



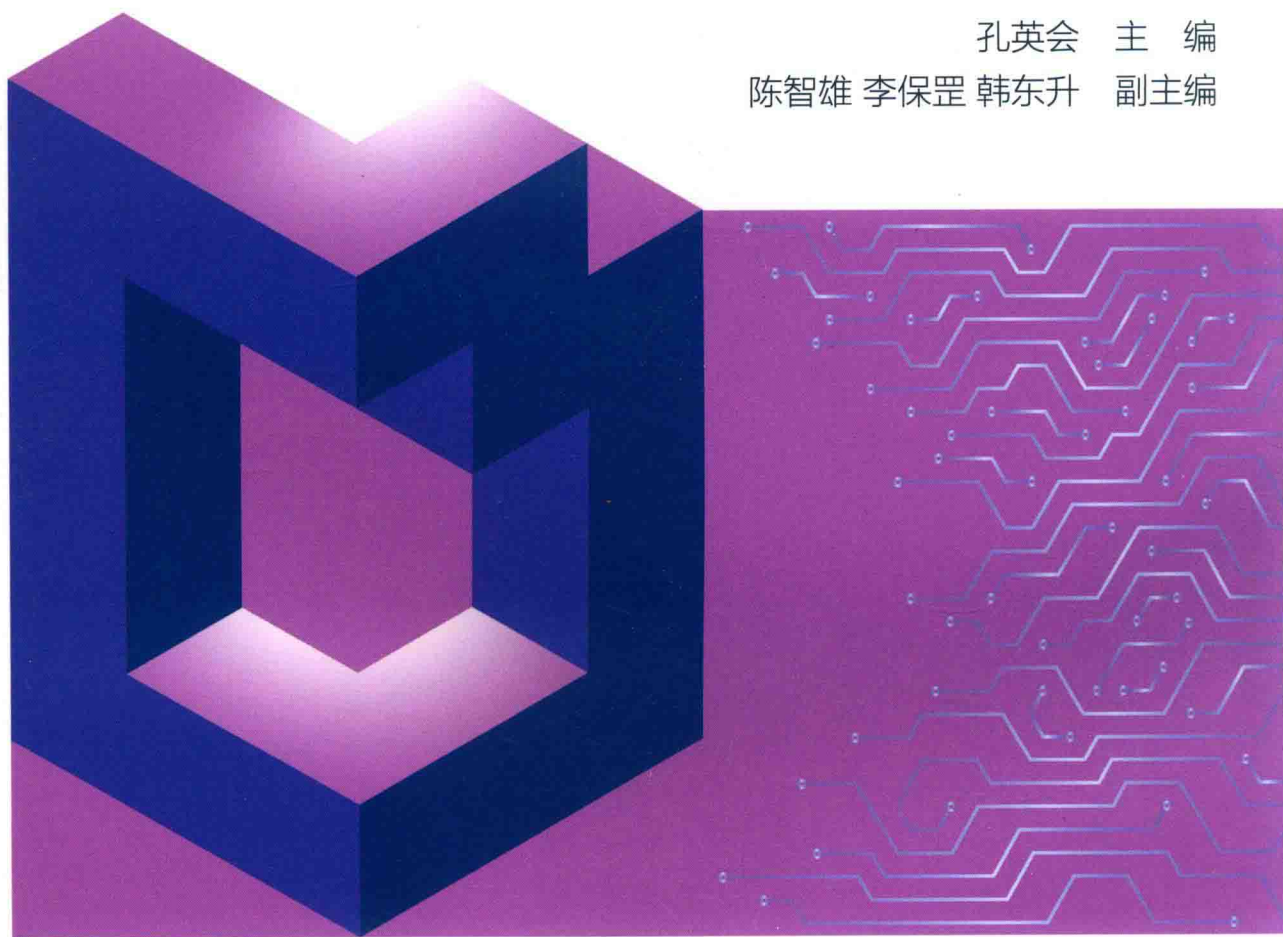
“十三五”普通高等教育规划教材

现代通信理论

XIANDAI TONGXIN LILUN

孔英会 主 编

陈智雄 李保罡 韩东升 副主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

电路原理	吉培荣
现代通信理论	孔英会
信号与系统分析	杜保强
模拟电子技术基础	李月乔
模拟电子技术基础习题解析	李月乔
数字电子技术基础	李月乔
数字电子技术基础习题解析	李月乔
数字电子技术基础	李文娜
模拟电子技术实验指导书（第二版）	孙淑艳
数字电子技术实验指导书（第二版）	孙淑艳
电子技术综合实验（第二版）	孙淑艳
电子技术实验指导书（第二版）	刘向军
电子技术基础实验教程	张志恒
电子技术基础实验	龙世瑜
电子技术实验教程	赵建华
数字系统设计实验指导教程	杨建华
电工学基础与综合实验（第二版）	赵建华
电工学（少学时）（第三版）	于 军
电工电子技术（第二版）	瞿 晓
电工电子实训	宋绍楼
电工测量技术（第二版）	于文波
电工测试技术	李 平
电工基本常识及技能	张 炜
电工与电气技术基础实验	贾红芳
高级维修电工培训教程	秦 健



中国电力出版社官方微信



中国电力教材服务官方微信

◀ 请关注中国电力教材服务官方微信，获取更多教材资源

中国电力出版社教材中心
教材网址 <http://jc.cepp.sgcc.com.cn>
服务热线 010-63412548 63412523

ISBN 978-7-5198-3285-8



9 787519 832858 >

定价：55.00 元



“十三五”普通高等教育规划教材

现代通信理论

XIANDAI TONGXIN LILUN

主 编 孔英会

副主编 陈智雄 李保罡 韩东升

编 写 余 萍 鲍 慧 高 强

李 然 李星蓉

主 审 王振朝



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为“十三五”普通高等教育规划教材。

本书共分7章，主要内容包括现代通信概论、信源编码理论、数字基带传输理论、数字带通传输理论、复用与多址、信道编码理论、通信网理论等。本书内容丰富，覆盖范围广，密切跟踪现代通信发展，注重理论和实际应用的结合，每章附有习题，并包含部分仿真实例和视频等数字资源。

