

21

高等学校信息工程类“十三五”规划教材

数字通信原理与技术

(第四版)

王兴亮 寇媛媛 主编◎

WUXIANGYU
KOUYUAN
JIAN



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

高等学校信息工程专业“十三五”规划教材

数字通信原理与技术

(第四版)

王兴亮 寇媛媛 主编

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书全面、系统地介绍了现代数字通信原理和通信技术。全书共 10 章,内容包括绪论、模拟信号的调制与解调、模拟信号的数字传输、多路复用与数字复接、准同步与同步数字传输体系、数字信号的基带传输、数字信号的频带传输、同步原理、差错控制编码、伪随机序列及应用。

本书兼顾信息技术本科教育和高职高专教育的特点,系统性强,内容编排连贯;注重基本概念、基本原理的阐述,对系统基本性能的物理意义解释明确;强调通信新技术在实际通信系统中的应用;注意知识的归纳、总结,并附有适量的思考与练习题。参考学时为 60~80 学时。

本书语言简练、通俗易懂、叙述深入浅出、层次分明、适用面宽,可作为信息类本科各专业和高职高专通信工程、计算机通信、信息技术和其他相近专业的教材,也可供相关的科技人员阅读和参考。

图书在版编目(CIP)数据

数字通信原理与技术/王兴亮,寇媛媛主编. —4 版.

—西安:西安电子科技大学出版社,2016.6

高等学校信息工程类专业“十三五”规划教材

ISBN 978 - 7 - 5606 - 4107 - 2

I. ① 数… II. ① 王… ② 寇… III. ① 数字通信—高等学校—教材 IV. ① TN914.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 116006 号

策 划 马乐惠

责任编辑 曹 超 马乐惠

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 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 2016 年 6 月第 4 版 2016 年 6 月第 14 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 21.5

字 数 502 千字

印 数 78 001~81 000 册

定 价 42.00 元

ISBN 978 - 7 - 5606 - 4107 - 2/TN

XDUP 4399004 - 14

*** 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。

第四版前言

《数字通信原理与技术》自1999年出版以来，经历了十多年的时间，已先后再版了三次，在这期间受到了广大教师和学生的青睐，同时也接受了大家提出的中肯意见和建议，几经修改与完善，使本书具有相当规模的读者群。在广大教师和学生的一再要求下，此次对书稿进行第四次修订，使其紧跟时代的步伐，内容更加充实，编者愿意为使本书成为经典之作而付出不懈的努力。

此次修订主要从两方面进行完善：一是补充最新的通信技术内容；二是将编者多年从事通信原理教学的心得与体会、收集的大量经典教学内容融入教材中。

编者深信，通过此次修订，广大读者一定会从其中汲取精华和实用的内容，为学习后续专业打下牢固基础。在此，感谢广大教师和学生对本书的信任和支持，欢迎大家持续关注《数字通信原理与技术》的再版，一如既往地保持沟通与联系，不断提出改进意见和建议。

第四版的编者仍然是原班人马，主编王兴亮教授感谢所有参编老师为本书付出的辛劳，同时感谢西安电子科技大学出版社的老师为本书出版付出的心血。

主编联系方式：QQ 935363445，E-mail 935363445@qq.com。

编者

2016年3月

第三版前言

本教材系“面向 21 世纪高等学校信息类专业‘十一五’规划教材”，是根据教育部信息类本科专业及高职高专培养目标而编写的，并经 IT 类专业系列教材编委会审定推荐出版。

本次修订是应广大读者的要求，在《数字通信原理与技术》(第二版)基础上重新整理而成的。在修订过程中，广泛听取了使用本教材的教师和学生的意见，对书中内容做了必要的充实，增加了准同步数字体系(PDH)、同步数字体系(SDH)和宽带接入网技术。其宗旨是追寻通信技术的新颖性、知识的系统性，同时兼顾教材的完整性、实用性和可读性。

