

通信原理

 **人民邮电出版社**
POSTS & TELECOM PRESS

TN911

92

通 信 原 理

蒋 青 于秀兰 编著
刘光明 主审

人民邮电出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

通信原理/蒋青, 于秀兰编著. —北京: 人民邮电出版社, 2006.7

ISBN 7-115-14790-6

I. 通... II. ①蒋...②于... III. 通信理论 IV. TN911

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 079576 号

内 容 提 要

本书系统地介绍了通信的基本概念、基本理论和基本分析方法, 结合物理概念介绍通信原理, 尽量避免繁琐的数学推导; 叙述上力求概念清楚、重点突出、深入浅出、通俗易懂; 内容上力求科学性、先进性、系统性与实用性的统一。

本书共分为 10 章, 内容包括绪论、信号与噪声分析、模拟调制系统、模拟信号的数字传输、数字信号的基带传输、数字信号的载波传输、多路复用及多址技术、现代数字调制技术、信道编码和同步系统。

本书可作为高等学校电子、通信、信息工程及相近专业的本科生教材, 适当删节也可作为同类专业以应用型为培养目的的本科生教材, 并可供相关工程技术人员参考。

通 信 原 理

◆ 编 著 蒋 青 于秀兰

主 审 刘光明

责任编辑 陈万寿

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号

邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

北京通州大中印刷厂印刷

新华书店总店北京发行所经销

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 20

字数: 479 千字 2006 年 7 月第 1 版

印数: 1-3 000 册 2006 年 7 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-115-14790-6/TN · 2780

定价: 29.00 元

读者服务热线: (010) 67129258 印装质量热线: (010) 67129223

前 言

人类进入现代社会,社会的分工与协作越来越密切,呈现大生产的特征,国民经济各部门、各行业、各环节之间日渐形成一个相互依存、制约、影响的有机整体。而信息成为这个整体的“神经系统”,深刻地影响着社会的运作效益。由于人类在经历农业、工业社会之后,开始进入信息社会,信息的采集、加工处理、存储、传递和交换的过程,主要依靠现代通信技术、计算机技术为之实现。庞大的通信网、计算机网和广播电视节目网的兼容结合,成为信息社会的物质支柱、经济发展和社会进步的“倍增器”。20世纪后期以来,许多国家和地区都重视研究世界经济发展由工业化向信息化过渡的趋势,积极投入巨资建设国家、地区和全球范围的信息基础设施。

在此形势下,高等学校肩负着培养信息网络研究、设计、运行、维护和业务开发等方面高级技术人才的重担。《通信原理》是电子、信息工程、自控类及其相近专业的主干技术基础课程之一,重在介绍各式现代通信系统的基本原理和分析计算方法,为后续课程奠定坚实的通信理论基础。这些基本理论和分析方法将在信息化带动工业化的各个领域中得到广泛的应用。

本书系重庆邮电大学重点教材。本教材的编写遵照《通信原理》教学大纲的基本要求,编者结合多年来积累的教学经验,编著《通信原理》一书,力求教材体现以下特点:

注重系统性。对通信的基本概念、原理、分析计算方法及其应用,做了较为全面、系统的介绍,随着通信新技术的出现,教学内容与时俱进。

强调实践性。在介绍基本原理的同时,结合物理概念的表述,通过实例进行讲解,加强基本训练、营造思维空间,培养学生独立思考、分析、解决实际问题的能力。

增强可读性。为便于学生学习,教材编写由浅入深、循循善诱、叙述简明扼要、层次分明、重点突出。

本书参考学时为64~80学时。主要内容包括模拟通信和数字通信,侧重于数字通信。全书共分为10章。由于“信息论基础”、“信号检测与估计”和“编码理论基础”等已单独开设了选修课,因此有关这方面的内容在本教材中只作简要介绍。

