



高职高专“十三五”规划教材·通信类

# 移动通信技术与系统

主 编 ○ 李明才



西安电子科技大学出版社  
<http://www.xduph.com>

高职高专“十三五”规划教材·通信类

# 移动通信技术与系统

主 编 李明才

副主编 谢翠琴 潘基翔 李 昊 熊婷婷  
范莉花 袁 涛 陈 锋

---

西安电子科技大学出版社

## 内 容 简 介

本书较全面地介绍了移动通信技术的相关基础知识。全书共9章,包括通信的基础知识、移动通信概述、移动通信的电波传播与场强估算、移动通信的基本技术、无线资源管理、2G移动通信系统、3G移动通信系统、4G移动通信系统、5G移动通信系统等内容。

本书简洁实用,重点突出,可作为高职高专院校通信类相关专业的教材,也可作为相关专业初学者和广大通信技术爱好者的自学参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

移动通信技术与系统/李明才主编. —西安:西安电子科技大学出版社,2019.5

ISBN 978 - 7 - 5606 - 5242 - 9

I. ① 移… II. ① 李… III. ① 移动通信—通信技术 ② 移动通信—通信系统 IV. ① TN929.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 028647 号

策划编辑 马晓娟

责任编辑 马晓娟

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西天意印务有限责任公司

版 次 2019年5月第1版 2019年5月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 13

字 数 304千字

印 数 1~3000册

定 价 28.00元

ISBN 978 - 7 - 5606 - 5242 - 9/TN

**XDUP 5544001 - 1**

\* \* \* 如有印装问题可调换 \* \* \*

本社图书封面为激光防伪覆膜 谨防盗防。

# 前 言

随着网络技术与信息技术的迅猛发展,人们对移动通信网络的数据量要求越来越高,促进了新兴智能业务的发展,也要求移动通信系统提供速度更快、效率更高、更智能化的网络技术。目前,相应的移动通信技术已从2G、3G、4G发展到5G,5G移动通信技术相比之前的通信技术有了明显的技术突破。5G移动通信技术以其特有优势和关键技术将获得广阔的市场发展前景,同时5G移动通信技术的开发也是通信领域的重要成就。

本书面向通信技术的初学者,从实际出发,由浅入深地讲解移动通信技术中重要的知识点;从基本理论知识入手,结合通信技术的发展历程和移动通信技术的特点,力求让读者充分理解并能掌握移动通信技术的相关知识与关键技术。

本书在内容上与时俱进,及时反映科技发展的现状;注重基本核心内容,符合专业人才培养方案的知识结构要求;适应高职高专的教学特点,尽量与我国电子信息产业发展相适应,有助于学生理解所学内容,增强就业后的知识应用能力。

本书按照由浅入深、循序渐进的原则,合理安排了所有章节的递进顺序,各个章节环环相扣,逐层递进,能让读者从一位初学者逐步进入到入门者的行列中。

本书由安徽职业技术学院信息学院的李明才、谢翠琴、范莉花、陈锋,安徽邮电职业技术学院的潘基翔,安徽机电职业技术学院的李昊、袁涛,安徽工业经济职业技术学院的熊婷婷编写。其中李明才编写第1章,范莉花编写第2章,潘基翔编写第3章,熊婷婷编写第4章,袁涛编写第5章,陈锋编写第6章,李昊编写第7章,谢翠琴编写第8、9章。全书由李明才、谢翠琴统稿。

