



高等学校信息工程类专业规划教材

通信系统概论

王兴亮 高利平 主编

刘乃安 主审



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

面向 21 世纪高等学校信息工程类专业规划教材

通信系统概论

王兴亮 高利平 主编

刘乃安 主审

西安电子科技大学出版社

2008

内 容 简 介

本书共有 8 章内容,包括绪论、数字通信系统、多媒体通信系统、通信网络系统、扩频抗干扰通信系统、微波与卫星通信系统、移动通信系统和光通信系统。

本书内容新颖,反映了当今最新的通信系统发展和应用情况。在文字叙述中突出概念的描述,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。每章前面都有教学要点,每章结尾都有小结,并附有适量的思考与练习题。

本书语言简练、通俗易懂,内容系统全面,材料充实丰富,可作为通信工程、计算机通信、信息技术及其他相近专业大学专科生教材,也可作为非通信专业本科生教材,还可供相关 IT 行业的科技人员阅读和参考。

★本书配有电子教案,需要者可与出版社联系,免费提供。

图书在版编目(CIP)数据

通信系统概论/王兴亮,高利平主编. —西安:西安电子科技大学出版社,2008.2

面向 21 世纪高等学校信息工程类专业规划教材

ISBN 978-7-5606-1980-4

I. 通… II. ①王… ②高… III. 通信系统—高等学校—教材 IV. TN914

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 002556 号

策 划 马乐惠

责任编辑 杨 璠 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

http://www.xduph.com E-mail: xdupfxb@pub.xaonline.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 2008 年 2 月第 1 版 2008 年 2 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 20.5

字 数 485 千字

印 数 1~4 000 册

定 价 29.00 元

ISBN 978-7-5606-1980-4/TN·0406

XDUP 2272001-1

*** 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。

前 言

通信技术的发展突飞猛进,应用日新月异,各行各业都离不开通信技术。通信技术与系统的发展和应用渗透到了社会的各个层面,每个专业都有了解通信技术与系统的需求,本书就是在这种形势下应运而生的。

本书共有 8 章内容。

第 1 章是绪论,着重介绍通信系统的概念,包括通信的定义、分类、方式、模型等。信息论基础是通信技术的必备知识,学习者应学会信息的度量和计算。通信系统的性能指标是贯穿全书的指标体系,要求学习者掌握和运用好通信系统的性能指标,如有效性指标、可靠性指标和信道容量等基本参量。第 2 章是数字通信系统,这是学习的重点内容。数字通信系统模型有三种基本形式,即数字频带传输通信系统、数字基带传输通信系统和模拟信号数字化传输通信系统。数字基带传输通信系统介绍数字基带信号的常用码型、数字基带传输系统性能等;数字频带传输通信系统重点论述了二进制振幅键控(2ASK)、二进制频移键控(2FSK)、二进制相移键控(2PSK)和二进制数字调制系统的性能比较等;模拟信号数字化传输通信系统主要介绍模拟信号的数字化(A/D 转换和 D/A 转换)、PCM 30/32 路典型终端设备、准同步数字体系(PDH)、数字复接的概念和方法、同步复接与异步复接、PCM 高次群、同步数字体系等。第 3 章是多媒体通信系统,首先简要介绍了多媒体的概念、特性和特点;接着介绍了多媒体系统,包括多媒体系统的概念、系统的分类、体系结构和基本组成;然后重点介绍了超文本与超媒体概念、超媒体的组成元素和超媒体系统的应用等;之后介绍了声音媒体的种类、声音数据压缩方法、音频编码标准和声音文件的格式等,以及图像的压缩标准和常用图形图像文件格式;最后重点介绍了多媒体通信技术,学习者应熟知公众交换电话网(PSTN)、综合业务数字网(ISDN)、数字用户环路(DSL)、快速以太网(Fast Ethernet)、可视电话、IP 电话、宽带 IP 网和视频会议系统等。第 4 章是通信网络技术,讲解了通信网的组成、通信网的分类、通信网的构成和功能以及通信网的发展方向;重点介绍了通信网基础,如通信网拓扑结构、网络体系分层结构及通信网协议、通信网路由选择及流量控制等。在通信网相关技术中,主要介绍了交换技术和信令与接口技术,这些都与计算机通信有着密切的联系。最后还介绍了无线网络的基本知识。第 5 章是扩频抗干扰通信系统,主要介绍了扩频通信的基本概念,重点介绍了直接序列扩频系统、跳频(FH)扩频通信系统,对跳时系统(TH)和混合扩展频谱系统也做了适当的介绍。同时,对无线信道抗干扰技术也做了论述。第 6 章是微波与卫星通信系统,本章将微波通信和卫星通信的技术和系统合在一起介绍,因为这两种通信技术所用的频率范围都是微波段。也可以说,卫星通信是微波通信的延伸。本章对信号的传输与复用、信号的调制与解调、编解码技术、信号处理技术以及卫星通信中的多址技术都做了介绍。同时对微波通信系统、数字微波通信系统、数字微波通信系统的性能和大容量微波通信系统做了介绍;对卫星通信系统,包括静止卫星通信系统、移动卫星通信系统、VSAT 卫星通信系统、卫星