本书由蒋青担任主编,并编写第1、2、3、5、6、10章;于秀兰编写第4、7、8、9章;研究生鲁艳对本书初稿进行了阅读和校核,并提出了参考意见。

重庆邮电大学刘光明教授担任本书的主审,对本书进行了仔细审阅,并提出了许多宝贵意见和修改建议;在编写过程中得到重庆邮电大学吕翊教授、陈善学副教授和张祖凡副教授等多位同行的帮助;在出版过程中得到人民邮电出版社的大力支持,在此一并表示诚挚的谢意。

由于时间仓促,作者水平有限,书中错误难免,敬请各位老师、学生、相关读者批评指正。

目 录

第1章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 通信系统的组成	2
1.2.1 通信系统的一般模型	2
1.2.2 模拟通信系统模型	3
1.2.3 数字通信系统模型	3
1.3 通信系统分类及通信方式	5
1.3.1 通信系统的分类	5
1.3.2 通信方式	6
1.4 信息及其度量	8
1.5 通信系统的主要性能指标	9
1.5.1 模拟通信系统的主要性能指标	9
1.5.2 数字通信系统的主要性能指标	10
1.6 信道及其容量	11
1.6.1 信道的定义和分类	11
1.6.2 信道数学模型	12
1.6.3 调制信道特性对信号传输的影响	14
1.6.4 信道中的噪声	18
1.6.5 信道容量	19
1.6.6 几种常用信道	20
小结	23
思考题	24
习题	24
第2章 信号与噪声分析	26
2.1 信号的分类	26
2.1.1 确知信号与随机信号	26
2.1.2 周期信号与非周期信号	26
2.1.3 功率信号与能量信号	26
2.2 确知信号的分析	27
2.2.1 周期信号的傅里叶级数	27
2.2.2 非周期信号的傅里叶变换	28
2.2.3 周期信号的傅里叶变换	29
2.2.4 卷积与相关函数	30
2.2.5 能量谱密度与功率谱密度	31

2.3 随机变量的统计特征	33
2.3.1 随机变量	33
2.3.2 概率分布函数和概率密度函数	33
2.3.3 通信系统中几种典型的随机变量	34
2.3.4 随机变量的数字特征	35
2.4 随机过程的一般表述	36
2.4.1 随机过程的概念	36
2.4.2 随机过程的统计特征	37
2.5 平稳随机过程	40
2.5.1 严平稳随机过程	40
2.5.2 宽平稳随机过程	40
2.5.3 各态历经性	40
2.5.4 平稳随机过程的自相关函数和功率谱密度	41
2.6 高斯随机过程	43
2.6.1 高斯过程的定义	43
2.6.2 高斯过程的性质	44
2.6.3 一维高斯分布	44
2.6.4 高斯白噪声	45
2.7 随机过程通过系统的分析	46
2.7.1 随机过程通过线性系统	46
2.7.2 随机过程通过乘法器	48
2.8 窄带高斯噪声	50
2.8.1 窄带高斯噪声的统计特征	50
2.8.2 正弦波加窄带高斯噪声	52
2.9 周期平稳随机过程	53
小结	54
思考题	55
习题	55
第3章 模拟调制系统	59
3.1 引言	59
3.2 线性调制的原理	59
3.2.1 幅度调制(AM)	59
3.2.2 双边带调制(DSB)	62
3.2.3 单边带调制(SSB)	64
3.2.4 残留边带调制(VSB)	68
3.3 线性调制系统的解调	70
3.3.1 线性调制系统的相干解调	70
3.3.2 线性调制系统的非相干解调	71
3.4 线性调制系统的抗噪声性能分析	72