本书获安徽高校自然科学基金项目(编号:KJ2018A0863)资助。

由于编者水平有限,书中难免存在疏漏之处,敬请读者批评指正。

编 者

2018年11月

# 目 录

<b>第 1 章 通信的基础知识</b> .....	1	3.1.1 无线电波 .....	30
1.1 通信的基本概念 .....	1	3.1.2 直射波 .....	31
1.1.1 通信技术发展概述 .....	1	3.1.3 大气中的电波传播 .....	32
1.1.2 通信技术基本概念 .....	2	3.1.4 障碍物的影响与绕射损耗 .....	34
1.1.3 通信系统的定义与组成 .....	3	3.1.5 反射波 .....	36
1.2 通信的分类 .....	3	3.2 移动通信的信道特征 .....	36
1.3 通信的基本方式 .....	5	3.2.1 传播路径与信号衰落 .....	36
1.4 通信系统的调制技术 .....	7	3.2.2 多普勒效应 .....	38
1.5 模拟通信系统、数字通信系统与		3.2.3 多径效应与瑞利衰落 .....	39
数据通信系统 .....	7	3.2.4 慢衰落特性和衰落储备 .....	40
1.5.1 三种通信系统的基本概念 .....	7	3.2.5 多径时散与相关带宽 .....	40
1.5.2 数据通信的主要性能指标 .....	8	3.3 陆地移动信道的传播损耗与	
习题 1 .....	10	场强估算 .....	41
<b>第 2 章 移动通信概述</b> .....	11	3.3.1 地形、地物分类 .....	41
2.1 移动通信的基本概念 .....	11	3.3.2 在中等起伏地形上传播时的	
2.2 移动通信的发展历程 .....	11	损耗中值 .....	42
2.3 移动通信的分类 .....	12	3.3.3 在不规则地形上传播时的	
2.4 移动通信系统的构成 .....	13	损耗中值 .....	45
2.5 移动通信的组网 .....	14	3.3.4 在任意地形地区传播时的	
2.5.1 大区制 .....	14	损耗中值 .....	47
2.5.2 小区制 .....	15	3.3.5 建筑物的穿透损耗及其他	
2.5.3 区群 .....	16	传播特点 .....	48
2.5.4 小区的激励方式 .....	17	习题 3 .....	49
2.5.5 移动通信网络结构 .....	19	<b>第 4 章 移动通信的基本技术</b> .....	50
2.6 移动通信的基本特点 .....	20	4.1 信源编码技术 .....	50
2.7 移动通信的噪声与干扰 .....	21	4.1.1 信源编码的基本概念 .....	50
2.7.1 噪声 .....	22	4.1.2 移动通信中的信源编码 .....	52
2.7.2 干扰 .....	23	4.2 信道编码技术 .....	54
习题 2 .....	28	4.2.1 码间距离及检、纠错能力 .....	54
<b>第 3 章 移动通信的电波传播与</b>		4.2.2 信道编码的分类 .....	54
<b>场强估算</b> .....	30	4.2.3 常用的信道编码 .....	55
3.1 无线电波的传播特性 .....	30	4.3 调制技术 .....	63

4.3.1 二进制数字调制 .....	64	6.1.4 GSM 的控制与管理 .....	106
4.3.2 多进制数字调制 .....	67	6.2 IS-95 CDMA 系统概述 .....	108
4.4 多址技术 .....	70	6.2.1 IS-95 CDMA 简介 .....	108
4.4.1 频分多址技术 .....	70	6.2.2 IS-95 CDMA 的空中接口 .....	110
4.4.2 时分多址技术 .....	71	6.2.3 IS-95 CDMA 的控制与管理 .....	113
4.4.3 码分多址技术 .....	71	习题 6 .....	116
4.4.4 空分多址技术 .....	72	<b>第 7 章 3G 移动通信系统</b> .....	117
4.5 交织技术 .....	72	7.1 3G 概述 .....	117
4.6 均衡技术 .....	73	7.1.1 3G 发展背景 .....	117
4.6.1 均衡原理 .....	73	7.1.2 3G 的典型特征 .....	118
4.6.2 自适应均衡器 .....	74	7.1.3 3G 的基本特点 .....	118
4.7 分集技术 .....	75	7.1.4 3G 的标准化组织 .....	118
4.7.1 空间分集 .....	76	7.2 CDMA 2000 .....	120
4.7.2 极化分集 .....	76	7.2.1 CDMA 2000 系统的组成与 网络结构 .....	121
4.7.3 时间分集 .....	76	7.2.2 CDMA 2000 系统的接口 .....	122
4.7.4 频率分集 .....	76	7.2.3 CDMA 2000 系统的关键技术 .....	122
习题 4 .....	77	7.3 WCDMA .....	132
<b>第 5 章 无线资源管理</b> .....	78	7.3.1 WCDMA 系统的组成与网络 结构 .....	132
5.1 频率资源 .....	78	7.3.2 WCDMA 系统的接口 .....	134
5.1.1 频率资源的特性 .....	78	7.3.3 WCDMA 系统的关键技术 .....	134
5.1.2 频谱管理 .....	78	7.4 TD-SCDMA .....	138
5.1.3 同频复用 .....	81	7.4.1 TD-SCDMA 系统的组成与 网络结构 .....	139
5.1.4 多信道共用 .....	82	7.4.2 TD-SCDMA 系统的空中接口 .....	139
5.2 功率控制 .....	86	7.4.3 TD-SCDMA 系统的关键技术 .....	141
5.2.1 功率控制的原因 .....	86	习题 7 .....	149
5.2.2 功率控制的方式 .....	86	<b>第 8 章 4G 移动通信系统</b> .....	150
5.3 移动性管理 .....	90	8.1 4G 概述 .....	150
5.3.1 切换 .....	90	8.1.1 4G 的概念与 LTE .....	150
5.3.2 小区重选 .....	92	8.1.2 LTE 的特征与频谱 .....	150
5.4 位置管理 .....	94	8.2 LTE 系统的结构 .....	153
5.4.1 位置登记 .....	94	8.2.1 总体架构 .....	153
5.4.2 位置更新 .....	95	8.2.2 E-UTRAN 系统结构 .....	155
习题 5 .....	96	8.2.3 EPC 系统结构 .....	155
<b>第 6 章 2G 移动通信系统</b> .....	97	8.3 LTE 的关键技术 .....	157
6.1 GSM 概述 .....	97	8.3.1 OFDM 技术 .....	157
6.1.1 GSM 简介 .....	97		
6.1.2 GSM 的结构 .....	98		
6.1.3 GSM 的空中接口 .....	100		

