

高职高专通信类专业“十三五”规划教材



# 通信原理项目式教程

主编 崔雁松



西安电子科技大学出版社  
<http://www.xdph.com>

# 项目 1 初识通信系统

## 任务 1.1 学会辨识通信系统

**任务要求：**日常生活、生产中存在着各种各样的通信系统，通过学习和独立思考，了解各种通信系统的存在形式，掌握它们各自的特点，学会对其进行分类。

### 子任务 1.1.1 了解通信发展的历史

#### 必备知识

通信离人们的生活并不遥远，从古代的消息树、烽火台和驿马传令到现代的书信、电报、电话、广播、电视、遥控、遥测等可以看出，通信的发展史也是人类的科技进步史。真正的电通信始于 19 世纪 30 年代。1837 年，莫尔斯电磁式电报机出现；1866 年，利用大西洋海底电缆实现了越洋电报通信；1876 年，贝尔发明了电话机，出现了有线电报、电话通信；19 世纪末，出现了无线电报；20 世纪，电子管、晶体管、集成电路的出现，使通信迅速发展；20 世纪 80 年代以来，微波通信、卫星通信、光纤通信、移动通信和计算机通信等各种现代通信系统竞相发展。现在的通信技术正在向数字化、智能化、综合化、宽带化、个人化方向迅速发展。人类不断努力，正在奔向通信的最终目标——5W(Whenever, Wherever, Whoever, However and Whatever)，即无论何时、何地都能实现与任何人进行任何形式的信息交互——全球个人通信。

#### 思考应答

通信和通信系统与“电”的关系是怎样的？

### 子任务 1.1.2 掌握“通信”的概念

#### 必备知识

何谓通信？简言之，通信是指将信息有效而可靠地由一地传输到另一地的过程。为了实现通信，必须要有一定的技术、设备和传输媒介的支持，所有这些技术、设备和传输媒介的总和就构成了通信系统(参照图 1-1 的公众通信网)。

具体来讲，通信和通信系统的概念包括以下几方面含义：

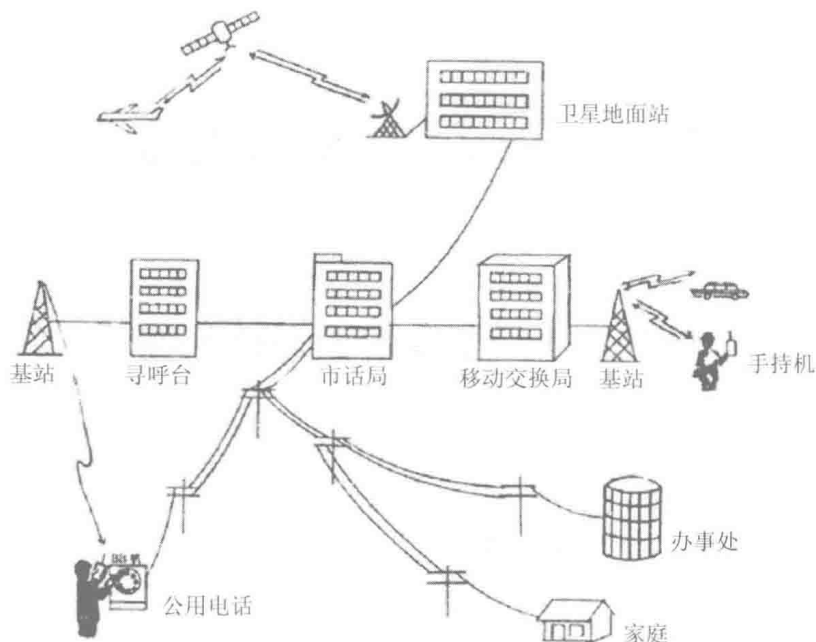


图 1-1 公众通信网

(1) 通信的目的是传输信息。这里强调通信传输的是“信息”，而不是“消息”。“消息”这个词汇在日常生活中，尤其是在人们的口语中应用普遍。然而，在通信术语中，应该采用的词汇是“信息”。信息是有用的消息，是收信者不确定的、未知的消息。否则，通信就失去了意义。

(2) 信息的传输必须是有效而可靠的。有效性和可靠性是衡量通信系统性能优劣的两个最主要的质量指标。有效性是指系统能高效率地传输信息；可靠性是指系统能不失真地传输信息。

(3) 信息的传输在异地之间，要经历一段时间，要采用某种具体的形式，要克服路径中的干扰和距离上的障碍。

在同一地点、可以面对面直接交流的情况下研究通信是没有意义的，因此，通信一般是在异地之间。又由于在异地，信息的传输必然要耗时，因此，通信中既包含有空间的问题，又包含有时间的问题。通信要传输的信息是抽象的概念，其传输要采取“信号”这种具体的形式。信号是信息的载体。信号在传输过程中要克服距离上的障碍，否则就会产生衰减和失真。衰减是指信号的功率随传播距离的增加而减小的现象。失真是指由于受到传输路径中噪声的影响，信号在波形上的变动。噪声是指由系统内部或外部过程所产生的随机的并对本系统有用信号有影响的信号。

**思考应答**

1. “消息”“信息”和“信号”的关系是怎样的？
2. 信号传输过程中的两大基本现象及其含义是什么？
3. 仔细观察图 1-1，试说出其中采用的技术、设备和传输媒介都有哪些？

