

(第2版)

# 现代通信技术

XIANDAI TONGXIN JISHU

王丽娜 主编

皇甫伟 王兵 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

# 现代通信技术

## (第2版)

王丽娜 主编  
皇甫伟 王 兵 编著

国防工业出版社

·北京·

## 内 容 简 介

本书首先对通信的基础知识进行了简要介绍,然后对现代通信领域涉及的主要技术作了比较全面、系统地讲述,其中涵盖了近年来涌现的新技术。

全书共分8章,内容包括通信基础知识、数字通信技术、电话网技术、数据通信技术、光纤通信技术、多媒体通信技术、无线通信技术和通信与网络技术的发展。

本书内容丰富、简明易懂,可作为高等院校通信、电子信息类专业高年级学生的教材或教学参考书,也可供从事相关专业工作的科研和工程技术人员学习和参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

现代通信技术 / 王丽娜主编. —2 版. —北京:国防工业出版社,2016. 12

(现代通信高技术丛书)

ISBN 978 - 7 - 118 - 11167 - 5

I. ①现… II. ①王… III. ①通信技术 IV. ①TN91

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 287653 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

三河市德鑫印刷有限公司印刷

新华书店经售

\*

开本 787 × 1092 1/16 印张 22½ 字数 560 千字

2016 年 12 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2500 册 定价 58.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

# 前 言

通信技术发展迅速,新技术不断涌现,给社会经济和人们的生活带来了巨大变化。

现代通信技术作为信息化社会的支柱产业,对一个国家的政治、经济、军事、文化的发展和规划具有重要意义。为了适应信息时代发展的需要,有必要了解和掌握现代通信技术基础知识和发展动向。

本书是作者在从事《现代通信技术》课程教学的基础上,结合国内外现代通信技术的发展状况编写而成。编写力求简明扼要、深入浅出、通俗易懂,避免繁杂的理论推导。知识结构和内容体系本着科学性、先进性、实用性和系统性兼顾的原则,使读者对现代通信技术的基本概念、基本原理、系统构成和技术发展趋势有较全面的理解和掌握。

全书共8章:

第1章概括介绍通信的基础知识,包括通信的基本概念、通信系统、通信网、通信业务、通信协议及通信领域的标准化组织;

第2章主要介绍数字通信技术,包括模拟信号数字化、时分多路复用、数字复接技术和同步数字体系;

第3章主要介绍电话网技术,包括电话网的构成、信令网、程控数字交换技术的工作原理、程控数字交换机的构成、呼叫处理的基本原理;

第4章主要介绍数据通信技术,包括数据通信的基本概念和系统组成、数据信号的传输、差错控制技术、数据链路传输控制规程、数据通信的交换技术以及数据通信网技术;

第5章主要介绍光纤通信技术,包括光纤通信的基本概念和系统组成、光纤传输的原理与特性、光放大技术、光复用技术、光交换技术、光传送网技术以及自动交换光网络技术;

第6章主要介绍多媒体通信技术,包括多媒体通信技术的基本概念和特征、多媒体音频和图像信息处理技术、多媒体通信同步技术以及多媒体通信网络技术;

第7章主要介绍无线通信技术,包括无线电波的传输特性、无线传输技术、移动通信技术、数字微波通信技术、卫星通信技术、短距离无线通信技术、自由空间光通信技术;

第8章主要介绍通信与网络技术的发展,包括下一代网络技术、软交换技术、IPv6技术、软件定义网络、认知无线电技术和可见光通信技术。

本书已列入北京科技大学校级规划教材,本书的编写得到了学校教材建设经费的资助,在此对北京科技大学和国防工业出版社的大力支持表示衷心感谢。现代通信技术涉及面广、专业性强,本书在编写过程中参阅了国内外大量的专业书籍和文献,谨向各位译、作者致敬并感谢。