通信新技术、卫星通信技术在 GPS 系统中的应用也做了介绍。在本章的最后,对微波与卫星通信技术的发展和應用展开讨论,使学习者对微波通信和卫星通信的前景有一个清晰的认识。第 7 章是移动通信系统,主要介绍了移动通信的基本概念、特点、分类及系统组成,阐述了移动通信的基本技术,包括蜂窝组网技术、多址技术、调制技术、交织技术、自适应均衡技术和信道配置技术;阐述了第一代、第二代移动通信技术,并且介绍了第三代移动通信技术的几种标准,如 W-CDMA 系统、CDMA2000 系统、TD-SCDMA 系统、IMT-2000 系统等;最后还介绍了后 3G 移动通信关键技术。第 8 章是光通信系统,首先讨论了光纤通信技术,使学习者对光纤通信的基本概念、光纤通信系统的组成和光纤通信的应用有一个概括的了解。波分复用(WDM)技术是比较新的通信技术,本章论述了 WDM 的基本原理和 WDM 基本通信系统。相干光通信技术、光孤子通信和全光通信技术都是新的通信技术,本章对这些新技术也做了简介。

本书内容新颖,反映了当今最新的通信技术与系统的发展和應用情况。在文字叙述中突出概念的描述,避免繁琐的公式推导,重点讲述各种通信技术与系统的性能和物理意义,并列举大量的例子加以说明。每章前面都有教学要点,每章结尾都有小结,并附有适量的思考与练习题。

本书语言简练、通俗易懂,内容系统全面,材料充实丰富,可作为通信工程、计算机通信、信息技术及其他相近专业大学专科生教材,也可作为非通信专业本科学生教材,还可供相关 IT 行业的科技人员阅读和参考。

王兴亮教授和高利平教授担任本书主编。王兴亮教授编写了第 1、2、5、6、8 章,高利平教授参与了第 6、8 章的编写,田秀劳教授编写了第 3 章,张德纯教授编写了第 4 章,李成斌研究员编写了第 7 章,任啸天、刘敏、刘莎、侯灿靖、牟京燕、储楠、蒋波也参与了部分编写工作。王兴亮教授、高利平教授负责全书统稿。西安电子科技大学的刘乃安教授审阅了全稿,并提出了许多修改意见,在此表示感谢!