## 子任务 1.1.3 学会辨识通信系统的分类与传输方式

### 必备知识

#### 一、通信系统的分类

通信系统有很多分类方法,下面仅介绍其中最主要的几种。

##### 1. 按通信的业务和用途分类

按通信的业务和用途不同,可将通信系统分为常规通信系统和控制通信系统两大类。其中,常规通信又包括话务通信和非话务通信两种。话务通信主要包括电话信息服务业务、语音信箱业务和电话智能网业务。话务通信在通信史上一直处于主导地位,但近年来,非话务通信发展趋势强劲,如计算机通信、电子信箱、数据库检索、可视图文及会议电视、图像通信等。由于话务通信的固有地位,后出现的通信系统往往以现有的公共电话网为依托,现在建成的综合业务数字网(ISDN)就是融合了多种通信业务形式的综合性通信系统。控制通信包括遥测、遥控、遥信和遥调通信等,如雷达通信和遥测、遥控指令通信等。

##### 2. 按调制与否分类

按系统中是否采用了调制、解调技术,可将通信系统分为基带传输系统和频带传输(又称调制传输或载波传输)系统。基带传输系统是指信号在发送端无需经过调制而直接进行传输,在接收端无需经过解调就能接收的系统。基带传输一般只能用于近距离通信,如门禁对讲系统。频带传输系统是指在发送端对基带信号进行调制,将基带信号的频谱进行搬移,在接收端通过解调从接收到的信号中恢复出原始基带信号的系统。

##### 3. 按信号特征分类

信号按照其参量(如幅度、频率等)取值的不同,可以分为模拟信号和数字信号两种。模拟信号参量的取值是连续的或可以有无穷多个,如语音、图像等。数字信号参量的取值只能是有限多个,如计算机输入/输出信号、电报信号等。

按照信道中所传输的是模拟信号还是数字信号,把通信系统相应地分成模拟通信系统和数字通信系统。无论是模拟通信还是数字通信,在不同的通信领域中都得到了广泛的应用。但与模拟通信相比,数字通信具有更多的优点,更能适应现代社会对通信技术越来越高的要求。其优点主要包括:

(1) 抗干扰能力强。由于数字信号的取值个数有限(大多数情况只有 0 和 1 两个值),在传输过程中我们不必关心信号的绝对值,只注意相对值即可。因此,即使受到噪声干扰,只要不超过相对的界限,就不会产生误码。此外,数字信号在传输过程中,能够通过再生中继的方法,对数字信号波形进行整形再生而消除噪声积累,而模拟信号只能进行简单的中继放大,在有用信号被放大的同时,噪声也被放大了,如图 1-2 所示。

(2) 差错可控。数字通信可以采用信道编码技术降低系统误码率,提高传输可靠性。

(3) 便于进行加工和处理。数字通信系统易于与各种数字终端接口,易于用现代数字信号处理技术对数字信号进行处理、加工、变换和存储。

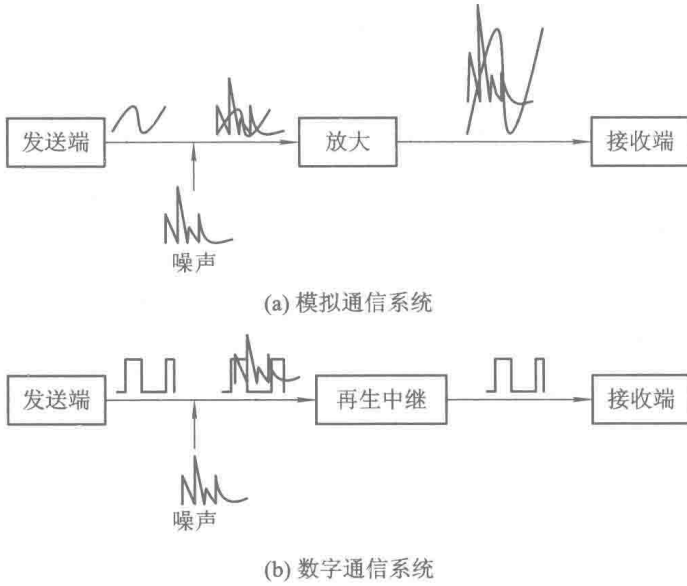


图 1-2 模拟通信与数字通信抗干扰能力对比

(4) 易集成。由于采用数字集成电路,因此数字通信系统具有体积小、重量轻、调试方便等特点。

(5) 易加密,保密性强。

(6) 灵活性好,通用性强。数字通信系统能够传输话音、电视、数据等各种信息形式,因此,更具通用性和灵活性。

但是,数字通信的这些优点都是用比模拟通信占据更宽的系统频带为代价而换取的。以电话为例,一路模拟电话通常只占据 4 kHz 的带宽,但一路接近同样话音质量的数字电话可能要占据 20~60 kHz 的带宽。此外,由于数字通信对同步要求高,因而系统设备比较复杂。不过,随着光纤、数字微波等宽带信道的使用以及数字频带压缩技术的发展,数字通信的这些缺点已经弱化,数字通信的主导地位越来越明显。

#### 4. 按传输媒介分类

按传输媒介的性质不同,可将通信系统分为有线通信系统和无线通信系统两大类。有线通信是用缆线(如架空明线、同轴电缆、光缆等)作为传输媒介完成通信的,如有线电话、有线电视、海底电缆通信等。无线通信是依靠电磁波在自由空间中传播以达到传递消息的目的,如短波电离层传播、微波视距传播、卫星中继等。

#### 5. 按工作波段分类

按系统中通信设备的工作频率(波长)不同,可将通信系统分为长波通信、中波通信、短波通信、超短波(米波)通信、微波通信和红外线通信。其中,无线电波包括从长波到微波(包括分米波、厘米波和毫米波)的范围,比无线电波频率更高的是红外线、可见光、紫外线等。

