

现代通信理论与技术导论

主编 张德纯 王兴亮 副主编 陈树新 林家薇 刘芸江 李曼

西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

现代通信理论与技术导论

THE MODERN THEORY AND TECHNOLOGY OF COMMUNICATIONS

清华大学出版社
Tsinghua University Press

现代通信理论与 技术导论

主 编 张德纯 王兴亮

副主编 陈树新 林家薇

刘芸江 李 曼

西安电子科技大学出版社

2004

内 容 简 介

本书比较深入系统地介绍了信源编码、高效高性能调制解调、信道编码、无线多址、宽带抗干扰、无线接收和无线通信组网等现代通信的主要理论与技术,特别是近年来在这些方面的新理论、新技术、新方法以及在现实生活中的应用。

全书共分8章:第1章绪论;第2章信源编码技术;第3章现代调制解调技术;第4章信道编码技术;第5章无线通信多址技术;第6章宽带抗干扰技术;第7章无线通信接收技术;第8章无线通信组网技术。

本书的主要特点是基本概念清楚准确,公式推导详略得当,内容安排系统连贯,文字叙述通俗易懂,并且注意理论联系实际,通过具体的例题来说明抽象的理论,利于读者自学。

本书既可作为高等院校通信专业研究生教材,也可作为大学本科通信等专业高年级学生和通信工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

现代通信理论与技术导论/张德纯,王兴亮主编.

—西安:西安电子科技大学出版社,2004.10

ISBN 7-5606-1436-1

I. 现... II. ①张...②王... III. ①通信理论②通信技术 IV. TN91

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 068517 号

策 划 戚文艳

责任编辑 张 友 戚文艳

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

http://www.xduph.com E-mail: xdupfxb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印刷单位 西安文化彩印厂

版 次 2004年10月第1版 2004年10月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 23.125

字 数 543千字

印 数 1~4000册

定 价 25.00元

ISBN 7-5606-1436-1/TN·0278

XDUP 1707001-1

*** 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。

序

1948年, C. E. Shannon 发表了著名的论文“通信的数学理论”, 为通信领域的技术革命奠定了理论基础; 1946年计算机的出现和1947年晶体管的诞生以及由此发展起来的相应技术(特别是集成电路技术)是通信领域技术革命的物理或物质基础。50多年过去了, 通信的技术手段不断进步, 相继出现了微波中继通信、卫星通信、光纤通信、移动通信、多媒体通信等通信手段, 通信的实时性、可靠性、容量、不间断等性能也得到了很大的提高。人们正在逐步实现“任何人(Whoever)在任何地点(Wherever)、任何时间(Whenever)可以同任何对方(Whomever)进行任何形式(Whatever)的通信”这一人类通信的最高目标。

现代通信主要有电缆通信、无线电通信、卫星通信、光纤通信、移动通信等, 各种通信手段既可以单独运用, 自成系统, 也可以综合运用组成不同功能的通信网络。随着社会的不断进步, 对通信的要求也越来越高, 现代通信系统正向着具有多层次、全方位、大纵深、立体覆盖能力, 多网络无缝连接能力, 高速宽带信息传输与交换能力, 语音、数据、图形、图像多业务综合能力, 互联、互通、互操作能力, 通信、导航、定位、识别多功能综合能力, 通信资源共享能力的方向发展。

通信、计算机和半导体技术的发展已经将人类社会推进到一个崭新的发展阶段——信息化社会阶段。在信息化社会中, 每个人的生活都与信息的产生、存储、处理和传递密切相关, 通信作为传输信息的重要手段已经渗透到社会生活的各个领域, 通信的发达与否已经成为衡量一个国家、一个地区现代化程度的重要标志之一, 通信对社会的发展、人类的进步以及人们的日常生活起到越来越重要的作用。20世纪90年代出现了Internet后, 许多传统的职业正在转变成为需要掌握计算机技术、通信技术、网络技术、信息技术等知识和要求有更高的分析推理决策能力的职业, 人们迫切地希望通过学习、了解和掌握这些技术来提高自身的综合素质和竞争能力, 以适应社会的发展。

本书侧重于介绍无线通信的原理、技术、系统与网络, 深入详细地介绍了信源编码、现代调制解调、信道编码、无线多址、宽带抗干扰、无线接收和无线通信组网等现代通信的主要理论与技术, 特别是近年来在这些方面的新理论、新技术、新方法以及在现实生活中的应用。本书的主要特点是概念准确、条理清晰、系统性强、通俗易懂, 并且注意理论联系实际, 通过具体的例题来说明抽象的理论, 以利于读者自学。