限于编著者水平有限,书中缺点在所难免,欢迎各界读者批评指正。

E-mail: 8185wxl@21cn.com

wxl20060910@yahoo.com.cn

编著者

2007 年 10 月于西安

目 录

第 1 章 绪论	1	2.4.1 SDH 的基本概念	41
1.1 通信的概念	1	2.4.2 SDH 的速率和帧结构	42
1.1.1 通信的定义	1	2.4.3 同步复用与映射方法	43
1.1.2 通信的分类	1	2.5 数字基带传输系统	45
1.1.3 通信的方式	3	2.5.1 数字基带信号的常用码型	45
1.1.4 通信系统的模型	5	2.5.2 数字基带传输系统性能	49
1.2 信息论基础	6	2.6 数字频带传输系统	51
1.2.1 信息的度量	6	2.6.1 二进制振幅键控(2ASK)	51
1.2.2 平均信息量	7	2.6.2 二进制频移键控(2FSK)	54
1.3 通信系统的性能指标	8	2.6.3 二进制相移键控(2PSK)	58
1.3.1 一般通信系统的性能指标	8	2.6.4 二进制数字调制系统的性能比较	64
1.3.2 通信系统的有效性指标	8	小结	66
1.3.3 通信系统的可靠性指标	10	思考与练习 2	66
1.4 通信信道的基本特性	11	第 3 章 多媒体通信系统	71
1.4.1 信道的概念	11	3.1 多媒体概述	71
1.4.2 传输信道	14	3.1.1 媒体的概念	71
1.4.3 信道内的噪声	16	3.1.2 多媒体的主要特性	73
1.4.4 常见的几种噪声	17	3.1.3 多媒体信息数据的特点	75
1.4.5 信道容量	19	3.2 多媒体系统	76
小结	22	3.2.1 多媒体系统的概念	76
思考与练习 1	22	3.2.2 多媒体系统的分类	77
第 2 章 数字通信系统	24	3.2.3 多媒体系统的体系结构	77
2.1 数字通信系统模型	24	3.2.4 多媒体系统的基本组成	78
2.1.1 数字频带传输通信系统	24	3.3 超媒体与流媒体	79
2.1.2 数字基带传输通信系统	25	3.3.1 超文本与超媒体的概念	79
2.1.3 模拟信号数字化传输通信系统	25	3.3.2 超媒体的组成元素	82
2.1.4 数字通信的主要优缺点	25	3.3.3 超媒体系统的应用	85
2.2 模拟信号的数字化	26	3.3.4 流媒体	86
2.2.1 A/D 转换	26	3.3.5 流媒体传输的网络协议	89
2.2.2 D/A 转换	35	3.3.6 流媒体系统的组成和应用	91
2.2.3 PCM 30/32 路典型终端设备	36	3.4 声音媒体	92
2.3 准同步数字体系	39	3.4.1 声音媒体的种类	93
2.3.1 数字复接的概念和方法	39	3.4.2 声音数据压缩方法	93
2.3.2 同步复接与异步复接	40	3.4.3 音频编码标准	94
2.3.3 PCM 高次群	40	3.4.4 声音文件的格式	95
2.4 同步数字体系	41		

3.5 图像与图形媒体	97	5.3.4 跳频信号的解调	175
3.5.1 图像的压缩标准	97	5.3.5 跳频通信系统的技术特点	177
3.5.2 常用图形图像文件格式	98	5.4 跳时系统	177
3.6 多媒体通信技术	99	5.5 混合扩展频谱系统	178
3.6.1 公众交换电话网	100	5.5.1 跳频/直接序列混合系统	178
3.6.2 综合业务数字网	100	5.5.2 跳频/跳时混合系统	179
3.6.3 数字用户环路	104	5.5.3 跳时/直接序列混合系统	180
3.6.4 快速以太网	108	小结	180
3.6.5 可视电话	110	思考与练习 5	181
3.6.6 IP 电话	113	第 6 章 微波与卫星通信系统	182
3.6.7 宽带 IP 网	117	6.1 概述	182
3.6.8 视频会议系统	117	6.1.1 微波通信	183
小结	119	6.1.2 卫星通信	184
思考与练习 3	119	6.2 微波与卫星通信的主要技术	186
第 4 章 通信网络技术	121	6.2.1 微波信号的传播	186
4.1 概述	121	6.2.2 微波与卫星通信的频率配置	188
4.1.1 通信网的组成	121	6.2.3 信号的传输与复用	191
4.1.2 通信网的分类	122	6.2.4 信号的调制与解调	192
4.1.3 通信网的功能	126	6.2.5 编解码技术	192
4.1.4 通信网的发展方向	127	6.2.6 信号处理技术	194
4.2 通信网基础	128	6.2.7 卫星通信中的多址技术	198
4.2.1 通信网拓扑结构	128	6.3 微波通信系统	202
4.2.2 通信网协议	130	6.3.1 数字微波通信系统	202
4.2.3 通信网链路选择与控制	136	6.3.2 数字微波通信系统的性能	204
4.3 通信网相关技术	137	6.3.3 大容量微波通信系统	206
4.3.1 交换技术	137	6.4 卫星通信系统	209
4.3.2 信令与接口技术	147	6.4.1 静止卫星通信系统	209
小结	154	6.4.2 移动卫星通信系统	213
思考与练习 4	154	6.4.3 VSAT 卫星通信系统	215
第 5 章 扩频抗干扰通信系统	156	6.4.4 卫星通信新技术	217
5.1 扩频通信概述	156	6.5 GPS 定位系统	221
5.1.1 扩频通信的概念	156	6.5.1 GPS 基本概念	221
5.1.2 扩频通信的特点	157	6.5.2 GPS 系统组成及作用	221
5.1.3 扩频通信基本理论	161	6.5.3 GPS 系统的定位原理	224
5.1.4 扩频通信系统的类型	161	6.6 微波与卫星通信技术的发展	224
5.2 直接序列扩频系统	162	6.6.1 激光技术的应用	224
5.2.1 扩频通信的基本原理	162	6.6.2 先进通信技术卫星	225
5.2.2 直接序列扩频信号	165	6.6.3 宽带多媒体卫星移动通信系统	226
5.2.3 直接序列扩频信号的相关解扩	167	小结	227
5.3 跳频扩频通信系统	171	思考与练习 6	228
5.3.1 跳频通信的基本原理	171	第 7 章 移动通信系统	229
5.3.2 跳频通信的数学模型	172	7.1 概述	229
5.3.3 双通道跳频系统	174	7.1.1 移动通信的特点	229

