


高等学校电子信息类专业
“十二五”规划教材

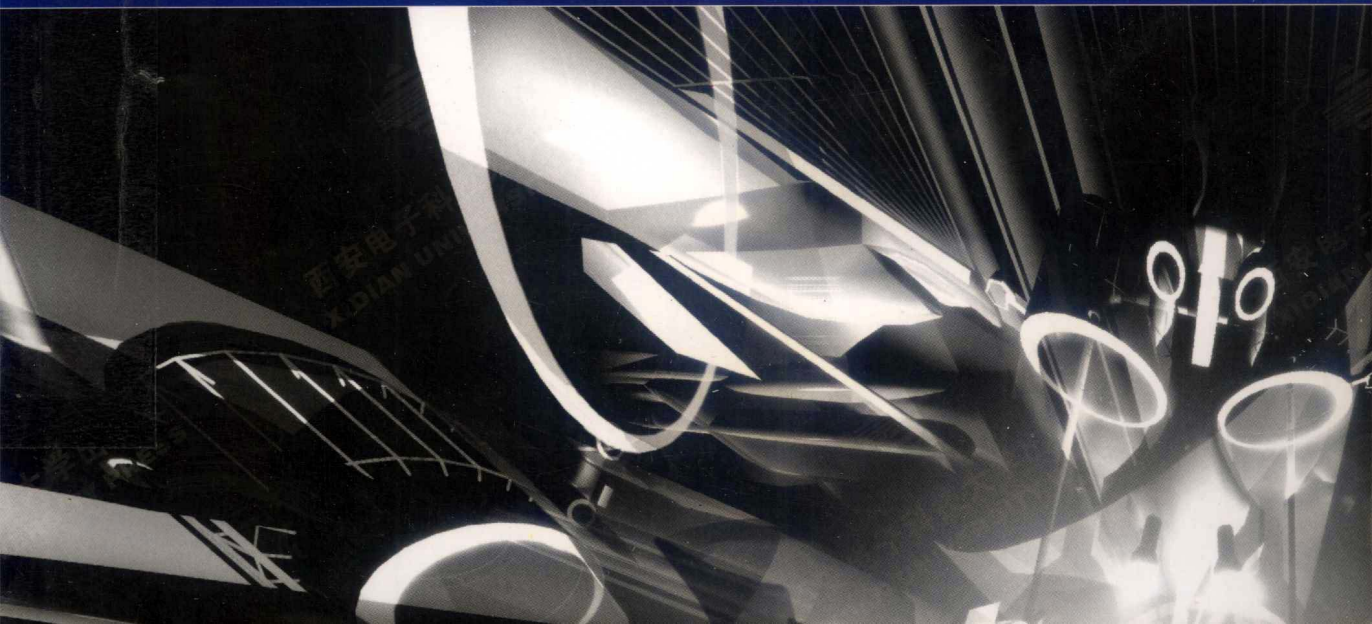
ELECTRONIC
INFORMATION SPECIALTY

通信原理与通信技术

(第三版)

张卫钢 主 编
张维峰 邱 瑞 副主编

 西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>



高等学校电子信息类专业“十二五”规划教材

通信原理与通信技术

(第三版)

张卫钢 主 编
张维峰 邱 瑞 副主编

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书全面、系统地介绍了现代通信原理、数据通信原理及其相关的通信技术。全书分为三篇,共20章,内容包括通信与通信系统的基本概念、模拟调制、脉冲编码调制、增量调制、数字复接与同步数字系列、数字信号的基带传输、数字信号的调制传输、差错控制编码、数据通信与通信网、计算机网络体系结构、通信终端与设备、数据交换技术、网络互连设备及其通信概念、接入网技术、无线个人区域网络技术、IP电话技术、光纤通信技术、微波中继通信技术、卫星通信技术和移动通信技术。

本书是专为普通高校计算机科学与技术、软件工程、电子信息工程、自动化控制、机电一体化等非通信专业而编写的本科生教材,参考学时为60学时。本书不但考虑到满足教学要求,同时也顾及自学需求,因此也可作为有志青年的自学教材和有关工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

通信原理与通信技术/张卫钢主编. —3版.

—西安:西安电子科技大学出版社,2012.4

高等学校电子信息类专业“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5606-2750-2

I. ①通… II. ①张… III. ①通信原理—高等学校—教材 ②通信技术—高等学校—教材
IV. ①TN91

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 011378 号

策 划 云立实

责任编辑 王 斌 云立实

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 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 2012年4月第3版 2012年4月第9次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张24.5

字 数 576千字

印 数 39 001~43 000册

定 价 39.00元

ISBN 978-7-5606-2750-2/TN·0641

XDUP 3042003-9

* * * 如有印装问题可调换 * * *

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

前 言

《通信原理与通信技术(第二版)》一书自出版至今已3年有余。虽然其使用量不断增加,但笔者不敢懈怠,积极收集广大读者对该教材的意见,筹划适时修改,唯恐有负于大家。

为了顺应通信技术和计算机网络技术的飞速发展,使学生能在较短的时间内全面系统地掌握通信和计算机网络等方面的知识,本书首次将通信原理、数据通信和现代通信技术三大内容编写在一起,不但结合大量的插图深入浅出地讲述了理论知识,还有针对性地介绍了一些实用通信技术,避免了纯理论学习的枯燥乏味,使学生在学习过程中,能够理论联系实际,既掌握了理论知识,又了解了理论在实际中的应用,从而提高了学习兴趣,加强了对知识的掌握和理解。

在保留第二版的结构、风格和主要内容的基础上,本版主要做了如下修改:

(1) 重新整理了基本概念。对上版书中表述不清楚甚至有错误的概念进行了修改,力求简练、准确。

(2) 删减了部分内容。对第二版中一些超出大纲、略显啰嗦和过时的内容进行了删减。

(3) 补充了一些新内容。根据技术的发展,补充了如“IP交换”、“软交换”、“交换机”等知识,尽量保证与当前技术不脱节。

(4) 增加了插图。为了更形象生动地诠释文字含义,新增了不少实物插图。

(5) 对全书的文字进行了梳理。精简了部分章节,修改和润色了部分语句。

本书由张卫钢教授主持修订。张维峰博士撰写了新增内容,并与邱瑞讲师共同担任副主编。李钢、任帅为本书的出版做出了贡献,朱秀丽、车喜龙、邵春辉、崔荔、袁梦觉和向运也都为本书的出版付出了劳动,在此向他们一并表示感谢。

本书是在翻阅大量参考文献的基础上,结合作者多年教学心得和体会编写而成的。对于本书所列的参考文献的各位作者,在此表示衷心的感谢和崇高的敬意。

对于书中出现的疏漏,恳请读者斧正。希望广大读者一如既往地关心和支持本书。

作者 E-mail: wgzhang@chd.edu.cn。

张卫钢

2011年10月于西安

第二版前言

本书第一版自2003年7月出版以来,在全国累计销售近2万册,受到广大师生和相关读者的普遍好评。为此,笔者深感欣慰和荣幸,感谢读者的厚爱和支持。但是,在使用本书的过程中,许多读者也指出了书中的错误和不足。

经过一年的准备,我们在保留第一版结构、风格和主要内容的基础上,对本书重新进行了编写,订正了各种错误,重新梳理了语句,对一些概念给予了更详细的说明,删除了“集群通信系统”、“寻呼系统”等内容,补充了“无线个人区域网络技术”的相关内容,大幅度地修改了第17~20章的内容。同时,为了提高知识性和可读性,在每章后面增加了一节反映通信史的“小资料”,以期学生在了解历史知识的同时,体会到投身科学技术研究与发明之中的酸甜苦辣,认识到那些科学巨匠、历史名人,不管是出身豪门还是家境贫寒,不管是受过良好教育还是自学成才,都有一些共同的特点,那就是勤于思考、勇于探索、善于发现、甘于寂寞、乐于奉献、坚忍不拔、吃苦耐劳、淡泊名利,从而培养学生具有良好的心理素质和科研能力。

本书参考学时为60学时,其中第一篇30学时,第二、三篇各15学时。

张卫钢教授担任本书主编并执笔第1~3、5、8、9和21章;吴潜蛟编写第13、15、16章;任卫军编写第6、7、10、17~20章;第4、11、12、14章由张卫钢和吴潜蛟共同编写。吴潜蛟、任卫军还同时担任了本教材的副主编工作。本书采用了马海燕、石美红在第一版中编写的部分内容,袁博文、林晓燕、刘亚萍、吴意琴和赵玲也都为本书的出版付出了劳动,在此向他们表示感谢。

本书是在翻阅大量参考文献的基础上,结合作者多年教学心得和体会编写而成的。对于本书所列的参考文献的各位译、著者,在此表示衷心的感谢和崇高的敬意。

对于书中出现的疏漏,恳请读者斧正。希望广大读者一如既往地关心和支持本书。

作者 E-mail: wgzhang@chd.edu.cn。

张卫钢

2007年6月于西安

第一版前言

当今社会是一个信息化的社会。

如果说 20 世纪是计算机的时代，那么 21 世纪将由计算机网络主宰世界。计算机网络作为一门科学技术、一种新兴文化、一种通信方式将全面改变人类的精神与物质生活，并将对科学技术的全面发展产生巨大的推动作用，这主要表现在以下几个方面。

电子交流：人与人之间的信息与情感交流方式由于生活和工作节奏的加快，将从传统的面对面谈话、登门拜访、信函通信向电子交流方式发展，比如，普通电话、可视电话、E-mail 等等。网上聊天、网上交友将成为年轻人的新时尚。

电子商务：电子商务就是可以通过网络进行的所有人类经济活动的总和。有了电子商务，人们不用再为进货销售东奔西跑，不用再为生意合同频频会面，不用再为付款催账而成为银行的常客，人们足不出户即可在分秒之间全部完成这些昔日耗费大量精力和物力的商务活动。尤其是在对外贸易活动中，电子商务扮演着极为重要的角色。同样，对于喜欢上街购物而又没有时间的女士来说，到网上浏览各种网络商店，随心所欲地选购自己喜爱的商品，然后坐等送货上门，再通过网络付款，这不仅满足了生活所需，而且免去了腿脚之劳，将成为一种购物时尚。由电子定单、电子合同、电子货币、电子支票、网络银行、网络商店等基本要素构成的电子商务被认为是现代化的一个标志，是人们经济活动方式上的一次飞跃。

电视会议：传统的聚众开会将成为历史，不同地区甚至不同国家的人们将利用网络的多媒体功能，召开身临现场般的电视会议，这不仅节省了大量的差旅费，而且更迅速、更方便。

远程教育：远程教育不仅将为那些远离学校和难以入校的人们带来福音，也极大地拓宽了受教育面，同时也改变了传统的课堂教育模式，配合视频点播功能可使受教育者随时随地自由选择学校和课程并进行学习。

远程医疗：到医院看病治疗一直是人们比较头痛的问题，尤其是缺医少药的偏远地区。有了远程医疗，人们在家中通过网络不仅可寻医问药，还能遍邀世界各地的名医专家会诊治病，从而大大提高了人类健康水平和预防与治疗疾病的水平。