本书既可作为高等院校通信专业研究生教材, 也可作为大学本科通信等专业高年级学生、通信领域研究人员和通信工程技术人员的参考书。

殷勤业

西安交通大学
2004年5月

前 言

现代通信理论与技术的发展日新月异,新理论、新技术、新方法、新设备层出不穷。为了反映当前通信领域的新成果,我们编写了这本《现代通信理论与技术导论》,系统地介绍信源编码、高效高性能调制解调、信道编码、无线多址、宽带抗干扰、无线接收和无线通信组网等现代通信的主要理论与技术,特别是近年来在这些方面的新理论、新技术、新方法以及在现实生活中的应用,以满足有关专业人员希望了解通信学科的新成就及发展趋势的愿望。

全书共分8章,参考学时数为60学时。

第1章绪论,主要介绍通信的基本概念、通信系统的组成和通信系统的主要质量指标,重点是数字通信系统的主要质量指标。

第2章信源编码技术,主要介绍信源编码的基本概念、无失真信源编码和限失真信源编码,重点是无失真信源编码的哈夫曼编码和游程编码,连续信源限失真编码的标量量化(抽样、量化、编码),离散信源限失真编码的预测编码和变换编码。

第3章现代调制解调技术,主要介绍新型数字调制解调的分类和正交振幅调制(QAM)、高斯滤波最小频移键控(GMSK)、 $\pi/4$ 偏置的四相相移键控($\pi/4$ -QPSK)、可变速率调制(VR-QAM)等高效高性能调制解调技术,并对这些调制解调系统的性能进行了分析和比较。

第4章信道编码技术,主要介绍离散信道模型、信道编码的目的和基本原理,重点分析了线性分组码、循环码、BCH码和卷积码的构成原理、译码方法和译码性能,最后介绍了网格编码调制(TCM)新技术。

第5章无线通信多址技术,主要介绍无线通信多址的基本概念、理论基础和各种多址技术,重点是频分多址技术、时分多址技术和码分多址技术。

第6章宽带抗干扰技术,主要介绍扩频通信的基本概念、各类扩频通信系统及其抗噪声性能,重点是直接序列(DS)扩频通信系统和跳频(FH)通信系统。

第7章无线通信接收技术,主要介绍无线接收的均衡技术和分集技术。均衡技术重点介绍均衡的基本原理、均衡技术的分类、线性均衡器、非线性均衡器和自适应均衡器;分集技术重点介绍分集的基本原理、几种典型的分集方式和RAKE接收机。

第8章无线通信组网技术,主要介绍无线组网的基础、无线通信网络的拓扑结构及典型的无线通信网络,重点介绍全球移动系统(GSM)、CDMA数字蜂窝系统(IS-95)、个人通信网(PCN)和无线局域网的功能、结构及特点。

本书的主要特点是基本概念清楚准确,公式推导详略得当,内容安排系统连贯,文字叙述通俗易懂,并且注意理论联系实际,通过具体的例题来说明抽象的理论,利于读者自学。

本书由张德纯、王兴亮担任主编,陈树新、林家薇、刘芸江、李曼担任副主编,西安交通大学殷勤业教授担任主审。张德纯编写了第1、2、5章,陈树新编写了第4、7章,王兴亮编写了第6章,林家薇编写了第3章,刘芸江、李曼编写了第8章。全书由张德纯统稿。