3.4.1 抗噪声性能的分析模型	72
3.4.2 相干解调的抗噪声性能	73
3.4.3 非相干解调的抗噪声性能	76
3.5 非线性调制系统的原理及抗噪声性能	78
3.5.1 非线性调制的基本概念	78
3.5.2 调频信号的频谱和带宽	80
3.5.3 调频信号的产生与解调	82
3.5.4 调频系统的抗噪声性能	84
3.5.5 调频系统的加重技术	87
3.6 各种模拟调制系统的比较	89
小结	90
思考题	90
习题	91
第4章 模拟信号的数字传输	93
4.1 引言	93
4.2 抽样	94
4.2.1 理想抽样	95
4.2.2 实际抽样	98
4.3 量化	101
4.3.1 均匀量化	101
4.3.2 非均匀量化	103
4.4 编码	106
4.4.1 常用的二进制码型	107
4.4.2 A律13折线编码	108
4.4.3 逐次比较型编解码原理	111
4.5 脉冲编码调制系统	115
4.5.1 脉冲编码调制(PCM)原理	115
4.5.2 PCM信号的码元速率和带宽	116
4.5.3 PCM系统的抗噪声性能分析	117
4.6 语音压缩编码	118
4.6.1 语音压缩编码技术的概念	118
4.6.2 差值脉冲编码调制	119
4.7 图像压缩编码	121
4.7.1 图像的描述	121
4.7.2 模拟图像的数字化的	121
4.7.3 图像压缩编码技术	121
小结	122
思考题	123
习题	124

第5章 数字信号的基带传输	126
5.1 引言	126
5.2 数字基带信号的码型和波形	127
5.2.1 数字基带信号的码型	127
5.2.2 基带波形的形成	132
5.3 数字基带信号的功率谱密度	132
5.4 数字基带信号的传输与码间串扰	136
5.4.1 码间串扰	136
5.4.2 码间串扰的数学分析	136
5.4.3 无码间串扰的基带传输特性	138
5.4.4 无码间串扰的理想低通滤波器	140
5.4.5 无码间串扰的滚降系统	141
5.5 无码间串扰基带传输系统的抗噪声性能分析	143
5.6 最佳基带传输系统	146
5.6.1 匹配滤波器	146
5.6.2 利用匹配滤波器的最佳基带传输系统	149
5.7 眼图	150
5.8 改善数字基带系统性能的措施	152
5.8.1 时域均衡	152
5.8.2 部分响应系统	154
小结	158
思考题	159
习题	160
第6章 数字信号的载波传输	163
6.1 引言	163
6.2 二进制数字调制原理	163
6.2.1 二进制幅移键控(2ASK)	163
6.2.2 二进制频移键控(2FSK)	166
6.2.3 二进制相移键控(2PSK)和二进制差分相移键控(2DPSK)	170
6.3 二进制数字调制系统的抗噪声性能	175
6.3.1 2ASK 的抗噪声性能	175
6.3.2 2FSK 的抗噪声性能	179
6.3.3 2PSK 和 2DPSK 的抗噪声性能	182
6.3.4 二进制数字调制系统的性能比较	183
6.4 多进制数字调制系统	185
6.4.1 多进制幅移键控(MASK)	185
6.4.2 多进制频移键控(MFSK)	186
6.4.3 多进制相移键控	187

小结	192
思考题	193
习题	193
第7章 多路复用及多址技术	196
7.1 引言	196
7.2 频分复用	196
7.3 时分复用和多路数字电话系统	198
7.3.1 时分复用的 PAM 系统(TDM-PAM)	199
7.3.2 时分复用的 PCM 系统(TDM-PCM)	199
7.3.3 时分复用信号的码元速率和带宽	200
7.3.4 PCM30/32 路系统的帧结构	202
7.3.5 PCM 高次群系统	203
7.3.6 SDH 的提出	204
7.4 码分复用	205
7.5 多址技术	208
7.5.1 多址技术的基本原理	208
7.5.2 移动通信中的多址技术	210
7.6 码分多址	211
7.6.1 扩频通信	211
7.6.2 CDMA 技术	216
小结	218
思考题	219
习题	220
第8章 现代数字调制技术	222
8.1 引言	222
8.2 偏移四相相移键控(OQPSK)	222
8.3 $\pi/4$ 四相相移键控($\pi/4$ -QPSK)	224
8.4 最小频移键控(MSK)	225
8.4.1 MSK 信号的正交性	226
8.4.2 MSK 信号的相位连续性	226
8.4.3 MSK 信号的产生与解调	227
8.4.4 MSK 信号的频谱特性	229
8.5 高斯最小频移键控(GMSK)	230
8.6 正交幅度调制(QAM)	230
8.6.1 正交幅度调制的信号表示	230
8.6.2 MQAM 信号的产生和解调	232
8.6.3 MQAM 信号的频带利用率	233
8.6.4 MQAM 信号的抗噪性能分析	233