8.3.2	MIMO 技术	162	9.2	5G 的网络架构	188
8.3.3	HARQ 技术	167	9.3	网络部署与业务视图	189
8.3.4	动态资源分配技术	170	9.4	5G 的关键技术	190
8.3.5	链路自适应技术	172	9.4.1	大规模天线技术	190
8.4	LTE 的空中接口	173	9.4.2	双工技术	191
8.4.1	空中接口协议	173	9.4.3	信道建模	192
8.4.2	物理层	174	9.4.4	信道编码	193
8.4.3	信道	180	9.4.5	多址接入技术	194
习题 8		183	9.4.6	动态 TDD	195
<b>第 9 章</b>	<b>5G 移动通信系统</b>	184	9.5	5G 网络技术	196
9.1	5G 概述	184	9.5.1	C-RAN	196
9.1.1	5G 的概念	184	9.5.2	D2D	198
9.1.2	5G 的技术目标	185	9.6	5G 技术未来展望	199
9.1.3	5G 的应用场景	187	习题 9		199
9.1.4	5G 的发展路径	188	<b>参考文献</b>		200

# 第1章 通信的基础知识

## 1.1 通信的基本概念

### 1.1.1 通信技术发展概述

自19世纪初电通信技术问世以来,短短的100多年时间里,通信技术的发展可谓日新月异,“千里眼”、“顺风耳”等古人的梦想不但得以实现,而且还出现了许多人们过去想都不曾想过的新技术。回顾通信技术的发展过程有利于我们更好地了解与掌握这门学科。表1-1对通信技术发展的过程做了简单介绍。

表1-1 通信技术发展过程简表

年 份	事 件
1838年	摩尔斯发明有线电报
1864年	麦克斯韦尔提出电磁辐射方程
1876年	贝尔发明有线电话
1896年	马可尼发明无线电报
1906年	真空管面世
1918年	调幅无线电广播、超外差收音机问世
1925年	开始利用三路明线载波电话进行多路通信
1936年	调频无线电广播开播
1937年	提出脉冲编码调制原理
1938年	电视广播开播
1940—1945年	雷达和微波通信系统迅速发展
1946年	第一台电子计算机在美国出现
1948年	晶体管面世;香农提出信息论
1950年	时分多路通信技术应用电话

续表

年 份	事 件
1956 年	铺设了越洋电缆
1957 年	第一颗人造地球卫星上天
1958 年	第一颗人造通信卫星上天
1960 年	发明了激光
1961 年	发明了集成电路
1962 年	成功发射第一颗同步通信卫星；脉冲编码调制进入实用阶段
1960—1970 年	发明了彩色电视；阿波罗宇宙飞船登月成功；出现高速数字计算机
1970—1980 年	大规模集成电路、商用卫星通信、程控数字交换机、光纤通信系统、微处理机等技术迅速发展
1980 年至今	超大规模集成电路、长波长光纤通信系统、综合业务数字网迅速崛起

从上表中可以看出，有线电报开创了人类信息交流的新纪元；无线电报为人类通信技术开辟了一个崭新的领域；载波通信的出现，改变了一条线路只能传送一路电话的局面，使一个物理介质上传送多路音频电话信号成为可能；电视极大地改变了人们的生活，使传输和交流信息从单一的声音发展到实时图像；计算机被公认为是 20 世纪最伟大的发明，它加快了各类科学技术的发展进程；集成电路为各种电子设备提供了高速、微小、功能强大的“心”，使人类的信息传输能力和信息处理能力达到了一个新的高度；光导纤维的发明，使人们寻求到一种真正能够承担起构筑未来信息化基础设施传输平台重任的通信介质；卫星通信将人类带入了太空通信时代；蜂窝移动通信为人们提供了一种前所未有、方便快捷的通信手段；因特网的出现意味着信息时代的到来，使地球变成了一个没有距离的小村落——“地球村”。

