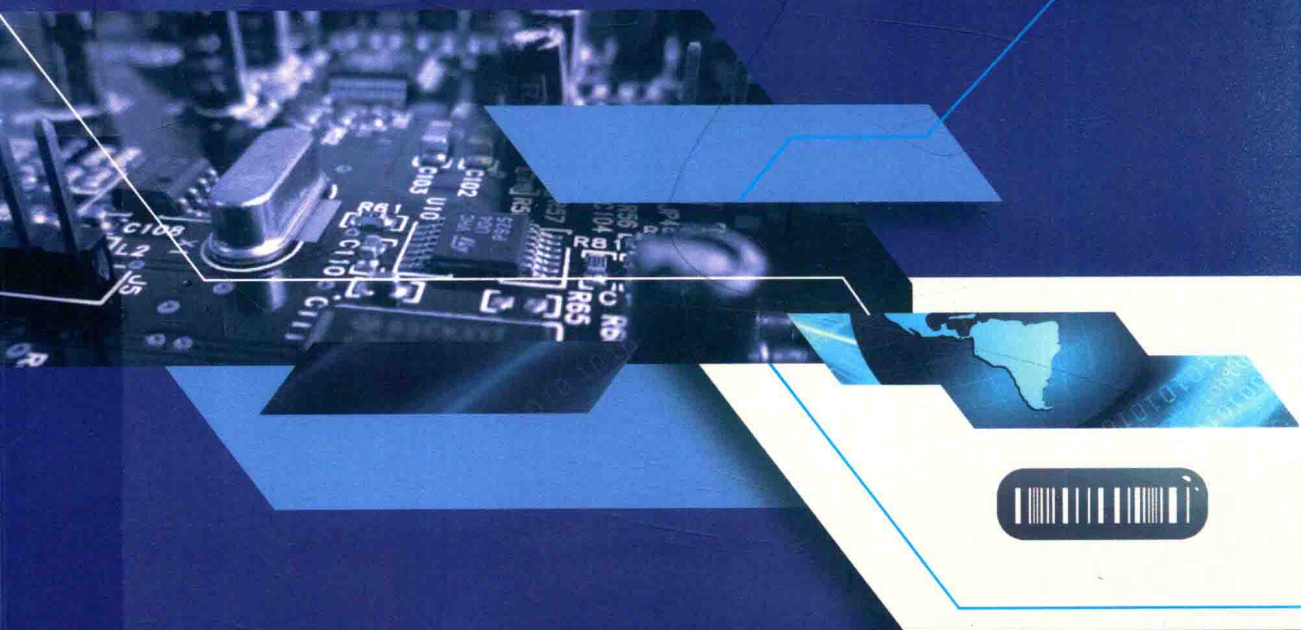


高等学校通信工程专业“十二五”规划教材

通信原理

TONGXIN YUANLI

郭丽梅 施荣华 主编



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

高等学校通信工程专业“十二五”规划教材

通信原理

郭丽梅 施荣华 主编

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

内 容 提 要

全书共分8章,主要内容包括:模拟调制系统、信源与PCM信源编码、数字基带传输系统、数字频带传输系统、数字通信系统的抗噪声性能分析、信道与信道编码、数字信号的复用和同步。为了便于读者使用,本书除了介绍基本原理之外,每章会介绍一个课题实例或课程扩展知识点以及一个MATLAB仿真实例,用来说明相关知识点在实际通信系统中的应用,并通过计算机仿真加强学生的动手能力,进一步巩固书本的理论知识。正文中大部分波形图都有配套的仿真程序。书中列举了部分例题和习题以加强学生对知识点的掌握和理解。

本书适合作为普通高等院校电子、信息、通信类专业本科生的教材,也可以供有关科学技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

通信原理/郭丽梅,施荣华主编. —北京:中国铁道出版社,2018.2

高等学校通信工程专业“十二五”规划教材
ISBN 978-7-113-24259-6

I. ①通… II. ①郭… ②施… III. ①通信原理-高等学校-教材 IV. ①TN911

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第019506号

书 名: 通信原理

作 者: 郭丽梅 施荣华 主编

策 划: 周海燕 曹莉群

读者热线: (010) 63550836

责任编辑: 周海燕 鲍 闻

封面设计: 一克米工作室

封面制作: 刘 颖

责任校对: 张玉华

责任印制: 郭向伟

出版发行: 中国铁道出版社(100054,北京市西城区右安门西街8号)

网 址: <http://www.tdpress.com/51eds/>

印 刷: 虎彩印艺股份有限公司

版 次: 2018年2月第1版 2018年2月第1次印刷

开 本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 20 字数: 518千

书 号: ISBN 978-7-113-24259-6

定 价: 52.00元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社教材图书营销部联系调换。电话:(010) 63550836