本书可作为高等学校通信与信息系统和电子与通信工程专业的研究生教材，以及通信工程和电子信息本科生教材，也可作为通信工程领域科技人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

现代通信理论/孔英会主编. —北京: 中国电力出版社, 2019. 8

“十三五”普通高等教育规划教材

ISBN 978-7-5198-3285-8

I. ①现… II. ①孔… III. ①通信理论—高等学校—教材 IV. ①TN911

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第146006号

出版发行: 中国电力出版社

地 址: 北京市东城区北京站西街19号(邮政编码100005)

网 址: <http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑: 冯宁宁(010-63412537)

责任校对: 黄 蓓 太兴华

装帧设计: 赵姗姗

责任印制: 钱兴根

印 刷: 三河市航远印刷有限公司

版 次: 2019年8月第一版

印 次: 2019年8月北京第一次印刷

开 本: 787毫米×1092毫米 16开本

印 张: 18.25

字 数: 447千字

定 价: 55.00元

版 权 专 有 侵 权 必 究

本书如有印装质量问题, 我社营销中心负责退换

前言

人类已迈入信息时代,信息化建设促进了通信学科的飞速发展,与此相关的通信理论、通信技术等也得到迅猛发展,其应用也越来越广泛。“现代通信理论”在很多学校作为信息与通信工程和电子与通信专业的学位课开设,该课程对于培养学生扎实的基础理论及利用现代通信基本理论和技术解决工程实际问题至关重要。

现代通信涉及内容丰富,覆盖面宽,更新迅速,但教学过程中往往多门相关课程独立讲授,且很多学生本科专业为非通信专业,学生得到的是零散的知识,缺少完整的知识体系。本书旨在梳理知识体系,建立现代通信理论的框架,并紧密结合各种应用,在多门课程之间建立联系,实现多门课程的协同。

在本书编写过程中,编者一方面结合多年来讲授“现代通信理论”课程的教学经验,同时考虑新的需求,广泛吸取了国内外相关教材及其他出版物的精华。突出强调了以下几点:梳理知识体系的同时,密切跟踪现代通信新技术的研究成果,并注重理论与实际的结合,如本书多个章节紧密结合无线通信 4G、5G 中的应用,介绍先进的编码和调制技术、多址技术,使读者学习过程中可以对最新的进展增进了解。

全书共分 7 章,内容如下:

第 1 章介绍现代通信的概念和信息理论基础。先介绍通信系统的基本概念和组成、分类、主要性能指标等,强调现代通信系统已不再是简单的点对点的传输系统,而是形成通信网;再介绍信息的度量,引出信息量、平均信息量、信道容量、香农编码定理,为后续章节打下基础。

第 2 章介绍信源编码理论。现代通信以数字通信为主,必需的基础是进行信源编码。先介绍基本的语音编码,包括波形编码、参数编码、混合编码、感知音频编码;再介绍图像压缩编码,包括 JPEG、MPEG、H. 26x 原理;最后介绍各种信源编码技术在实际中的应用。

第 3 章介绍数字基带传输理论。首先介绍数字基带传输的概念和系统组成,分析基带信号的传输码型和基带信号的功率谱特性;然后针对频带受限系统的波形设计问题展开研究,从时域和频域两个方面对无码间串扰传输的条件进行了分析,引出 Nyquist 准则,给出了无码间串扰波形设计和部分响应波形设计;最后,针对信道不理想产生码间串扰的问题,介绍了几种时域均衡方法。

第 4 章介绍数字带通传输理论。相对于基带传输而言,频带传输在信息传输中更为常用,各种调制方式对于传输效率和质量提高发挥了重要作用,也是现代通信的关键技术,在无线通信中,调制技术是空口波形设计的关键部分之一。首先介绍调制的概念、作用、分类,引出基本的二进制数字调制,再介绍 MQAM、OFDM、F-OFDM 等各种现代数字调制方式。

第 5 章介绍了复用与多址技术及其在现代通信中的应用。包括频分复用与频分多址、同步时分复用与统计时分复用、码分复用与码分多址、正交频分复用与正交频分多址、空分复

用与空分多址、非正交多址与稀疏码多址、波分复用、载波侦听多址等。它们的应用不断提升信道在频域、时域、空域、码域的资源利用效率。

第6章介绍信道编码理论。首先介绍信道编码的基本思想、常用的差错控制方法；接着论述了几种常用的简单信道编码，详细介绍了线性分组码、循环码、卷积码和几种复合编码；最后介绍了先进的LDPC码和Polar码，各种编码设计保障了高可靠通信的实现。

第7章介绍通信网理论。首先简要介绍通信网的概念、构成、业务和分类等；其次对通信网络中的时延分析、最短径问题、流量优化、拥塞控制和可靠性等关键技术进行介绍；继而对组网中的路由算法和交换技术详细分析；然后从支撑网、传输网方面对通信网中的关键组网技术进行介绍；最后给出了移动互联网、物联网和电力通信网几种典型案例。