由于现代通信技术涵盖面广,发展日新月异,作者学识和编写水平有限,书中难免有纰漏和不妥之处,敬请读者不吝斧正。

编著者

2016年10月于北京

# 目 录

第 1 章 通信基础知识 .....	1
1.1 基本概念 .....	1
1.1.1 通信信号 .....	1
1.1.2 通信信道 .....	2
1.1.3 通信方式 .....	2
1.1.4 信息传输方式 .....	3
1.2 通信系统 .....	5
1.2.1 通信系统的基本模型 .....	5
1.2.2 通信系统的分类 .....	5
1.2.3 通信系统的主要性能指标 .....	6
1.3 通信网 .....	8
1.3.1 通信网的基本概念 .....	8
1.3.2 通信网的构成要素 .....	8
1.3.3 通信网的基本组网结构 .....	9
1.3.4 通信网的类型 .....	10
1.3.5 通信网的分层结构 .....	11
1.3.6 通信网的质量要求 .....	11
1.4 通信业务 .....	12
1.4.1 模拟与数字视音频业务 .....	12
1.4.2 数据通信业务 .....	12
1.4.3 多媒体通信业务 .....	13
1.5 通信协议 .....	14
1.5.1 协议的基本概念 .....	14
1.5.2 协议的分层结构 .....	14
1.5.3 开放系统互联参考模型 .....	14
1.6 标准化组织 .....	16
1.6.1 国际标准化组织 .....	16
1.6.2 国际电信联盟 .....	17
1.6.3 电气和电子工程师学会 .....	18
1.6.4 互联网工程任务组 .....	19
1.6.5 美国联邦通信委员会 .....	19
本章小结 .....	20

习题	20
<b>第2章 数字通信技术</b>	<b>21</b>
2.1 模拟信号数字化	21
2.1.1 数字通信的概念和特点	21
2.1.2 脉冲编码调制技术	22
2.2 时分多路复用	24
2.2.1 时分多路复用的基本概念	24
2.2.2 时分多路复用的同步技术	25
2.2.3 PCM30/32路系统	28
2.3 数字复接技术	30
2.3.1 数字复接的概念	30
2.3.2 数字复接的实现	31
2.3.3 数字复接的同步	31
2.3.4 同步复接和异步复接	33
2.4 同步数字体系	40
2.4.1 同步数字体系产生的技术背景	40
2.4.2 同步数字体系的概念和特点	41
2.4.3 同步数字体系的网络节点接口、速率和帧结构	42
2.4.4 同步数字体系的基本复用映射结构	45
本章小结	48
习题	48
<b>第3章 电话网技术</b>	<b>50</b>
3.1 电话网概述	50
3.1.1 电话网的组成和结构	50
3.1.2 电话网的路由选择	55
3.1.3 信令网	59
3.2 程控数字交换技术	69
3.2.1 程控数字交换的基本原理	69
3.2.2 程控数字交换机的构成	74
3.2.3 呼叫处理的基本原理	85
本章小结	89
习题	89
<b>第4章 数据通信技术</b>	<b>91</b>
4.1 数据通信概述	91
4.1.1 数据和数据通信	91
4.1.2 数据通信系统的组成	92



4.1.3	数据通信的过程	93
4.1.4	数据通信的 OSI 体系结构	94
4.2	数据信号传输	94
4.2.1	数据信号及传输信道	94
4.2.2	数据信号传输的基本方法	98
4.3	差错控制技术	99
4.3.1	差错控制的基本概念	99
4.3.2	差错控制的基本原理	99
4.3.3	差错控制编码的纠检错能力	100
4.3.4	差错控制方式	101
4.3.5	常用的差错控制码	102
4.4	数据链路传输控制规程	106
4.4.1	数据链路及数据链路层的主要功能	106
4.4.2	数据链路控制规程的主要功能	107
4.4.3	数据链路控制规程的种类	108
4.5	数据通信的交换技术	122
4.5.1	数据交换的必要性	122
4.5.2	数据交换方式	122
4.5.3	电路交换	123
4.5.4	报文交换	124
4.5.5	分组交换	126
4.5.6	帧方式	129
4.6	数据通信网技术	129
4.6.1	数据通信网的构成	129
4.6.2	数据通信网分类	130
4.6.3	分组交换网技术	130
4.6.4	帧中继技术	137
4.6.5	数字数据网技术	140
4.6.6	以太网技术	144
4.6.7	ATM 技术	146
	本章小结	153
	习题	154
<b>第 5 章</b>	<b>光纤通信技术</b>	<b>155</b>
5.1	光纤通信概述	155
5.1.1	光纤通信的概念和特点	155
5.1.2	光纤通信的工作波长	156
5.1.3	光纤通信系统的组成及工作过程	157
5.2	光纤传输原理与特性	162