本书以数字通信技术为重点，介绍通信系统的基本原理、基本性能和基本分析方法。

全书共 11 章。第 1 章主要讲述了通信系统的基本概念、基本模型、基本性能指标(有效性和可靠性)，以及信道与噪声的基本理论。第 2 章简述了模拟信号的调制与解调，这是通信技术的基础。第 3 章讨论了模拟信号的数字传输问题，论述如何将模拟信号转换成数字信号(即模拟信号数字化问题)，进而实现数据压缩。从实现方法上看，模拟信号数字化主要有两种基本形式：一种是脉冲编码调制(PCM)；另一种是增量调制(ΔM)。第 4 章讨论了多路复用与数字复接问题，论述了时分多路复用(TDM)原理。第 5 章讨论了准同步数字体系(PDH)和同步数字体系(SDH)原理等。第 6 章介绍了数字基带传输系统，这是数字通信的基本部分。基带传输系统涉及一系列技术问题，如信号类型(传输码型)、码间串扰、实现无串扰传输的理想条件及如何具体克服和减少码间串扰的措施等，还有基带数字信号的再生中继传输、时域均衡原理和部分响应系统。第 7 章介绍了数字调制与解调。调制与解调是数字通信系统的核心，是最基本的，也是最重要的技术之一。常见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)等四种。第 8 章介绍同步技术。主要内容有载波同步、位同步和帧同步。数字通信离不开同步，同步系统性能的好坏，直接影响着通信系统性能的优劣。第 9 章讨论了差错控制编码/译码的问题。差错控制编码/译码又称纠错编码/译码，属信道编码范畴。主要讨论检错、纠错码概念及基本实现方法。编码器是根据输入的信息码元产生相应的监督码元来实现对差错进行控制的，而译码器主要是进行检错与纠错的。具体内容主要有纠错码的基本概念、分组码的组成，以及循环码与卷积码的基本概念。重点介绍基本技术方法和基本概念。第 10 章讨论伪随机序列及其应用，主要介绍了伪随机序列在保密和扩展频谱通信中的应用。第 11 章介绍了宽带接入网技术，尤其对新的无线宽带接入 Wi-Fi 和 WiMAX 技术做了特别介绍。Wi-Fi 表示“无线保真”，指具有完全兼容性的 802.11 标准 IEEE 802.11b 子集，它使用开放的 2.4 GHz 直接序列扩频，最大数据传输速率为 11 Mb/s，也可根据信号强弱把传输率调整为 5.5 Mb/s、2 Mb/s 和 1 Mb/s 带宽。Wi-Fi 的传输范围为室外最大 300 m，室内有障碍的情况下最大 100 m，是现在使用最多的无线接入手段。WiMAX 的全称为 World Interoperability for Microwave Access，即全球微波接入互操作性。WiMAX 标准是

802.16 标准, 又称宽带无线接入(BWA, Broadband Wireless Access)标准。它是一种无线城域网(WMAN)技术, 是针对微波和毫米波频段提出的一种新的空中接口标准; 它用于将 802.11a 无线接入热点连接到互联网, 也可连接公司与家庭等环境至有线骨干线路; 它可作为线缆和 DSL 的无线扩展技术, 从而实现无线宽带接入。

本教材的特点是内容新颖, 反映了当前最新的通信技术和应用情况; 教材体系全面, 材料充实丰富; 语言简练, 通俗易懂, 条理清楚, 便于自学; 突出概念的描述, 避免繁琐的公式推导, 重点讲述各种通信技术的性能和物理意义, 并列举大量的例子加以说明; 图文并茂, 实用性强; 每章的前面有教学要点, 结束有小结, 并附有适量的思考与练习题。

本教材可作为信息类本科各专业和高职高专通信工程、计算机通信、信息技术和其他相近专业的教材。

本教材参考学时为 60~80 学时, 各专业可根据各自制定的课程标准选取所学内容, 带“*”号的章节为选学内容。

本书由王兴亮和寇宝明教授主编, 参加编写的人员有达新宇、林家薇、王瑜、刘振霞、寇媛媛、田秀芳、李成斌、周一帆、张亮、任啸天、侯灿靖、刘敏、刘莎、牟京燕等。

由于编者水平所限, 书中还会存在疏漏和不足, 恳切希望读者提出中肯的批评和建议。

本书主编的 E-mail: 8185wxl@21cn.com

wxl20060910@yahoo.com.cn

编著者

2009 年 1 月于西安

第二版前言

本教材自2000年6月首次出版后,先后进行多次重印,两年多时间,本书的印数已接近3万册。根据通信技术的最新发展和教学改革实践的要求,作者在广泛征求各有关院校专家、广大任课教师及学生意见的基础上,根据高等院校电子信息类规划教材的具体要求,对原教材进行了系统的修订。