本书第1章由孔英会、余萍编写，第2章由孔英会编写，第3章由李星蓉编写，第4、5章由孔英会和韩东升编写，第6章由余萍和陈智雄编写，第7章由李保罡、高强、鲍慧、李然编写，全书由孔英会统稿。本书提供部分仿真实例和视频等数字资源，其中mp4、PPT、word、PDF文件可以直接手机打开运行，而提供部分仿真实例以.m文件源代码形式给出，需要先下载，通过在电脑安装MATLAB平台打开运行。需要多媒体课件可联系出版社。

本书由河北大学王振朝教授担任主审，他为本书提出了许多宝贵意见。本书的编写和出版得到华北电力大学研究生优质课程建设项目“现代通信理论”的资助，编写过程中参考了大量的文献资料，在此一并致谢。

限于作者的水平，书中不妥及疏漏之处在所难免，敬请同仁与读者批评指正。

编者

2019年5月

目 录

前言

第 1 章 现代通信概论	1
1.1 通信的基本概念与系统构成	1
1.2 通信系统的主要性能指标	8
1.3 信道的数学模型	11
1.4 现代通信的信息理论基础	14
1.5 现代通信发展趋势	20
习题	21
第 2 章 信源编码理论	22
2.1 语音编码概述	22
2.2 波形编码	23
2.3 参数编码	38
2.4 混合编码	42
2.5 感知音频编码	44
2.6 熵编码	46
2.7 图像信号的压缩编码理论	48
2.8 静止图像压缩编解码国际标准 JPEG	49
2.9 运动图像压缩编解码标准 MPEG	51
2.10 视听通信编解码标准 H. 26X	53
2.11 应用案例	56
习题	61
第 3 章 数字基带传输理论	62
3.1 引言	62
3.2 数字基带信号及其频谱特性	63
3.3 数字基带脉冲传输与码间串扰	72
3.4 部分响应系统	78
3.5 数字基带传输系统的抗噪性能分析	83
3.6 时域均衡	86
3.7 应用案例	94
习题	95
第 4 章 数字带通传输理论	98
4.1 调制的概念	98
4.2 模拟调制	99
4.3 二进制数字调制	100
4.4 多进制数字调制	107

4.5 数字信号的最佳接收	110
4.6 现代数字调制技术	114
4.7 5G 调制技术	126
习题	132
第5章 复用与多址	133
5.1 多用户通信系统资源的分配	133
5.2 频分复用与频分多址通信系统	134
5.3 时分复用与时分多址通信系统	135
5.4 码分复用与码分多址通信系统	143
5.5 OFDM 与 OFDMA 系统	155
5.6 空分复用与空分多址	157
5.7 NOMA 和 SCMA	165
5.8 随机接入 ALOHA 与载波侦听多址接入	169
5.9 光波分复用 WDM	173
习题	174
第6章 信道编码理论	175
6.1 信道编码的基本原理	175
6.2 线性分组码	179
6.3 卷积码	186
6.4 复合编码	194
6.5 Turbo 码	198
6.6 LDPC 码	201
6.7 极化码	215
习题	221
第7章 通信网理论	223
7.1 通信网络概论	223
7.2 通信网中的关键技术问题	225
7.3 路由算法	237
7.4 交换技术	244
7.5 支撑网技术	255
7.6 传输网技术	260
7.7 典型应用案例	269
习题	280
参考文献	282



总码——部分仿真实例和视频等数字资源

第 1 章 现代通信概论

现代社会信息化程度越来越高,信息技术和信息产业在经济和社会发展中的作用日益加强,并发挥主导作用。信息传输与交换成为必不可少的重要内容,信息社会中生产、生活、各行各业都离不开通信系统和通信网,通信产业成为国家着力培养的新兴支柱产业,是信息时代的生命线。

本章首先介绍通信的基本概念、通信系统的组成、通信系统的主要性能指标、通信信道等内容,继而介绍信息基本理论,分析现代通信的发展趋势,为后续章节打下基础。

1.1 通信的基本概念与系统构成

通信的目的(实质)是实现信息传输与交换。

包含信息的信息形式可以是语音、文字、数据、图像等,早期通信以电话信号的传输为主,现代通信的概念已远不只是简单的通电话,而是利用语音、视频、数据等多种通信终端传输各种各样的消息,各种消息传输过程又是通过信号传输完成。通信者也已不仅仅局限于点对点的两个人之间,而是可以实现点对多点通信,使许多人可以同时共享信息。

1.1.1 通信系统的构成

一、通信系统的一般模型

传输信息所需的一切技术设备的总和称为通信系统。它由信息发送者(信源)、信息接受者(信宿)和处理、传输信息的各种设备共同组成,图 1-1 是通信系统的一般模型。

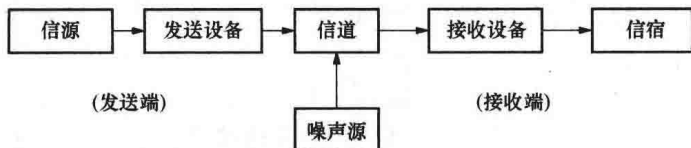


图 1-1 通信系统一般模型

图 1-1 中各个部分的功能如下:

1. 信源和信宿

图 1-1 中的信源是消息的提供者,而信宿(也称受信者)是消息的接受者,具体形式可以是电话机、计算机、传真机、图像终端等,因而信源发出的信号既可以是话音信号,也可以是数字、符号、图像等非语音信号,这些信号一般呈现低频特性。

2. 发送设备和接收设备

发送设备对信源发出来的信息进行加工处理变换,使之变换为适合于信道传输的形式,一般包括频率的变换、模数变换等,同时将信号功率放大,从信道发送出去。接收设备与发送设备的信号加工过程相反,还原出原始信号,到达信宿。