5.2.1	光纤结构 .....	162
5.2.2	光纤的分类 .....	163
5.2.3	光纤的导光原理 .....	164
5.2.4	光纤的传输特性 .....	168
5.3	光放大技术 .....	171
5.3.1	半导体光放大器 .....	171
5.3.2	光纤放大器 .....	172
5.4	光复用技术 .....	174
5.4.1	光波分复用技术 .....	174
5.4.2	光时分复用技术 .....	176
5.5	光交换技术 .....	177
5.6	光传送网技术 .....	179
5.6.1	光传送网的引入 .....	179
5.6.2	光传送网的结构 .....	179
5.6.3	光传送网的节点技术 .....	180
5.7	自动交换光网络技术 .....	182
5.7.1	自动交换光网络的体系结构 .....	182
5.7.2	自动交换光网络的连接 .....	183
5.7.3	自动交换光网络的关键技术 .....	184
	本章小结 .....	185
	习题 .....	186
<b>第6章</b>	<b>多媒体通信技术 .....</b>	<b>187</b>
6.1	多媒体通信概述 .....	187
6.1.1	基本概念 .....	187
6.1.2	多媒体通信技术的特征 .....	188
6.1.3	多媒体通信体系结构 .....	188
6.1.4	支持多媒体通信的互联网协议 .....	189
6.2	多媒体信息处理技术 .....	190
6.2.1	音频信息处理技术 .....	190
6.2.2	图像信息处理技术 .....	195
6.3	多媒体通信同步技术 .....	208
6.3.1	多媒体同步的概念和类型 .....	208
6.3.2	多媒体同步参考模型 .....	210
6.3.3	多媒体同步控制机制 .....	213
6.4	多媒体通信网络技术 .....	216
6.4.1	多媒体通信对通信网的要求 .....	216
6.4.2	现有网络对多媒体通信的支撑 .....	218
6.4.3	基于IP的宽带多媒体通信网络 .....	220



本章小结 .....	224
习题 .....	225
<b>第7章 无线通信技术</b> .....	<b>226</b>
7.1 无线通信概述 .....	226
7.1.1 无线电波的传播特性 .....	226
7.1.2 无线传输技术 .....	232
7.2 移动通信技术 .....	243
7.2.1 移动通信的基本概念和特点 .....	243
7.2.2 移动通信系统的组成及工作频段 .....	245
7.2.3 移动通信组网技术和组网原则 .....	247
7.2.4 移动通信的功率控制和切换技术 .....	251
7.2.5 GSM 数字移动通信系统 .....	253
7.2.6 第3代移动通信技术 .....	260
7.2.7 第4代移动通信系统 .....	265
7.3 数字微波通信技术 .....	272
7.3.1 数字微波通信的基本概念 .....	272
7.3.2 数字微波通信线路及工作过程 .....	273
7.3.3 数字微波通信的关键技术 .....	276
7.4 卫星通信技术 .....	277
7.4.1 卫星通信的基本概念和特点 .....	277
7.4.2 卫星通信使用的频率 .....	278
7.4.3 卫星通信系统的组成及工作过程 .....	279
7.4.4 卫星运行的轨道 .....	284
7.4.5 宽带 IP 卫星通信技术 .....	285
7.5 短距离无线通信技术 .....	293
7.5.1 红外数据通信技术 .....	293
7.5.2 蓝牙技术 .....	295
7.5.3 家庭射频技术 .....	300
7.5.4 Zigbee 技术 .....	303
7.5.5 超宽带技术 .....	307
7.6 自由空间光通信技术 .....	314
7.6.1 自由空间光通信的概念及系统组成 .....	314
7.6.2 自由空间光通信工作波长 .....	314
7.6.3 自由空间光通信技术特点 .....	314
7.6.4 自由空间光通信的应用 .....	315
7.6.5 自由空间光通信的关键技术 .....	316
本章小结 .....	317
习题 .....	318

<b>第8章 通信与网络技术的发展</b> .....	319
8.1 下一代网络概述 .....	319
8.1.1 下一代网络的含义 .....	319
8.1.2 下一代网络的特点 .....	319
8.1.3 下一代网络提供的新业务 .....	320
8.1.4 基于软交换的下一代网络体系结构 .....	321
8.1.5 下一代网络的主要技术 .....	322
8.2 软交换技术 .....	323
8.2.1 软交换的定义 .....	323
8.2.2 软交换技术的基本要素 .....	323
8.2.3 软交换技术的参考模型及实现 .....	324
8.2.4 软交换的功能 .....	326
8.2.5 软交换的对外接口 .....	328
8.2.6 软交换的主要协议 .....	329
8.3 IPv6 技术 .....	331
8.3.1 IPv4 存在的问题及 IPv6 的特点 .....	331
8.3.2 IPv6 数据报格式 .....	333
8.3.3 IPv6 的地址 .....	334
8.3.4 IPv4 向 IPv6 过渡 .....	337
8.4 软件定义网络 .....	339
8.4.1 软件定义网络的概念 .....	339
8.4.2 软件定义网络的架构 .....	340
8.4.3 软件定义网络的未来发展 .....	341
8.5 认知无线电技术 .....	341
8.5.1 认知无线电的概念和研究模型 .....	341
8.5.2 认知无线电的关键技术 .....	344
8.6 可见光通信技术 .....	346
本章小结 .....	347
习题 .....	347
<b>参考文献</b> .....	348