7.1.2 移动通信的分类	231	小结	287
7.1.3 移动通信系统的组成	232	思考与练习 7	288
7.2 移动通信的基本技术	233	第 8 章 光通信系统	289
7.2.1 蜂窝组网技术	233	8.1 光纤通信	289
7.2.2 多址技术	238	8.1.1 光纤通信概述	289
7.2.3 调制技术	239	8.1.2 光纤通信系统的组成	292
7.2.4 交织技术	240	8.1.3 光纤通信的应用	297
7.2.5 自适应均衡技术	242	8.2 波分复用(WDM)技术	298
7.2.6 信道配置技术	242	8.2.1 WDM 的基本原理	298
7.3 GSM 移动通信系统	243	8.2.2 WDM 通信系统	302
7.3.1 GSM 系统的网络结构	244	8.3 相干光通信技术	306
7.3.2 GSM 系统的无线空中接口	247	8.3.1 相干光通信的基本原理	307
7.3.3 通用分组无线业务(GPRS)	255	8.3.2 相干光通信的关键技术	309
7.3.4 GSM 系统的区域定义	259	8.4 光孤子通信	309
7.3.5 移动用户的接续过程	260	8.4.1 光孤子的基本特征	309
7.4 CDMA 移动通信系统	261	8.4.2 光孤子通信系统	311
7.4.1 CDMA 的概念	261	8.5 全光通信系统	312
7.4.2 CDMA 蜂窝系统的无线传输	264	8.5.1 全光通信的概念	312
7.5 第三代移动通信系统简介	266	8.5.2 全光通信技术	312
7.5.1 W-CDMA 系统	266	8.5.3 全光通信网	315
7.5.2 CDMA2000 系统	268	8.5.4 光时分复用	317
7.5.3 TD-SCDMA 系统	273	小结	318
7.5.4 IMT-2000 概述	275	思考与练习 8	318
7.5.5 移动通信新技术	277	参考文献	319
7.5.6 后 3G 移动通信关键技术	285		

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。
- 通信系统的性能指标：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。

1.1 通信的概念

1.1.1 通信的定义

通信(Communication)就是信息的传递,指由一地向另一地进行信息的传输与交换,其目的是传输消息。然而,随着社会生产力的发展,人们对传递消息的要求也越来越高。在各种各样的通信方式中,利用“电”来传递消息的通信方法称为电信(Telecommunication),这种通信具有迅速、准确、可靠等特点,且几乎不受时间、地点、空间、距离的限制,因而得到了飞速发展和广泛应用。可以说,利用电子等技术手段,借助电信号(含光信号)实现从一地向另一地对消息、情报、指令、文字、图像、声音或任何性质的消息进行有效的传递称为通信。

从本质上讲,通信就是实现信息传递功能的一门科学技术,它要将大量有用的信息快速、准确、广泛、无失真、高效率、安全地进行传输,同时还要在传输过程中将无用信息和有害信息抑制掉。当今的通信不仅要有效地传递信息,而且还有存储、处理、采集及显示等功能,通信已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