打击盗版举报电话:(010) 51873659

高等学校通信工程专业“十二五”规划教材

主 任：施荣华 李 宏

副主任：王国才 彭 军

主 审：邹逢兴

委 员：（按姓氏笔画排序）

王 玮 王 浩 石金晶 李 尹

李曦柯 杨政宇 张晓勇 赵亚湘

郭丽梅 康松林 梁建武 彭春华

董 健 蒋 富 雷文太



在社会信息化的进程中,信息已成为社会发展的重要资源,现代通信技术作为信息社会的支柱之一,在促进社会发展、经济建设方面,起着重要的核心作用。信息的传输与交换的技术即通信技术是信息科学技术发展迅速并极具活力的一个领域,尤其是数字移动通信、光纤通信、射频通信、Internet 网络通信使人们在传递信息和获得信息方面达到了前所未有的便捷程度。通信技术在国民经济各部门和国防工业以及日常生活中得到了广泛的应用,通信产业正在蓬勃发展。随着通信产业的快速发展和通信技术的广泛应用,社会对通信人才的需求在不断增加。通信工程(也作电信工程,旧称远距离通信工程、弱电工程)是电子工程的一个重要分支,电子信息类专业,同时也是其中一个基础学科。该学科关注的是通信过程中的信息传输和信号处理的原理和应用。本专业学习通信技术、通信系统和通信网等方面的知识,能在通信领域中从事研究、设计、制造、运营及在国民经济各部门和国防工业中从事开发、应用通信技术与设备的相关工作。

社会经济发展不仅对通信工程专业人才有十分强大的需求,同样通信工程专业的建设与发展也对社会经济发展产生重要影响。通信技术发展的国际化,将推动通信技术人才培养的国际化。目前,世界上有3项关于工程教育学历互认的国际性协议,签署时间最早、缔约方最多的是《华盛顿协议》,也是世界范围知名度最高的工程教育国际认证协议。2013年6月19日,在韩国首尔召开的国际工程联盟大会上,《华盛顿协议》全会一致通过接纳中国为该协议签约成员,中国成为该协议组织第21个成员。标志着中国的工程教育与国际接轨。通信工程专业积极采用国际化的标准,吸收先进的理念和质量保障文化,对通信工程教育改革发展、专业建设,进一步提高通信工程教育的国际化水平,持续提升通信工程教育人才培养质量具有重要意义。

为此,中南大学信息科学与工程学院启动了通信工程专业的教学改革和课程建设,以及2016版通信工程专业培养方案,并与中国铁道出版社联合组织了一系列通信工程专业的教材研讨活动。他们以严谨负责的态度,认真组织教学一线的教师、专家、学者和编辑,共同研讨通信工程专业的教育方法和课程体系,并在总结长期的通信工程专业教学工作的基础上,启动了“高等院校通信工程专业‘十二五’系列教材”的编写工作,成立了高等院校通信工程专业“十二五”规划教材编委会,由中南大学信息科学与工程学院主管教学的副院长施荣华教授、中南大学信息科学与工程学院电子与通信工程系李宏教授担任主任,邀请国家教学名师、国防科技大学邹逢兴教授担任主审。力图编写一套通信工程专业的知识结构简明完整的、符合工程认证教育的教材,相信可以对全国的高院校通信工程专业的建设起到很好的促进作用。

本系列教材拟分为三期,覆盖通信工程专业的专业基础课程和专业核心课程。教材内容覆盖和知识点的取舍本着全面系统、科学合理、注重基础、注重实用、知

识宽泛、关注发展的原则，比较完整地构建通信工程专业的课程教材体系。第一期包括以下教材：

《信号与系统》《信息论与编码》《网络测量》《现代通信网络》《通信工程导论》《北斗卫星通信》《射频通信系统》《数字图像处理》《嵌入式通信系统》《通信原理》《通信工程应用数学》《电磁场与电磁波》《电磁场与微波技术》《现代通信网络管理》《微机原理与接口技术》《微机原理与接口实验指导》《信号与系统分析》《计算机通信网络安全技术及应用》。

本套教材如有不足之处，请各位专家、老师和广大读者不吝指正。希望通过本套教材的不断完善和出版，为我国计算机教育事业的发展和人才培养做出更大贡献。

高等学校通信工程专业“十二五”规划教材编委会

2015年7月

通信原理是通信工程与电子信息专业的专业基础课程之一。通信的内容非常庞杂,本课程上承“模拟电子线路”“高频电子线路”“信号与系统”“数字信号处理”等基础课程,下启“移动通信”“卫星通信”“光纤通信”“程控交换技术”“现代通信网”等专业课程,因此“通信原理”课程起着承前启后的作用,是通信工程专业非常重要的专业基础课程。本课程系统阐述了模拟通信和数字通信的基本原理和方法,侧重于数字通信技术,强调理论与实践相结合,重点在于夯实学生的理论基础,提高创新能力和实际动手能力。