发送设备对信源信息进行的加工、处理,其目的就是完成这些变换。另外,信号传输一

般都要经过很长的距离，无论是有线还是无线信道，都会使信号能量逐渐衰减。因此，发送设备中一般都包含有功率放大器，将发送的信号功率放大到适当水平，使沿信道衰减后，接收设备仍能接收到足够强度的信号。

3. 信道

信道是信息的传输介质和中间设备的总称，如果只考虑传输介质，称为狭义信道，如果考虑传输介质和中间设备，则称为广义信道。

按传输介质不同，可将信道分为有线信道和无线信道两大类。现代的有线信道包括电缆和光缆；无线信道又分为不同的频段，涉及利用不同性能的设备 and 配置方法，组成不同的无线通信系统，如微波中继通信、卫星通信、移动通信等。

在传输信号的同时，自然界及电子设备内部存在的各种干扰噪声也同时作用在信道上。这里的噪声主要是各种电磁现象引起的干扰脉冲，如雷电、电晕、电弧等，邻近、邻频的其他信道的干扰，另外还有系统设备本身产生的各种噪声（如热噪声、散弹噪声和电源哼声）。干扰噪声对信号的传输质量影响很大，如果噪声过强而又没有有效的抗干扰措施，轻则使信号产生失真，重则出错，甚至将有效信号完全淹没掉。

正因为如此，接收设备除了应对接收到的信号进行与发送设备的信号加工过程相反的变换以外，还应具有强大的干扰抑制能力，能有效地去除噪声、抑制干扰，准确地恢复原始信号。

二、模拟通信系统与数字通信系统

根据通信系统中传输的信号形式不同，图 1-1 可以表示为不同的形式。

按照信道中传输的信号是模拟信号还是数字信号，可将通信系统分为模拟通信系统与数字通信系统。由于传输的信号形式不同，模拟通信系统与数字通信系统在构成上也有差异。

模拟通信系统指传输模拟信号的通信系统，其系统模型如图 1-2 所示。

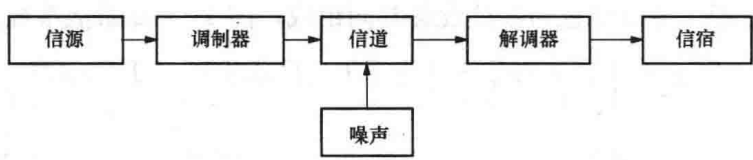


图 1-2 模拟通信系统模型

模拟通信系统模型由图 1-1 演变而成，调制器和解调器就代表图 1-1 中的发送设备和接收设备，它们进行频率变换，使得信源发出的低频基带信号形成适合在信道中传输的频带信号。

数字通信系统指传输数字信号的通信系统，其系统模型如图 1-3 所示。编码器、调制器和解调器、译码器就代表图 1-1 中的发送设备和接收设备。

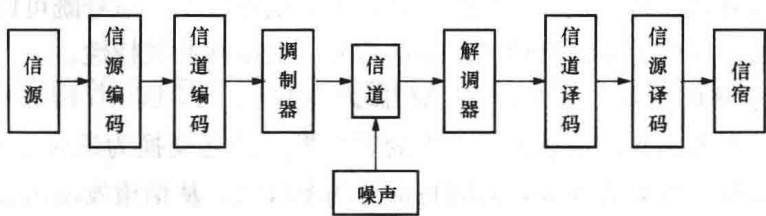


图 1-3 数字通信系统模型

数字通信涉及的技术问题很多,其中主要有信源编码/译码、信道编码/译码、数字调制/解调、同步以及加密、复用与多址等。

其中信源编码的作用之一是设法减少码元数目和降低码元速率,即通常所说的数据压缩,码元速率将直接影响传输所占的带宽,而传输带宽又直接反映了通信的有效性;作用之二是,当信息源给出的是模拟信号时,信源编码器将其转换成数字信号,以实现模拟信号的数字化传输。对语音通信而言,信源编码的方法有波形编码、参数编码、混合编码、感知编码等,而每一种编码方法又有不同实现方法,如波形编码又分为脉冲编码调制(PCM)、增量调制(ΔM 或DM)、差分脉冲编码调制(ADPCM)等。信源译码是信源编码的逆过程。

信道编码也称作差错控制编码或纠错编码,是为了降低误码率以提高数字通信的可靠性而采用的编码。基本思想是通过对信息序列作某种变换,使原来彼此独立、相关性极小的信息码元产生某种相关性规律,从而在接收端利用这种规律检查或纠正信息码元在信道传输中所造成的差错,从简单的奇偶校验码,到线性分组码、卷积码,再到性能优越的Turbo码、LDPC码、Polar码,差错控制编码在计算机数据通信、无线移动通信系统中极大地提高了系统的抗噪性能。

数字调制就是把数字基带信号的频谱搬移到高频处,形成适合在信道中传输的频带信号。数字调制和解调实现信息传输是最重要的过程,基本的数字调制方式有振幅键控ASK、频移键控FSK、绝对相移键控PSK、相对(差分)相移键控DPSK,新的调制技术有多进制正交调幅MQAM、正交频分复用OFDM等。对这些信号可以采用相干解调或非相干解调还原为数字基带信号。

同步是保证数字通信系统有序、准确、可靠工作的不可缺少的前提条件。同步使收、发两端的信号在时间上保持步调一致。按照同步的功能不同,可分为载波同步、位同步、群同步和网同步。

信道资源有限,一个信道往往需要传输多路信号,另一方面通信链路频带足够宽,可以容纳多路通信业务;信道“复用”是一种将若干个彼此独立的信号合并为一个可在同一信道上同时传输的复合信号的方法。例如数字通信系统中经常采用数字复接技术实现时分多路复用。信道复用技术分为频分复用、时分复用、波分复用、码分复用、空分复用、统计复用、极化波复用等,各种复用与多址技术可实现信道的多用户共享。