8.7 正交频分复用(OFDM)	234
8.7.1 多载波调制技术	234
8.7.2 正交频分复用技术	235
小结	237
思考题	238
习题	238
第9章 信道编码	240
9.1 引言	240
9.2 信道编码的基本原理	241
9.2.1 信道编码的检错和纠错能力	241
9.2.2 信道编码的译码方法	243
9.3 线性分组码	244
9.3.1 线性分组码的编码	245
9.3.2 线性分组码的译码	249
9.3.3 汉明码	251
9.4 循环码	252
9.4.1 循环码的码多项式	253
9.4.2 循环码的生成多项式和生成矩阵	254
9.4.3 循环码的检错和纠错	256
9.4.4 循环码的编码和译码电路	256
9.5 卷积码	258
9.5.1 卷积码的解析表示	258
9.5.2 卷积码的图形描述	261
9.5.3 卷积码的几种译码方法	262
小结	262
思考题	263
习题	263
第10章 同步系统	266
10.1 引言	266
10.2 载波同步	266
10.2.1 直接法(自同步法)	267
10.2.2 插入导频法	269
10.2.3 载波同步系统的性能	270
10.3 位同步	272
10.3.1 插入导频法	272
10.3.2 自同步法	272
10.3.3 位同步系统的性能	275
10.4 群同步	277

10.4.1 起止式同步法 277

10.4.2 集中插入法 277

10.4.3 分散插入法 279

10.4.4 群同步系统的性能 280

10.5 网同步..... 281

小结..... 284

思考题..... 285

习题..... 285

附录一 英文缩写词对照表..... 287

附录二 傅里叶变换..... 290

附录三 贝塞尔函数表 $J_n(x)$ 293

附录四 误差函数与互补误差函数表..... 294

附录五 常用数学公式..... 296

部分习题答案..... 297

参考文献..... 305

第 1 章 绪 论

1.1 引 言

在人类社会历史的长河中,人们为满足生产和生活的需要,人与人之间进行思想情感的交流离不开信息的传递。古代的烽火台、驿站,现代的电报、电话、传真、电子信箱、广播和电视等都是传递信息的手段和方式。自然界中,人们听到、观察到的现象,可用语言、文字、图像等信息来表达、存储或传递。随着人类社会生产力的发展、科学技术的进步、全球经济一体化,信息被认为是人类社会重要的资源之一,在政治、军事、生产乃至人们的日常生活中起着越来越重要的作用。谁掌握了信息,谁就拥有未来,信息是决策的基础。

近代社会,人们常将信息的传递和交换,俗称为通信——异地间人与人、人与机器、机器与机器进行信息的传递和交换。语言、文字、图像等信息是不能直接在通信系统中传递,为此需在发送端将它们转换成载荷语言、文字、图像等信息的电(光)信号(即信源),电信号经通信系统传送至接收端,收端将电信号还原成语言、文字、图像等信息。如电话通信,发话人对着送话器讲话,送话器将发话人声音的大小(声压力大小)转换成电信号的强弱,经通信系统传送到接收端的受话器,即将电信号的强弱转换成声音的大小,完成电话通信。

通信中信息的传送是通过信号来进行的,如:电压、电流信号等。信号是信息的载体。在各种各样的通信方式中,利用“电信号”来承载信息的通信方式称之为电通信,这种通信具有迅速、准确、可靠等特点,而且几乎不受时间、空间、地点、距离的限制,因而得到了飞速发展和广泛应用。如今,在自然科学中,“通信”与“电通信”几乎是同义词。在本书中的通信均指电通信。