本次修订的宗旨是追求技术的新颖性、知识的系统性,同时兼顾教材的完整性、实用性和可读性。修订后,本书仍然以数字通信技术为主线,介绍数字通信系统的基本原理、基本性能和基本分析方法,保持了基本理论的相对稳定性,增补了部分较为系统的通信理论和方法。书中增补的模拟信号调制与解调技术是作为参考内容而编入的,对于没有学过模拟通信的学生来讲,也可以将此部分作为必修内容。

修订后全书共分为三大部分,共12章。第一部分包括第1、2、3章,是全书的基础部分,第1、2章主要讲述了通信系统的基本概念、基本模型、基本性能指标(有效性和可靠性),以及信道与噪声的基本理论;第3章模拟信号的调制与解调是参考内容,也是数字通信的基础。第二部分从第4章到第11章,主要讲述数字通信的基本原理、基本技术和基本性能。第4章介绍了PCM和 ΔM 原理及应用;第5章介绍了FDM、TDM及OFDM技术,同时介绍了数字复接原理与技术;第6章介绍了基带传输信号的基本码形,重点是差分码、HDB₃码的编译码规则,论述了码间串扰和系统无码间串扰的传输特性,以及眼图、时域均衡和部分响应等概念;第7章介绍了二进制和多进制ASK、FSK及PSK(DPSK)等调制解调技术,并对各种调制技术的性能进行了分析和比较;第8章介绍了最佳接收准则、确知信号的最佳接收及性能、随机信号的最佳接收、最佳接收机的匹配滤波器形式及数字基带系统的最佳化;第9章讲述了同步技术在数字通信中的作用和意义,介绍了载波同步、位同步、群同步及网同步技术的实现方法和性能指标;第10章介绍了差错控制编码的机理及常用检错码和纠错码的概念,重点分析了线性分组码和卷积码的构成原理及解码方法,同时还介绍了网格编码调制(TCM)新技术;第11章介绍了 m 序列的产生、性质及应用情况。第三部分就是第12章,介绍了现代通信网的基本概况、基本理论和相关技术,并介绍了VSAT卫星通信网及数字移动通信系统,主要目的是使读者能够建立起一个通信网络和通信系统的概念,为以后的学习和工

作奠定良好基础。

本书的特点是系统性强，内容编排连贯，突出基本概念、基本原理；注重通信技术在实际通信系统中的应用，注意吸收新技术和新的通信系统；注重知识的归纳与总结，每章前有引子，章后有小结，各章均有思考与练习题；语言简练、通俗易懂、深入浅出，适应对象广泛。为了配合教学，我们还编写了相应的同步练习指导书，已由哈尔滨工程大学出版社和西北工业大学出版社联合出版，同时还研制了一套供学生在局域网和因特网上练习的“通信原理网络虚拟实验”，已在空军工程大学使用。

本书由王兴亮教授主编，并编写了第3、5、7、9章及第11章部分内容，同时对全书的其他各章进行统一修订；达新宇编写了第1、2章及第12章部分内容；林家薇编写了4、6、8章；王瑜编写了第10章及第11章部分内容；刘振霞编写了第12章部分内容；王轶编写了第8章部分内容。

编者在这里再次对本书提出宝贵意见和建议的专家、教授及同行们表示最诚挚的谢意。

由于编者水平所限，书中还会存在疏漏和错误，希望读者一如既往，不断关心和鼓励，提出中肯的批评和建议。

E-mail: 8185wxi@21cn.com

编 者

2003年4月于西安

第一版前言

在当今和未来的信息化社会中,数字通信已成为信息传输的重要手段。随着全球数字化已成为当今社会的主要潮流,数字通信新设备的不断涌现,人们已经越来越离不开数字通信这种手段,并且越来越期望了解和掌握数字通信技术。

本书以数字通信技术为主线,对信源编码、信道编码、时分复用原理、模拟信号的数字传输、基带传输、频带传输、同步系统等主要技术进行了全面系统的论述,同时对一些较新的调制解调技术做了介绍,特别介绍了数字通信系统及一些数字通信技术的新的应用。既适应了当前通信领域发展的现状,又反映了这一领域发展的最新进展。