表 1-1 列出了通信中使用的波段(频段)及其常用传输媒介、主要用途等。其中,工作频率和波长的换算公式为

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \times 10^8}{\lambda} \quad (1-1)$$

式中,  $f$  为工作频率(单位为 Hz),  $\lambda$  为工作波长(单位为 m),  $c$  为光速(单位为 m/s)。

表 1-1 通信波段与常用传输媒介

频率范围	对应波长	名称/符号	传输媒介	主要用途
3 Hz~30 kHz	$10^4 \sim 10^8$ m	甚低频 VLF	有线线对 长波无线电	音频、电话、数据终端长距离导航、时标
30~300 kHz	$10^3 \sim 10^4$ m	低频 LF	有线线对 长波无线电	导航、信标、电力线通信
300 kHz~3 MHz	$10^2 \sim 10^3$ m	中频 MF	同轴电缆 中波无线电	调幅广播、移动陆地通信、业余无线电
3~30 MHz	$10 \sim 10^2$ m	高频 HF	同轴电缆 短波无线电	移动无线电话、短波广播、定点军用通信、业余无线电
30~300 MHz	1~10 m	甚高频 VHF	同轴电缆 米波无线电	电视、调频广播、空中管制、车辆通信、导航
300 MHz~3 GHz	10~100 cm	特高频 UHF	波导 分米波无线电	电视、微波接力、卫星和空间通信、雷达
3~30 GHz	1~10 cm	超高频 SHF	波导 厘米波无线电	微波接力、卫星和空间通信、雷达
30~300 GHz	1~10 mm	极高频 EHF	波导 毫米波无线电	雷达、微波接力、射电天文学
1000~10 000 GHz	$3 \times 10^{-5} \sim 3 \times 10^{-4}$ cm	红外线、可见光、紫外线	光纤、激光 空间传播	光通信

## 6. 按信号复用方式分类

对多路信号, 采用复用方式传输能够更加有效地利用现有通信资源。按信号的复用方式不同, 可将通信系统分为频分复用(FDM)、时分复用(TDM)、码分复用(CDM)、空分复用(SDM)和波分复用(WDM)等。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的方法使不同信号占据不同的时间区间; 码分复用是用正交的码型来区分不同信号; 空分复用是靠空间方位来区分不同信号; 波分复用是指在同一根光纤中同时传输两路或多路不同波长的光信号。例如, 移动通信的发展经历了四个阶段: 1G 为频分复用; 2G 主要采用时分复用; 3G 主要采用码分复用; 4G 采用正交频分复用(OFDM)。

## 二、传输方式

通信系统中信号的传输方式有很多, 其划分依据主要包括以下两种。

### 1. 按消息传递的方向与时间关系划分

对于点与点之间的通信, 按消息传递的方向与时间关系, 通信方式可分为单工(Simplex)

通信、半双工(Half-duplex)通信和全双工(Duplex)通信三种。

单工通信是指消息只能单方向传输的工作方式。因此通信双方发送、接收功能是固定的且只需占用一个信道,如图1-3(a)所示。广播、电视、遥测、遥控等采用的就是单工通信。

半双工通信是指通信双方都具有发送和接收功能,但不能同时接收,也不能同时发送的双向传输方式。因此,半双工通信也只需占用一个信道,如图1-3(b)所示。无线对讲机、普通无线收发报机等采用的就是半双工通信。

全双工通信是指通信双方可同时进行收发操作的双向传输方式。因此,全双工通信必须占用双向信道,如图1-3(c)所示。电话通信、计算机通信等采用的就是全双工通信。

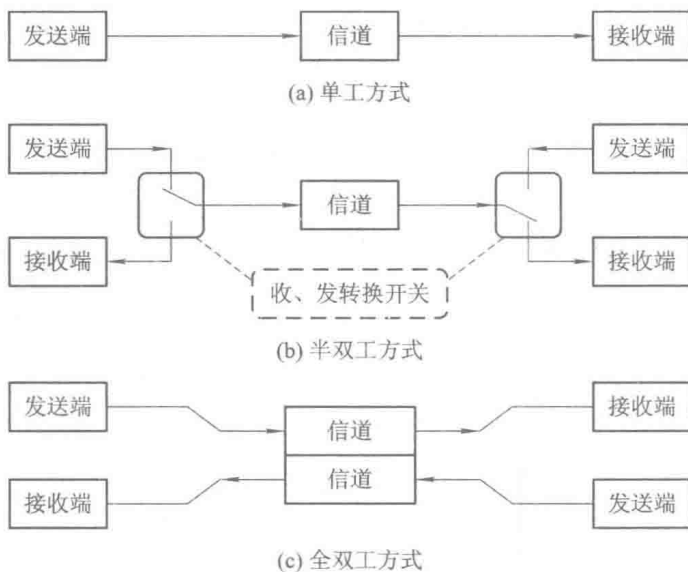


图 1-3 单工、半双工和全双工传输方式示意图

## 2. 按数字信号码元的排列方法划分

在数字通信中,按数字信号码元排列的顺序可分为并行传输和串行传输。

并行传输是指将代表信息的数字序列以成组的方式在两条或两条以上的并行信道上同时进行传输,如图1-4(a)所示。串行传输是指数字序列以串行方式一个接一个地在一条信道上进行传输,如图1-4(b)所示。

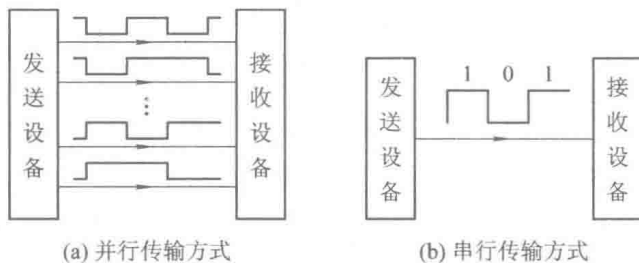


图 1-4 并行和串行传输方式示意图

并行传输数据传输速率高,但线路多、成本高,一般适用于近距离通信。串行传输虽然数据传输速率低,但线路成本也低,非常适合于远距离通信。

### 案例分析

1. 家用电器遥控器所属的通信系统分类及传输方式是怎样的?

