信道带宽。时间片的大小可以设置为一次传输一位、一个字符或一个固定大小的数据块。时分多路复用技术将线路在时域上划分为多个信道，如图3-11所示。

波分多路复用（Wave Division Multiplexing, WDM）适用于光纤通信，不同的子信道使用不同波长的光波作为载波，复用后线路中同时传输所有子信道不同波长的光信号。波分多路复用技术需要使用光多路器，如图3-12所示。

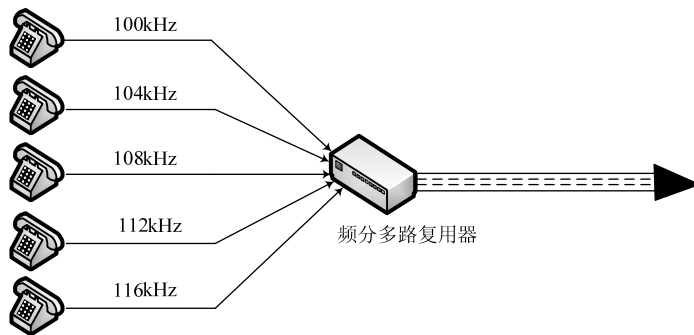


图 3-10 频分多路复用

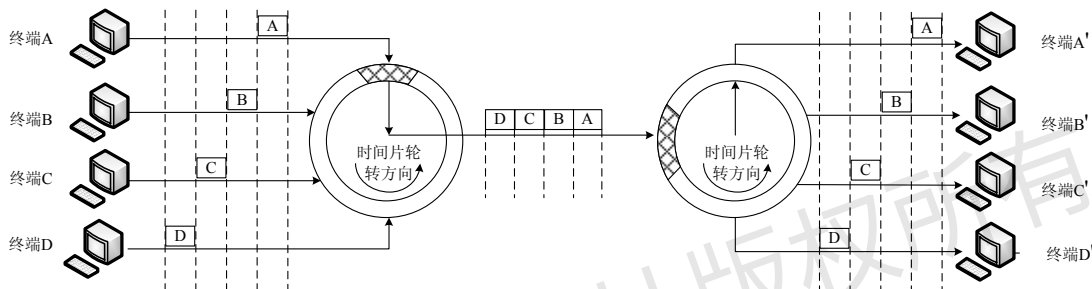


图 3-11 时分多路复用

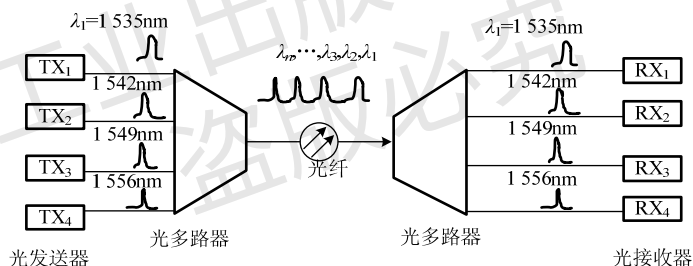


图 3-12 波分多路复用

6. 差错控制技术

在传输过程中，信号由于各种噪声干扰会产生差错。通信信道中的噪声分为热噪声和冲击噪声。

热噪声是由传输媒介的电子热运动产生的，其特点是时刻存在，幅度小，干扰强度与频率无关，但频谱很宽，属于随机噪声。由热噪声引起的差错属于一种随机差错。

冲击噪声是由外界电磁干扰引起的，与热噪声相比，冲击噪声的幅度较大，是引起差错的主要原因。冲击噪声持续时间与数据传输中每比特的发送时间相比可能较长，因而冲击噪声引起的相邻多个数据位出错呈突发性。冲击噪声引起的传输差错称为突发差错。

造成差错的原因可能包括：物理信道本身的电气特性随机产生的信号幅度、频率、相位的畸形和衰减；相邻线路之间的串线干扰；大气中的闪电、电源开关的跳火、自然界磁场的变化及电源的波动等外界因素。