网上娱乐：你想打桥牌吗？你想找人对弈吗？你想与朋友进行游戏对抗吗？网络时代的很多娱乐活动将不再需要人们共聚一室，你可通过网络与世界各地的爱好者同享此乐。

视频点播：现在虽然电视节目有很多，但人们仍觉得可看（自己喜欢）的节目太少。视频点播将结束人们的这种烦恼，人们在家中可随意到自己热衷的电视台点播自己喜欢的各类电视节目。

凡此种种，不胜枚举。通过上述实例我们可以看到，尽管计算机网络的作用非常大，但它的主要功能就是信息的传输与交换，其核心技术就是通信技术，计算机网络实质上就是一种通信网络。另外，从 20 世纪 80 年代开始，我国大部分高等院校陆续开设计算机专

业，为我国的建设培养了大批的专业技术人员，但由于历史原因和条件所限，各校的计算机专业所设课程基本上都围绕在计算机的组成原理、硬件接口、操作系统、软件工程、数据结构、应用软件、数据库等单机应用的知识上。后来随着网络技术的发展，又增加了一些网络方面的课程，但从当前社会的需求和学生的实际能力，尤其是从对网络技术方面的知识掌握和应用的能力来看，我们认为计算机专业的学生还缺乏对通信技术的整体把握和对相关知识的学习与了解，而其他非通信专业的学生也存在同样的问题。

目前不少计算机网络教材都介绍了一点有关数据通信的基本知识，但广度和深度远远不够，这使得学生在计算机网络及相关通信领域进行更深入的探索与研究时显得力不从心。因此，学习和掌握通信原理和通信技术方面的知识，是学习和掌握计算机网络的基础与核心。为此，我们从1999年在计算机本科专业开设了原来只属于通信专业骨干课程的“通信原理”以及前期的必修课程“信号与系统”。通过几年的教学实践，我们取得了许多宝贵的经验，并且得到了学生与社会的认可，但同时也发现了不少问题，其中最主要的就是教材不合适。目前有关通信原理的教材大都是针对通信专业的，对于计算机专业及其他非通信专业来说，数学内容过多、过深，有关通信的基础知识缺乏介绍与铺垫。因此，我们根据自己长期的教学经验和实践，参考部分大学的教学大纲，编著了这本观点独到、语句精练、论述清楚、内容丰富、紧跟潮流的大学本科教材，以期对21世纪的科学技术发展和人才培养贡献绵薄之力。

本书参考学时为50学时，其中第一篇30学时，第二、三篇各10学时。

本书主要有以下几个特点：

(1) 内容安排独具匠心。首次将传统的通信原理和新兴的数据通信以及当前主要的通信应用技术编排在一起，使学生通过本书的学习对当代各种通信技术有一个全面的认识与了解。

(2) 知识层次深浅得当。根据学生通信知识薄弱的情况，对学科知识进行了恰当取舍，突出定性分析，减少了数学推导。

(3) 文笔通俗，亲和力强，可读性好。作者力求以通俗易懂的语言将枯燥的理论知识娓娓道来，以提高学生的阅读兴趣和阅读效率。

张卫钢担任本书主编并执笔第1、2、3、8和第21章；马海燕编写第5、6、7、17、18和第20章；吴潜蛟编写第13、15和第16章；石美红编写第10、11章；第1.4节和第9章由石美红和张卫钢共同编写；第4、12、14章由吴潜蛟和张卫钢共同编写；第19章由马海燕和张卫钢共同编写。马海燕、石美红和吴潜蛟同时还担任本书的副主编工作，为本书的出版做出了应有的贡献。王兴亮教授在百忙中审阅了书稿，李纪澄教授以极端负责的态度对本书进行了复审，并提出了宝贵意见，对两位教授所付出的辛勤劳动我们表示深深的谢意。本书是在翻阅大量参考文献的基础上，结合作者多年教学的心得和体会编写而成的。