答:家用电器遥控器一般是在遥控器和家用电器之间采用一对红外对管,使用 38 kHz 载波去调制不同按键的编码信号,然后以红外线形式发送出去。因此,按通信的业务和用途分类,属于控制通信;按调制与否分类,属于频带传输;按信号特征分类,属于数字通信(模拟信号不能进行编码);按传输媒介分类,属于无线通信;按工作波段分类,属于红外线通信,由于只传输单路信号,因此未进行信号复用;按消息传递的方向与时间关系划分,属于单工通信;按数字信号码元的排列方法划分,属于串行通信(每次传输的数据量不大)。

2. 有线电视所属的通信系统分类及传输方式是怎样的?

答:传统的有线电视是电视台通过传输线路向用户终端发送音视频信号,现在的数字有线电视能够实现视频点播、节目预约、电视读报等多种业务。因此,按通信的业务和用途分类,属于常规通信;按调制与否分类,属于频带传输(不同的电视节目占用不同的频道);按信号特征分类,传统的有线电视属于模拟通信,现在的有线电视属于数字通信;按传输媒介分类,属于有线通信;按工作波段分类,属于甚高频 VHF 和特高频 UHF 通信;按信号复用方式分类,属于频分复用;按消息传递的方向与时间关系划分,传统的有线电视属于单工通信,现在的有线电视属于半双工或全双工通信;按数字信号码元的排列方法划分,属于串行通信(码流、远距离)。

### 思考应答

1. 3G 移动通信系统所属的系统分类及传输方式是怎样的?

2. Internet 的主干网所属的通信系统分类及传输方式是怎样的?

## 任务 1.2 认识通信系统的组成

**任务要求:**了解通信系统的基本组成、构成要素和系统中采用的关键技术,学会对日常生活、生产中的通信系统进行简单的分析。

### 子任务 1.2.1 了解通信系统的基本组成和构成要素

#### 必备知识

为了了解通信系统的基本组成和结构,下面介绍通信系统的一般模型,如图 1-5 所示。

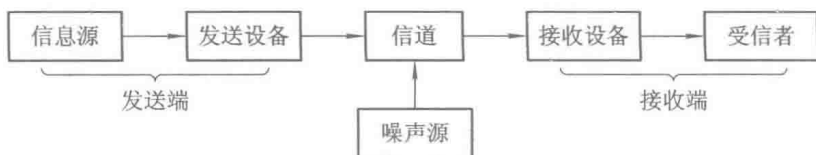


图 1-5 通信系统的一般模型

信息源即信息的来源，其作用是把消息转换成原始电信号的形式，如电话机、计算机、电传机等。发送设备的基本功能是将信息源产生的原始电信号变换成适合在信道中传输的信号，其变换方式是多种多样的，如调制、编码、放大、二/四线变换等。信息源和发送设备都位于系统的发送端。

信道即信息传输的通道。信道既可以是有线的，也可以是无线的。有线信道如架空明线、电缆、光缆等，无线信道主要是自由空间。信号在传输过程中，尤其是在信道中，要受到各种内、外部噪声的影响。噪声源即噪声的来源，它是整个系统中所有噪声的抽象集中。

信息源与受信者、发送设备与接收设备都是通信系统中的匹配对。因此，接收设备的基本功能与发送设备刚好相反，是将从信道中接收到的带有干扰的信号变换成原始信号的形式，以利于受信者的接收。接收设备的变换如解调、译码、滤波、放大等。受信者的作用与信息源相反，是将恢复的原始信号转换成相应的消息形式，如电话机、计算机等既可以是信息源，又可以是受信者。

需要指出，图 1-5 给出的模型只是反映了通信系统一般的、共性的问题，在研究对象更具体以及研究问题的侧重点不同时，应该建立不同的、更具体的通信系统模型。

### 案例分析

将楼宇住宅中的非可视基带对讲系统与通信系统一般模型进行对照，指出各部分构成要素。

答：当来人按下门铃时，楼门前的门铃系统是发送端，住宅中的响铃系统是接收端，信道是传输线路，噪声来自于系统内部电路，基本可忽略。信息源是按钮，发送设备是放大器；接收设备是振铃电路，受信者是喇叭。

当双方通话时，楼门的主机和住宅中的分机都既是发送端也是接收端，信道仍是传输线路，噪声主要来源于系统外部干扰声音。信息源是话筒，发送设备是放大器；接收设备也是放大器，受信者是喇叭。

当住户控制开门时，住宅中的分机是发送端，楼门前的门禁装置是接收端，信道仍是传输线路，噪声基本可忽略。信息源是按键，发送设备是放大器；接收设备是控制电路，受信者是电控锁。