全书共分8章。第1章概论,主要介绍通信的基本概念、通信系统的组成、发展历史、衡量通信系统的性能指标及带宽等内容;第2章模拟调制系统,主要介绍模拟通信中的AM、DSB、SSB、VSB和FM、PM的调制/解调方法、系统性能分析、加重和预加重技术等相关内容;第3章信源与PCM信源编码,主要介绍信息及其度量,PCM、 ΔM 、DPCM等模拟信号数字化的方法与性能;第4章数字基带传输系统,主要介绍数字基带信号波形、传输码型、码间串扰、眼图、时域均衡等;第5章数字频带传输系统,主要介绍二进制和多进制数字幅移键控(ASK)、频移键控(FSK)、相移键控(PSK)的调制解调,以及QAM、MSK、OFDM等新的调制解调技术;第6章数字通信系统的抗噪声性能分析,主要介绍数字基带传输系统和数字带通传输系统的抗噪声性能,数字信号的最佳接收技术;第7章信道与信道编码,主要介绍了信道、信道容量、信道编码的基本概念、线性分组码、循环码、卷积码等;第8章数字信号的复用和同步,主要介绍频分复用、时分复用、同步的基本概念、载波同步、位同步、帧同步和网同步的实现方法与系统性能指标等。

本书在内容选取时,尽量避免烦琐的数学推导,对学科知识进行了恰当取舍,突出定性分析,深浅得当,有助于促进学生的求知欲和学习的主动性。在编写过程中,注重科学性与通俗性的结合,叙述简明扼要,讲解深入浅出,力求用通俗易懂的语言将枯燥的理论知识阐述清楚,提高学生的学习兴趣 and 阅读效率。

本书各章后均有课程实例或课程扩展,以及MATLAB仿真和习题。本书适合作为普通高等院校电子、信息、通信类专业本科生的教材,也可以供有关科学技术人员参考。

本书由中南大学郭丽梅、施荣华主编,国防科技大学邹逢兴教授主审。通信工程系教材编委会,特别是中南大学王国才、李登、董健和石晶晶老师对本书的编写提供了很多宝贵意见和建议;中国铁道出版社的有关负责同志对本书的出版给予了大力支持,并提出了很多宝贵意见;本书在编写过程中,参考了大量国内外通信原理相关的文献和资料,书后的参考文献仅列出其中的一部分,其他出处实难一一列举,在此特向所有引用资料的作者表示衷心的感谢。同时向为本书的出版付出了大量心血和汗水的编辑同志们表示衷心的感谢。

由于通信原理的理论性强、知识面广,限于编者的水平和经验,书中难免存在疏漏与不妥之处,殷切希望广大读者批评指正。

编者

2017年12月

第 1 章 绪论	1
1.1 通信系统的基本概念	1
1.1.1 通信系统的组成	1
1.1.2 通信发展概况	2
1.2 模拟通信和数字通信	3
1.2.1 模拟信号和数字信号	3
1.2.2 模拟通信系统与数字通信系统	4
1.3 通信频段及频率分配	6
1.4 通信系统主要性能指标	7
1.4.1 模拟通信系统性能指标	8
1.4.2 数字通信系统性能指标	8
1.5 带宽	11
1.6 MATLAB 在通信系统仿真中的应用	14
小结	15
习题	15
第 2 章 模拟调制系统	17
2.1 幅度调制 (线性调制)	18
2.1.1 调幅	18
2.1.2 抑制载波双边带调制	23
2.1.3 单边带调制	25
2.1.4 残留边带调制	30
2.2 非线性调制 (角度调制)	32
2.2.1 角度调制的基本表达式	32
2.2.2 调频信号的频谱分析与卡森带宽	34
2.2.3 调频信号的产生	38
2.2.4 调频信号的解调	41
2.3 模拟调制系统的抗噪声性能分析	43
2.4 课程实例: 超外差式收音机	46
2.5 调频立体声广播发射系统的 MATLAB 仿真实例	47
小结	48
习题	49
第 3 章 信源与 PCM 信源编码	52
3.1 信息及其度量	52