由于编者的水平和掌握的素材有限,书中难免有不妥或错误之处,欢迎广大读者批评指正。

编者

2004年5月1日于西安

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 通信的基本概念	1
1.1.1 通信的定义	1
1.1.2 通信的分类	2
1.1.3 信号的传输技术	4
1.1.4 主要的远距离传输方式	5
1.1.5 通信的基本问题	7
1.2 通信系统的组成	8
1.2.1 一般通信系统的组成	8
1.2.2 模拟通信系统的组成	9
1.2.3 数字通信系统的组成	10
1.2.4 数字通信的主要优缺点	12
1.3 通信系统的主要质量指标	13
1.3.1 一般通信系统的质量指标	13
1.3.2 模拟通信系统的主要质量指标	14
1.3.3 数字通信系统的主要质量指标	14
1.4 现代通信技术的发展历史	16
1.4.1 通信发展的历史	16
1.4.2 当前通信的研究热点	17
1.4.3 数字通信技术的发展趋势	19
第 2 章 信源编码技术	22
2.1 信源编码的基本概念	22
2.1.1 引言	22
2.1.2 信源的分类	22
2.1.3 信源的统计特性模型	24
2.1.4 信源的信息度量	26
2.1.5 信源编码的目的	34
2.2 无失真信源编码	35
2.2.1 基本原理	35
2.2.2 哈夫曼(Huffman)编码	36
2.2.3 算术编码	41
2.2.4 游程编码	43
2.3 限失真信源编码	46
2.3.1 基本原理	46
2.3.2 连续信源的限失真信源编码	47
2.3.3 离散信源的限失真信源编码	75

第 3 章 现代调制解调技术	91
3.1 引言	91
3.1.1 新型数字调制的分类	91
3.1.2 数字调制技术的性能指标	93
3.1.3 已调信号的功率谱密度	94
3.1.4 已调信号的空间表示	94
3.2 正交振幅调制(QAM)	97
3.2.1 正交振幅调制信号的表示	97
3.2.2 正交振幅调制系统的调制和解调	98
3.2.3 正交振幅调制的性能	99
3.2.4 叠加式 QAM(SQAM)	102
3.3 高斯滤波最小频移键控(GMSK)	105
3.3.1 最小频移键控(MSK)	105
3.3.2 高斯滤波最小频移键控(GMSK)	109
3.4 $\pi/4$ 偏置的四相相移键控($\pi/4$ -QPSK)	114
3.4.1 一般原理	114
3.4.2 $\pi/4$ -QPSK 的调制与解调	115
3.4.3 $\pi/4$ -QPSK 的功率谱特性	118
3.4.4 $\pi/4$ -QPSK 的误码性能	118
3.5 可变速率调制(VR-QAM)	119
3.5.1 VR-QAM 的基本原理	119
3.5.2 VR-QAM 的性能	122
第 4 章 信道编码技术	123
4.1 离散信道模型	123
4.1.1 离散无记忆信道	123
4.1.2 离散输入、连续输出信道	124
4.1.3 波形信道	125
4.1.4 信道容量	126
4.2 差错控制编码的基本概念	128
4.2.1 差错控制方式	128
4.2.2 差错控制编码分类	129
4.2.3 检错与纠错的基本原理	130
4.3 分组码	131
4.3.1 线性分组码	132
4.3.2 循环码	135
4.3.3 BCH 码	138
4.3.4 软判决译码	143
4.3.5 硬判决译码	146
4.3.6 译码性能和最小码距的定界	149
4.4 卷积码	151
4.4.1 卷积码的表述方式	152
4.4.2 二进制卷积码的距离特性	155

4.4.3	卷积码的最佳译码——维特比译码	162
4.4.4	维特比译码的性能分析	169
4.4.5	其他译码算法	172
4.4.6	应用中需要考虑的问题	176
4.5	网格编码调制(TCM)技术	177
4.5.1	问题的提出	178
4.5.2	TCM的集分割原理	179
4.5.3	TCM码网格图的构造	181
4.5.4	TCM码的卷积码表示	182
4.5.5	网格编码8PSK系统的渐近误码性能	184
第5章	无线通信多址技术	186
5.1	无线通信多址技术的基本概念	186
5.1.1	无线通信系统中实现双工通信的方法	186
5.1.2	窄带多址系统与宽带多址系统	187
5.1.3	无线通信多址技术的理论基础	188
5.2	频分多址(FDMA)	190
5.2.1	FDMA的基本原理	190
5.2.2	FDMA系统中的干扰问题	191
5.2.3	FDMA系统的特点	191
5.3	时分多址(TDMA)	192
5.3.1	TDMA的基本原理	192
5.3.2	TDMA的帧结构	193
5.3.3	TDMA系统的同步问题	194
5.3.4	TDMA系统的特点	195
5.3.5	TDMA系统的有关计算	196
5.4	码分多址(CDMA)	197
5.4.1	CDMA的基本原理	197
5.4.2	实现CDMA的数学基础	197
5.4.3	CDMA系统的特点	209
5.4.4	CDMA系统中的两个问题	210
5.5	扩频多址(SSMA)	210
5.5.1	跳频多址(FHMA)	211
5.5.2	混合扩频多址(HSSMA)	211
5.6	其他多址方式	213
5.6.1	空分多址(SDMA)	213
5.6.2	极分多址(PDMA)	214
第6章	宽带抗干扰技术	216
6.1	扩频通信概述	216
6.1.1	扩频通信的概念	216
6.1.2	扩频通信的特点	217
6.1.3	扩频通信的基本理论	221