### 1.1.2 通信技术基本概念

尽管通信的方式各种各样，传递的内容千差万别，但都有一个共性，那就是进行信息的传递。因此，可以对通信下一个简单的定义：所谓通信，就是信息的传递。这里“传递”可以认为是一种信息传输的过程或方式。随着计算机技术和计算机网络技术的飞速发展，计算机网络通信也进入了我们的生活。通过因特网(Internet)，我们足不出户就可看报纸、听新闻、查资料、逛商店、玩游戏、上课、看病、下棋、购物、发电子邮件。网络通信丰富多彩的功能极大地拓宽了通信技术的应用领域，使通信渗入到人们物质与精神生活的各个角落，成为人们日常生活中不可缺少的组成部分。作为一门学科、一种技术，现代通信所研究的主要问题是把信息大量地、快速地、准确地、广泛地、方便地、经济地、安全地从信源通过传输介质传送到信宿。

### 1.1.3 通信系统的定义与组成

用于通信的设备硬件、软件和传输介质的集合叫做通信系统。从硬件上看,通信系统主要由信源、信宿、传输介质、接收设备、发送设备五部分组成,如图1-1所示(注意,图中的干扰可以理解为是通信系统的一部分,因为在实际应用中,一个通信系统无法彻底消除干扰)。比如电话通信系统包括送话器、电线、交换机、载波机、受话器等要素;广播通信系统包括麦克风、扬声器、发射设备、无线电波、接收设备等。这两个通信系统实例示意图如图1-2所示。

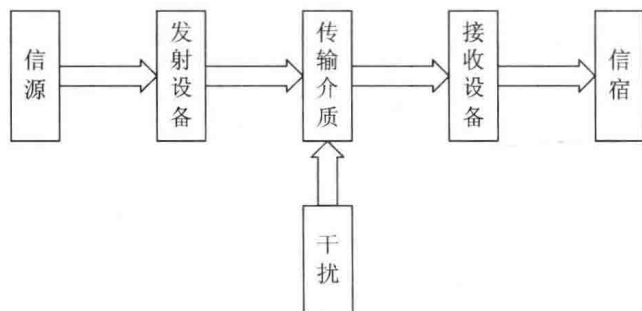


图 1-1 模拟通信系统的一般模型

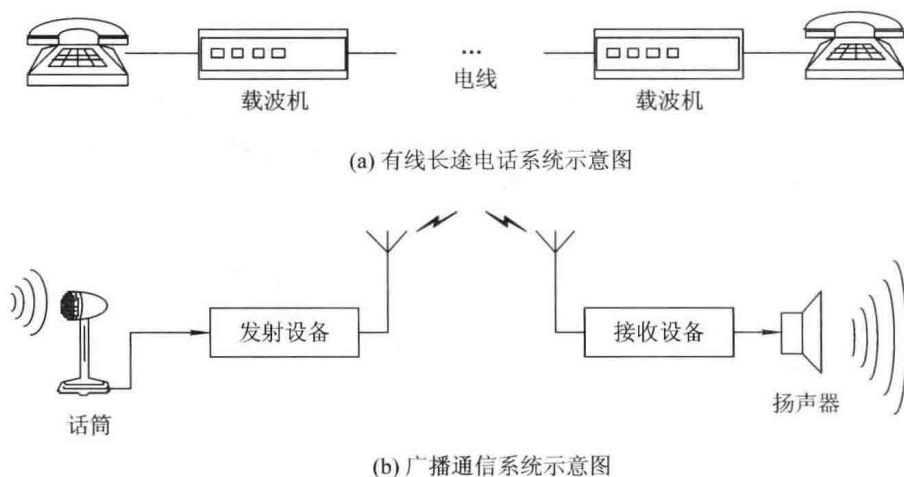


图 1-2 通信系统实例示意图

## 1.2 通信的分类

### 1. 按信号特征分类

根据信道传输信号种类的不同,通信系统可分为两大类:模拟通信系统和数字通信系统。信道中传输模拟信号的系统为模拟通信系统。模拟信号是指连续变化的信号,如图1-3(a)所示,大家熟悉的电话、广播和电视信号就是模拟信号。信道中传输数字信号的系统称为数字通信系统。数字信号是指离散变化的信号,如图1-3(b)所示,数字电话通信信号即为数字信号。