3.1.1	离散信源的度量	53
3.1.2	连续信源的度量	54
3.2	PCM 信源编码	55
3.2.1	脉冲编码调制通信系统的组成	55
3.2.2	抽样定理	56
3.2.3	模拟脉冲调制	63
3.2.4	量化	64
3.2.5	脉冲编码调制	69
3.2.6	PCM 信号的码元速率和带宽	75
3.2.7	PCM 系统的抗噪声性能	75
3.2.8	差分脉冲编码调制 (DPCM)	76
3.2.9	增量调制 (ΔM)	79
3.2.10	PCM 与 ΔM 的比较	84
3.3	课程扩展: 参量编码	86
3.4	PCM 编码和解码的 MATLAB 仿真分析	87
	小结	88
	习题	89
第4章	数字基带传输系统	91
4.1	数字基带信号的波形	91
4.2	基带传输的常用码型	93
4.3	二进制数字基带信号的功率谱	97
4.4	数字基带传输系统	101
4.4.1	数字基带传输系统构成	101
4.4.2	数字基带传输中码间串扰	104
4.4.3	无码间串扰的传输特性的设计	108
4.5	眼图	112
4.6	部分响应系统	114
4.6.1	第 I 类部分响应系统	114
4.6.2	部分响应系统的一般形式	117
4.7	均衡技术	119
4.7.1	时域均衡原理	120
4.7.2	均衡效果的衡量	123
4.7.3	均衡器的实现与调整	124
4.8	课程扩展: 现代通信技术之光纤通信	126
4.9	基带传输系统的 MATLAB 仿真分析	129
	小结	130
	习题	130
第5章	数字频带传输系统	134
5.1	二进制数字调制	135

5.1.1	二进制振幅键控	135
5.1.2	二进制频移键控	141
5.1.3	二进制相移键控	149
5.1.4	二进制差分相移键控	153
5.2	多进制数字调制系统	157
5.2.1	四进制绝对相移键控	160
5.2.2	四进制差分相移键控	163
5.3	新型的数字带通调制技术	168
5.3.1	正交振幅调制	168
5.3.2	交错正交相移键控	172
5.3.3	最小频移键控	174
5.3.4	高斯最小频移键控	181
5.3.5	正交频分复用	182
5.7	课题实例: 数字微波通信系统	188
5.8	16PSK、16DPSK 和 16QAM 通信系统的 MATLAB 仿真分析	190
	小结	191
	习题	191
第 6 章 数字通信系统的抗噪声性能分析		194
6.1	通信系统中的噪声及其性能	194
6.2	无码间串扰时噪声对基带传输系统性能的影响	196
6.2.1	二进制双极性基带系统的抗噪声性能	197
6.2.2	二进制单极性基带系统的抗噪声性能	199
6.3	带通调制系统的抗噪声性能	200
6.3.1	2ASK 信号的抗噪声性能	200
6.3.2	2FSK 系统的抗噪声性能	203
6.3.3	2PSK 系统的抗噪声性能	205
6.3.4	2DPSK 系统抗噪声性能	206
6.3.5	二进制调制系统的性能比较	208
6.4	多进制数字调制系统的抗噪声性能	210
6.5	数字信号的最佳接收	211
6.5.1	数字信号的匹配滤波接收	211
6.5.2	数字信号的相关接收	214
6.6	课程扩展: 卫星通信	221
6.7	二进制频移键控抗噪声性能的 MATLAB 仿真分析	223
	小结	225
	习题	225
第 7 章 信道与信道编码		227
7.1	通信信道	227

7.1.1	信道的分类	227
7.1.2	信道的数学模型	230
7.1.3	信道对传输信号的影响	231
7.2	信道容量	234
7.2.1	连续信道容量	235
7.2.2	离散信道容量	237
7.3	信道编码	240
7.3.1	线性分组码	245
7.3.2	循环码	249
7.3.3	卷积码	257
7.4	课程扩展: LDPC 码	268
7.5	基于卷积码信道编码的 MATLAB 仿真分析	269
	小结	270
	习题	270
第8章 数字信号的复用和同步		273
8.1	数字信号的复用	273
8.1.1	频分复用	273
8.1.2	时分多路复用与复接技术	275
8.2	准同步数字体系和同步数字体系	279
8.2.1	准同步数字体系 (PDH)	279
8.2.2	同步数字体系 (SDH)	283
8.3	数字信号的同步	290
8.3.1	载波同步	291
8.3.2	位同步	295
8.3.3	群同步	299
8.3.4	网同步	301
8.4	课程扩展: 码分多路复用	303
8.5	基于 Costas 环法 QPSK 载波提取的 MATLAB 仿真实现	304
	小结	305
	习题	305
参考文献		307

第1章 绪论

通信技术是现代科技发展中不可缺少的技术,是20世纪80年代以来发展最快的技术之一。通信技术不断进步和完善,相继出现了电话、无线电广播、电视、因特网等各种通信方式,给人们的生活带来了巨大的改变,推动了社会进步和经济发展。本章主要介绍通信系统的基本概念、发展概况和通信系统的主要性能指标等。