通信技术是随着科学技术的不断发展,由低级到高级,由简单到复杂逐渐发展起来的。而各种各样性能不断改善的通信系统的应用,又促进了人类社会进步和文明的发展。

真正有实用意义的电通信起源于 19 世纪 30 年代——莫尔斯电报,在 1866 年,利用大西洋海底电缆实现了越洋电报通信;到了 19 世纪 70 年代,贝尔发明了电话,从此,开创了电话通信的新纪元。

19 世纪末,出现了无线电报;20 世纪初,电子管的出现使无线电话成为可能。从 20 世纪 60 年代以来,随着晶体管、集成电路的出现和应用,无线电话、广播、电视和传真通信迅速发展起来。

进入 20 世纪 50 年代,随着人造卫星的发射,电子计算机、大规模集成电路和光导纤维等现代科学技术成果的问世和应用,特别是数字通信技术的飞速发展,进一步促进了微波通

信、卫星通信、光纤通信、移动通信和计算机通信等各种现代通信系统的竞相发展，以不断满足人们在各个方面对通信的越来越高的要求。

展望未来，通信技术正在向数字化、智能化、综合化、宽带化、个人化方向迅速发展，各种新的电信业务也应运而生，信息服务正沿着多种领域广泛延伸。

人们期待着早日实现通信的最终目标，即无论何时、何地都能实现与任何人进行任何形式的信息交换——全球个人通信。

1.2 通信系统的组成

1.2.1 通信系统的一般模型

人们把实现信息传输所需的一切设备和传输媒介所构成的总体称为通信系统。以点对点通信为例，通信系统的一般模型如图 1-1 所示。

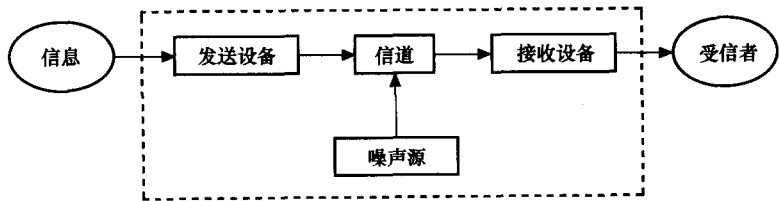


图 1-1 通信系统的一般模型

图 1-1 中，发送设备的作用一方面是把信息转换成原始电信号，该原始电信号称为基带信号；另一方面将原始电信号处理成适合在信道中传输的信号。它所完成的功能很多，例如调制、放大、滤波和发射等，在数字通信系统中发送设备又常常包含信源编码和信道编码等。

信道是指信号传输通道，按传输媒介的不同，可分为有线信道和无线信道两大类。

通信系统还要受到系统内外各种噪声干扰的影响，这些噪声来自发送设备、接收设备和传输媒介等几个方面。图中的噪声源，是信道中的所有噪声以及分散在通信系统中其他各处噪声的集合。

在接收端，接收设备的功能与发送设备相反，即进行解调、译码等。它的任务是从带有干扰的接收信号中恢复出相应的原始电信号，并将原始电信号转换成相应的信息，提供给受信者。

通信传输的信息具有不同的形式，为了传递信息，各种信息需转换成电信号。凡信号的某一参量（如连续波的振幅、频率、相位，脉冲波的振幅、宽度、位置等）可以取无限多个数值，且直接与信息相对应，称为模拟信号。模拟信号有时也称为连续信号，但需要说明的是这个连续是指信号的某一参量可以连续变化（即可以取无限多个值），而不一定在时间上也连续。强弱连续的语音信号，亮度连续变化的电视图像信号等都是模拟信号。凡信号在时间上离散，且表征信号的某一参量（如振幅、频率、相位等）只能取有限个数值，称为数字信号。数字信号是离散信号，但离散信号不一定是数字信号，所谓离散信号是指时间上离散而数值上连续的信号。按照信道中所传信号的形式不同，通信可以分为模拟通信和数字通