6.1.4 扩频通信系统的类型	223
6.2 直接序列(DS)扩频系统	224
6.2.1 扩频通信基本模型	224
6.2.2 直接序列扩频信号	227
6.2.3 多进制直接序列扩频信号	230
6.2.4 直接序列扩频信号的相关解扩	233
6.2.5 直接序列扩频系统的抗噪性能	237
6.3 跳频(FH)通信系统	245
6.3.1 跳频通信的基本概念	245
6.3.2 跳频及其频率合成器	248
6.3.3 跳频通信系统的性能	250
6.3.4 跳频通信系统的抗噪性能	261
6.3.5 跳频通信系统的技术特点	263
6.4 跳时(TH)通信系统	263
6.5 混合扩展频谱系统	264
6.5.1 跳频/直接序列(FH/DS)混合系统	264
6.5.2 跳频/跳时(FH/TH)混合系统	265
6.5.3 跳时/直接序列(TH/DS)混合系统	266
6.6 多载波正交频分复用(OFDM)调制与解调	266
6.6.1 OFDM 基本原理	267
6.6.2 OFDM 系统传输特性	269
6.6.3 OFDM 系统实现中的关键问题	271
6.6.4 OFDM 系统性能	279
第7章 无线通信接收技术	283
7.1 均衡技术的基本概念	283
7.1.1 均衡的基本原理	283
7.1.2 均衡技术的分类	285
7.2 线性均衡器	287
7.2.1 峰值失真准则	287
7.2.2 均方误差(MSE)准则	288
7.3 非线性均衡器	291
7.3.1 判决反馈(DFE)均衡器	291
7.3.2 最大似然序列估值(MLSE)均衡器	293
7.4 自适应均衡器	293
7.4.1 自适应均衡的基本原理	293
7.4.2 迫零算法	294
7.4.3 最小均方算法	295
7.4.4 递归最小二乘算法	296
7.4.5 算法小结	298
7.5 分集技术的基本概念	298
7.5.1 分集的基本原理	299
7.5.2 选择分集	299

7.5.3	最大比率合并	300
7.6	几种典型的分集方式	301
7.6.1	空间分集	301
7.6.2	极化分集	303
7.6.3	其他分集方式	305
7.7	多径信号的分离与合并	305
7.7.1	多径信号分离与合并的基本原理	305
7.7.2	RAKE 接收机	306
第 8 章	无线通信组网技术	313
8.1	无线组网基础	313
8.1.1	无线组网的发展	313
8.1.2	无线组网中的业务选择	315
8.1.3	无线数据业务	316
8.2	网络拓扑结构	319
8.2.1	无线网络拓扑	319
8.2.2	蜂窝网络拓扑	320
8.2.3	信号信噪比的计算	321
8.2.4	容量扩展技术	322
8.3	全球数字移动电话系统(GSM)	322
8.3.1	GSM 业务和功能	323
8.3.2	GSM 系统体系结构	323
8.3.3	支持移动环境的机制	325
8.3.4	网络基础结构中的通信	327
8.4	CDMA 数字蜂窝系统(IS-95)	329
8.4.1	频率和信道规范	329
8.4.2	前向 CDMA 信道	329
8.4.3	后向 CDMA 信道	332
8.4.4	CDMA 的移动性和无线资源管理	335
8.5	个人通信和个人通信网(PCS/PCN)	337
8.5.1	个人通信的概念	337
8.5.2	无线个人通信的现状	337
8.5.3	无线个人通信的发展动态	339
8.5.4	IMT-2000	341
8.6	信息时代的无线局域网	346
8.6.1	无线 LAN 的概念、分类及特点	346
8.6.2	无线 LAN 网络拓扑结构	347
8.6.3	无线 LAN 传输信道	348
8.6.4	无线 LAN 标准及其比较	349
参考文献	356