1.1 通信系统的基本概念

1.1.1 通信系统的组成

通信的根本目的在于传输或交换含有信息的信息。信息是对物质或精神状态的变化进行描述的一种具体形式,它是信息的载体,如语音、图像和文字等。信息是信息中所包含的有效内容,它是一个抽象的概念。信号是携带信息的载体,是为了传送信息、对信息进行变换后在通信系统中传输的某种物理量,如电信号、光信号等。

通信系统是指完成通信这一过程的全部设备和传输媒介的总和,任何通信系统都包括三个基本部分:发送设备、信道和接收设备,如图1-1所示。

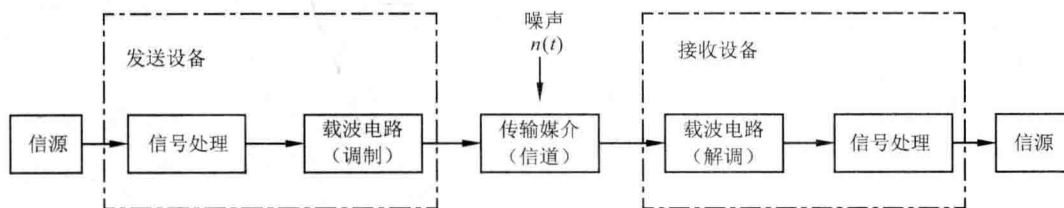


图 1-1 通信系统的一般模型

发送设备就是将信源产生的信息变换成适合在信道中传输的信号,它先将采集到的原始信息转换为相应的电信号,然后再经放大、滤波、调制等一系列处理后,将信号送入传输信道,这个过程是为了使信号的特征与传输信道相匹配,以便提高传输效率和可靠性。接收设备的功能是将传输信道送来的信号再经滤波、放大、解调等一系列处理后,设法使原来发送的信息准确无误地恢复,相当于完成发送设备的逆过程。

信道是将信号由发送设备传输到接收设备的物理媒介或传输途径。通信系统的传输信道可以有线的,也可以是无线的。例如:双绞线、同轴电缆和光纤等为有线信道;地波传播、微波视距中继、人造卫星中继以及各种散射信道等为无线信道。虽然信道对不同种类的信号有不同的传输

特性,但数字和模拟调制的一般原理对所有类型的信道都是适用的。信道中的噪声是指信道中存在的不需要的电信号的统称,是通信系统中各种设备以及信道所固有的,为了分析方便,把噪声源视为各处噪声的集中表现而抽象加入信道。

信源可以是模拟的,也可以是数字的,它是产生消息的源(人或机器),是发信者,输出消息,携带信息。信宿是收信者,收到消息,获得信息。

经过调制以后的信号称为已调信号。它应具有两个基本特征:一是携带信息;二是适合于在信道中传输。

1.1.2 通信发展概况

通信技术是当代生产力中最活跃的技术因素,如今通信已经渗透到我们生活的各个角落,对生产力的发展和人类社会的进步起着直接的推动作用。通信技术的发展代表着人类社会的文明和进步。最早的通信包括最古老的文字通信以及我国古代的烽火传信。而当今所谓的通信技术是指18世纪以来以电磁波为信息传递载体的技术。通信技术的发展历史主要经历了三个阶段:初级通信阶段(以1837年电报发明为标志)、近代通信阶段(以1948年香农提出的信息论为标志)和现代通信阶段(以20世纪80年代以后出现的互联网、光纤通信、移动通信等技术为标志)。

人类通信史上革命性的变化,是从把电作为信息传输载体后发生的。电通信的最早形式——电报,是在19世纪30年代发展起来的,1837年莫尔斯(S. Morse)发明电报系统,此系统于1844年在华盛顿和巴尔的摩之间试运行。这可认为是电通信或远程通信的开始,也是数字通信的开始。莫尔斯电报系统包括发射机、接收机和传输信道,具备了通信系统的所有基本要素。

如果说电报的发明是人类文明史上的一个重要起点的话,那么电话的发明则是人类通信史上的一个里程碑。1876年贝尔(A. G. Bell)发明了电话,开始了利用电子话音进行通信的时代。起初系统不包括任何电子器件,随着电子管和晶体管的出现,电话系统中使用了放大器,从而大大增加了信号的传输距离。图1-2是1892年纽约到芝加哥的电话线路开通时,电话发明人贝尔第一个试音:“喂,芝加哥”,这一历史性声音被记录下来的场景。