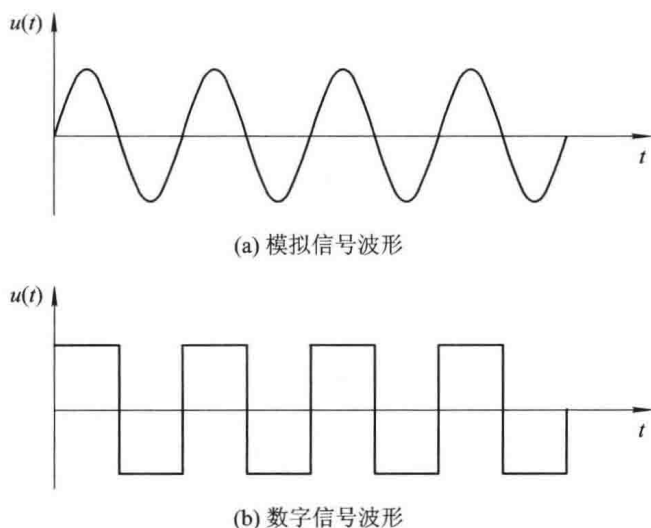


图 1-3 模拟信号与数字信号波形

## 2. 按传输介质分类

按传输介质的不同,通信系统可分为无线通信系统与有线通信系统。利用无线电波、红外线、超声波、激光进行通信的系统称为无线通信系统。广播系统、移动电话系统、传呼通信系统、电视系统等都是无线通信系统。而用导线(包括电缆、光缆和波导等)作为介质的通信系统就是有线通信系统,如市话系统、闭路电视系统、普通的计算机局域网等。随着通信技术、计算机技术和网络技术的飞速发展,单纯的有线或无线通信系统越来越少,实际通信系统常常是“无线”中有“有线”,“有线”中有“无线”。因此,无线通信、有线通信和计算机网络三者的关系已密不可分。

## 3. 按调制方式分类

按调制与否,通信系统可分为基带通信系统和调制通信系统。所谓基带通信,是指传输的信号是没有经过任何调制处理的信号,即基带信号,而调制通信传输的是已经调制的信号。

## 4. 按通信业务分类

按传送信息的业务的不同,通信系统可分为电话通信系统、电报通信系统、广播通信系统、电视通信系统、数据通信系统等。

## 5. 按工作波段分类

按使用波长的不同,通信系统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。

实际上,一种通信系统可以分属为不同的种类,比如我们所熟悉的无线电广播既是中短波通信系统、调制通信系统、模拟通信系统,也是无线通信系统。无论怎样划分通信系统,都只是在信号处理方式、传输方式或传输介质等外在特征上做区别,其通信的实质并没有改变,即大量地、快速地、准确地、广泛地、方便地、经济地、安全地传送信息这一点没有改变。因此,我们在分析、研究、设计、搭建和使用一个通信系统时,只要抓住这个实质,就不会被系统复杂的结构、先进的技术和生涩的技术术语所迷惑。

## 1.3 通信的基本方式

通信方式指通信双方(或多方)之间的工作形式和信号传输方式,它是通信各方在通信实施之前必须首先确定的问题。

根据不同的标准,通信方式也有多种分类法。

### 1. 按通信对象数量分类

按通信对象数量的不同,通信方式可分为点到点通信(即通信在两个对象之间进行)、点到多点通信(一个对象和多个对象之间的通信)和多点到多点通信(多个对象和多个对象之间的通信)三种,如图1-4所示。