第1章 绪论

随着人类社会跨入信息化时代,通信的作用越来越重要,因为信息化离不开信息的传输,而通信就是通过传递消息来有效地传输信息。在各种各样的通信方式中,利用电信号(包括光信号)来传递消息的通信方式称为电信。由于电信具有迅速、准确的特点,并且基本上不受时间、地点、空间、距离的限制,因此获得了飞速的发展和广泛的应用。在现代社会中,由于电信是最重要的通信方式,所以“通信”与“电信”几乎是等同的,本书所说的通信均指电信。

本章主要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,并介绍现代通信技术的发展历史、研究现状及发展趋势。

1.1 通信的基本概念

在人类历史发展的长河中,人类社会的各种活动都与通信密切相关,古代的“烽火台”、航海的“旗语”、战争年代的“消息树”以及现在仍使用的“信号灯”等都是通过不同的方式来传递消息的,都属于通信。特别是现代人类社会,随着科学技术的飞速发展和广泛应用,通信已经渗透到社会生活的各个领域,通信产品随处可见。通信的发达与否已经成为衡量一个国家、一个地区现代化程度的标志之一,通信对社会的发展、社会的各种活动以及人们的日常生活所起的作用越来越重要了。

1.1.1 通信的定义

从广义的角度讲,我们把由一地(或多地)向另一地(或多地)进行消息的有效传递称为通信。例如两人在一起聊天,是通过声音来传递消息的;聋哑人之间的“手语”,是通过手势来传递消息的,只不过通信距离较短;而打电话、发电子邮件等,则分别是通过电话系统和计算机网络来传递消息的,通信距离可以很长。

自从19世纪末人们开始利用电信号传递消息以来,电信这种通信方法得到了深入研究和飞速发展,形成了一整套完备的理论、技术及相应的设备,成为当今社会最重要的通信手段(尤其是远距离通信),以至于在现代自然科学和工程技术领域,“通信”与“电信”几乎是同义词。所以,从狭义的角度讲,通信的定义可以表述如下:把利用电磁技术、电子技术、光电技术等手段,借助电信号或光信号实现从一地(或多地)向另一地(或多地)进行消息的有效传递和交换的过程称为通信。

通信的实质就是实现信息的有效传递,它不仅要将有用的信息进行无失真、高效率的传输,而且还要在传输的过程中减少或消除无用信息和有害信息。现代的通信技术除了能

够进行信息的有效传递,还能够实现采集、存储、处理、显示等多种功能,使通信技术成为信息科学技术的一个重要组成部分。

1.1.2 通信的分类

从不同的角度考虑,通信有不同的分类方法,下面介绍几种较常用的分类方法。

1. 按传输媒质分

按传输媒质的不同,通信可分为有线通信和无线通信。

有线通信是指传输媒质是用固态物质制成的导线(如架空明线、电缆、光缆、波导等),承载消息的电信号(或光信号)沿着导线由一地向另一地传递的通信,其特点是传输媒质能看得见、摸得着;无线通信是指传输消息的两地之间没有任何固态物质制成的导线连接,传输媒质为自由空间的通信。

通常,有线通信按照传输导线的不同可进一步分为明线通信、电缆通信、光缆通信等;无线通信按照各自的特点也可分为短波通信、超短波通信、微波通信、移动通信、卫星通信、散射通信等多种形式。

2. 按传输信号的形式分

按照承载消息的电信号形式的不同,通信可分为模拟通信和数字通信。

模拟通信是指以模拟信号来传输消息的通信方式。当信号的某一参量(如时间连续波的振幅、频率、相位,脉冲波的振幅、宽度、位置等)可以取无限多个数值,且直接与消息相对应时,称为模拟信号。模拟信号有时也称连续信号,这里的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),而不是指信号波形在时间上一定连续。例如脉冲幅度调制(Pulse Amplitude Modulation, PAM)信号在幅度上的取值连续(可以取无限多个值),而信号波形在时间上不连续,但它仍是模拟信号。对于信号参量连续变化,信号波形在时间上也连续变化的信号,当然也是模拟信号,如强弱连续变化的语言信号、亮度连续变化的电视图像信号等都是模拟信号。