### 思考应答

1. 将人们通过收音机接听广播员的广播这一行为与通信系统一般模型进行对照，指出各部分的构成要素。

2. 将磁卡门禁系统与通信系统一般模型进行对照，指出各部分的构成要素。

## 子任务 1.2.2 了解模拟通信系统的基本组成和构成要素

## 必备知识

模拟通信系统的模型如图 1-6 所示。与通信系统的一般模型相比,发送设备和接收设备分别变成了调制器和解调器。这并不是说发送和接收只需要调制和解调就够了,只是突出了它们在模拟通信系统中的作用。可以说,模拟基带传输系统现在已经很少见了。

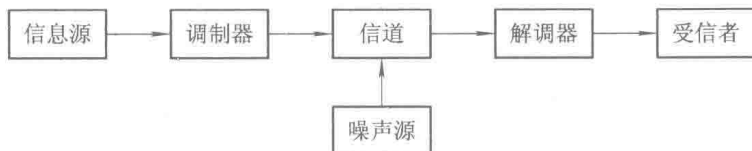


图 1-6 模拟通信系统的模型

调制是通信原理中一个十分重要的概念,是一种信号处理技术,无论在模拟通信还是在数字通信中都具有非常重要的作用。

为什么要进行调制呢?一般来讲,信源直接产生的信号频带范围处于低频,甚至零频范围,这种信号称为基带信号。如语音信号频谱范围为 300~3400 Hz,图像信号频谱范围为 0~6 MHz。基带信号未经过调制直接被发送到信道中而进行的传输称为基带传输。但是,实际中的很多信道不是基带形式,不能进行基带信号的直接传输,如图 1-7 所示。因此需要将基带信号进行调制,即频谱搬移,变换为适合于信道的形式再进行传输。



图 1-7 基带与频带

例如:传播声音时,我们可以用话筒把人声变成电信号,通过扩音器放大后再用喇叭播放出去,这属于基带传输。但若想将声音传得更远一些,比如几十千米甚至更远,就要考虑采用电缆或无线电了。但随之会出现两个问题,其一是铺设一条几十千米甚至上百千米的电缆只传一路声音信号,传输成本高、线路利用率低。采用频分复用技术,将多路声音信号分别调制到不同的频段上进行传输就可以有效解决此问题。也就是说,调制是实现频分复用,充分利用频谱资源的有效手段。另一问题是若采用无线电通信,则需满足欲发射信号的波长与发射天线的几何尺寸具有可比性(通常认为天线尺寸应大于波长的十分之一)的基本条件,信号才能通过天线有效地发射出去。而基带音频信号的频率范围是 30 Hz~30 kHz,据公式“波长  $\lambda = \text{光速 } c / \text{频率 } f$ ”可知,其最小的波长也在千米以上。也就是说,要想将基带音频信号直接通过天线发送出去,所需天线尺寸应在百米以上,这显然不符合实际。采用调制技术,将信号频带搬移到高频段上去,就能有效降低信号波长,从而减小天线尺寸。

到底什么是调制呢?我们对调制的定义为:让原始基带信号去改变高频载波的某个

(或某些)参量,使载波的这个(或这些)参量随基带信号的变化而变化,或者说使载波的这个(或这些)参量携带有基带信号的信息,这个过程就称为调制。这里的基带信号也称为调制信号,经过调制以后的信号称为已调信号,又称为频带信号。打个比方:人步行从天津到北京,既费时又费力,这就是基带传输;而改为乘车方式,即载波传输,就能够节省人力和时间。人好比是基带信号,汽车或火车就是载波。

调制的种类很多,在通信中具有广泛的应用,常见的调制方式及其用途如表 1-2 所示。

表 1-2 常见的调制方式及其用途

调制方式			用途举例	
连续波调制	模拟调制	线性调制	常规双边带调幅(AM)	广播
			抑制载波双边带调幅(SC-DSB)	立体声广播
			单边带调幅(SSB)	载波通信、无线电台、数传
			残留边带调幅(VSB)	电视广播、数传、传真
	非线性调制 (角度调制)	频率调制(FM)	微波中继、卫星通信、广播	
		相位调制(PM)	中间调制方式	
	数字调制	幅移键控(ASK)	数据传输	
		频移键控(FSK)	数据传输	
相移键控(PSK)、DPSK、QPSK 等		数据传输、数字微波、空间通信		
其他高效数字调制: QAM、GMSK 等		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、PWM)	中间调制方式、遥控	
		脉位调制(PPM)	遥测、光纤传输	
	脉冲数字调制	脉码调制(PCM)	市话、卫星、空间通信	
		增量调制(DM 或 $\Delta M$ )、CVSD 等	军用、民用数字电话	
		差分脉码调制(DPCM)	电视电话、图像编码	
		其他语音编码方式: ADPCM、APC、LPC 等	中低速数字电话	

由表 1-2 可见,调制主要包括以下几种分类。

(1) 按调制信号的种类来进行分类:

模拟调制——调制信号为模拟信号,比如正弦信号;

数字调制——调制信号为数字信号,比如二进制序列。

(2) 按载波的种类来进行分类:

连续波调制——载波为连续信号,比如正弦信号;

脉冲调制——载波为脉冲信号,比如矩形脉冲序列。

(3) 按调制参数的种类来进行分类:

幅度调制——载波的幅值随调制信号的变化而变化;

频率调制——载波的频率随调制信号的变化而变化;

相位调制——载波的相位随调制信号的变化而变化。

需要说明的是,在实际工程应用中,还经常将几种调制结合起来使用,即所谓复合调制方式,比如多进制数字调制中的调幅调相法(QAM)。

### 案例分析

1. 已知 GSM 移动通信系统工作的中心频率是 900 MHz,试粗略计算 GSM 手机直线型天线的长度。

解 根据公式计算

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{900 \times 10^6} = \frac{1}{3} \text{ m}$$