对模拟和数字通信系统来说,数字通信是发展的主流,因为数字通信具有很多优点:

- (1) 抗干扰能力强,数字信号可以再生从而消除噪声累积。
- (2) 便于进行各种数字信号处理。
- (3) 便于实现集成化。
- (4) 便于加密处理。
- (5) 便于综合传递各种信息,实现综合业务数字网。

但是,数字通信的许多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4kHz带宽,但一路接近同样话音质量的数字电话可能要占据64kHz的带宽,因此数字通信的频带利用率不高。另外,由于数字通信对同步要求高,因而系统设备比较复杂。但是随着新的宽带传输信道(如光导纤维)的采用、新的高效数字调制技术和超大规模集成电路、信息压缩等技术的发展,数字通信的这些缺点已经弱化。随着微电子技术和计算机技术的迅猛发展和广泛应用,数字通信在现代通信方式中已经

逐步取代模拟通信而占主导地位。

需要说明的是,上述通信系统的模型只给出了点到点的单向通信系统,实际在大多数场合通信系统需要双向进行,信源兼为受信者,通信设备包括发信设备和收信设备。此外,通信系统除了完成信息传输外,还必须进行信息的交换,传输系统和交换系统共同组成一个完整的通信系统,乃至通信网。

计算机通信、互联网、移动通信、光纤通信快速发展,使得通信的地理范围、速度、用户数不断增加,现代通信系统成为一个复杂的通信网,现代通信网是一个综合性的为用户提供多种信息服务的通信网。现代通信与经济的发展密切相关,通信网已成为支撑现代经济的最重要的基础结构之一。本书第7章会详细介绍通信网的概念、构成及各种通信网实例。

传输、复用、交换、网络为现代通信的四大技术,本书通过不同的章节详细描述现代通信理论与技术。

1.1.2 通信系统分类

根据不同的角度,通信系统有不同的分类方法,常见的分类方法有以下几种。

(1) 按通信业务分。按通信业务可将通信系统分为电报通信系统、电话通信系统、数据通信系统、图像通信系统和多媒体通信系统等。

(2) 按调制方式分。按调制方式可将通信系统分为 AM、FM、PSK、QAM、OFDM 通信系统等。

(3) 按传输信号的特征分。按传输信号的特征可将通信系统分为模拟通信系统和数字通信系统。

(4) 按传送信号的复用方式分。按传送信号的复用方式可将通信系统分为频分复用(FDM)、时分复用(TDM)、码分复用(CDM)、波分复用(WDM)、空分复用(SDM)通信系统等。

(5) 按传输介质分。按传输介质可将通信系统分为有线通信系统和无线通信系统,而有线通信系统又可细分为光纤通信系统、电缆通信系统、电力线通信系统等,无线通信系统又可细分为微波通信系统、卫星通信系统、移动通信系统等。

通信网的分类考虑的因素会更多,分类方法也更多一些,关于通信网的分类见本书第7章。

1.1.3 通信系统实例

图1-1给出的是通信系统的一般模型,反映了通信系统的共性,而实际的通信系统根据所传递消息的类型不同以及所采用的传输介质不同,系统构成设备有很大的差别,但从原理上说,符合一般模型。这里给出几种实际通信系统构成框图,通过与图1-1进行比较,可加深对通信系统一般模型和实际通信系统的理解。

1. 电力线载波通信系统

电力线载波通信(PLC-Power Line Carrier),是利用电力线路作为传输通路的载波通信方式,电力线载波通信是电力系统特有的通信方式,用以传输电力调度、远动信号等。我国统一规定电力线载波通信使用的频率范围为40~500kHz。电力线载波通信系统主要由电力线载波机、电力线路和耦合设备构成,如图1-4所示。其中耦合装置包括线路阻波器GZ、耦合电容器C、结合滤波器JL(又称结合设备)和高频电缆HFC,与电力线路一起组

成电力线高频通道。

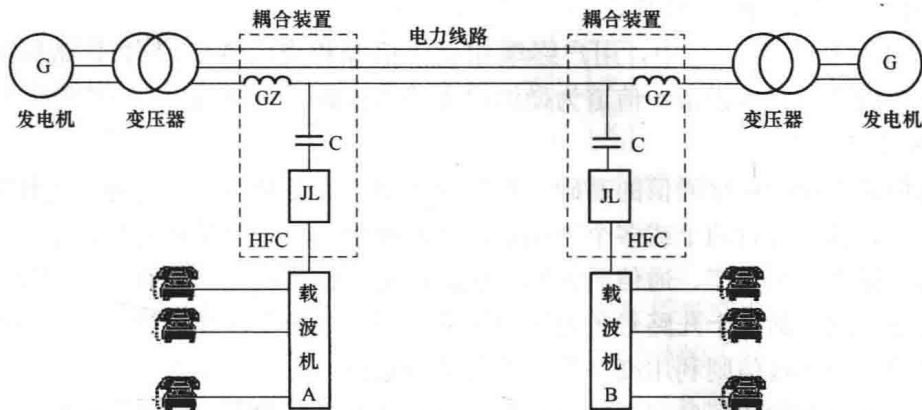


图 1-4 电力线载波通信系统构成示意图

与图 1-1 比较，图 1-4 中，信源和信宿相当于两端的电话机，电力载波机 A、B 对应发送设备和接收设备，信道为电力线路。

2. 数字微波通信系统

微波是指频率在 $300\text{MHz}\sim 300\text{GHz}$ 范围内的电磁波，常用的范围是 $1\sim 40\text{GHz}$ 。目前使用较多的频段是 2、4、6、7、8GHz 和 11GHz，微波通信是无线通信的一种方式。数字微波通信是指利用微波（射频）做载波携带数字信息，通过无线电波空间进行中继（接力）的通信方式。