数字通信是指把模拟信号经数字化处理后,用数字信号来传送的通信方式。当信号的某一参量(如时间连续波的振幅、频率、相位,脉冲波的振幅、宽度、位置等)只能取有限个数值,且常常不直接与消息相对应时,称为数字信号。数字信号有时也称离散信号,这里的离散是指信号的某一参量不是连续变化的(即只能取有限多个值),而不是指信号波形在时间上一定不连续,例如 PSK、FSK 信号波形在时间上连续,但 PSK 的相位取值和 FSK 的频率取值均是有限的,所以仍是数字信号。对于信号参量是离散的,信号波形在时间上也是离散的信号,当然也是数字信号。例如脉冲编码调制(Pulse Code Modulation, PCM)信号在幅度上的取值离散(只能取有限多个值),信号波形在时间上不连续(也是离散的),它当然是数字信号。

3. 按工作频段分

按照传输信号的电磁波工作频率不同,通信可分为长波通信、中波通信、短波通信、微波通信、光波(如红外线、激光等)通信等。表 1-1 给出了通信频段的划分及用途。

表 1-1 通信使用的频段及主要用途

频率(f)范围	波长(λ)	名称	常用传输媒介	用 途
3 Hz~30 kHz	$10^8 \sim 10^4$ 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
30~300 kHz	$10^4 \sim 10^3$ m	低频 LF	有线线对 长波无线电	导航、信标、电力线通信
300 kHz~3 MHz	$10^3 \sim 10^2$ m	中频 MF	同轴电缆 中波无线电	调幅广播、移动陆地通信
3~30 MHz	$10^2 \sim 10$ 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
30~300 MHz	10~1 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、集群通 信、无限传呼
300 MHz~3 GHz	100~10 cm	特高频 UHF	波导 分米波无线电	电视、空间遥控、雷达导 航、点对点通信、移动通信
3~30 GHz	10~1 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
30~300 GHz	10~1 mm	极高频 EHF	波导 毫米波无线电	雷达、微波接力、射电天 文学
$10^5 \sim 10^7$ GHz	$3 \times 10^{-4} \sim 3 \times 10^{-6}$ cm	紫外线、 可见光、 红外线	光纤 激光空间传播	光通信

通信信号的频率和波长可互换，公式为

$$\lambda = \frac{C}{f} \quad (1-1)$$

式中， λ 为信号波长； f 为信号频率； C 为电磁波在自由空间中的传播速度，通常 $C=3 \times 10^8$ m/s。

4. 按工作方式分

按照信号传输的方向和时间不同，通信可分为单工通信、半双工通信和全双工通信。

单工通信是指通信双方中的一方只有发信设备，只能发送信号，另一方只有收信设备，只能接收信号，只有一个单向传输信道，只能单向传输消息的一种工作方式，如图 1-1(a)所示。广播电视、无线寻呼、遥测遥控等都属于单工通信，信号(消息)只从广播电视发射台、无线寻呼中心和遥控器分别传送到收音机电视接收机、BP 机和遥测遥控对象。

半双工通信是指通信的双方都有收发信设备，都能收发信号，有一个双向传输信道，通过转换开关可以双向传输消息，但不能同时进行的一种工作方式，如图 1-1(b)所示。对

讲机、收发报机等属于半双工通信。

全双工通信是指通信双方都有收发信设备，都能收发信号，有一个由两个单向传输信道组成的双向传输信道，能够同时双向传输消息的一种工作方式，如图 1-1(c)所示。由于通信的双方能够同时进行收发消息，所以全双工通信的信道必须是双向信道。固定电话、移动电话等属于全双工通信。

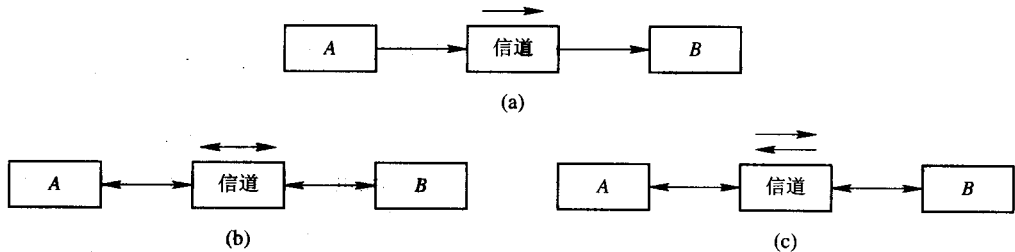


图 1-1 通信的工作方式

(a) 单工通信；(b) 半双工通信；(c) 全双工通信

5. 按通信的内容分

按照传输的内容不同，通信可分为语音通信、图像通信和多媒体通信。

语音通信是指传输的内容为声音(语音、音乐)，如广播、电话等。图像通信是指传输的内容为图像(照片、动画、符号、文字等)，如传真机、无线寻呼、空间遥测等。多媒体通信是指传输的内容不仅有声音，而且还有图像，如电视、可视电话、远程教育等。