信，为了进一步了解它们的组成及特点，下面分别加以介绍。

1.2.2 模拟通信系统模型

传输模拟信号的系统称为模拟通信系统，其模型如图 1-2 所示。

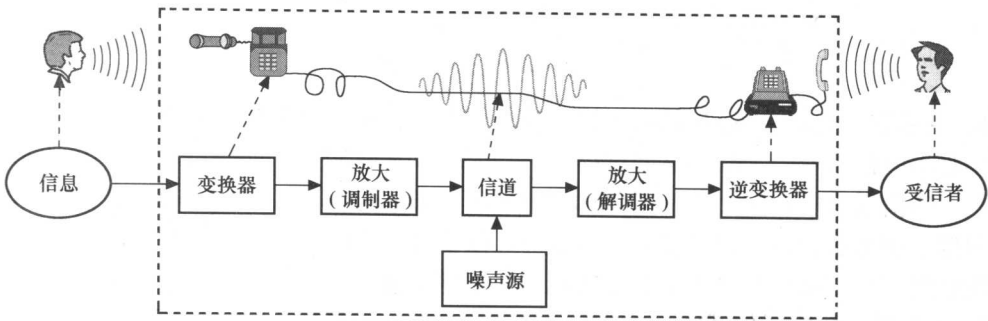


图 1-2 模拟通信系统模型

现在以语音信号为例来说明图 1-2 中模拟通信系统模型各部分的作用。

发信人讲话的语音信息首先经变换器将语音信息变成电信号（模拟信源），然后电信号经放大设备放大后可以直接在信道中传输。为了提高频带利用率，使多路信号同时在信道中传输，原始的电信号（基带信号）一般要进行调制才能传输到信道中去。调制是信号的一种变换，通常是将不便于信道直接传输的基带信号转换成适合信道中传输的信号，这一过程由调制器完成，经过调制后的信号称为已调信号。在收端，再将已调信号经解调器和逆变换器还原成语音信息。

实际通信系统中可能还有滤波、放大、天线辐射、控制等过程。由于调制与解调对信号的传输起决定性作用，故它们是保证通信质量的关键。由于滤波、放大、天线辐射等过程对信号不会发生质的变化，只是对信号进行了放大或改善了信号特性，因而被看作是理想线性的，可将其合并到信道中去。

模拟通信系统在信道中传输的是模拟信号，其占有的频带一般都比较窄，因此其频带利用率较高。缺点是抗干扰能力差，不易保密，设备元器件不易大规模集成，不能适应飞速发展的数字通信的要求。

1.2.3 数字通信系统模型

数字通信系统是利用数字信号来传递信息的通信系统。数字通信系统可进一步细分为数字频带传输通信系统和数字基带传输通信系统。

1. 数字频带传输通信系统

数字频带传输通信系统模型如图 1-3 所示。

在图 1-3 中，变换器的作用是把信息转换成数字基带信号（数字信源）。信源编码的主要任务是提高数字信号传输的有效性。信源编码器的输出就是信息码元，此外，话音和图像压缩编码等都是在信源编码器内完成的。接收端的信源译码则是信源编码的逆过程。