无线通信是通信领域的一个非常重要的方式,麦克斯韦(Maxwell)于1865年建立了完整的电磁场理论框架,不仅科学地预言了电磁波的存在,而且揭示了光、电和磁现象的内在联系及统一性,为现代无线电通信技术提供了理论基础。1887年赫兹(H. Herz)实验证明电磁波的存在,实验得出了电磁能量可以越过空间进行传播的结论。19世纪末20世纪初无线电话开始投入使用。1901年马可尼(G. Marconi)成功进行了从英国到纽芬兰的跨大西洋的无线通信。1918年,阿姆斯特朗(Armstrong)发明了超外差无线接收机,至今仍是现代无线电接收设备的重要组成部分。1928年,奈奎斯特(Nyquist)提出了著名的抽样定理。1936年调频无线广播商用。1937年雷沃斯(Reeves)提出了脉冲编码调制,奠定了当今几乎所有数字通信系统基础。1938年黑白电视广播系统商用。1940—1945年,第二次世界大战刺激了雷达和微波通信系统的发展。



图1-2 1892年纽约芝加哥的电话线路开通

1947年,晶体管在贝尔实验室问世,为通信器件的进步创造了有利条件。1948年香农(C. E.

Shannon) 提出信息论,建立了通信统计理论。1950 年时分多路通信应用于电话。1956 年,铺设了越洋电缆。1957 年发射第一颗人造卫星。1958 年发射第一颗通信卫星。1962 年,发射了第一颗同步通信卫星,开通了国际卫星电话。1960 年发明激光,研究现代化光通信的时代也从此开始。1961 年发明集成电路,从此微电子技术诞生。1966 年,Kao 与 Hockman 提出了光纤通信,与此同时,公用电报与电话组织提出了数字载波系统。大约在 1970 年,数字传输理论和技术得到迅速发展,出现高速数字电子计算机,出现了第一个通用大规模数据网络,激起了对分组交换浓厚的商业兴趣。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、微处理机等迅速发展。1980 年以后,互联网崛起。20 世纪 90 年代新型数字传输技术出现了巨大进步,其中包括数字用户线技术,采用该技术可以提高低带宽铜线电缆的最大可能数据率,还包括实现高效视频压缩的 MPEG 标准以及时分多址蜂窝移动通信系统和码分多址蜂窝移动通信系统。进入 21 世纪以后,随着微电子技术和计算机技术的发展,通信技术将沿着数字化、远程与大容量化、网络与综合化、移动与个人化等方向发展,从而进入一个新的发展阶段。

1.2 模拟通信和数字通信

1.2.1 模拟信号和数字信号

信源发出的消息具有各种不同的形式和内容,但总的可以分为两大类:模拟消息和数字消息。为了能在接收端准确地从信号中恢复原始消息,消息和电信号之间必须建立严格的对应关系。通常把消息携载在电信号的某个参量上。按信号参量的取值方式不同可把信号分为两类:模拟信号和数字信号。

如果电信号的参量携带模拟消息,则该参量必将是连续取值的或取无穷多个值,称这样的信号为模拟信号,如模拟电话机送出的语音信号、模拟电视摄像机输出的图像信号等,以及各种经过模拟调制之后的信号如图 1-3(a) 所示。这个连续是指信号参量可以连续变化,而不一定在时间上也是连续的,如图 1-3(b) 所示的抽样信号,时间上是离散的,但取值上是连续的,所以它仍是一个模拟信号。

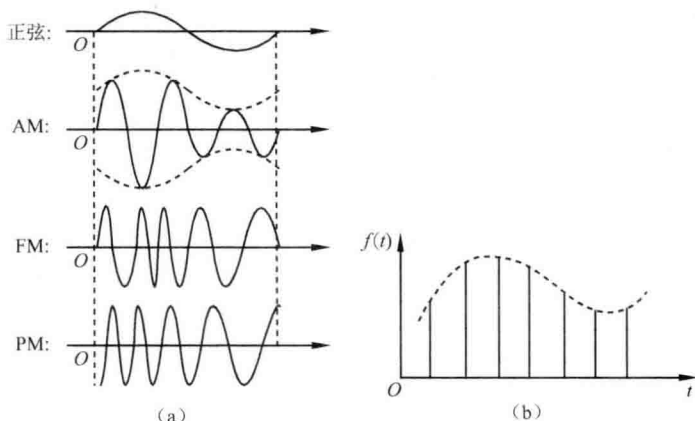


图 1-3 模拟信号

如果电信号的参量携带数字消息,则该参量必是离散取值的或只取有限个值,这样的信号就称为数字信号,如电报信号、计算机输入/输出信号、PCM 信号等,以及图 1-4 所示的二进制带通信号。这个离散是指携带信号的某一参量是离散变化的,而不一定在幅度上也是离散的。例如,图 1-4 所示的 2ASK、2FSK 和 2PSK 信号等,其幅度是连续的,但表示信号的参量取值(幅度、频率和相位)是离散的或只有有限多个值,所以其是数字信号。