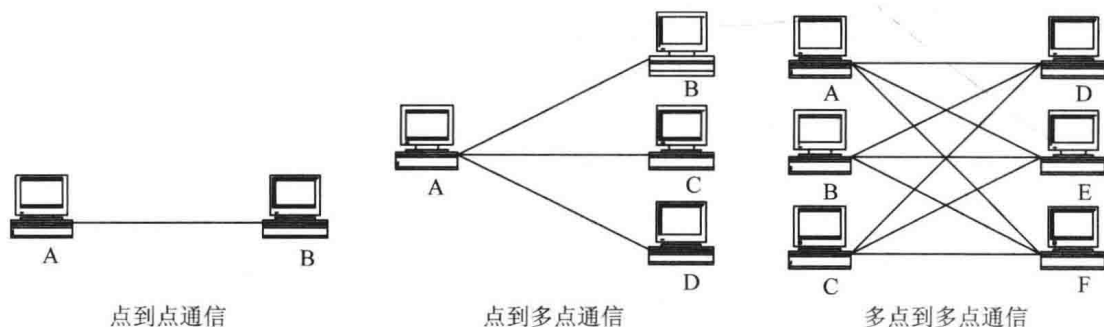


图 1-4 不同通信对象数量的通信方式

### 2. 按信号传输方向与传输时间分类

根据信号传输方向与传输时间的不同,任意两点间的通信方式可分为三种,即单工通信、半双工通信和全双工通信,如图1-5所示。

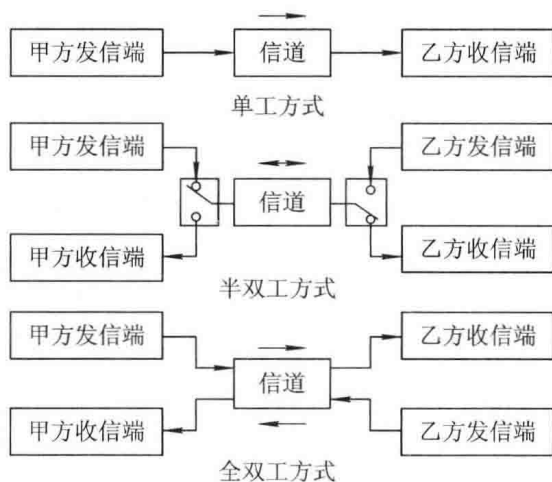


图 1-5 不同信号传输方向和传输时间的通信方式

单工通信是指在任何时刻,信号只能从甲方向乙方单向传输,甲方只能发信,乙方只能收信,如广播电台与收音机、电视台与电视机的通信(点到多点),遥控玩具、航模(点到点)、寻呼等亦属此类。

半双工通信是指在任何一个时刻,信号只能单向传输,或从甲方向乙方,或从乙方向甲方,每一方都不能同时收、发信息,如对讲机、收发报机之间的通信,问询、检索等亦属此类。

全双工通信是指在任何一个时刻,信号能够双向传输,每一方都能同时进行收信与发信工作,如普通电话、手机。

### 3. 按通信终端之间的连接方式分类

按通信终端之间的连接方式的不同,通信方式可分为两点间直通方式和交换方式。直通方式是通信双方直接用专线连接;交换方式是通信双方必须经过一个称为交换机的设备才能进行通信,如电话系统。

### 4. 按数字信号传输的顺序分类

按数字信号传输的顺序的不同,通信方式可分为串行通信和并行通信。

串行通信是指将表示一定信息的数字信号序列按信号变化的时间顺序一位接一位地从信源经过信道传输到信宿。串行通信的优点是只需一条信道,通信线路简单、成本低廉,一般用于较长距离的通信,比如工控领域利用计算机串口进行的数据采集和系统控制;缺点是传输速度较慢,为解决收、发双方的码组或字符同步问题,需要采取同步措施。

并行通信是指将表示一定信息的数字信号序列按码元数分成 $n$ 路(通常 $n$ 为一个字长,比如8路、16路、32路等),同时在 $n$ 路并行信道中传输,信源一次可以将 $n$ 位数据传送到信宿。并行通信的特点是需多条信道、通信线路复杂、成本较高,但传输速率快且不需要外加同步措施就可实现通信双方的码组或字符同步,多用于短距离通信,如计算机与打印机之间的通信。

### 5. 按同步方式分类

按同步方式的不同,通信方式可分为同步通信和异步通信。

异步通信是最早、最简单的通信方式。异步将每个字节作为一个单元独立传输,字节之间的传输间隔任意。为了实现字符同步,每个字符的第一位前加1位起始位(如逻辑“0”),数据位后面可插入一个校验位,用0或1表示,作用是对收到的数据是否出现差错进行检测,字符的最后一位后加1或2位终止位(如逻辑“1”)。这里的“字符”指异步通信的数据单元,不同于“字节”,一般略大于一个字节。异步通信的特点是:每个字符代码前后的起始位和停止位不仅标志字符的开始和结束,还兼作线路两端的同步时钟。异步通信时字符之间的间隔任意,传输速率较低,适合于误码率高及对数据速率要求低的线路。

当两台计算机之间进行数据通信时,不同计算机的时钟频率肯定存在着差异,在大量数据的传输过程中,其积累误差足以造成传输错误,因此在数据通信过程中首先要解决收发双方的时钟频率的一致性。解决的基本方法是要求接收端根据发送端发送数据的起止时间和时钟频率来校正自己的时间基准与时钟频率,这个过程就叫做位同步。采用位同步技术的通信就叫做同步通信。实现位同步的方法主要有外同步和内同步两种:

(1) 外同步法:在发送端发送一路数据信号的同时,另外发送一路同步时钟信号,接收端根据接收到的同步时钟信号来校正时间基准与时钟频率,实现收发双方的位同步,如非归零编码就采用了外同步方法。

(2) 内同步法: 从自含时钟编码的发送数据中提取同步时钟的方法, 称为自同步法, 如曼彻斯特编码与差分曼彻斯特编码中都包含有时钟编码, 属于内同步法。

## 1.4 通信系统的调制技术

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。无论是在模拟通信、数字通信还是数据通信中都有非常重要的作用。由于通信的目的是为了把信息向远处传递, 在传播人声的过程中, 可以先用话筒把人声变成电信号, 再通过扩音机将电信号放大后用喇叭(扬声器)播放出去。由于喇叭的功率大, 因此声音可以传得比较远, 但如果还想将声音再传得更远一些, 比如几十千米、几百千米, 那该怎么办? 大家自然会想到用电缆或无线电进行传输, 但会出现两个问题: 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, 其传输成本之高、线路利用率之低是人们无法接受的; 二是利用无线电通信, 但需满足一个基本条件, 即欲发射信号的波长(两个相邻波峰或波谷之间的距离)必须能与发射天线的几何尺寸可比拟, 该信号才能通过天线有效地发射出去(通常认为天线尺寸应大于波长的十分之一)。音频信号的频率范围是 20 Hz~20 kHz, 最小的波长为

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{20 \times 10^3} = 1.5 \times 10^4 (\text{m})$$

式中,  $\lambda$  为波长(m);  $c$  为电磁波传播速度(光速)(m/s);  $f$  为声音信号的频率(Hz)。可见, 要将音频信号直接用天线发射出去, 天线几何尺寸即便按波长的百分之一取也要 150 米高(不包括天线底座或塔座)。因此, 要想把音频信号通过可接受的天线尺寸发射出去, 就需要想办法提高欲发射信号的频率(频率越高波长越短)。

第一个问题的解决方法是在一个物理信道中对多路信号进行频分复用(FDM); 第二个问题的解决方法是把欲发射的低频信号“搬”到高频载波上去(或者说把低频信号“变”成高频信号)。两个方法有一个共同点就是要对信号进行调制处理。

调制是指让载波的某个或几个参数随调制信号(原始信号)的变化而变化的过程或方式。载波通常是一种用来搭载原始信号(信息)的高频信号, 它本身不含有任何有用信息。

下面用一个生活中的例子帮助大家理解调制的概念。比如, 我们要把一件货物运到几千千米外的地方, 我们必须使用运载工具, 或汽车, 或火车, 或飞机。在这里, 货物相当于调制信号, 运载工具相当于载波; 把货物装到运载工具上相当于调制, 从运载工具上卸下货物就是解调。这个例子虽然不十分贴切, 但基本上类似于调制原理。

## 1.5 模拟通信系统、数字通信系统与数据通信系统

### 1.5.1 三种通信系统的基本概念

根据信道传输信号种类的不同, 传统的通信系统可分为两大类: 模拟通信系统和数字通信系统。但自从有了数据通信系统之后, 这种以信道传输信号的种类为标准对通信系统进行的分类就显得不够严谨, 因为数据通信系统的信道可以是传输数字信号的信道, 也可

以是传输模拟信号的信道,或者说数据通信中的数据信号既可以以数字信号的形式在数字信道中传输(比如局域网),也可以转换成模拟信号在模拟信道中传输(比如通过“猫”——调制解调器上网)。

根据通信技术的现状,在传统分类方式的基础上,结合信源和信宿所处理的信号种类对通信系统可重新进行分类,把通信系统分为三种:模拟通信系统、数字通信系统和数据通信系统。

这里需要明确模拟通信、数字通信和数据通信的概念。

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。

数字通信是指信源发出和信宿接收的是模拟信号,但信道传输的是数字信号的通信过程或方式。信号发送时进行模/数(A/D)转换,信号接收时进行数/模(D/A)转换,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。

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(方式)。通常,数据通信主要指计算机(或数字终端)之间的通信。

数据通信与传统的话音通信相比,有以下主要特点:

- (1) 以计算机为中心。通常是人(通过终端设备)与计算机的通信,或计算机与计算机的通信。
- (2) 传输的数据信息通常由计算机(或数字终端设备)产生、加工和处理。
- (3) 为了进行信息传递,要有严格的通信协议或规程,对信息传输的准确性和可靠性要求高。
- (4) 通信速度较高,可以同时处理大量数据。
- (5) 数据呼叫(一次完整的通信过程)具有突发性和持续时间短的特点。
- (6) 可采用存储—转发方式工作,且一般多采用这种方式。
- (7) 必须采用差错控制措施。

## 1.5.2 数据通信的主要性能指标

数据通信系统同模拟通信系统、数字通信系统一样具有一些技术性能指标,其中有些概念与后两种通信系统类似。

### 1. 带宽

带宽有信道带宽和信号带宽之分,一个信道(广义信道)能够传送电磁波的有效频率范围就叫该信道的带宽。对信号而言,信号所占据的频率范围就是信号的带宽。

### 2. 信号传播速度

信号传播速度是指信号在信道上每秒钟传送的距离,单位是 m/s。由于我们所用的通信信号都是以电磁波的形式出现的,因此信号传播速度略低于光在真空中的速度,基本上是  $3 \times 10^8$  km/s。

信号传播速度  $v$  与信号波长  $\lambda$  和频率  $f$  的关系是:  $v = f\lambda$ 。随着传输介质的不同,可能

会有少许变化。一般来说,信号传播速度是个常量,介绍它的目的主要是和“数据传输速率”的概念加以对比。

### 3. 数据传输速率(比特率)

数据传输速率是指每秒能够传输多少位数据,单位是比特/秒(b/s,也有人写作 bps)。数据传输速率高,则传输一位数据的时间短,反之,数据传输速率低,则传输一位数据的时间长。如在 100 Mb/s 传输速率的情况下,每比特传输时间为 10 ns;在 10 Mb/s 传输速率的情况下,每比特传输时间为 100 ns。

### 4. 最大传输速率

每个信道传输数据的速率有一个上限,我们把这个速率上限叫做信道的最大传输速率,也就是信道容量。

### 5. 码元传输速率(波特率)

信号每秒钟变化的次数叫做波特率(Baud)。波特率一般小于等于比特率。

### 6. 吞吐量

吞吐量是信道在单位时间内成功传输的信息量,单位一般为 b/s(即每秒成功传输的信息比特)。例如,某信道 10 分钟内成功传输了 8.4 Mb 的数据,那么它的吞吐量就是  $8.4 \text{ Mb}/600 \text{ s}=14 \text{ kb/s}$ 。注意,由于传输过程中出错或丢失数据造成重传的信息量,不计在成功传输的信息量之内。

### 7. 利用率

利用率是吞吐量和最大数据传输速率之比。

### 8. 延迟

延迟指从发送者发送第一位数据开始,到接收者成功地收到最后一位数据为止,所经历的时间。它又主要分为传输延迟和传播延迟两种。传输延迟与数据传输速率、发送机/接收机以及中继和交换设备的处理速度有关;传播延迟与传播距离有关。

### 9. 抖动(Jitter)

延迟不是固定不变的,它的实时变化叫做抖动。抖动往往与机器处理能力、信道拥挤程度等有关。有的应用对延迟敏感,如电话;有的应用对抖动敏感,如实时图像传输。

### 10. 差错率(包括比特差错率、码元差错率、分组差错率)

差错率是衡量通信信道可靠性的重要指标,在计算机通信中最常用的是比特差错率和分组差错率。

比特差错率是二进制比特位在传输过程中被误传的概率,在样本足够多的情况下,错传的位数与传输总位数之比近似地等于比特差错率的理论值。码元差错率(提示:对应于波特率)指码元被误传的概率。分组差错率指数据分组被误传的概率。

我们通过对线路的描述来说明上述概念:例如,有一条带宽 3000 Hz 的信道,最大传输速率可以达到 30 kb/s,实际使用的数据传输速率为 28.8 kb/s,传输信号的波特率为 2400 b/s,它的吞吐量为 14 kb/s,所以利用率约等于 50%,延迟约为 100 ms,由于环境稳定,因此抖动很小,可忽略不计。

## 习题 1

1. 简述通信技术的发展过程。
2. 什么是通信技术？什么是通信系统？
3. 通信技术可从哪几个方面进行分类？
4. 根据信号传输方向与传输时间的不同，通信方式可分为哪几种？
5. 简述串行通信与并行通信方式的不同。
6. 简述模拟通信系统、数字通信系统与数据通信系统的区别。
7. 数据通信的主要性能指标有哪些？