因此通信过程中必须考虑如何发现和纠正信号传输中的差错。

目前差错控制常采用冗余编码方案，检测和纠正信息传输中产生的错误。

冗余编码的思想就是：把要发送的有效数据在发送时按照所使用的某种差错编码规则加上控制码（冗余码），当信息到达接收端后，再按照相应的校验规则检验收到的信息是否正确。

（1）奇偶校验码。

在每个 7 位 ASCII 代码后增加一位校验位，根据采用的是奇校验还是偶校验决定新增位是“1”还是“0”。奇校验码字中“1”的个数是奇数，偶校验码字中“1”的个数是偶数。发送方和接收方采用相同的校验方法。接收机重新计算收到码字中“1”的数量来确定该字符是否出现传输差错。

若每个字符只采用一个奇偶校验位，只能发现单数个比特差错，如果有双数个比特差错，奇偶校验无效。

（2）CRC 循环冗余校验码（Cyclic Redundancy Code, CRC）。

CRC 是一种较为复杂的校验方法，它先将要发送的信息数据[称为信息多项式 $D(X)$]与一个通信双方共同约定的数据[称为生成多项式 $G(X)$]进行除法运算，并根据余数得出一个校验码，然后将这个校验码附加在信息数据帧之后发送出去。接收端接收数据后，再将包括校验码在内的数据帧与约定的数据进行除法运算，若余数为“0”，表示接收的数据正确，若余数不为“0”，表示数据在传输过程中出错。

例如，信息码为 110100，生成多项式 $G(X)=X^4+X+1$ ，求取 CRC 码的数学过程如下。

第一步：根据信息码得出信息多项式 $D(X)=X^5+X^4+X^2$ ，生成多项式的阶 $R=4$ （生成多项式的最高次幂）。

第二步：将信息码左移 R 位，得到 $D'(X)=X^9+X^8+X^6$ 。

第三步：用模 2 除法求得 $D'(X)/G(X)$ 的余数，即 $(1101000000)/(10011)$ 余数为 0011，即 CRC 码。

第四步：将该余数附加在原信息码后面，得到需要传输的带有 CRC 校验位的信息码。

第五步：接收方接收到信息码后，使用相同的生成多项式重复步骤三，若余数为 0，则认为传输正确，否则传输错误。

数学分析表明，具有 R 个校验位的多项式能够检测出所有长度小于等于 R 位数据的突发性差错。因此生成多项式不同，检错能力就不同。

3.3.6 实践活动

任务 1 波特率和比特率之间的换算

实训目的

- 理解波特和比特之间的关系。
- 深刻理解数据传输速率的计算方法。
- 理解使用数字信号表示数字数据的方法。
- 理解使用模拟信号表示数字数据的方法。



实训环境

- 铅笔和纸。

操作步骤

场景一：

调制电平数为 16，每个数字脉冲宽度为 1.6×10^{-9} 秒，问波特率是多少？数据传输速率是多少？每发送 1bit 的延时是多少？

第一步，查找波特率的概念，确定在本场景中描述的是模拟信号还是数字信号？由已知条件得出每个信号的宽度所占用的时间，结合波特率的概念，得到每秒钟可以传输的信号个数（1/信号宽度）。

第二步，在前面的探究学习过程中，我们探讨过用模拟信号表示数字数据（调制）的方法，本场景使用数字信号表示数字数据，且调制电平数为 16，如何调制呢？图 3-13 分别描述了电平调制技术中 2 级电平调制和 4 级电平调制时数据传输情况。

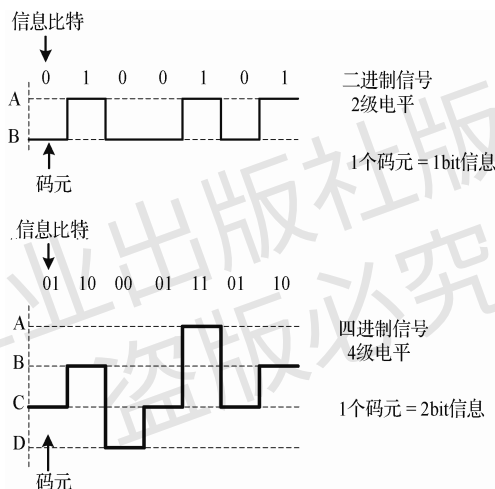


图 3-13 电平调制技术

图 3-13 中 A~D 表示调制后的电平级别，对于 1 个用二进制表示的信号（2 级电平），每个码元包含 1bit 信息，其信息速率与码元速率相等；对于 1 个用四进制表示的信号（4 级电平），每个码元包含了 2bit 信息，因此，它的信息速率应该是码元速率的 2 倍。