由于水平所限，难免有错误和讲述不当的地方，恳请读者斧正。

对本书选用的参考文献的各位译、作者，在此表示衷心的感谢和崇高的敬意。

作者
2003年5月

目 录

第一篇 通信原理

| | | | |
|---------------------------------|----|---------------------------------------|----|
| 第 1 章 通信与通信系统的基本概念 | 2 | 2.4 AM 和 DSB 的性能比较 | 47 |
| 1.1 通信的概念 | 2 | 2.5 单边带调制 | 47 |
| 1.2 通信系统 | 3 | 2.6 残留边带调制 | 49 |
| 1.2.1 通信系统的定义与组成 | 3 | 2.7 插入载波的包络检波法 | 52 |
| 1.2.2 通信系统的分类 | 4 | 2.8 频分复用 FDM | 52 |
| 1.3 通信方式 | 6 | 2.9 角调制 | 54 |
| 1.4 信道和传输介质 | 7 | 2.9.1 角调制的基本概念 | 54 |
| 1.4.1 信道的概念 | 7 | 2.9.2 窄带角调制和宽带角调制 | 56 |
| 1.4.2 传输介质 | 8 | 2.9.3 调频信号的产生与解调 | 58 |
| 1.5 信号与噪声 | 14 | 2.9.4 频率调制的特点 | 60 |
| 1.5.1 信号的定义与分类 | 14 | 2.9.5 输出信噪比与信道带宽的关系 | 60 |
| 1.5.2 噪声的定义与分类 | 16 | 2.10 调制的功能与分类 | 61 |
| 1.6 信号频谱与信道通频带 | 18 | 2.10.1 调制的功能 | 61 |
| 1.6.1 周期信号的频谱 | 18 | 2.10.2 调制的分类 | 62 |
| 1.6.2 非周期信号的频谱 | 21 | 2.11 小资料——麦克斯韦 | 63 |
| 1.6.3 信道通频带 | 22 | 2.12 思考题与习题 | 64 |
| 1.7 信息的度量与香农公式 | 25 | 第 3 章 脉冲编码调制(PCM) | 66 |
| 1.7.1 信息的度量 | 25 | 3.1 PCM 的基本概念 | 66 |
| 1.7.2 信道容量与香农公式 | 27 | 3.2 抽样 | 66 |
| 1.7.3 信道带宽与信道容量的关系 | 29 | 3.3 量化 | 68 |
| 1.8 多路复用的基本概念 | 32 | 3.4 编码 | 72 |
| 1.9 通信系统的性能评价 | 33 | 3.5 抽样定理 | 73 |
| 1.9.1 模拟通信系统的性能指标 | 33 | 3.5.1 低通抽样定理 | 73 |
| 1.9.2 数字通信系统的性能指标 | 34 | 3.5.2 带通抽样定理 | 75 |
| 1.10 通信技术发展史 | 36 | 3.6 时分复用(TDM) | 77 |
| 1.11 小资料——莫尔斯 | 38 | 3.7 小资料——赫兹 | 79 |
| 1.12 思考题与习题 | 39 | 3.8 思考题与习题 | 80 |
| 第 2 章 模拟调制 | 40 | 第 4 章 增量调制 | 82 |
| 2.1 调制的概念 | 40 | 4.1 简单增量调制 | 82 |
| 2.2 抑制载波的双边带调幅 | 42 | 4.1.1 增量调制的基本概念 | 82 |
| 2.2.1 DSB 信号的调制 | 42 | 4.1.2 ΔM 的调制原理 | 83 |
| 2.2.2 DSB 信号的解调 | 43 | 4.1.3 ΔM 的解调原理 | 85 |
| 2.3 常规双边带调幅 | 44 | 4.1.4 ΔM 调制存在的问题 | 85 |
| 2.3.1 AM 信号的调制 | 44 | 4.2 增量总和调制($\Delta - \Sigma$) | 87 |
| 2.3.2 AM 信号的解调 | 45 | 4.2.1 $\Delta - \Sigma$ 的调制原理 | 87 |

| | | | |
|---------------------------------------|-----|----------------------------|-----|
| 4.2.2 Δ - Σ 的解调原理 | 88 | 7.1.1 2ASK 的基本原理 | 126 |
| 4.3 小资料——贝尔 | 88 | 7.1.2 2ASK 的频域特性 | 127 |
| 4.4 思考题与习题 | 89 | 7.1.3 2ASK 的调制与解调 | 127 |
| 第 5 章 数字复接与同步数字系列 | 90 | 7.2 二进制频移键控(2FSK) | 128 |
| 5.1 PCM 复用与数字复接 | 90 | 7.2.1 2FSK 的基本原理 | 128 |
| 5.1.1 数字复接的基本概念 | 90 | 7.2.2 2FSK 的频域特性 | 129 |
| 5.1.2 数字比特系列与复接等级 | 90 | 7.2.3 2FSK 的调制与解调 | 129 |
| 5.1.3 PCM 基群帧结构 | 92 | 7.3 二进制相移键控(2PSK) | 131 |
| 5.1.4 数字复接的原理与分类 | 93 | 7.3.1 2PSK 的基本原理 | 131 |
| 5.2 同步数字序列(SDH)简介 | 95 | 7.3.2 2PSK 的频域特性 | 132 |
| 5.2.1 SDH 的基本概念 | 95 | 7.3.3 2PSK 的调制与解调 | 132 |
| 5.2.2 SDH 的帧结构 | 97 | 7.4 二进制差分相移键控(2DPSK) | 133 |
| 5.2.3 SDH 的复用结构 | 98 | 7.4.1 2DPSK 的调制 | 133 |
| 5.3 小资料——马可尼 | 99 | 7.4.2 2DPSK 的解调 | 134 |
| 5.4 思考题与习题 | 100 | 7.5 多进制数字调制 | 136 |
| 第 6 章 数字信号的基带传输 | 101 | 7.5.1 多进制幅度键控(MASK) | 136 |
| 6.1 基带信号的概念 | 101 | 7.5.2 多进制相移键控(MPSK) | 137 |
| 6.2 数字基带信号的码型 | 102 | 7.5.3 多进制频移键控(MFSK) | 141 |
| 6.2.1 码型及码型变换 | 102 | 7.6 小资料——晶体管的发明 | 142 |
| 6.2.2 二元码 | 103 | 7.7 思考题与习题 | 142 |
| 6.2.3 三元码 | 105 | 第 8 章 差错控制编码 | 144 |
| 6.2.4 多元码 | 108 | 8.1 差错控制编码的概念 | 144 |
| 6.2.5 数字基带信号的功率谱 | 108 | 8.2 差错控制方式 | 146 |
| 6.3 无码间串扰的传输波形 | 109 | 8.3 差错控制编码分类 | 148 |
| 6.3.1 码间串扰的概念 | 109 | 8.4 检错和纠错原理 | 149 |
| 6.3.2 第一无失真条件及传输波形 | 111 | 8.5 几种常用的检错码 | 152 |
| 6.4 扰码和解扰 | 116 | 8.5.1 奇偶校验码 | 152 |
| 6.4.1 m 序列的产生和性质 | 116 | 8.5.2 水平奇偶校验码 | 152 |
| 6.4.2 扰码和解扰原理 | 120 | 8.5.3 二维奇偶校验码 | 153 |
| 6.4.3 m 序列在误码测试中的应用 | 122 | 8.5.4 群计数码 | 154 |
| 6.5 眼图 | 122 | 8.5.5 恒比码 | 154 |
| 6.6 小资料——真空管的发明 | 124 | 8.6 线性分组码 | 155 |
| 6.7 思考题与习题 | 125 | 8.7 循环码 | 161 |
| 第 7 章 数字信号的调制传输 | 126 | 8.8 小资料——香农 | 163 |
| 7.1 二进制幅移键控(2ASK) | 126 | 8.9 思考题与习题 | 163 |