全书共分为9章,参考学时数为80学时。

第1章 绪论,主要介绍通信系统的基本组成和基本概念,重点介绍数字通信的主要性能指标。

第2章 信道与噪声,介绍信道的基本概念和特性,以及通信中可能存在的各种噪声,论述了不同信道对所传信号的影响和改善信道特性的方法,最后提出了信道容量的概念。

第3章 模拟信号的数字传输,重点介绍了PCM和 ΔM 原理与应用,同时还对时分复用和数字复接技术做了论述。

第4章 数字信号的基带传输,介绍了基带传输信号的基本码型,重点是差分码、AMI码及HDB₃码的编/译码规则,论述了码间串扰和系统无码间串扰的传输特性,以及眼图、时域均衡和部分响应的概念。

第5章 数字信号的频带传输,也就是数字信号的调制解调技术,主要介绍了二进制和多进制形式的ASK、FSK及PSK(DPSK)等调制解调技术,并对各自的调制解调系统性能做了分析和比较,最后主要围绕窄带调制介绍了一些新的调制解调技术。

第6章 同步系统,讲述了同步技术在数字通信中的作用和意义,介绍了载波同步、位同步及群同步的实现方法及其性能指标,重点是位同步技术。

第7章 差错控制编码,讲述了差错控制编码的机理及常用检错码和纠错码的概念,重点分析了线性分组码和卷积码的构成原理及解码方法,同时还介绍了网格编码调制(TCM)新技术。

第8章 伪随机序列—— m 序列，着重介绍了伪随机序列的产生、性质及应用情况，主要以扩展频谱通信、保密通信等应用作为重点应用内容。

第9章 现代数字通信系统介绍，主要介绍了几种当今新的数字通信系统的组成、工作原理及其技术指标等。如 VSAT 卫星通信网、数字蜂窝移动通信系统(如 GSM 蜂窝系统)、无线寻呼系统、数字微波通信系统、数字光纤通信系统。

本书的特点是系统性强，内容编排连贯，突出基本概念、基本原理，减少不必要的数学推导和计算；注重通信技术在实际通信系统中的应用，注意吸收新技术和新的通信系统；注重知识的归纳、总结并给出适量的课后练习；语言简练、通俗易懂、深入浅出，适应对象广泛。为便于读者深入学习，同时考虑到知识的完整性，本书适当编写了一些参考性内容，这些部分已在书中用“*”号标出，可选择性学习。在教学实施过程中，尚需一定数量的示教和实验来配合教学。

本书由王兴亮担任主编，达新宇任副主编，主审张辉，责任编委王喜成。达新宇编写第1、2、9章，林家薇编写第3、4章，王兴亮编写第5、6章，王瑜编写第7、8章。王兴亮统稿全书。

限于编者水平，缺点错误在所难免，欢迎各界读者批评指正。

编 者

1999年10月20日于西安

目 录

第 1 章 绪论	1	2.1.5 模拟线性调制的一般模型	45
1.1 通信的发展	1	2.1.6 线性调制系统的抗噪声性能	46
1.1.1 通信发展简史	1	2.2 模拟信号的非线性调制	51
1.1.2 通信技术的发展与展望	2	2.2.1 基本概念	51
1.2 通信的概念	8	2.2.2 窄带调频(NBFM)	52
1.2.1 通信的定义	8	2.2.3 宽带调频(WBFM)	53
1.2.2 通信的分类	8	2.2.4 调频信号的产生与解调	55
1.2.3 通信方式	10	2.2.5 调频系统的抗噪声性能	57
1.3 通信系统	12	2.3 模拟调制方式的性能比较	60
1.3.1 通信系统的模型	12	本章小结	62
1.3.2 模拟通信系统	13	思考与练习 2	62
1.3.3 数字通信系统	14	第 3 章 模拟信号的数字传输	66
1.3.4 数字通信的主要优缺点	15	3.1 抽样定理	66
1.4 信息论基础	16	3.1.1 抽样的概念	66
1.4.1 信息及其量度	16	3.1.2 低通信号的抽样定理	69
1.4.2 平均信息量	17	3.1.3 带通信号的抽样定理	71
1.4.3 条件熵的计算	18	3.2 模拟信号的脉冲调制	73
1.5 通信系统的性能指标	18	3.2.1 脉冲振幅调制(PAM)	74
1.5.1 一般通信系统的性能指标	18	3.2.2 脉冲宽度调制(PDM)	75
1.5.2 通信系统的有效性指标	19	3.2.3 脉冲位置调制(PPM)	75
1.5.3 通信系统的可靠性指标	20	3.3 脉冲编码调制(PCM)	75
1.6 通信信道的基本特性	21	3.3.1 量化	76
1.6.1 信道的概念	21	3.3.2 编码和译码	83
1.6.2 传输信道	24	3.4 增量调制(ΔM)	88
1.6.3 信道内的噪声	26	3.4.1 简单增量调制	88
1.6.4 常见的几种噪声	27	3.4.2 增量调制的过载特性与编码的 动态范围	92
1.6.5 信道容量	29	3.5 差值脉冲编码调制	94
本章小结	32	3.5.1 差值脉冲编码调制(DPCM)	94
思考与练习 1	35	3.5.2 自适应差值脉冲编码调制 (ADPCM)	96
第 2 章 模拟信号的调制与解调	37	3.6 子带编码(SBC)	98
2.1 模拟信号的线性调制	37	3.6.1 基本概念	98
2.1.1 常规双边带调制(AM)	37	3.6.2 子带带宽	99
2.1.2 抑制载波双边带调幅 (DSB-SC)	40	3.7 参量编码技术	99
2.1.3 单边带调幅(SSB)	41	3.7.1 参量编码	99
2.1.4 残留边带调幅(VSB)	43		