一条数字微波通信线路由两端的终端站和若干个中继站构成，如图 1-5 所示。

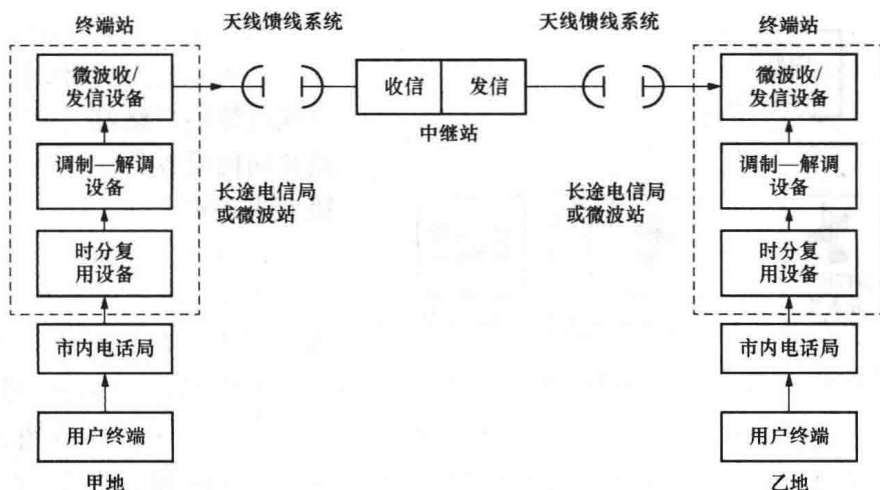


图 1-5 数字微波通信系统的组成示意图

下面以微波通信用于长途电话传输时，系统的简单工作原理为例加以说明。电话机相当于甲地的用户终端（即信源），人们讲话的声音通过电话机送话器的声/电转换作用，变成电信号，再经过市内电话局的交换机，将电信号送到甲地的长途电话局或微波端站。经时分复用设备完成信源编码和信道编码，并在微波信道机（包括调制机和微波发信机上完成调制、变频和放大作用。微波已调信号经过中继站转发，到达乙地的长途电话局或微波端站。乙

地(收端)方框图中与甲地对应的设备,其功能与作用正好相反。而用户终端(信宿)是电话机的受话器,并完成电/声转换。

与图 1-1 对比,图 1-5 中,用户终端相当于信源和受信者(信宿),微波站(如终端站)对应发送设备与接收设备,信道为微波段无线传输媒质(介质)。

3. 卫星通信系统

卫星通信是在微波中继通信的基础上发展起来的。它是利用人造地球卫星作为中继站来转发无线电波,从而进行两个或多个地面站之间的通信。卫星通信具有传输距离远、覆盖面积大、通信容量大、用途广、通信质量好、抗破坏能力强等优点。一颗通信卫星总通信容量可实现上万路双向电话和十几路彩色电视的传输。卫星通信工作在微波波段,与地面的微波接力通信类似,卫星通信则利用高空卫星进行接力通信。

卫星通信系统的构成部分包括空间分系统(星上系统、通信卫星)、地球站、控制与管理系统几个部分,图 1-6 给出了卫星通信系统的构成示意图。空间分系统的主体是通信装置,其保障部分则有星体上的遥测指令、控制系统和能源装置等,主要作用是无线电中继,星上通信装置包括转发器和天线。一个通信卫星可以包括一个或多个转发器,每个转发器能同时接收和转发多个地球站的信号;地球站是卫星通信的地面部分,用户通过它们接入卫星线路进行通信。地球站一般包括天线、馈线设备、发射设备、接收设备、终端设备、天线跟踪伺服设备、电源设备;控制与管理系统是保证卫星通信系统正常运行的重要组成部分,它的任务是对卫星进行跟踪测量,控制其准确进入轨道上的指定位置,卫星正常运行后,需定期对卫星进行轨道修正和位置保持,在卫星业务开通前、后进行通信性能的监测和控制,例如对卫星转发器功率、卫星天线增益以及地球站发射功率、射频频率和带宽等基本通信参数进行监控,以保证正常通信。

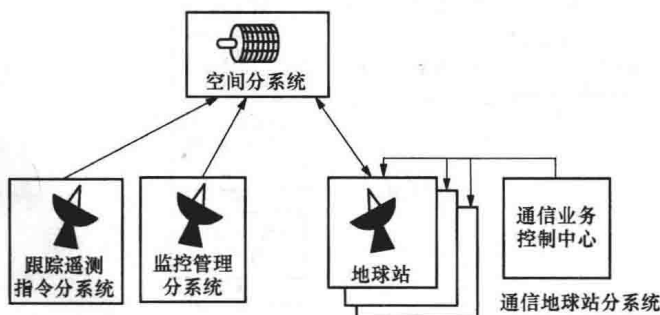


图 1-6 卫星通信系统的构成示意图

与图 1-1 对比,图 1-6 中信源和受信者可以是接入地球站的电话机、电视机等用户终端,通信卫星、地球站共同构成收发信设备,信道为微波段无线介质。

4. 光纤通信系统

光纤通信是以光纤为传输介质的通信方式,光纤通信的载波是光波。

虽然光波和电波都是电磁波,但是频率

差别很大。目前,光纤通信用的近红外光波长范围约 $0.8 \sim 1.8 \mu\text{m}$,频率约 300THz 。光纤通信用的频带宽度约为 200THz ,在常用的 $1.31 \mu\text{m}$ 和 $1.55 \mu\text{m}$ 两个波长,窗口频带宽度也在 20THz 以上。