得出 900 MHz GSM 系统电磁波波长约为 0.33 m,取手机天线长度为波长的十分之一,即 GSM 手机天线的长度为 0.033 m,即 3.3 cm。

2. 参考表 1-2 和查询相关资料,了解调幅广播、调频广播、业余无线电台、市话通信和广播电视采用的调制方式及所属类别。

答:(1) 调幅广播:模拟线性调制(常规双边带幅度调制 AM);

(2) 调频广播:模拟非线性角度调制(频率调制 FM);

(3) 业余无线电台:模拟线性调制(单边带幅度调制 SSB);

(4) 市话通信:脉冲数字调制(脉码调制 PCM);

(5) 广播电视:无线电视用模拟线性调制(残留边带幅度调制 VSB)、卫星电视用数字调制(正交相移键控 QPSK)、有线电视用高效数字调制(正交幅度调制 QAM)。

### 思考应答

1. 已知 3G 移动通信系统的工作频率是 2000 MHz 左右,试粗略计算 3G 手机直线型天线的长度。

2. 已知某载波信号  $c(t) = 3\cos(2000\pi t + \varphi)$ ,试指出该载波各个参数值。

3. 图 1-8 是一个调制模型,试根据已学知识和图中已有内容将图中文字补充完整。

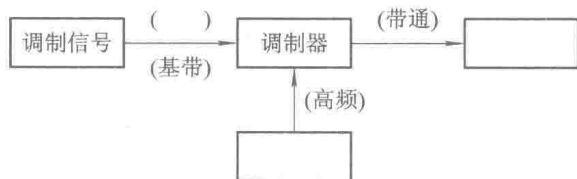


图 1-8 任务 1.2.2 思考应答第 3 题图

## 子任务 1.2.3 了解数字通信系统的基本组成和构成要素

### 必备知识

数字通信系统的模型如图 1-9 所示,与模拟通信系统的模型相比,发送端除了调制变换之外,还增加了信源编码和信道编码,接收端除了解调之外,也相应地增加了信道译码和信源译码。

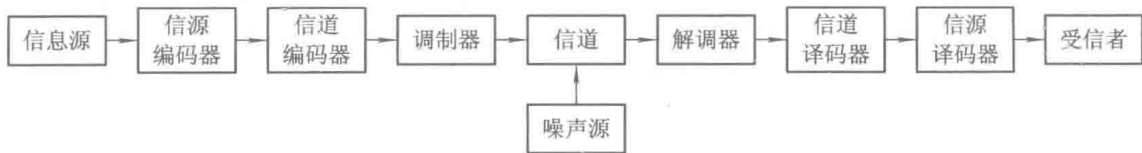


图 1-9 数字通信系统的模型

信源编码的目的是为了提高系统的有效性。其作用主要有两个：一是设法减少码元（ $M$  进制系统中共有  $M$  种消息符号，每个消息符号又称为一个码元）数目和降低码元速率，即通常所说的数据压缩。由于码元速率与信号有效传输带宽有正比关系，而信号带宽又直接反映了系统的有效性。因此，降低码元速率就是提高系统的有效性。如图像压缩编码、语音压缩编码都属于信源编码。二是当信息源产生的是模拟信号时，将模拟信号变换成数字信号，即通常所说的模/数转换。同样的信息，用有限多个取值（数字信号）取代连续的或无限多个取值（模拟信号）的表示，显然能够提高系统的有效性。

信道编码的目的是为了提高系统的可靠性。数字信号在信道中传输时会由于噪声、衰落等的影响而产生差错。信道编码就是利用差错控制技术使系统具有检错、纠错能力，以提高系统的可靠性。

信源译码与信源编码、信道译码与信道编码是通信系统中的匹配对，其作用是相反的。

调制器、解调器的作用与在模拟通信系统中的相同，差别在于这里的调制和解调是数字的。但调制器和解调器在数字通信系统中不是必须的。没有调制器和解调器的数字通信系统称为数字基带传输系统。数字基带传输系统在实际生活和生产中有所应用。

除了以上变换匹配对以外，加密与解密也是数字通信系统中常用的匹配对，在其模型中一般位于信源编/译码和信道编/译码之间。加密与解密的目的是为了保证系统的安全性。加密是指人为地、用加密密钥去改变被传输数字序列（明文）的过程。而解密是指使用解密密钥将接收到的数字序列（密文）恢复成其原有形式（明文）的过程。只有被授权方才有正确的解密密钥，才能正确对数据进行解密。例如，发端原始数据为“10011010”，用密码“11101101”对其加密（进行模 2 加运算），得到数据“01110111”，将此数据送到信道中传输，只有知道密码的合法接收者才能进行正确解密（同样进行模 2 加运算），恢复出原始数据“10011010”。加密有时也被看成是一种编码，但不是为了提高系统的有效性（信源编码）或为了抵抗信道中的噪声（信道编码）。

近年来，加扰和解扰技术越来越多地应用于数字通信系统中。加扰是指用具有伪随机性的扰码去“扰乱”待传输数据，使其具有随机性的过程。解扰是利用同样的扰码恢复原始数据的过程。在数字基带传输系统中，加扰这种使数据随机化的处理有利于提取位同步信号。在移动通信系统中，不同的数据可以使用不同的扰码（例如 4G 移动通信系统中，相邻小区采用不同的扰码以克服邻区干扰），因此加扰还具有区分数据的作用。由于只有具有正确的扰码才能正确恢复出原始数据，因此加扰也可以看成是一种加密。