第二篇 数据通信

| | | | |
|-----------------------------|-----|--------------------------------|-----|
| 第 9 章 数据通信与通信网 | 166 | 9.1.2 数据、模拟和数字通信的 异同点 | 167 |
| 9.1 数据通信与数据通信系统 | 166 | 9.1.3 数据通信的特点 | 168 |
| 9.1.1 数据通信的概念 | 166 | 9.1.4 数据通信系统的组成 | 169 |

| | | | |
|-----------------------------|------------|---------------------------|------------|
| 9.1.5 数据通信的主要性能指标 | 170 | 11.1.3 按键式电话机 | 212 |
| 9.1.6 数据通信方式 | 171 | 11.1.4 电话通信中的通信原理知识 | 214 |
| 9.2 通信网 | 174 | 11.2 收音机 | 214 |
| 9.2.1 通信网及其结构 | 174 | 11.2.1 收音机分类及原理框图 | 214 |
| 9.2.2 通信网拓扑结构 | 176 | 11.2.2 输入电路 | 215 |
| 9.2.3 通信网服务质量 | 178 | 11.2.3 变频电路 | 216 |
| 9.2.4 网络的服务性能保障机制 | 179 | 11.2.4 中放电路 | 218 |
| 9.3 现代通信网的支撑技术 | 180 | 11.2.5 检波电路 | 218 |
| 9.3.1 应用层技术 | 180 | 11.2.6 低频放大和功率放大电路 | 218 |
| 9.3.2 业务网技术 | 181 | 11.2.7 广播通信中的通信原理知识 | 220 |
| 9.3.3 传输网技术 | 183 | 11.3 电视机 | 220 |
| 9.3.4 支撑网技术 | 183 | 11.3.1 电视机信号传输原理 | 220 |
| 9.4 通信网的发展历程 | 183 | 11.3.2 电视机原理 | 222 |
| 9.5 小资料——收音机的发明 | 186 | 11.3.3 广播电视中的通信原理知识 | 224 |
| 9.6 思考题与习题 | 187 | 11.4 数据终端 | 224 |
| 第10章 计算机网络体系结构 | 188 | 11.4.1 数据终端组成及分类 | 224 |
| 10.1 网络体系结构概述 | 188 | 11.4.2 多媒体通信终端 | 227 |
| 10.2 网络体系结构的几个重要概念 | 189 | 11.5 通信设备 | 230 |
| 10.2.1 网络协议 | 189 | 11.5.1 调制解调器 | 230 |
| 10.2.2 网络服务 | 192 | 11.5.2 多路复用器 | 230 |
| 10.2.3 面向连接服务与无连接服务 | 194 | 11.5.3 集中器 | 231 |
| 10.3 ISO/OSI 参考模型 | 194 | 11.5.4 前端处理器 | 231 |
| 10.3.1 物理层 | 195 | 11.5.5 协议转换器 | 231 |
| 10.3.2 数据链路层 | 195 | 11.6 小资料——雷达的发明 | 232 |
| 10.3.3 网络层 | 196 | 11.7 思考题与习题 | 233 |
| 10.3.4 传输层 | 196 | 第12章 数据交换技术 | 234 |
| 10.3.5 会话层 | 197 | 12.1 交换的概念 | 234 |
| 10.3.6 表示层 | 197 | 12.2 交换的基本功能 | 236 |
| 10.3.7 应用层 | 197 | 12.3 常用的交换技术 | 236 |
| 10.4 Internet 网络模型 | 198 | 12.3.1 线路交换 | 236 |
| 10.4.1 TCP/IP 协议 | 198 | 12.3.2 报文交换 | 238 |
| 10.4.2 网络接口层 | 199 | 12.3.3 分组交换 | 239 |
| 10.4.3 网络互连层 | 199 | 12.3.4 异步转移模式(ATM) | 242 |
| 10.4.4 传输层 | 202 | 12.3.5 IP 交换 | 252 |
| 10.4.5 应用层 | 205 | 12.3.6 软交换 | 254 |
| 10.5 ISO/OSI 模型与 TCP/IP | | 12.4 小资料——自动电话 | |
| 模型的比较 | 205 | 交换机的发明 | 256 |
| 10.6 小资料——电视的发明 | 206 | 12.5 思考题与习题 | 256 |
| 10.7 思考题与习题 | 207 | 第13章 网络互连设备及其 | |
| 第11章 通信终端与设备 | 209 | 通信概念 | 257 |
| 11.1 电话机 | 209 | 13.1 网络互连的概念 | 257 |
| 11.1.1 磁石式电话机 | 209 | 13.2 网络互连设备 | 258 |
| 11.1.2 拨号盘式电话机 | 211 | | |

| | | | |
|----------------------------|-----|------------------------|-----|
| 13.2.1 中继器(Repeater) | 258 | 13.2.5 交换机 | 267 |
| 13.2.2 网桥(Bridge) | 259 | 13.3 几种“信道”概念的理解 | 272 |
| 13.2.3 路由器(Router) | 261 | 13.4 小资料——万维网 | 273 |
| 13.2.4 网关(Gateway) | 266 | 13.5 思考题与习题 | 274 |