# 第 1 章 通信基础知识

通信是信息的传递和交换,在此过程中涉及的因素和技术较多,本章主要讲述几个通信相关的基本概念、通信系统的组成和分类、通信网的构成要素、通信网的组网结构和分层结构、通信业务的种类以及通信协议等基础知识。

## 1.1 基本概念

### 1.1.1 通信信号

声音、文字、图像都是表示信息的一种形式。对于通信系统而言,信源发出的信息要经过适当的变换和处理使之变成适合在信道上传输的信号才可以传输,因此,从通信的角度讲,信号是信息传输的载体。信号应该具有某种可以感知的物理参量,如电压、电流以及光波的强度和频率等。信号通常分为两大类,即模拟信号和数字信号。

#### 1. 模拟信号

信号波形模拟随信息的变化而变化,这样的信号就称为模拟信号,如图 1-1 所示。模拟信号的特点是幅度连续(连续的含义是在某一取值范围内可以取无限多个数值)。图 1-1(a)所示的信号是模拟信号,其信号波形在时间上也是连续的,故又称为连续的模拟信号。对图 1-1(a)所示的模拟信号按一定的时间间隔  $T$  抽样后得到的抽样信号如图 1-1(b)所示,信号波形在时间上是离散的,故又称为离散的模拟信号。由于该信号的幅度仍然是连续的,因此它仍然是模拟信号。目前,电话、传真、电视信号都是模拟信号。

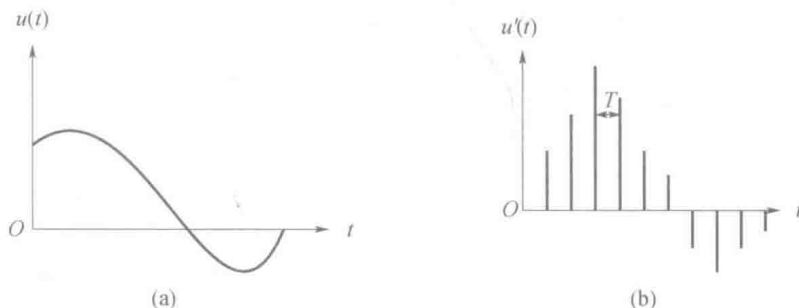


图 1-1 模拟信号

(a) 连续的模拟信号;(b) 离散的模拟信号。

#### 2. 数字信号

数字信号指的是幅度离散的信号,即信号幅值被限制在有限个数值之内,不是连续的而是离散的,如图 1-2 所示。图 1-2(a)是二进制码,每个码元只取两个幅值(0,  $A$ ),图 1-2(b)是四进制码,每个码元取(3, 1, -1, -3)中的一个。

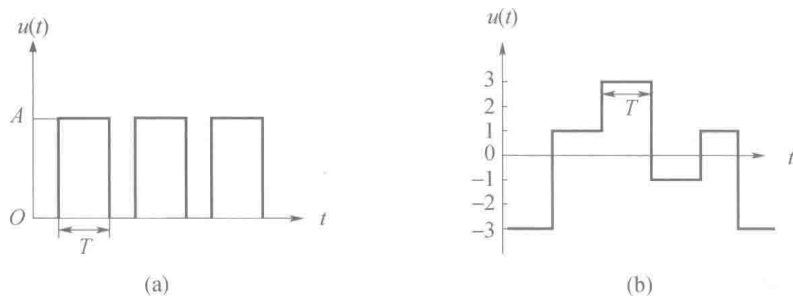


图 1-2 数字信号  
(a)二进制码;(b)四进制码。

### 1.1.2 通信信道

信道是信号在通信系统中传输的通道,是信号从发射端传输到接收端所经过的传输媒质。按照不同的分类方法,可以将信道分为不同的种类。

#### 1. 按传输媒介划分

(1) 有线信道:利用导体来传输信号。常用的有线信道有架空明线、双绞线、同轴电缆、光缆等。

(2) 无线信道:利用电磁波的传播来传输信号。根据电磁波的传输特点,无线信道又可以分为长波信道、中波信道、短波信道、超短波信道、微波接力信道、卫星中继信道、短波电离层反射信道、微波对流层散射信道等。