在光纤通信系统中,作为载波的光波频率比电波频率高得多,而作为传输介质的光纤又比同轴电缆或波导管的损耗低得多,因此,相对于电缆通信或微波通信,光纤通信具有许多独特的优点,如传输容量很大、损耗小,中继距离长、抗电磁干扰性能好等。

光纤通信不仅在技术上具有很大的优越性,而且在经济上具有巨大的竞争能力,因此其在信息社会中发挥越来越重要的作用。

图 1-7 为单向传输的光纤通信系统的基本组成,包括发射、接收和信道。光纤通信系

统可以传输数字信号，也可以传输模拟信号，用户要传输的信息多种多样，可以是话音、图像、数据或多媒体信息。

与图 1-1 对比，图 1-7 中信源和受信者可以是电话机、电视机、数传机等用户终端，电发射机、光发射机、光接收机、电接收机共同构成收发信设备，信道为光纤（实际加工成光缆）。

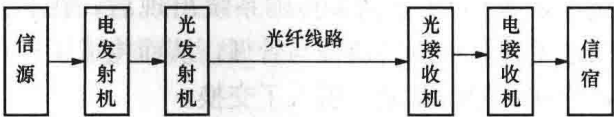


图 1-7 光纤通信系统的基本组成框图

5. 移动通信系统

移动通信是指通信的双方中至少有一方是在移动中进行信息交换的通信方式。例如，固定点与移动体（汽车、轮船、飞机）之间、移动体之间、活动的人与人和人与移动体之间的通信都属于移动通信的范畴。这里所说的信息交换不仅指双方的通话，随着移动通信的不断发展，还包括数据、传真、图像等通信业务。

移动通信系统一般由移动台（MS）、基站（BS）及移动业务交换中心（MSC）组成。它与市话网（PSTN）通过中继线相连接，如图 1-8 所示。

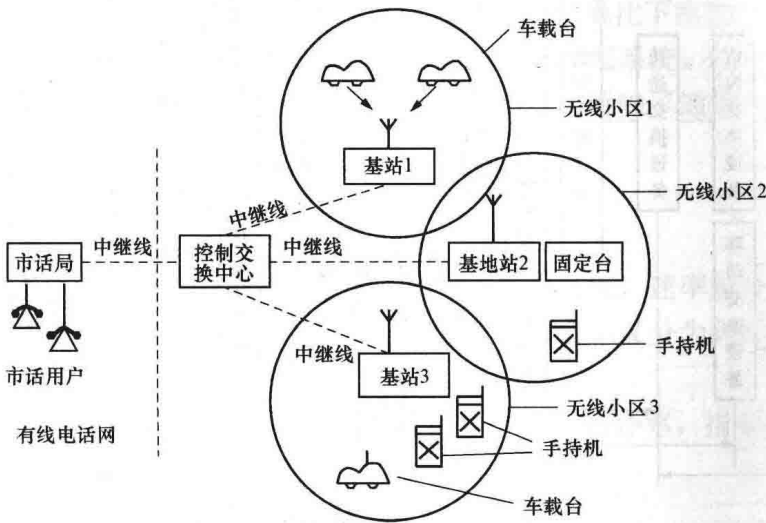


图 1-8 移动通信系统的组成

图 1-8 中，基站和移动台设有收、发信机和天馈线等设备。每个基站都有一个可靠通信的服务范围，称为无线小区。无线小区的大小主要由发射功率和基站天线的高度决定。服务面积可分为大区制和小区制两种。大区制是指一个城市由一个无线区覆盖。大区制的基站发射功率很大，无线区覆盖半径可达 25km 以上。小区制一般是指覆盖半径为 2~10km 的区域，且由多个无线区链合而成整个服务区的制式。小区制的基站发射功率很小，目前发展方向是将小区进一步划小，成为微区、宏区和毫区，其覆盖半径降至 100m 左右。

控制交换中心主要是提供路由器进行信息处理和对整个系统进行集中控制管理。控制交换中心还因系统不同而有几种名称，如在 AMPS 系统中被称为移动交换局 MTSO 而在 NMT-450 及 900 系统中又称为移动交换机 MTX。

与图 1-1 对比，图 1-8 中信源和受信者可以是固定电话机、手机等用户终端，信道为无线电波。

6. 现代通信网实例

现代通信基本就是数字通信与计算机技术的结合，在数字通信系统中融合了计算机软硬件技术，如 SDH 光同步传输系统出现后，在光纤传输设备中由 CPU 进行数据运算处理，并引进了计算机进行监控与管理，从而构成了现代通信系统，而通信网是通信系统的一种形式，它在传输的基础上引入了交换。

通信网是通信系统发展的必然结果。通信系统可以独立地存在，然而一个通信网是通信系统的扩充，是多节点各通信系统的综合，通信网不能离开系统而单独存在。它产生了更多、更广的功能，适用范围更广，为不断满足人们日益增长的物质文化生活的需要提供了服务平台。现代通信网已实现了数字化，并引入了大量的计算机硬、软件技术，使通信网越来越综合化、智能化。现在经常谈到的电话网、数据网、计算机网、移动通信网等都属于现代通信网，也可简称通信网。图 1-9 给出了一个典型的现代通信网实例。