3.7.2 线性预测编码(LPC)	99	思考与练习 5	155
* 3.8 语音压缩编码技术	100	第 6 章 数字信号的基带传输	157
本章小结	101	6.1 数字基带信号的常用码型	157
思考与练习 3	103	6.2 数字基带传输系统	164
第 4 章 多路复用与数字复接	106	6.2.1 数字基带传输系统的基本组成	164
4.1 频分多路复用(FDM)	106	6.2.2 码间串扰和噪声对误码的影响	165
4.1.1 直接法 FDM	106	6.2.3 基带传输系统的数学分析	166
4.1.2 复级法 FDM	108	6.2.4 码间串扰的消除	167
4.2 正交频分复用(OFDM)	111	6.3 无码间串扰的基带传输系统	168
4.2.1 OFDM 的基本原理	112	6.3.1 理想基带传输系统	168
4.2.2 基于 FFT 的 OFDM 系统组成	113	6.3.2 无码间串扰的等效特性	169
4.3 时分多路复用(TDM)	115	6.3.3 升余弦滚降传输特性	170
4.3.1 TDM 基本原理	115	6.3.4 无码间串扰时噪声对传输性能的影响	173
4.3.2 TDM 信号的带宽及相关问题	117	6.4 基带数字信号的再生中继传输	174
4.3.3 TDM 与 FDM 的比较	118	6.4.1 基带传输信道特性	174
4.3.4 时分复用的 PCM 系统	119	6.4.2 再生中继系统	175
4.3.5 PCM 30/32 路典型终端设备介绍	120	6.4.3 再生中继器	176
4.3.6 统计时分多路复用(STDM)	122	6.5 眼图	178
4.4 波分多路复用(WDM)	123	6.6 时域均衡	180
4.5 码分多路复用(CDM)	126	6.6.1 时域均衡原理	180
4.6 多址通信技术	127	6.6.2 三抽头横向滤波器时域均衡	182
4.6.1 频分多址(FDMA)	127	6.7 部分响应技术	184
4.6.2 时分多址(TDMA)	128	6.7.1 部分响应波形	184
4.6.3 码分多址(CDMA)	130	6.7.2 差错传播	185
本章小结	131	6.7.3 部分响应基带传输系统的相关编码和预编码	185
思考与练习 4	131	6.7.4 部分响应波形的一般表示式	187
第 5 章 准同步与同步数字传输体系	133	6.8 数字信号的最佳接收	188
5.1 准同步数字体系(PDH)	133	6.8.1 最小差错概率接收	188
5.1.1 数字复接的概念和方法	133	6.8.2 最小均方误差接收	189
5.1.2 同步复接与异步复接	134	6.8.3 最大输出信噪比接收	190
5.1.3 PCM 高次群	136	6.8.4 最大后验概率接收	192
5.2 同步数字体系(SDH)	137	本章小结	192
5.2.1 SDH 的基本概念	137	思考与练习 6	194
5.2.2 SDH 的速率和帧结构	139	第 7 章 数字信号的频带传输	198
5.2.3 同步复用与映射方法	140	7.1 引言	198
5.2.4 SDH 设备应用原理	144	7.2 二进制数字振幅调制	199
5.2.5 SDH 自愈网	147	7.2.1 一般原理与实现方法	199
5.3 SDH 在微波通信中的应用	152	7.2.2 2ASK 信号的功率谱及带宽	200
5.3.1 微波 SDH 技术	152	7.2.3 2ASK 信号的解调及系统误码率	202
5.3.2 SDH 微波通信设备	153	7.3 二进制数字频率调制	205
5.3.3 SDH 微波通信系统	153		
本章小结	155		