#### 2. 按信道传输信号的形式划分

(1) 模拟信道:传送模拟信号的信道。

(2) 数字信道:传送数字信号的信道。

#### 3. 按信道特性划分

(1) 恒参信道:信道的特性不随时间变化。常见的恒参信道有有线信道、微波接力信道、卫星中继信道等。

(2) 变参信道:信道的特性随时间变化,有时也称为时变信道。常见的变参信道有短波电离层反射信道、微波对流层散射信道等。

### 1.1.3 通信方式

#### 1. 单工通信

单工通信是指信息只能单向传送或某一时间内只能使用发信机或收信机。广播、无线寻呼、遥控器、从计算机主机输出数据到显示器或打印机采用的都是单工通信方式。单工通信的工作原理如图 1-3 所示。

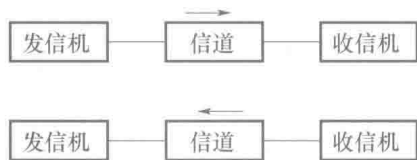


图 1-3 单工通信方式

#### 2. 半双工通信

半双工通信是指可以双向传送信息,但两个方向只能轮流分时发送,不能同时传送,或只有其中一方可以同时使用收信机和发信机。对讲机、收发报机、集群通信和计算机与终端之间的通信采用的都是双工通信方式。双工通信的工作原理如图 1-4 所示。

### 3. 全双工通信

全双工通信是指可以同时传送信息,通信双方的收信机和发信机均可同时工作。电话系统、移动电话、计算机网络等大多数通信系统采用的都是全双工通信方式。全双工通信的工作原理如图 1-5 所示。

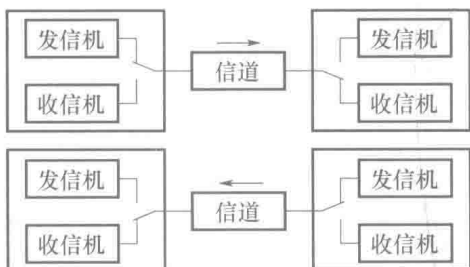


图 1-4 半双工通信方式

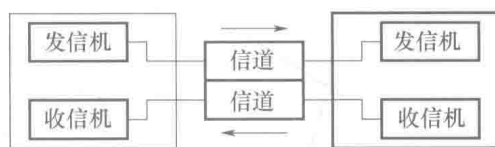


图 1-5 全双工通信方式

## 1.1.4 信息传输方式

### 1. 并行传输与串行传输

#### 1) 并行传输

并行传输指的是数据以成组的方式在多条并行信道上同时进行传输。常用的是将构成一个字符代码的几位二进制码分别在几个并行信道上进行传输,例如,采用 8 单位代码的字符,可以用 8 个信道并行传输,如图 1-6 所示。并行传输的特点是终端装置与线路之间不需要对传输数据做时序变换,能简化终端装置的结构;需要多条信道的传输设备,因此成本较高;一次传送一个字符,因此收、发双方不存在字符的同步问题,不需要另加“起”“止”信号或其他同步信号来实现收、发双方的字符同步,这是并行传输的一个主要优点。但是,并行传输必须有并行信道,这往往带来了设备上或实施条件上的限制,因此,实际应用受到限制。

#### 2) 串行传输

串行传输指的是组成字符的若干位二进制码排列成数据流以串行的方式在一条信道上传输,如图 1-7 所示。一个字符的 8 个二进制代码,由高位到低位顺序排列,再接下一个字符的 8 位二进制码,这样串接起来形成串行数据流传输。串行传输只需要一条传输信道,易于实现,是目前主要采用的一种传输方式。但是,串行传输存在一个收、发双方如何保持码组或字符同步