6. 按占用的带宽分

按照传输信号占用的信道带宽不同，通信可分为窄带通信和宽带通信。

窄带通信是指所传输的信号占用信道的带宽比较窄，例如电话中一路话音信号的带宽为 4 kHz，所占用信道的带宽比较窄，属于窄带通信。宽带通信是指所传输的信号占用信道的带宽比较宽，例如图像通信(信号带宽为几 MHz)和多媒体通信(信号带宽为几十 MHz)。

7. 按通信对象的运动方式分

按照通信对象的是否运动，通信可分为固定通信和移动通信。

固定通信是指通信的双方都处于静止状态。移动通信是指通信的双方至少有一方处于运动状态。由于移动通信具有建网快、投资少、机动灵活、使用方便等特点，使用户能随时随地快速可靠地进行信息传递，所以近年来得到了飞速的发展，成为现代通信的三大支柱之一。

除此之外，通信还有其他一些分类方法，如按多址方式可分为频分多址通信、时分多址通信、码分多址通信等；按用户类型可分为公用通信和专用通信等。

1.1.3 信号的传输技术

现代通信是通过电信号的传输来实现信息传输的，为了有效地、远距离地进行通信，必须采用一定的信号传输技术。

1. 基带传输和频带传输

基带传输是指信号没有经过调制(频率变换)而直接送到信道中去传输的一种方式,采用这种信号传输技术的通信系统称为基带传输通信系统,简称基带系统。频带传输是指信号经过调制(频率变换)后再送到信道中传输的一种方式,收端要进行相应的解调才能恢复原来的信号,采用这种信号传输技术的通信系统称为频带传输通信系统,简称频带系统。由于频带传输比基带传输的距离更远,传输的效率更高(采用频分多路技术时),所以频带传输技术得到了更广泛的应用。

2. 串序传输和并序传输

在数字通信中,按照传输信号的通道不同,信号的传输技术可分为串序传输和并序传输。

串序传输是指传输信号的通道只有一条,承载信息的数字信号序列按时间顺序一个接一个地在信道中传输的方式,如图 1-2(a)所示,计算机的 USB 接口属于串序传输。并序传输是指将数字信号序列分割成两路或两路以上,同时在信道上传输,如图 1-2(b)所示,计算机的打印机接口属于并序传输。

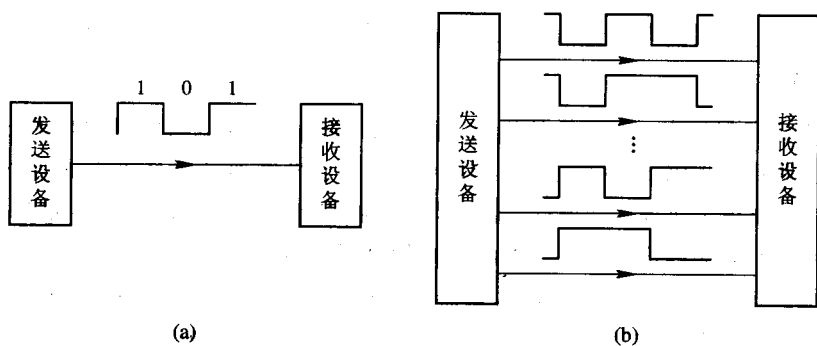


图 1-2 数字信号的传输技术

(a) 串序传输; (b) 并序传输

一般数字通信都采用串序传输,这种方式只需占用一条通路,但占用的时间相对较长。并序传输技术在通信中也经常用到,它需要占用多条通路,但传输时间较短。

1.1.4 主要的远距离传输方式

1. 电缆通信

电缆通信是最早发展起来的通信手段,用于长途通信已有 60 余年历史,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 万余公里,其中 90% 为明线。目前,同轴电缆所占的比例已上升到 1/3 左右。电缆通信中主要采用模拟单边带调制和频分多路复用(SSB/FDM)技术,国际上同轴电缆每芯最高容量高达 13 200 路(或 6 路