一般来说，采用 M 进制电平传输信号时，信息速率和码元速率之间的关系如下所示。

$$S = B \log_2 N$$

在图 3-13 中， $N=2$ 或 $N=4$ 。思考并写出场景一中 B 和 N 分别是多少？

第三步，画出调制电平数为 16，传输 00011011 数据位的脉冲波形图。

第四步，套用公式，得到场景一中的比特率及每比特所占用的延时。

场景二：

在八相调制下，每码元宽度为 $100\mu\text{s}$ ，问波特率是多少？数据传输速率是多少？每发送 1bit 的延时是多少？

第一步，当使用模拟信号表示数字数据时，有调幅、调频、调相或混合调制等方法，

查找相位调制的概念。相位调制通过改变电磁波的相位来表示“1”和“0”。如图 3-14 所示，每码元所承载的二进制数是不是更多了？

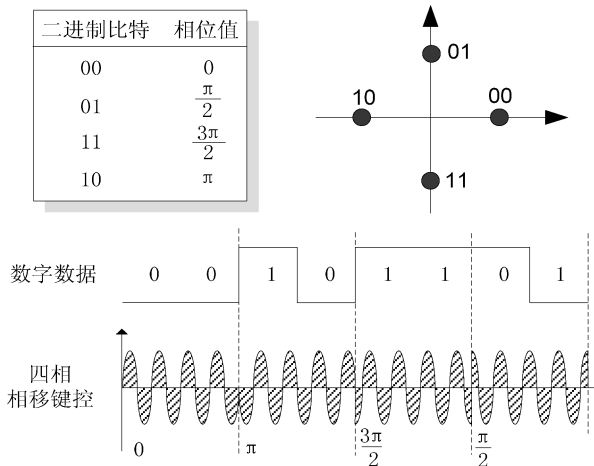


图 3-14 相位调制技术

将待发送的数字信号按 2bit 一组的方式组织，因为 2bit 可以有 4 种组合方式，即“00、01、10、11”4 个码元，所以用 4 个不同的相位值就可以表示出这 4 组组合。在调相信号传输过程中，相位每改变一次，传输 2bit，这种调制方法就称为四相相移键控——多相调制法。因此不同调制方法的数据的传输速率是不同的。

第二步，同理，请分析在八相调制后，每个不同相位的码元可以携带几比特？

第三步，参照电平调制法，在纸上分析出波特率和比特率。

任务 2 冲突检测

实训目的

- 理解共享传输介质的使用规范。
- 深刻理解信号在传输介质中的传输特性。
- 理解检测冲突的方法。

环境要求

铅笔和纸。

操作步骤

场景三：

长 2km、数据传输率为 10Mbps 的基带总线局域网，信号传播速度为 $200\text{m}/\mu\text{s}$ ，若两相距最远的站点在同一时刻发送一个 1 000bit 的帧，则经过多长时间两站检测到冲突？

第一步，请在互联网上查阅资料，描述电信号的“冲突”含义。

第二步，如图 3-15 所示，分析信号从设备 A 发出，然后通过传输到达中点 C 的时间。

分析得知，这部分时间应该包括信号从设备 A 发出的时间 T_1 和信号在传输线路上传输的时间 T_2 。

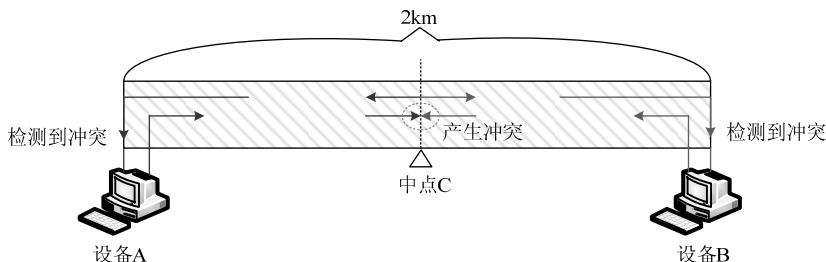


图 3-15 场景三示意图

T_1 的时间应该从设备的数据传输率 S_1 (bps) 和传输信息总量 M (bit) 求得。

$$T_1 = M/S_1 \text{ (s)} = 10^{-4} \text{ s} = 100 \mu\text{s}$$

其中, $M=1\ 000\text{bit}$; $S_1=10^7\text{bps}$ 。

T_2 的时间即传播到中点 C 的延时, 应该由传播速度 S_2 (m/s) 和传播距离 D (m) 得到。

$$T_2 = D/S_2$$

其中, $D=2\ 000\text{m}/2=1\ 000\text{m}$, $S_2=200\text{m}/\mu\text{s}=2 \times 10^8\text{m/s}$ 。