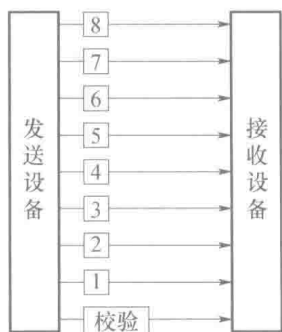


图 1-6 并行传输示意图



图 1-7 串行传输示意图

的问题,这个问题不解决,接收方就不能从接收到的数据流中正确地区分出一个一个字符来,传输也将失去意义,因此这个问题是串行传输必须解决的。如何解决码组或字符的同步问题,目前有两种不同的解决办法,即异步传输方式和同步传输方式。串行传输的特点是所需线路少,线路利用率高;发送端和接收端要分别进行并/串转换和串/并转换;收发之间必须采取某种同步方式。

## 2. 异步传输与同步传输

### 1) 异步传输

异步传输方式一般以字符为单位,不论所采用的字符代码长度为多少位,在发送每一字符代码时,前面均加上一个“起”信号,其长度规定为1个码元,极性为“0”,即空号的极性;字符代码后面均加上一个“止”信号,其长度为1、1.5或2个码元,极性皆为“1”,即与信号极性相同,加上起、止信号的作用就是为了能区分串行传输的“字符”,也就是实现串行传输收、发双方码组或字符的同步。异步传输方式的优点是同步实现简单,收发双方的时钟信号不需要严格同步;缺点是对每一字符都需加入“起”“止”码元,使传输效率降低,故适用于1200bit/s以下的低速数据传输。异步传输方式如图1-8所示。

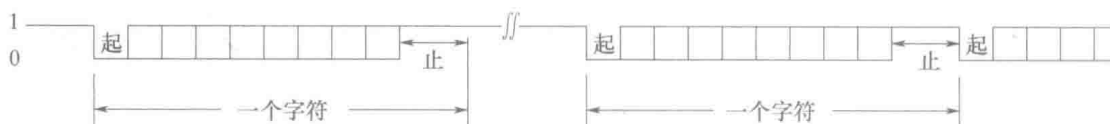


图 1-8 异步传输示意图

### 2) 同步传输

同步传输是以固定的时钟节拍来发送数据信号的,因此在一个串行数据流中,各信号码元之间的相对位置是固定的(即同步)。接收端为了从收到的数据流中正确地区分出一个个信号码元,首先必须建立准确的时钟信号,这是同步传输较之异步传输复杂的一点。在同步传输中,数据的发送一般以组(或称帧)为单位,一组数据包含多个字符代码或多个比特,在组或帧的开始和结束需加上预先规定的起始序列和结束序列作为标志。起始序列和结束序列的形式根据所采用的传输控制规程而定,有两种同步方式,即字符同步和帧同步,如图1-9所示。

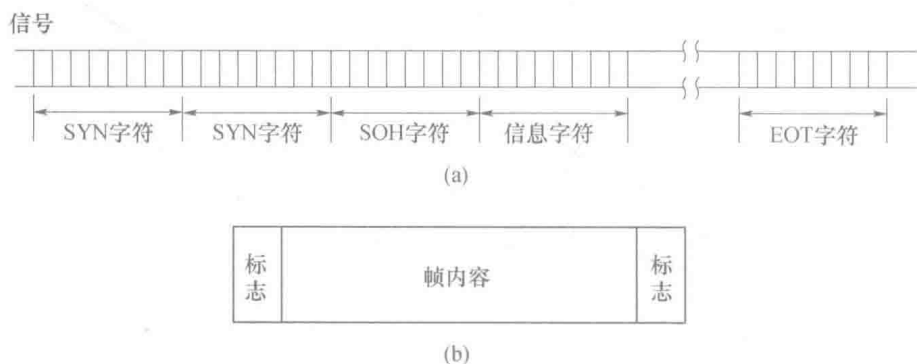


图 1-9 同步传输示意图

(a) 字符同步;(b) 帧同步。



## 1.2 通信系统

### 1.2.1 通信系统的基本模型

通信系统指的是利用电、光等信号形式来传递信息的系统。不管所传输信息的特征如何,也不管实际信息的传递方式是怎样的,通信系统都可以用图1-10所示的模型来描述。

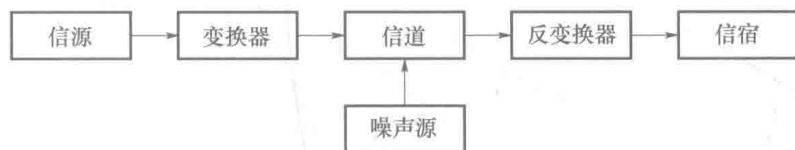


图 1-10 通信系统的一般模型

从图1-10可以看出,通信系统一般由信源、变换器、信道、反变换器、信宿和噪声源构成,各部分表示了一个通信系统所必须具备的基本功能。

通信系统的根本任务是将信息从信源传送到信宿。信源指的是产生各种信息(如语音、文字、图像和数据等)的信息源,是信息的发送端,信宿则是信息的接收端。信源和信宿可以是人,也可以是机器(如计算机等),通过采用不同的信源和信宿可以构成不同形式的通信系统。