信道编码的任务是提高数字信号传输的可靠性。其基本做法是在信息码组中按一定的规

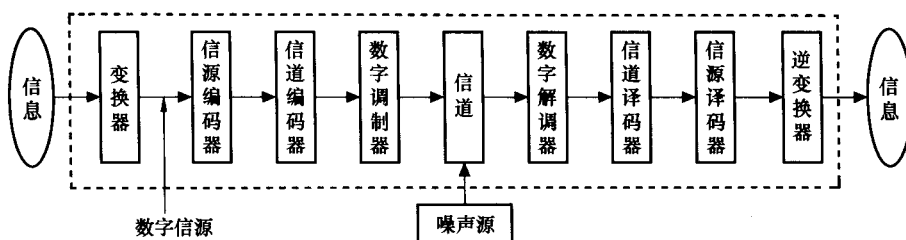


图 1-3 数字频带传输通信系统模型

则附加一些监督码元，以使接收端根据相应的规则进行检错和纠错。信道编码也称为纠错编码。接收端的信道译码是其相反的过程。

数字通信系统还有一个非常重要的控制单元，即同步系统（图 1-3 中没有画出）。它可以使通信系统的收、发两端或整个通信系统，以精度很高的时钟提供定时，使系统的数据流能与发送端同步，从而有序而准确地接收与恢复原信息。

2. 数字基带传输通信系统

与频带传输系统相对应，把没有调制器/解调器的数字通信系统称为数字基带传输通信系统，其模型如图 1-4 所示。

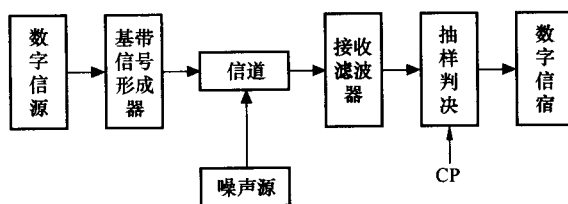


图 1-4 数字基带传输通信系统模型

图 1-4 中基带信号形成器可能包括编码器、加密器以及波形变换等；接收滤波器亦可能包括译码器、解密器等。

3. 数字通信的主要特点

目前，无论是模拟通信还是数字通信，在不同的通信业务中都得到了广泛的应用。但是，数字通信更能适应现代社会对通信技术越来越高的要求，数字通信技术已成为当代通信技术的主流。与模拟通信相比，它有如下优点：

（1）抗干扰、抗噪声性能好。

在数字通信系统中，传输的信号是数字信号。以二进制为例，信号的取值只有两个，这样发端传输的和收端接收和判决的电平也只有两个值，如“1”码时取值为 A，“0”码时取值为 0。传输过程中由于信道噪声的影响，必然会使波形失真，在接收端恢复信号时，首先对其进行抽样判决，才能确定是“1”码还是“0”码，并再生“1”、“0”码的波形。因此只要不影响判决的正确性，即使波形有失真也不会影响再生后的信号波形。而在模拟通信中，如果模拟信号叠加上噪声后，即使噪声很小，也很难消除它。

数字通信抗噪声性能好，还表现在数字中继通信时，它可以消除噪声积累。这是因为数字信号在每次再生后，只要不发生错码，它仍然像信源中发出的信号一样，没有噪声叠加在上面，因而中继站再多，仍具有良好的通信质量。而模拟通信随着传输距离的增大，信号受到衰减，为保证通信质量，须当信噪比尚高时，及时对信号进行放大，但不能消除噪声积累。

(2) 差错可控。

数字信号在传输过程中出现的错误（差错），可通过纠错编码技术来控制。

(3) 易加密。

数字信号与模拟信号相比，容易加密和解密。因此，数字通信保密性好。

(4) 数字通信设备和模拟通信设备相比，设计和制造更容易，体积更小，重量更轻。

(5) 数字信号可以通过信源编码进行压缩，以减少冗余度，提高信道利用率。

(6) 易于与现代技术相结合。

由于计算机技术、数字存储技术、数字交换技术以及数字处理技术等现代技术的飞速发展，许多设备、终端接口的信号均是数字信号，因此极易与数字通信系统相连接。正因为如此，数字通信才得以高速发展。

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要占 20~60kHz 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。不过，随着新的宽带传输信道（如光导纤维）的采用、窄带调制技术和超大规模集成电路的发展，数字通信的这些缺点已经弱化。随着传输技术的发展，数字信道占用频带宽越来越不成问题了。