按照信道中传输的是模拟信号还是数字信号,可以相应地把通信系统分为模拟通信系统和数字通信系统。

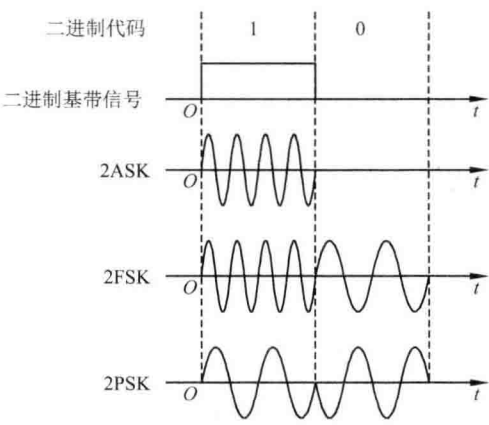


图 1-4 数字信号

区别模拟信号与数字信号的关键是看携带消息的信号参量(如幅度、频度、相位)取值是连续(无限个值)的还是离散(有限个值)的,而不是看时间上是连续的还是离散的。

1.2.2 模拟通信系统与数字通信系统

1. 模拟通信系统

信道中传输模拟信号的系统称为模拟通信系统。例如,在电话通信的用户线上传送的电信号是随着用户声音大小的变化而变化的模拟信号,则在用户线上传输模拟信号的通信方式称为模拟通信。模拟通信的优点是占用频带较窄、直观且容易实现,但存在保密性差、抗干扰能力弱、设备不易大规模集成等缺点,所以不能满足飞速发展的计算机通信的要求。

模拟通信一般采用频分复用方式实现多路通信,以提高信道的利用率。

2. 数字通信系统

数字通信系统是利用数字信号来传递信息的通信系统。典型的数字通信系统模型如图 1-5 所示。

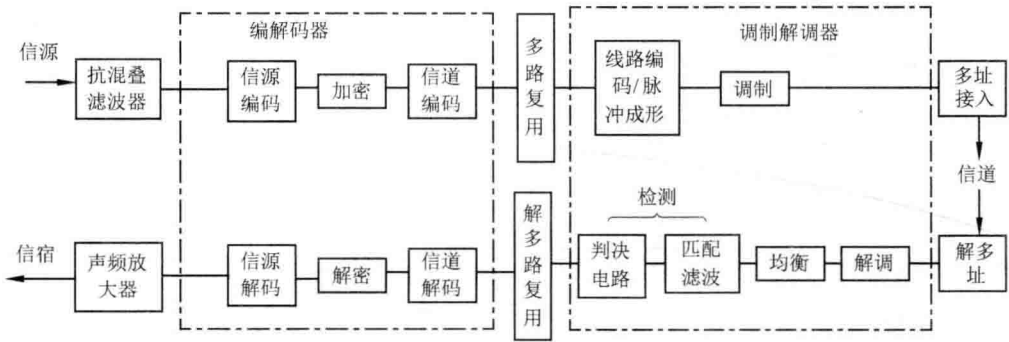


图 1-5 典型的数字通信系统模型

图 1-5 的上部表示从信源到发送端的信号传输过程,包括信源编码、加密、信道编码、多路复用、线路编码/脉冲成形、带通调制、多址接入等。上部分的发送框图和下部分接收框图存在可逆性,发送端中大部分信号处理步骤与接收端的步骤相反。

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;作用之二是将信源的模拟信号转化成数字信号,以实现模拟信号的数字化传输,模拟信号数字化(A/D转换)由抽样、量化和PCM脉冲编码组成,抽样是把时间上连续的模拟信号变成一系列时间上离散的抽样值的过程;量化则是用预先规定的有限个电平来表示模拟信号抽样值的过程;编码是用一组二进制数字代码来代替量化值的过程。为了降低抽样引起的失真,有时在抽样之前加入抗混叠滤波器。

在接收机的D/A转换中,接收到的二进制脉冲由PCM解码器转换为量化电平,之后经低通滤波器平滑重构原始模拟信号。

密码则是以提高通信系统安全性为目的的编码,通常通过加密和解密来实现。数字信号在信道传输时,由于噪声、衰落以及人为干扰等,将会引起差错。为了减小差错,信道编码器对传输的信息码元按一定的规则加入保护成分(监督元),接收端的信道译码器按一定规则进行解码,从解码过程中发现错误或纠正错误,从而提高通信系统的抗干扰能力,实现可靠通信。

信道解码、解密和信源解码过程是发射端相对应的功能的逆过程。

在同一信道上同时传送多路独立信号的技术称为复用技术,复用的目的是充分使用传输媒质的带宽,提高信道的利用率,从而相应地提高系统的容量。解多路复用器将复合比特流重新恢复为各路独立的信号。

在通信系统中,原始电信号一般含有直流成分和频率比较低的频谱分量,称为基带信号,基带信号往往不能直接在信道中传输,为了便于传输、提高抗干扰能力和有效利用带宽,通常需要通过调制将信号的频谱搬移到适合信道和噪声特性的频率范围内进行传输。在通信系统的接收端对已调信号进行解调,恢复出原始的基带信号。