7.3.1 一般原理与实现的方法	205	8.3.4 位同步系统的性能指标	265
7.3.2 2FSK 信号的功率谱及带宽	207	8.4 群同步(帧同步)技术	266
7.3.3 2FSK 信号的解调及系统 误码率	209	8.4.1 对群同步系统的基本要求	267
7.4 二进制数字相位调制	213	8.4.2 起止式同步法	267
7.4.1 绝对相移和相对相移	213	8.4.3 连贯式插入法	267
7.4.2 2PSK 信号的产生与解调	215	8.4.4 间歇式插入法	269
7.4.3 2DPSK 信号的产生与解调	217	8.4.5 群同步的保护	270
7.4.4 二进制相移信号的功率谱 及带宽	220	8.4.6 群同步系统的性能指标	271
7.4.5 2PSK 与 2DPSK 系统的比较	220	8.5 网同步技术	273
7.5 多进制数字调制	221	8.5.1 全网同步系统	273
7.5.1 多进制数字振幅键控(MASK)	221	8.5.2 准同步系统	274
7.5.2 多进制数字频移键控(MFSK)	222	8.5.3 SDH 网同步结构	276
7.5.3 多进制数字相移键控(MPSK)	224	本章小结	277
7.6 正交振幅调制(QAM)	234	思考与练习 8	278
7.6.1 QAM 的调制解调原理	235	第 9 章 差错控制编码	280
7.6.2 QAM 的星座图	235	9.1 概述	280
7.6.3 16QAM 的实现	236	9.1.1 信源编码	280
7.7 最小频移键控(MSK)	237	9.1.2 差错控制方式	280
7.7.1 MSK 的基本原理	237	9.2 检错与纠错	281
7.7.2 MSK 调制解调的实现	239	9.2.1 纠错码的分类	281
7.7.3 MSK 系统的性能	241	9.2.2 纠错编码的基本原理	282
7.8 数字调制系统性能比较	242	9.3 常用差错控制码	283
7.8.1 二进制数字调制系统的 性能比较	242	9.3.1 奇偶监督码	283
7.8.2 多进制数字调制系统的 性能比较	243	9.3.2 水平奇偶监督码	283
本章小结	245	9.3.3 行列监督码	283
思考与练习 7	246	9.3.4 群计数码	284
第 8 章 同步原理	250	9.3.5 恒比码	284
8.1 概述	250	9.4 线性分组码	285
8.1.1 不同功用的同步	250	9.4.1 基本概念	285
8.1.2 不同传输方式的同步	251	9.4.2 汉明(Hamming)码	285
8.2 载波同步技术	252	9.4.3 监督矩阵	287
8.2.1 非线性变换——滤波法	252	9.4.4 生成矩阵	288
8.2.2 特殊锁相环法	253	9.4.5 校正和检错	289
8.2.3 插入导频法(外同步法)	255	9.4.6 线性分组码的性质	289
8.2.4 载波同步系统的性能指标	258	9.5 循环码	290
8.3 位同步技术	259	9.5.1 循环特性	290
8.3.1 位同步的概念	259	9.5.2 生成多项式与生成矩阵	291
8.3.2 插入导频法(外同步法)	260	9.5.3 监督多项式及监督矩阵	292
8.3.3 自同步法	261	9.5.4 编码方法	293
		9.5.5 解码方法	294
		9.6 卷积码	295
		9.6.1 卷积码的概念	295
		9.6.2 卷积码的图解表示	296