1.3 通信系统分类及通信方式

1.3.1 通信系统的分类

按照不同的分法，通信系统可分成许多类别，下面介绍几种较常用的分类方法。

1. 按传输媒质分类

按传输媒质分，通信系统可分为有线通信系统和无线通信系统两大类。有线通信系统是用导线或导引体作为传输媒质完成通信的，如架空明线、同轴电缆、海底电缆、光导纤维和波导等。无线通信系统是依靠电磁波在空间传播达到传递信息的目的，如短波电离层传播、微波视距传播和卫星中继等。

2. 按信号的特征分

前面已经指出，按照携带信息的信号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与数字通信系统。

3. 按工作频段分类

按通信设备的工作频段不同，通信系统可分为长波通信、中波通信、短波通信和微波通信等。通信中使用的频段、常用传输媒质及主要用途见表 1.1。

表 1.1 通信频段、常用传输媒质及主要用途

频率范围	波长	符号	传输媒质	用途
3Hz~30kHz	$10^4 \sim 10^8 \text{m}$	甚低频 (VLF)	有线线对 长波无线电	音频、电话、数据终端、长距离导航、 时标
30~300kHz	$10^3 \sim 10^4 \text{m}$	低频 (LF)	有线线对 长波无线电	导航、信标、电力线通信

续表

频率范围	波长	符号	传输媒质	用途
300kHz~3MHz	$10^2\sim10^3\text{m}$	中频 (MF)	同轴电缆 短波无线电	调幅广播、移动陆地通信、业余无线电
3~30MHz	$10\sim10^2\text{m}$	高频 (HF)	同轴电缆 短波无线电	移动无线电话、短波广播、定点军用通信、业余无线电
30~300MHz	$1\sim10\text{m}$	甚高频 (VHF)	同轴电缆 米波无线电	电视、调频广播、空中管制、车辆、通信、导航
300MHz~3GHz	$10\sim100\text{cm}$	特高频 (UHF)	波导 分米波无线电	微波接力、卫星和空间通信、雷达
3~30GHz	$1\sim10\text{cm}$	超高频 (SHF)	波导 厘米波无线电	微波接力、卫星和空间通信、雷达
30~300GHz	$1\sim10\text{mm}$	极高频 (EHF)	波导 毫米波无线电	雷达、微波接力、射电天文学
$10^7\sim10^8\text{GHz}$	$3\times10^{-5}\sim3\times10^{-4}\text{cm}$	紫外可见光 红外	光纤 激光空间传播	光通信

表 1-1 中，工作波长和频率的换算公式为：

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{f} \quad (1.1)$$

式 (1.1) 中， λ 为工作波长 (m)， f 为最高工作频率 (Hz)， c 为光速 (m/s)

4. 按调制方式分类

根据信道中传输的信号是否经过调制，可将通信系统分为基带传输系统和频带（调制）传输系统。基带传输是将没有经过调制的信号直接传送，如音频市内电话；频带传输是对基带信号调制后再送到信道中传输。常用的调制方式及相关理论将在本书第 3 章、第 6 章和第 8 章中详细介绍。

5. 按通信业务类型分类

根据通信业务类型的不同，通信系统可分为电报通信系统、电话通信系统、数据通信系统和图像通信系统等。

6. 按信号复用方式分类

按信号复用方式，通信系统又可分为频分复用 (FDM) 通信系统、时分复用 (TDM) 通信系统和码分复用 (CDM) 通信系统等。频分复用通信系统是用频谱搬移的方式使不同信号占据不同的频率范围；时分复用通信系统是用抽样或脉冲调制方式使不同信号占据不同的时间间隙；码分复用通信系统则是用相互正交的码型来区分多路信号。传统的模拟通信中大多采用频分复用，如广播通信。随着数字通信的发展，时分复用通信系统得到了广泛的应用。码分复用多用在扩频通信系统中。

1.3.2 通信方式

通信的工作方式通常有以下几种：

一、按信息传输的方向与时间关系划分通信方式

对于点对点之间的通信，按信息传送的方向与时间关系，通信方式可分为单工通信、半双工通信及全双工通信 3 种。