第三步, 分析若设备 A 和 B 同时发送信号, 会在哪个位置产生冲突? 因为两站点数据传输速率一致且信号传播速率相同, 所以冲突产生的位置应该在中点。

第四步, 分析对于设备 A 或设备 B 来说, 何时才能发现冲突? 产生冲突的信号在中点经过碰撞后返回设备 A, A 才能检测到冲突。所以, 检测到冲突的时间 T 由如下公式计算。

$$T = D \times 2 / S_2 = 10^{-5} \text{ s} = 10 \mu\text{s}$$

第五步, 请思考两个问题。

(1) 冲突产生的时间和检测到冲突的时间一致吗?

(2) 若经过碰撞后的冲突信号返回时, 发送设备的数据已经发送完毕 (即 $T_1 < T$), 还能检测到冲突吗?



3.4 关联拓展

传感世界

要将数据在网络中进行传输, 人们首先想到将这些信息变成与之变化相适应的电信号, 如何将这现实生活中的信息转换成电信号呢? 这需要一个神通广大的器件——传感器。传感器是一种检测装置, 能够感受到被测量的信息, 并能将被感受到的信息按照一定规律转变成电信号, 以满足对信息的传输、处理、存储、显示、记录和控制。传感器的存在和发展, 让物体有了触觉、味觉和嗅觉等感官, 让物体慢慢变得活了起来。通常根据其基本感知功能分为热敏元件、光敏元件、气敏元件、磁敏元件、湿敏元件、声敏元件、放射敏元件、色敏元件、味敏元件等十大类。可以说, 各种各样的传感器帮助人们将从外界获取的信息准确可靠地转换成电信号, 使得一切信息能够借助现代化、信息化手段进行传输、

处理、存储和控制，它是现代科学发展的基础。因此可以说，传感器是人类五官的延长，又称为电五官。想一想，电话机里是否也有传感器？它包含了哪类敏感元件？

依托传感器将不同形态、特征的物体连接在一起组成的网络被称为“传感网”，也叫“物联网”。这些年来，物联网发展势头猛烈。我们家用的智能热水器、智能扫地机、智能电饭煲、智能台灯、智能空气净化器等电器通通变成了物联网的一个终端节点。为什么称为“智能”呢？因为通过安装在电器中的传感器，可以实时地检测到水质、空气质量、时间、温度，然后将其变成电信号（或光信号）传输给控制中枢。手机可以是控制中枢，在手机上安装这些电器的管理软件，通过对传感器感受到的信息进行远程监视和控制，即可随时随地遥控这些智能设备。

目前我国利用传感技术开发智能制造、智能环保、智能交通、智能医疗、智能物流、智能电力、智能农业等重大典型应用，这些应用逐步带动我国乃至全世界物联网产业快速发展。你能想象出未来世界会发展成什么样子吗？我们的生活越来越便利是毋庸置疑的了。



3.5 巩固提高

1. 术语搭配（连线）

PCM	调幅
AM	调频
FDM	调相
FM	数据终端设备
WDM	脉冲编码调制
CRC	数据通信设备
MODEM	循环冗余校验
BAUD	波特
DTE	比特每秒
BPS	赫兹
DCE	频分多路复用
Hz	时分多路复用
PM	码分多路复用
TDM	调制解调器

2. 简答题

- (1) 吞吐量、信道容量和数据传输速率各指什么？有什么区别？
- (2) 简述 CRC 校验的基本原理。
- (3) 数据通信系统包含哪几部分？请画出示意图。
- (4) 数字数据用模拟信号表示有哪几种方法？模拟语音数据的传输采用什么编码方法？
- (5) 同步技术解决的是什么问题？有哪些解决方案？