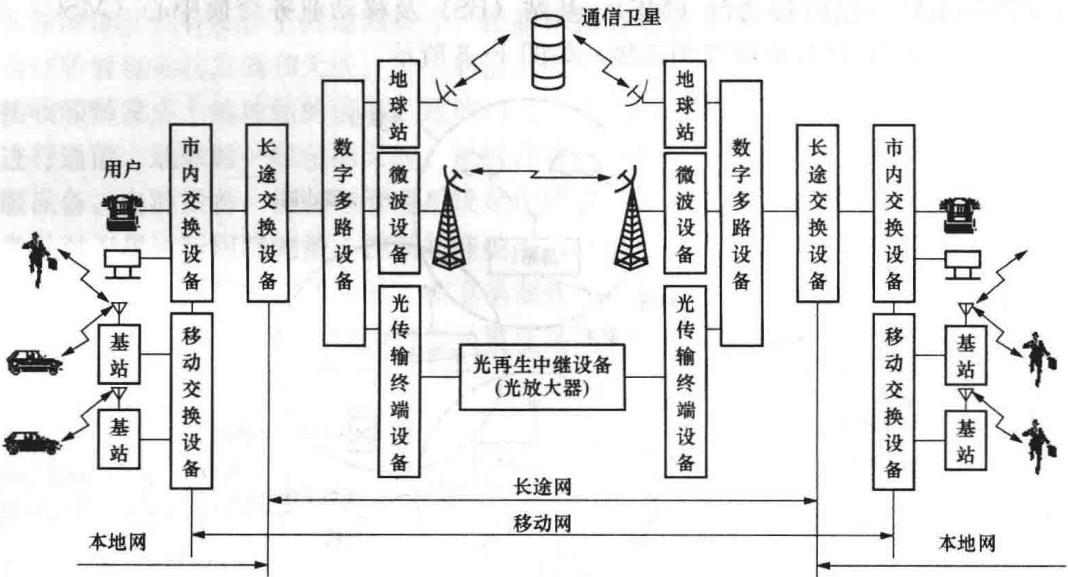


图 1-9 现代通信网实例

1.2 通信系统的主要性能指标

在设计或评价通信系统时，往往以具体指标衡量其性能的优劣，通信系统的性能指标涉及有效性、可靠性、适应性、标准性、经济性、维护使用等。但从研究信息传输的角度来说，主要性能指标有两个，即有效性和可靠性。

其中有效性指传输的速度问题，即给定信道内所传输的信息内容多少或快慢；可靠性指传输的质量问题，即接收信息的准确程度。

二者是一对矛盾，通常根据实际应用求得相对的统一，即在满足一定可靠性指标下，通过采取一些技术手段尽量提高传输速度；或在维持一定有效性指标时，通过采取一些技术手段使消息传输质量尽可能提高。

两个主要性能指标对于不同通信系统，具体表现也不同。

1.2.1 模拟通信系统的主要性能指标

1. 有效性

模拟通信系统的有效性指标用传输频带宽度衡量,采用不同调制方式传输需要的频带宽度(简称带宽 B)不同,信号的带宽 B 越小,占用信道带宽越少,在给定信道时容纳的传输路数越多,有效性越好。

需要说明的是:信号带宽、系统带宽与信道带宽是有区别的,信号带宽由信号频谱密度或功率谱密度在频域的分布规律决定;系统带宽由电路系统的传输特性决定;信道带宽由信道的传输特性决定;实际工作中用到比较多的是信号带宽和信道带宽。其中信号带宽越小有效性越好,如后面第4章的单边带(SSB)信号有效性优于调频(FM)信号;而信道带宽越大越好,如同轴电缆、光纤传输媒质比电话线带宽大,传输能力强。信号带宽和信道带宽的关系可以比喻成高速公路上的车与路的宽度,车越小,路上容纳的车就越多,路的利用率越高,而信道带宽越大则有效性越好。

2. 可靠性

模拟通信系统的可靠性指标用接收端的最终输出信号噪声功率比(简称信噪比 S/N 或 SNR -Signal Noise Ratio)衡量,不同调制方式在同样信道信噪比下所得到的最终解调输出信噪比也不同,如第4章会知道调频系统的输出信噪比大于调幅系统,故可靠性比调幅系统好,但调频信号所需传输带宽高于调幅信号,有效性变差,这反映了通信系统有效性与可靠性的矛盾。

1.2.2 数字通信系统的主要性能指标

1. 有效性

数字通信系统的有效性指标用传输速率衡量,对于信源来说,速率越小表示通信系统的有效性越好,而对于信道而言,传输速率越高越有效。传输速率又分为码元传输速率和信息传输速率。

(1) 码元传输速率(R_B)。简称传码率,又称符号速率或波特率,指单位时间能够传送的码元数,单位为波特(Baud,简称B)。

若 T_B (秒,S)为每个码元传输所占用的时间,则

$$R_B = \frac{1}{T_B} \text{ (波特, Baud)} \quad (1-1)$$

若码元为二进制,则 R_B 对应 R_{B2} ,码元为 M 进制,则 R_B 对应 R_{BM} ,即

$$R_{B2} = R_{BM} \cdot \log_2 M \quad (1-2)$$

(2) 信息传输速率(R_b)。简称传信率,又称比特率,指单位时间能够传送的平均信息量,单位为比特/秒(bit/s,简称b/s或bps)。

传码率和传信率的关系表示为

$$R_b = R_B \cdot \log_2 M \text{ 比特/秒} \quad (1-3)$$

$$R_B = \frac{R_b}{\log_2 M} \text{ 波特} \quad (1-4)$$

$R_B \leq R_b$,因为多进制码元要用多位二进制表示,所需传输时间长,传输速率降低。

式(1-3)和式(1-4)说明,一定信息传输速率下,增加进制数 M ,可降低码元传输速率,从而减小信号带宽,提高系统有效性;也可理解为在信道带宽不变的情况下,增加进