相比于模拟通信系统，同步技术对数字通信系统尤为重要，它是保证数字通信系统有序、准确、可靠工作的基础。简单来说，同步就是使收、发两端的信号在时间上保持一致，同节拍，同步调。数字通信系统中的基本数据形式是数字脉冲序列，起止时间不一致就会

导致脉冲错位,其对应的数据含义就会模糊不清,甚至发生改变,如图1-10所示。

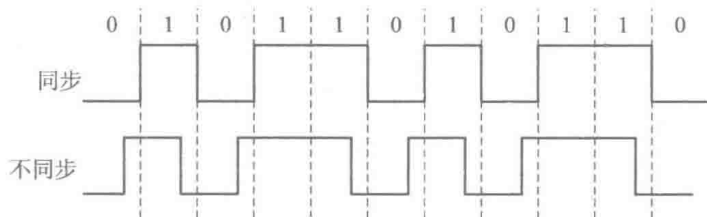


图1-10 数字通信系统中的同步与不同步

### 案例分析

列举出我国具有自主知识产权的 TD-SCDMA 系统中的基本技术名称。

答: (1) 信源编码: AMR 语音压缩;

(2) 信道编码: Turbo 码和卷积码;

(3) 调制方式: QPSK、8PSK 和 16QAM;

(4) 加密算法: 数据加密算法 F8, 完整性保护算法 F9;

(5) 加扰方法: 下行使用 Gold 序列加扰, 以区分小区;

(6) 同步技术: 包括网络同步、节点同步、初始化同步、传输信道同步、无线接口同步、lu 接口时间校准、上行同步等。

### 思考应答

试列举 GSM 移动通信系统中的基本技术名称。

## 任务 1.3 计算信息量

**任务要求:** 如前所述, 通信的目的是有效而可靠地传输信息。为了衡量传输的有效性, 有必要引入一个量纲, 以计算传输信息的多少, 这就是信息量。信息量是度量信息内容多少的量纲。本节的任务是学会单个符号的信息量、信源的平均信息量和消息序列的总信息量的计算方法。

### 子任务 1.3.1 学会计算单个符号的信息量

#### 必备知识

信息量如何定义呢? 由于信息是不确定的、未知的消息, 因此, 信息的不确定性越强, 越不可预测, 其包含的内容就越丰富, 信息量就越大。例如, 有以下三条消息:

(1) 我国将继续实行高考制度;

(2) 我国在近五年内可能取消高考制度;

(3) 我国自明年起将取消高考制度。

第一条消息为众所周知的事情,所以几乎不含信息量;第二条消息,听到的人,尤其是高中生和家长,精神会为之一振,因此它包含了很大的信息量;第三条消息会带来更大的震撼,因为它几乎不可能发生,人们听了会感到十分惊奇,因此它包含了更多的信息量。

由概率论的知识可知,事件的不确定性可用事件出现的概率来描述。可能性越小,概率越小;反之,概率越大。因此,信息量的大小与信息中所涉及事件发生的概率密切相关。假设  $x$  代表某信息中所涉及的事件,  $P(x)$  是这个事件发生的概率,  $I$  表示从这个信息中获悉的信息量,我们将信息量的公式定义如下:

$$I(x) = \log_a \frac{1}{P(x)} = -\log_a P(x) \quad (1-2)$$

其中,对数的底数  $a$  可有三种取值: 2、10 或  $e$ 。 $a$  取值不同,信息量  $I$  的单位也不同。区别详见表 1-3 所示。其中单位比特(bit)最为常用。

表 1-3 信息量  $I$  的单位

考虑两种极限的情况:当事件出现的概率为 1 时,即事件必然发生,则信息量为 0;当事件出现的概率为 0 时,即事件根本不可能发生,则信息量为无穷大。可见,这个公式能够准确地表达出信息量的含义。

$a$ 的取值	$I$ 的单位	$I$ 的单位表示符号
2	比特	bit(简称 b)
10	奈特	nit
$e$	哈特莱	Hartley

例如:在二进制通信系统中,有两种符号 0 和 1。在等概率的情况下,有

$$I(0) = -\text{lb}P(0) = -\text{lb} \frac{1}{2} = -\text{lb}P(1) = I(1) = 1 \text{ bit} \quad (1-3)$$

即,在等概二进制系统中,每个二进制符号都携带 1 bit 的信息量。

一般地,在  $M$  进制通信系统中, $M$  个符号等概出现,则每个符号所携带的信息量均为

$$I = -\text{lb} \frac{1}{M} = \text{lb}M \text{ bit} \quad (1-4)$$

当  $M$  为 2 的  $k$  次方,即  $M$  为 2 的整数次幂时,有

$$I = -\text{lb} \frac{1}{M} = \text{lb}M = \text{lb}2^k = k \text{ bit} \quad (1-5)$$

### 思考应答

分别计算等概十六进制系统和六十四进制系统中每个符号所携带的信息量,并进行对比分析。

## 子任务 1.3.2 学会计算平均信息量(信源的熵)

### 必备知识

一般情况下,设系统中共有  $n$  种符号  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , 它们出现的概率分别为  $P(x_1), P(x_2), \dots, P(x_n)$ , 且有  $\sum_{i=1}^n P(x_i) = 1$ , 则各符号所含信息量分别为  $-\text{lb}P(x_1), -\text{lb}P(x_2), \dots, -\text{lb}P(x_n)$ 。可定义一个平均信息量  $H(x)$ , 用来衡量每个符号所含信息量的统计平均值, 其定义公式为

$$\begin{aligned}
 H(x) &= P(x_1)[- \lg P(x_1)] + P(x_2)[- \lg P(x_2)] + \cdots + P(x_n)[- \lg P(x_n)] \\
 &= \sum_{i=1}^n P(x_i)[- \lg P(x_i)] \text{ 比特/符号} \quad (1-6)
 \end{aligned}$$