均衡器的作用是用于补偿(消除或削弱)由非理想的信道所导致的任何形式的信号失真。当信道冲激响应使接收信号严重失真时,均衡器就必不可少了。判决电路是将均衡后的基带信号变换为二进制符号序列。

多址接入是指允许不止一对收发信机共享相同的传输媒质(如一条光纤、一台卫星转发器或一段电缆)的技术和规范,实质上就是如何高效且平等地共享传输媒质的有限资源的问题。

同步(在图1-5中未画出)是保证数字通信系统有序、准确和可靠工作不可缺少的前提条件,同步是使收发两端的信号在时间上保持步调一致。

图1-5是数字通信系统的典型模型,实际的数字通信系统不一定包括图中的所有环节,如在某些有线信道中,若传输距离不太远且通信容量不太大,数字基带信号无须调制,可以直接传送,称为数字信号的基带传输,其模型中就不包括调制与解调环节。而在扩频通信中还包括扩频与解扩,扩频是对所传信号进行频谱的扩宽处理,以便利用宽频谱获得较强的抗干扰能力、较高的传输速率,同时由于在相同频带上利用不同码型可以承载不同用户的信息,因此扩频也提高了频带的复用率。

3. 数字通信特点

与模拟通信相比,数字通信有如下优点:

(1)抗干扰能力强,可消除噪声积累,因此可靠性高。因模拟通信系统中传输的是连续变化的模拟信号,一旦信号叠加上噪声,即使噪声很小,也很难消除。

在数字通信中,由于数字信号的幅度值为有限个数的离散值,在传输过程中受到噪声干扰虽然也要叠加噪声,但当信噪比还没有恶化到一定程度时,即在适当的距离,采用再生中继的方法即可消除噪声干扰,将信号整形再生成原发送信号。因此,数字通信方式可以做到无噪声积累,以实

现长距离、高质量的传输。图 1-6 给出了模拟数字和数字通信系统中分别采用中继电路后抗干扰性能的比较。



图 1-6 模拟通信和数字通信系统抗干扰性能比较

(2) 差错可控:如利用信道编码技术来进行检错和纠错以降低误码率,提高通信的可靠性。

(3) 数字电路可以用大规模和超大规模集成电路实现,具有体积小,功耗低,易于集成的特点。

(4) 便于加密处理:数字信号的加密处理比模拟信号容易得多,以话音信号为例,经过数字变换后的信号可用简单的数字逻辑运算进行加密、解密处理。

(5) 有利于实现综合业务传输:在数字通信中,各种消息(模拟的和离散的)都可变成统一的数字信号进行传输、处理、存储和分离,可以实现各种综合业务的传输。

但数字通信也有以下两个缺点:

(1) 占用频带宽:如一路模拟电话通常只占据 4 kHz 带宽,而一路数字电话的频带为 64 kHz,因此数字通信的许多优点都是用比模拟通信占据更宽的系统带宽为代价的。

(2) 由于数字通信对同步的要求高,因而系统设备比较复杂。在数字通信中,按照同步的功用分为载波同步、位同步、群同步和网同步。

但随着卫星通信、光纤通信等宽频通信系统和压缩技术、集成技术的日益发展,以上问题逐渐得到解决,因此数字通信是现代通信的主要发展方向之一。

1.3 通信频段及频率分配

无线通信系统通常采用大气层作为传输信道。这时干扰和电波传播条件主要取决于所采用的传输频段。从理论上说,任何调制方式都可以在任意频段上使用。但是为了维护电波传播秩序,减小干扰,政府相关部门对指定的频段上使用的调制类型、信号带宽、发射功率以及传输的信息内容都做出了规定。

例如,GSM 有两种频段:900 MHz 频段和 1 800 MHz 频段。其中,中国的 GSM 900 MHz 频段的发射和接收频率范围分别为:

- 中国移动:下行 935 ~ 954 MHz,上行 890 ~ 909 MHz。
- 中国联通:下行 954 ~ 960 MHz,上行 909 ~ 915 MHz。

中国的 GSM 1 800 MHz 频段的发射和接收频率范围分别为:

- 中国移动:下行 1 805 ~ 1 830 MHz,上行 1 710 ~ 1 735 MHz。
- 中国联通:下行 1 830 ~ 1 850 MHz,上行 1 735 ~ 1 755 MHz。

频率的命名是按照频率数量级的大小进行分配的,而且一直沿用至今。如今最常用的频率范围大致为 300kHz ~ 3MHz,称为中频(MF)。表 1-1 列出通信使用的频段的名称、传播特性及典型应用。