第三篇 现代通信技术

| | | | |
|--------------------------------|-----|------------------------------|-----|
| 第 14 章 接入网技术 | 276 | 15.6 小资料——电子计算机的发明 | 307 |
| 14.1 接入网的概念 | 276 | 15.7 思考题与习题 | 308 |
| 14.2 接入网的接口技术 | 279 | 第 16 章 IP 电话技术 | 309 |
| 14.2.1 接入网的界定与功能模型 | 279 | 16.1 IP 电话概述 | 309 |
| 14.2.2 V5 接口 | 280 | 16.2 IP 电话的基本工作原理 | 309 |
| 14.3 接入网的分类 | 280 | 16.2.1 IP 电话的系统组成 | 310 |
| 14.4 接入技术 | 281 | 16.2.2 IP 电话的实现方式 | 312 |
| 14.4.1 铜线接入技术(xDSL) | 281 | 16.3 IP 电话的相关技术标准 | 312 |
| 14.4.2 混合光纤/同轴电缆接入网 | 285 | 16.4 IP 电话的服务质量及发展前景 | 314 |
| 14.4.3 无线接入技术 | 286 | 16.5 小资料——传真机的发明 | 315 |
| 14.4.4 光纤接入网 | 287 | 16.6 思考题与习题 | 315 |
| 14.5 小资料——集成电路的发明 | 290 | 第 17 章 光纤通信技术 | 316 |
| 14.6 思考题与习题 | 291 | 17.1 光纤通信概述 | 316 |
| 第 15 章 无线个人区域网络技术 | 292 | 17.1.1 光纤通信的概念 | 316 |
| 15.1 无线个人区域网络概述 | 292 | 17.1.2 光纤通信使用的波长 | 316 |
| 15.2 蓝牙技术 | 293 | 17.1.3 光纤通信的特点 | 317 |
| 15.2.1 “蓝牙”的由来 | 293 | 17.2 光纤通信原理 | 318 |
| 15.2.2 蓝牙技术概述 | 293 | 17.3 光纤通信系统的组成 | 318 |
| 15.2.3 蓝牙技术的特点 | 295 | 17.3.1 光端机 | 319 |
| 15.2.4 蓝牙系统组成 | 296 | 17.3.2 中继器 | 321 |
| 15.2.5 蓝牙技术的应用 | 297 | 17.3.3 监控系统 | 321 |
| 15.2.6 蓝牙技术与无线局域网 | 298 | 17.4 几种光纤通信技术 | 322 |
| 15.3 ZigBee 技术 | 300 | 17.5 光纤通信的发展趋势 | 324 |
| 15.3.1 ZigBee 技术概述 | 300 | 17.6 小资料——“光纤之父”高锟 | 326 |
| 15.3.2 ZigBee 系统组成 | 301 | 17.7 思考题与习题 | 326 |
| 15.3.3 ZigBee 的应用 | 301 | 第 18 章 微波中继通信技术 | 327 |
| 15.3.4 ZigBee 和蓝牙性能参数比较 | 302 | 18.1 微波中继通信的概念 | 327 |
| 15.4 NFC 技术 | 302 | 18.2 微波中继通信的频率范围 | 328 |
| 15.4.1 NFC 技术概述 | 302 | 18.3 微波中继通信的特点 | 328 |
| 15.4.2 NFC 原理和组成 | 303 | 18.4 微波中继通信系统的组成 | 329 |
| 15.4.3 NFC 技术的应用 | 305 | 18.5 微波中间站的转接方式 | 330 |
| 15.4.4 NFC 与蓝牙技术的比较 | 305 | 18.6 数字微波的收/发信设备 | 332 |
| 15.5 UWB 技术 | 305 | 18.7 数字微波通信的关键技术 | 333 |
| 15.5.1 UWB 技术概述 | 305 | 18.8 小资料——莫尔斯电码和电报机 | 335 |
| 15.5.2 UWB 技术原理 | 306 | | |
| 15.5.3 UWB 技术特点及应用 | 306 | | |

| | | | |
|----------------------------|------------|---------------------------------|------------|
| 18.9 思考题与习题 | 336 | 19.8 小资料——人造卫星史话 | 357 |
| 第 19 章 卫星通信技术 | 337 | 19.9 思考题与习题 | 357 |
| 19.1 卫星通信概述 | 337 | 第 20 章 移动通信技术 | 358 |
| 19.1.1 卫星通信的概念 | 337 | 20.1 移动通信概述 | 358 |
| 19.1.2 卫星通信的工作频段 | 338 | 20.1.1 移动通信的概念及特点 | 358 |
| 19.1.3 卫星通信的特点 | 339 | 20.1.2 移动通信系统的分类 | 359 |
| 19.2 卫星通信系统 | 339 | 20.1.3 移动通信系统的组成 | 360 |
| 19.2.1 卫星通信系统的分类 | 339 | 20.1.4 移动通信中的多址技术 | 361 |
| 19.2.2 卫星通信系统的组成 | 340 | 20.2 第一代移动通信系统 | 362 |
| 19.2.3 卫星通信系统的工作过程 | 341 | 20.3 第二代数字移动通信系统 | 362 |
| 19.3 通信卫星 | 342 | 20.3.1 GSM 移动通信系统 | 363 |
| 19.3.1 通信卫星的分类 | 342 | 20.3.2 CDMA 移动通信系统 | 370 |
| 19.3.2 同步卫星的通信范围 | 343 | 20.4 第三代移动通信系统 | 373 |
| 19.3.3 通信卫星的组成 | 344 | 20.4.1 第三代移动通信系统的特点 | 374 |
| 19.4 卫星通信地面站 | 346 | 20.4.2 第三代移动通信系统 提供的业务 | 375 |
| 19.4.1 地面站的分类 | 346 | 20.4.3 第三代移动通信系统的 关键技术 | 376 |
| 19.4.2 地面站的组成 | 347 | 20.5 小资料——手机的发明 | 376 |
| 19.5 卫星通信的多址技术 | 349 | 20.6 思考题与习题 | 377 |
| 19.6 卫星通信的新技术 | 352 | 参考文献 | 378 |
| 19.7 GPS 系统 | 354 | | |
| 19.7.1 GPS 概述 | 354 | | |
| 19.7.2 GPS 系统组成 | 354 | | |
| 19.7.3 GPS 定位原理 | 355 | | |