平均信息量  $H(x)$  又称为信源的熵, 其单位为比特/符号(或 bit/symbol)。可以证明, 在等概的情况下, 式(1-6)即成为式(1-4)(即平均信息量的值就等于每个符号携带的信息量), 且信息源的熵有最大值。

### 思考应答

设某八进制系统(由 0, 1, 2, ..., 6, 7 八种符号构成), 试计算以下两种情况下信息源的熵, 并进行对比。

(1) 各符号等概;

(2)  $P(0)=P(1)=1/8, P(2)=P(3)=1/4, P(4)=P(5)=P(6)=P(7)=1/16$ 。

### 子任务 1.3.3 学会计算消息序列的总信息量

#### 必备知识

由于信息具有相加性, 即多个相互独立的消息所携带的总信息量等于每个消息所含信息量的线性叠加, 用公式可表示为

$$I(x_1, x_2, \dots, x_n) = I(x_1) + I(x_2) + \cdots + I(x_n) \quad (1-7)$$

因此, 可以利用这个特性来求解消息序列的总信息量。

以上讨论的都是离散信息所含信息量的问题。根据抽样定理, 上述方法同样适用于连续信息所含信息量的求解。

#### 案例分析

已知一个离散信息源由 0、1、2、3 四个符号组成, 它们出现的概率分别为  $3/8$ 、 $1/4$ 、 $1/4$  和  $1/8$ , 且每个符号的出现都是独立的。试求消息序列“002210021302130012031010032101002310200201031203210012021”的总信息量。

解 首先求出各符号的信息量:

$$I(0) = -\lg\left(\frac{3}{8}\right) = 1.415 \text{ bit} \quad I(1) = -\lg\left(\frac{1}{4}\right) = 2 \text{ bit}$$

$$I(2) = -\lg\left(\frac{1}{4}\right) = 2 \text{ bit} \quad I(3) = -\lg\left(\frac{1}{8}\right) = 3 \text{ bit}$$

第一种解法: 利用信息的相加性来求。

首先统计出各符号出现的次数: 0 出现 23 次, 1 出现 14 次, 2 出现 13 次, 3 出现 7 次。然后, 利用公式(1-7)来计算总信息量为

$$\begin{aligned}
 I &= I(0) + I(0) + I(2) + I(2) + I(1) + \cdots + I(2) + I(1) \\
 &= 23 \times I(0) + 14 \times I(1) + 13 \times I(2) + 7 \times I(3) \\
 &= 23 \times 1.415 + 14 \times 2 + 13 \times 2 + 7 \times 3 \\
 &= 107.545 \text{ bit}
 \end{aligned}$$

第二种解法：利用平均信息量来求。

$$\begin{aligned} H(x) &= \sum_{i=1}^4 P(x_i)[- \lg P(x_i)] \\ &= \frac{3}{8} I(0) + \frac{1}{4} I(1) + \frac{1}{4} I(2) + \frac{1}{8} I(3) \\ &= 0.531 + 0.5 + 0.5 + 0.375 \\ &= 1.906 \text{ bit/symbol} \end{aligned}$$

由于序列中总符号数为 57，则总信息量亦可表示为

$$I = H(x) \times 57 = 1.906 \times 57 = 108.642 \text{ bit}$$

上述两种解法的结果存在一定误差，其中第一种解法的结果更准确，这是因为平均信息量体现的是统计平均值，而每个具体消息序列中符号出现的比例并不一定与其出现概率完全一致。因此，消息序列越长，利用平均信息量进行计算的结果越准确。当消息序列趋于无穷时，两种解法的计算误差将趋于零。

### 思考应答

已知一个离散信息源由  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$  和  $e$  五个符号组成，它们出现的概率分别为  $1/2$ 、 $1/4$ 、 $1/8$ 、 $1/16$  和  $1/16$ ，且每个符号的出现都是独立的。试用两种方法求消息序列“ $abbdacbbbababaaacaabaiaaaaaecc$ ”的总信息量并进行对比。

## 任务 1.4 评价通信系统的优劣

**任务要求：**通信系统多种多样，如何评价一个通信系统的优劣，设计和使用一个通信系统又有什么依据标准呢？这就需要确定反映通信系统性能的各种技术指标，如有效性、可靠性、标准化程度、便捷性、经济性及实用性等。其中，有效性和可靠性是评价通信系统性能的最主要的指标。有效性主要涉及信息传输的“速度”问题，而可靠性主要涉及信息传输的“质量”问题。二者相互联系又相互制约，在实际应用时必须统筹兼顾。本节的任务是熟悉通信系统中各种可靠性和有效性的指标，掌握相关计算，并学会利用这些指标来评价通信系统的优劣。

### 子任务 1.4.1 学会评价模拟通信系统的优劣

#### 必备知识

在模拟通信系统中，有效性常用系统的有效传输频带宽度来衡量。由于带宽是一种资源，传输同样的信息，占用带宽越小，有效性就越高。而信号的有效传输带宽与调制方式有关。如传输一路模拟话音，采用常规调幅(AM)需要占用 8 kHz 带宽，而采用单边带调幅(SSB)4 kHz 带宽就够了，因此，SSB 比 AM 的有效性高。

模拟通信系统的可靠性通常用接收机最终输出的信噪比  $S/N$  来评价，如图 1-11 所示。因此，可靠性代表着系统的抗噪声性能。