9.6.3 卷积码的译码	298	10.4.3 m 序列的性质	315
*9.7 网格编码调制	299	10.5 沃尔什码	317
9.7.1 TCM 信号的产生	300	10.6 伪随机序列的应用	318
9.7.2 TCM 信号的解调	302	10.6.1 扩展频谱通信	318
本章小结	304	10.6.2 码分多址(CDMA)通信	321
思考与练习 9	305	10.6.3 通信加密	323
第 10 章 伪随机序列及应用	309	10.6.4 误码率的测量	324
10.1 伪随机序列的概念	309	10.6.5 数字信息序列的扰码与解扰	324
10.2 正交码与伪随机码	309	10.6.6 噪声产生器	326
10.3 伪随机序列的产生	311	10.6.7 时延测量	326
10.4 m 序列	313	本章小结	327
10.4.1 特征多项式	313	思考与练习 10	327
10.4.2 m 序列产生器	314	参考文献	329

第1章 绪 论

【教学要点】

- 通信的概念：通信的定义、方式、分类及通信系统模型。
- 信息论基础：信息的度量及信息量的计算。
- 性能指标：有效性指标及可靠性指标。
- 通信信道的基本特性：信道的概念、噪声及信道容量。

通信在现代社会中发挥着极其重要的作用，人们难以想象离开了通信世界将会是什么样。信息社会的主要特征是信息已经成为一种重要的社会资源，成为人类生存及社会进步的重要推动力，信息的开发和利用已成为社会生产力发展的重要标志。

本章主要介绍通信的定义、分类和工作方式，通信系统的性能指标以及通信信道的基本特性，重点讲述衡量通信系统的主要质量指标。

1.1 通信的发展

1.1.1 通信发展简史

远古时代的人类用表情和动作进行信息交流，这是最原始的通信方式。后来，人类在漫长的生活中创造了语言和文字，进一步实现了语言和文字的消息交流。除此之外，人类还创造了许多消息的传递方式，如古代的烽火台、金鼓、旗帜和航行用的信号灯等，这些都是解决远距离消息传递的方式。

进入19世纪后，人们开始试图用电信号进行通信。表1-1中列出了一些与通信相关的历史事件，读者可从中清晰地掌握通信发展的概貌。

表1-1 与通信相关的历史事件

年 代	经历时间	相 关 事 件
1826—1897	71年	欧姆定律、有线电报、电磁辐射方程、电话、麦克斯韦理论、无线电报等
1904—1940	36年	二极管、空中辐射传输声音信号、信号放大器、有线电话传输、超外差无线接收机、抽样定律、电传机、频率调制、调频无线电广播、脉冲编码调制(PCM)、电视广播

续表

年 代	经历时间	相 关 事 件
1940—1960	20 年	雷达和微波系统、晶体三极管、香农的《通信的数学理论》、通信统计理论、时分多路通信、越洋电话电缆
1960—1970	10 年	激光、第一颗通信卫星、PCM 实验、激光通信、集成电路(IC)、数字信号处理(DSP)、探月电视实况转播、高速数字计算机
1970—1980	10 年	商用接力卫星通信(音频和数字)、Gbit 数字传输速率、大规模集成电路(LSIC)、通信集成电路、陆地间的计算机通信网络、低损耗光纤、光通信系统、分组交换数字数据系统、星际间大型漫游发射、微处理器、计算机断层成像、超级计算机
1980—1990	10 年	卫星“空间接线总机”、移动/蜂窝电话系统、多功能数字显示、每秒 20 亿取样数字示波、桌面印刷系统、可编程数字信号处理器、自动扫描数字调音接收机、芯片加密技术、单片数字编码器和解码器、红外数据/控制链、音频播放压缩盘、200 000 字光存储媒体、以太网、远距离贝尔系统、数字信号处理器
1990 年至今	近 30 年	全球定位系统(GPS)、高分辨率电视(HDTV)、甚小天线口径卫星(VSAT)、全球蜂窝卫星系统、综合业务数字网(ISDN)、蜂窝电话、商用因特网

通过以上事件我们可以发现,通信的发展是如此迅猛,发展的速度是如此之快,特别是最近十多年,通信网络和信息化基础建设得到了极大的发展,给公众带来了丰厚的利益,使得人们的生活发生了翻天覆地的变化。

1.1.2 通信技术的发展与展望

通信技术的发展主要体现在电缆通信、微波中继通信、光纤通信、卫星通信、移动通信等几个方面。下面通过分析现代通信技术的现状来看看未来通信的发展趋势。

电缆通信是最早发展起来的通信手段。其用于长途通信已有超过 60 年的历史,在通信中占有突出地位。在光纤通信和移动通信发展之前,电话、传真、电报等各用户终端与交换机的连接全靠市话电缆。电缆还曾是长途通信和国际通信的主要手段,大西洋、太平洋均有大容量的越洋电缆。据 1982 年统计,我国公用网长途线路总长为 18 万余千米,其中 90% 为明线。电缆通信主要采用模拟单边带调制和频分多路复用(SSB/FDM)技术。由于光纤通信的发展,同轴电缆已逐渐被光纤电缆所取代。