信道是信号的传输媒质。一般情况下,信源产生的信息不适于直接在信道上传输,为了使信息在信道中有效地传输,通常需要在发送端对信息进行必要的加工或处理,将它们统称为变换。在接收端为了还原信息,需要进行相应的反变换,反变换器的作用就是将从信道上接收到的信息变换成接收端可以接收的信息。信息的变换和反变换包括多种终端处理设备,相应完成能量变换、编码/译码、调制/解调等功能。变换器和反变换器的作用正好相反。

通信系统中不能忽略噪声的影响,通信系统的噪声可能来自于各个部分,包括发送或接收信息的周围环境、各种设备的电子器件,信道外部的电磁场干扰等。为便于分析,通常将系统内所存在的干扰用噪声源来表示,并将其集中到干扰最为严重的信道中。

### 1.2.2 通信系统的分类

通信系统有多种分类方法,通常按照通信业务、传输媒质、调制方式、工作波段、信道中传输的信号等方式对通信系统进行分类。

#### 1. 按照通信业务分类

通信系统根据通信业务的不同可以分为以下多种类型。

- (1) 单媒体通信系统,如电话、传真等。
- (2) 多媒体通信系统,如电视、可视电话、会议电话、远程教学等。
- (3) 实时通信系统,如电话、电视等。
- (4) 非实时通信系统,如电报、传真、数据通信等。
- (5) 单向传输系统,如广播、电视等。
- (6) 交互传输系统,如电话、视频点播(VOD)等。
- (7) 窄带通信系统,如电话、电报、低速数据等。

(8) 宽带通信系统,如视频点播、会议电视、远程教学、远程医疗、高速数据等。

## 2. 按照传输媒质分类

通信系统根据使用的传输媒质可以分为有线通信系统和无线通信系统。有线通信系统是用导线(包括电缆、光缆、波导等)作为传输媒质的通信系统,如市话系统、闭路电视系统、普通的计算机局域网等。无线通信系统是利用无线电波、红外线、超声波、激光作为传输媒质的通信系统,如广播系统、移动电话系统、传呼通信系统、电视系统等。

## 3. 按照调制方式分类

通信系统根据是否采用调制可以分为基带传输系统和调制传输系统两大类。基带传输是将未经任何调制处理的信号直接在信道中进行传输,即传输的是基带信号。而调制传输则是先对信号进行调制,然后再进行传输,即传输的是已调信号。

## 4. 按照工作频段分类

通信系统根据使用的波长可分为长波通信系统、中波通信系统、短波通信系统、微波通信系统和光通信系统等。

## 5. 按照信道中传输的信号分类

根据通信技术的现状,结合信源和信宿所处理的信号种类可以将通信系统分为三类:模拟通信系统、数字通信系统和数据通信系统。

(1) 模拟通信一般指的是信源发出的、信宿接收的和信道传输的都是模拟信号的通信过程或方式,因此,模拟通信系统可以说是以模拟信道传输模拟信号的系统。

(2) 数字通信是指信源发出和信宿接收的是模拟信号,而信道传输的是数字信号的通信过程或方式,因此,数字通信系统可以说是以数字信号的形式传输模拟信号的系统。

(3) 数据通信是随计算机和计算机网络的发展而出现的一种新的通信方式,它是指信源、信宿处理的都是数字信号,而传输信道既可以是数字信道也可以是模拟信道的通信过程或方式。通常,数据通信主要指计算机(或数字终端)之间的通信。

### 1.2.3 通信系统的主要性能指标

设计和评价一个通信系统时,最重要的性能指标是系统的有效性和可靠性(抗干扰性)。有效性指的是通信系统内信道中传输信息的能力,而可靠性指的是通信系统内接收信息的准确度。有效性和可靠性这两项指标通常是相互矛盾的,提高系统的有效性必然会降低系统的可靠性,反之亦然。在实际情况中,通常根据具体情况兼顾考虑通信系统的有效性和可靠性,即在满足一定可靠性指标的前提下,尽量提高有效性。