第一篇

© 清华大学出版社 北京 2018 年 1 月

通信原理

第1章 通信与通信系统的基本概念

1.1 通信的概念

谈到通信(Communication),我们每个人都不陌生。古代的烽火报警,就是把敌人入侵的消息通过烽火传达给远方的人们;抗日战争时期,儿童团员把“消息树”放倒,告诉村里的人们“鬼子来了”;舰船上的灯语和旗语通过灯的闪烁和旗子的挥动与港口进行无声的对话;传统的信函以文字形式把游子的思乡之情浓缩于尺素之中,再利用邮政媒体送达家人;方便的飞鸽传书,即便是在今天,依然有着独特的魅力;在各种建筑工地上,工人们经常使用对讲机相互联络,协调工作;在电影电视中经常看到军人或警察利用无线电台进行作战指挥;还有电报、电传、电话、移动电话、有线广播、无线广播、有线电视、无线电视等当代最为普及的通信手段都是现实生活中我们所熟悉的通信实例。

在上述实例中我们发现,无论是远古狼烟滚滚的烽火,还是今天四通八达的电话,无论是饱含情谊的书信,还是绚丽多彩的电视画面,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,我们对通信下一个简练的定义:

通信就是利用信号将包含信息的信息进行空间传递的过程。

简单地说,通信就是信息的空间传递。

信息(Information)是一切事物运动状态或存在方式的不确定性描述,是人们欲知或欲表达的事物运动规律,通常以消息的形式(比如语音、文字、音乐、数据、图片或活动图像等)表现出来。

消息(Message)是信息的外在表现形式或信息的逻辑载体。信息是消息的内涵。

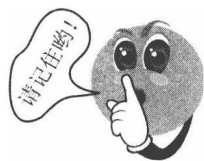
显然,消息类似于容器,信息好比容器中的物品。一条消息可以包含丰富的信息,也可以不包含信息。一种信息可以由多种消息形式表示,比如天气信息可以在报纸上以文字形式出现,也可以在广播或电视上以语音或图像形式发布。

消息可以分成两大类:连续(模拟)消息和离散(数字)消息。连续消息是指消息的状态是连续变化或不可数的,如连续变化的语音、图像等;离散消息则是指消息的状态是可数的或离散的,如符号、数据等。

在通信技术中,“信息”与“消息”在大多数场合不用严格区分。

随着计算机技术和计算机网络技术的飞速发展,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,有关通信方面的知识与技术也就成为当代人应该了解和掌握的热门知识之一。

作为一门科学,现代通信所研究的主要问题概括地说就是如何把信息大量、准确、快



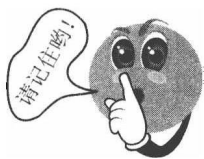
速、广泛、方便、经济、安全、长距离地从信源通过传输介质传送到信宿。各种通信技术都是围绕着这样几个目的而展开的。“通信原理”就是介绍支撑各种通信技术的通信基本概念和数学理论基础的一门课程。

由于“交通”与“通信”具有较强的类比性，所以，书中用了一些交通运输(包括公路和铁路运输)实例作为比较对象，比如，交通/通信、运输/传输、运载工具/信号、货物/信息、道路/信道等，旨在帮助大家更透彻地理解通信原理中的许多概念和问题。

1.2 通信系统

1.2.1 通信系统的定义与组成

交通是把货物(乘客)从出发地运输(搬移)到目的地，通信是把信息从信源传输到信宿。如果把用于运输货物或乘客的人、车、路的集合称为交通系统的话，那么，用于进行通信的设备硬件、软件和传输介质的集合就称做通信系统(Communication System)。



从硬件上看，通信系统主要由信源、信宿、传输介质、发送设备、接收设备五部分组成，其一般模型如图 1-1 所示。比如，有线长途电话通信系统包括送话器、电线、载波机、受话器等要素。广播通信系统包括话筒、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。