微波中继通信始于 20 世纪 60 年代,它弥补了电缆通信的缺点,较一般电缆通信,具有易架设,建设周期短等优点。它是目前通信的主要手段之一,主要用于传输长途电话和电视节目,目前模拟电话微波通信容量每频道可达 6000 路,其调制主要采用 SSB/FM/FDM 等方式。

随着数字通信的发展,数字微波成为微波中继通信的主要发展方向。早期的数字微波大都采用BPSK、QPSK调制,为了提高频谱利用率,增加容量,现已向多电平调制技术发展,采用了16QAM和64QAM调制,并已出现256QAM、1024QAM等超多电平调制的数字微波。采用多电平调制,在40 MHz的标准频道间隔内可传送1920~7680路脉冲编码调制数字电话,赶上并超过模拟微波通信容量。

光纤通信是以光导纤维(简称光纤)为传输媒质、以光波为载波的通信方式。光纤通信具有容量大、频带宽、传输损耗小、抗电磁干扰能力强、通信质量高等优点,且成本低,与同轴电缆相比可以节约大量有色金属和能源。光纤通信已成为各种通信干线的主要传输手段。

目前,单波长光通信系统速率已达10 Gb/s,其潜力已不大,采用密集波分复用(DWDM)技术来扩容是当前实现超大容量光传输的重要技术。近年来,DWDM技术取得了较大的进展,美国AT&T实验室等机构已成功地完成了太比特每秒级的传输实验。

光传送网是通信网未来的发展方向,它可以处理高速率的光信号,摆脱电子瓶颈,实现灵活、动态的光层联网,透明地支持各种格式的信号以及实现快速网络恢复。因此,世界上许多国家纷纷进行研究、试验,验证由波分复用、光交叉连接设备及色散位移光纤组成的高容量通信网的可行性。光纤通信的主要发展方向是单模长波长光纤通信、大容量数字传输技术和相干光通信。

卫星通信的特点是通信距离远,覆盖面积大,不受地形条件限制,传输容量大,建设周期短,可靠性高。自1965年第一颗国际通信卫星投入商用以来,卫星通信得到迅速发展,现在第六代国际通信卫星已投入使用。目前,卫星通信的使用范围已遍及全球,仅国际卫星通信组织就拥有数十万条话路,80%的洲际通信业务和100%的远距离电视传输业务均采用卫星通信,卫星通信已成为国际通信的主要手段。同时,卫星通信已进入国内通信领域,许多发达国家和发展中国家均拥有国内卫星通信系统。

卫星通信中目前大量使用的是模拟调制及频分多路和频分多址技术。如同其他通信方式一样,其发展方向也是数字调制、时分多路和时分多址。卫星通信正向更高频段发展,采用多波束卫星和星上处理等新技术,地面系统的主要发展趋势是小型化。近年来蓬勃发展的VSAT(甚小口径终端)小站技术集中反映了调制/解调、纠错编码/译码、数字信号处理、通信专用超大规模集成电路、固态功放和低噪声接收、小口径低旁瓣天线等多项新技术的进步。

数字蜂窝移动通信系统是将通信范围分为若干相距一定距离的小区,移动用户可以从一个小区运动到另一个小区,依靠终端对基站的跟踪,使通信不中断。移动用户还可以从一个城市漫游到另一个城市,甚至到另一个国家与原注册地的用户终端通话。数字蜂窝移动通信系统主要由三部分组成:控制交换中心、若干基站、诸多移动终端。通过控制交换中心进入公用有线电话网,从而实现移动电话与固定电话、移动电话与移动电话之间的通信。

21世纪以后广泛应用的是第二代移动通信系统,采用窄带时分多址(TDMA)和窄带码分多址(CDMA)数字接入技术,已形成的国家和地区标准有欧洲的GSM系统、美国的IS-95系统、日本的PDC系统。我国主要采用欧洲的GSM系统。

第二代移动通信系统实现了区域内制式的统一,覆盖了大中小城市,为人们的信息交