#### 1. 模拟通信系统的性能指标

模拟通信系统的有效性用信道的有效传输带宽来衡量,有效带宽越大,则传输的话路越多,因此,模拟通信系统的有效性常常用信道内传输的话路多少来表示。例如,1路模拟话音信号占4kHz带宽,采用频分复用技术后,1对架空明线最多容纳12路模拟话音信号,1对双绞线最多容纳120路模拟话音信号,而同轴电缆最多可达1万路模拟话音信号,显然同轴电缆的有效性指标是最好的。另外,在模拟通信系统中采用多路复用技术可以提高系统的有效性,信道复用程度越高,信号传输的有效性就越好。

模拟通信系统的可靠性通常用整个通信系统的输出信噪比来衡量。信噪比指的是输出信号平均功率与输出噪声平均功率的比值,用 $\gamma_{\text{SNR}}$ 来表示,即

$$\gamma_{\text{SNR}} = \frac{P_s}{P_n} \quad (1-1)$$

式中： $P_s$ 为信号的平均功率； $P_n$ 为噪声的平均功率。

在实际的模拟通信系统中，造成发送信号与接收信号产生误差的原因有两个：一个是信号在传输时叠加噪声，称为加性干扰产生的误差；另一个是信道传输特性不理想，称为乘性干扰产生的误差。第一种干扰不管有无信号始终是存在的，第二种干扰只有信号存在时才存在。乘性干扰产生的影响通常还用更具体的指标来表示，如电话系统有保真度、可懂度、清晰度等指标。输出信噪比指的是输出信号平均功率与传输过程中引入的噪声平均功率之比，即表示因加性干扰产生的误差。信噪比越高，通信质量越好。例如，一个好的电视系统应该有大约 60dB 的信噪比，而一个商用的、令人满意的电话系统应该有大约 30dB 的信噪比。输出信噪比除了与信号功率和噪声功率的大小有关外，还取决于调制方式，因此，改变调制方式可以改善通信系统的性能。

## 2. 数字通信系统的性能指标

在数字通信系统中，有效性指标通常用系统的频带利用率来衡量，可靠性指标通常用传输差错率来衡量。

### 1) 系统的频带利用率

系统的频带利用率可用单位频带内系统允许的传输速率来表示。传输速率指的是单位时间内通过信道的平均信息量，一般有两种表示方法：码元传输速率和信息传输速率。

(1) 码元传输速率。码元是携带信息的数字单元，指的是数字信道中传送数字信号的一个波形符号，它可以是二进制的，也可以是多进制的。码元传输速率又称为传码率、符号速率、码元或速率波特率，是单位时间（每秒）内信道所传送的码元（脉冲、符号）数目，单位是码元/秒或波特（Bd）。码元传输速率并没有限定是何种进制的码元，因此，在给出码元传输速率时必须说明这个码元的进制。实际上，码元传输速率与码元的进制无关，只与码元宽度有关，它们之间的关系为

$$R_B = \frac{1}{T} \quad (1-2)$$

式中： $R_B$ 为码元传输速率； $T$ 为码元宽度。例如，系统每秒钟传输 9600 个码元，则该系统的  $R_B$  为 9600Bd。

(2) 信息传输速率。信息传输速率又称为信息速率、传信率或比特率，是单位时间内系统传输（或信源发出）的信息量，用  $R_b$  表示，单位是比特/秒（bit/s）。

在二进制码元的传输中，每个码元代表一个比特的信息量，此时， $R_B$  和  $R_b$  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， $R_B$  和  $R_b$  不相等。在  $M$  进制中，每个码元脉冲代表  $\log_2 M$  个比特的信息量，此时  $R_B$  和  $R_b$  的关系为  $R_b = R_B \log_2 M$ 。例如，在四进制中，已知  $R_B = 1200\text{Bd}$ ，则  $R_b = 2400\text{bit/s}$ 。

根据上述传输速率的表示方式，可将系统的频带利用率表示为

$$\eta = \frac{\text{系统的传输速率}(R_B \text{ 或 } R_b)}{\text{系统的频带宽度}(B)} \quad (\text{Bd/Hz 或 bit}/(\text{s} \cdot \text{Hz})) \quad (1-3)$$

### 2) 传输差错率

衡量数字通信系统可靠性的主要指标是传输差错率，常用误码率和误比特率来表示。

误码率指的是通信过程中系统传错码元的数目  $n$  与传输的总码元数  $N$  的比值（即传错码