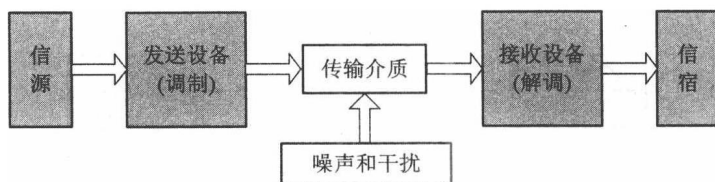


图 1-1 通信系统(模拟系统)的一般模型

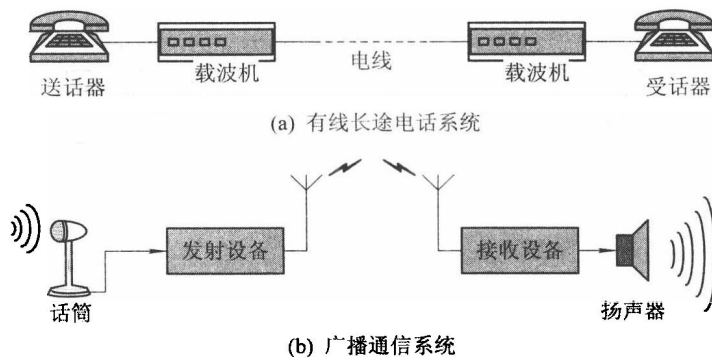


图 1-2 通信系统实例示意图

需要说明的是，噪声和干扰存在于信号传输的整个过程之中，为了便于研究，通常将全部噪声和干扰体现在传输介质上。

1.2.2 通信系统的分类

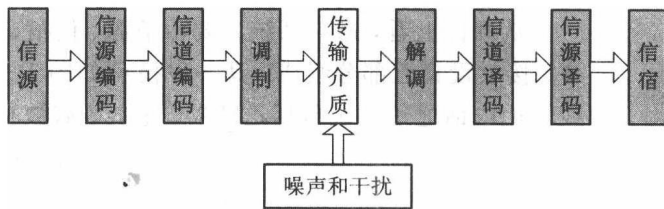
根据不同的标准，通信系统有多种不同的分类。

1. 按信道传输信号分类

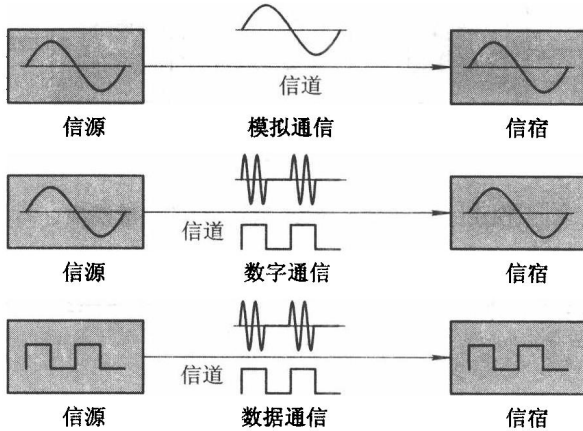
按信道传输信号不同，通信系统可分为模拟通信系统和数字通信系统。

模拟通信是指以模拟信号携带模拟消息的通信过程或方式。其特征是信源和信宿处理的都是模拟消息，信道传输的是模拟信号。因此，模拟通信系统(Analog Communication System)可以说是以模拟信号形式传输模拟消息的系统(如图 1-1 所示)，如电话通信系统。

数字通信是指以数字信号携带模拟消息的通信过程或方式。其特征是信源和信宿处理的都是模拟消息，信道传输的是数字信号。因此，数字通信系统(Digital Communication System)可以说是以数字信号形式传输模拟消息的系统(如图 1-3(a)所示)，如数字电话通信系统和移动通信系统。



(a) 数字通信系统模型



(b) 三种通信系统示意图

图 1-3 数字通信系统及三种通信系统示意图

从图 1-3(a)中可见，数字通信系统与图 1-1 的主要区别是多了信源编码(译码)和信道编码(译码)功能模块，而这正是数字通信系统的特点所在。通常信源编码完成的是将模拟消息(模拟信号)转换成数字信号的功能(信源译码功能相反)；信道编码用于将信源编码输出的数字信号(一般是经自然编码后的数字信号，自然编码指的是用高电平表示“1”、低电平表示“0”的简单编码方式)变成适合于信道传输的码型(信道译码功能相反)。

随着计算机技术、网络技术和通信技术的发展和融合，一种新的通信概念——数据通

信应运而生。数据通信是指以数字信号携带数据的通信过程或方式。其特征是信源和信宿处理的都是以数据形式出现的离散消息，信道传输的是数字信号。因此，数据通信系统(Data Communication System)可以说是以数字信号形式传输数据的系统，如计算机与打印机之间的通信系统。通常，数据通信主要指计算机(或数字终端)之间的通信。

图1-3(b)是三种通信系统(方式)的示意图。由于数据通信在信号传输上与数字通信大致相同，其携带的消息可以是模拟消息也可以是离散消息，所以，从技术体制上看，通信技术仍然只分为模拟通信和数字通信两种。

电信号或光信号在传输时的一个主要特征是“衰减”，即信号强度的减小。信号传输距离越长，衰减越大，信号频率越高，衰减越大。另一个特征是信号的波形发生畸变(主要由衰减和干扰引起)。高质量的模拟通信应该是衰减和畸变都比较小，但实际模拟通信系统很难满足人们对通信质量越来越高的指标要求。

数字通信产生的直接原因是为了提高模拟通信的质量。宏观上看，数字通信与模拟通信的主要差别体现在信宿接收到的信号质量更好。

模拟通信在信号传输上采用逐级“放大”方式，而数字通信多采用的是“再生”方式。比如：一队游客在导游的带领下，沿着窄小的山道拾阶而上。最前面的导游(信源)拿起话筒对着最后面的人(信宿)喊：“张先生，快跟上，别掉队！”，这是模拟通信的信号传输方式；他也可以用传口令的方式让游客们依次将“张先生，快跟上，别掉队！”的命令传下去，这就是数字通信的信号传输方式。

从信息传输的角度看，模拟通信系统可认为是一种信号波形传输系统，而数字通信系统以及数据通信系统则是信号状态传输系统。



数字通信具有以下特点：

- (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)，所以在传输过程中我们可以不太关心信号幅度的绝对值，只注意相对值。同时，传输时中继器可再生信号，消除噪声积累。
- (2) 便于进行信号加工与处理。由于信号可以储存，所以可以像处理照片一样随意加工处理(在技术允许的范围内)。
- (3) 传输中出现的差错(误码)可以设法控制，提高了传输质量。
- (4) 数字消息易于加密且保密性强。
- (5) 能够传输话音、图像、数据等多种消息，增加了通信系统的灵活性和通用性。

总之，数字通信的优点很多，但事物总是一分为二的。数字通信的许多长处是以增加信号带宽为代价的。比如，一路模拟电话信号的带宽为4 kHz，而一路数字电话信号大概要占(20~60) kHz的带宽，这说明数字通信的频带利用率低。尽管如此，数字通信仍将是未来通信的发展方向。

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。利用导线(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