通信的分类方法有许多种。

1. 按传输媒质分

按传输消息的媒质的不同,可将通信分为两大类:一类称为有线通信,另一类称为无线通信。所谓有线通信,是指传输媒质为导线、电缆、光缆、波导、纳米材料等形式的通信,其特点是媒质能看得见,摸得着。导线可以是架空明线、电缆、光缆及波导等。所谓无线通信,是指传输消息的媒质为看不见、摸不着的媒质(如电磁波)的一种通信形式。

通常,有线通信亦可进一步再分类,如明线通信、电缆通信、光缆通信等;无线通信常见的形式有微波通信、短波通信、移动通信、卫星通信、散射通信等,其形式较多。

2. 按信道中传输的信号分

信道是个抽象的概念,这里可理解成传输信号的通路。通常信道中传送的信号可分为

数字信号和模拟信号,由此,通信亦可分为数字通信和模拟通信,相应的是数字通信系统和模拟通信系统。

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,且直接与消息相对应的,称为模拟信号。模拟信号有时也称连续信号,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,例如第2章介绍的脉冲振幅调制(PAM)信号,经过调制后已调信号脉冲的振幅是可以连续变化的,但在时间上是不连续的。这里指的某一参量是指我们关心的并作为研究对象的那一参量,绝不是仅指时间参量。当然,对于参量连续变化、时间上也连续变化的信号,毫无疑问也是模拟信号,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。

凡信号的某一参量只能取有限个数值,并且常常不直接与消息相对应的,称为数字信号。数字信号有时也称离散信号,这个离散是指信号的某参量是离散(不连续)变化的,而不一定在时间上也离散。

3. 按工作频段分

根据通信设备的工作频率不同,通信通常可分为长波通信、中波通信、短波通信、微波通信等。为了比较全面地对通信中所使用的频段有所了解,下面把通信使用的频段及主要用途列入表1-1中,仅作为参考。

表 1-1 通信使用的频段及主要用途

频率范围(f)	波长(λ)	符 号	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、业余无线电
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	$10 \sim 1$ 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、无线寻呼
300 MHz~3 GHz	$100 \sim 10$ cm	特高频 UHF	波导,分米波无线电	电视、空间遥测、雷达导航、点对点通信、移动通信
3~30 GHz	$10 \sim 1$ 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	$10 \sim 1$ 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、可见光、红外	光纤,激光空间传播	光通信

通信中工作频率和工作波长可互换,公式为

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

式中: λ 为工作波长; f 为工作频率; c 为电波在自由空间中的传播速度,通常可近似地认为 $c=3 \times 10^8$ m/s。

4. 按调制方式分

根据消息在送到信道之前是否采用调制,通信可分为基带传输和频带传输。所谓基带传输,是指信号没有经过调制而直接送到信道中去传输的一种方式,而频带传输是指信号经过调制后再送到信道中传输,接收端有相应解调措施的通信系统。表 1-2 列出了一些常用的调制方式。

表 1-2 常用的调制方式

调制方式			用 途
连续波调制	线性调制	常规双边带调幅(AM)	广播
		抑制载波双边带调幅(DSB)	立体声广播
		单边带调幅(SSB)	载波通信、无线电台、数据传输
		残留边带调幅(VSB)	电视广播、数据传输、传真
	非线性调制	频率调制(FM)	微波中继、卫星通信、广播
		相位调制(PM)	中间调制方式
	数字调制	幅度键控(ASK)	数据传输
		频率键控(FSK)	数据传输
		相位键控(PSK、DPSK、QPSK等)	数据传输、数字微波、空间通信
		其他高效数字调制(QAM、MSK等)	数字微波、空间通信
脉冲调制	脉冲模拟调制	脉幅调制(PAM)	中间调制方式、遥测
		脉宽调制(PDM/PWM)	中间调制方式
		脉位调制(PPM)	遥测、光纤传输
	脉冲数字调制	脉码调制(PCM)	市话、卫星、空间通信
		增量调制(DM)	军用、民用电话
		差分脉码调制(DPCM)	电视电话、图像编码
		其他语言编码方式(ADPCM、APC、LPC)	中低速数字电话

1.1.3 通信的方式

1. 按消息传送的方向与时间分

通常,如果通信仅在点对点之间进行,或一点对多点之间进行,那么按消息传送的方向与时间不同,通信的工作方式可分为单工通信、半双工通信及全双工通信,如图 1-1 所示。

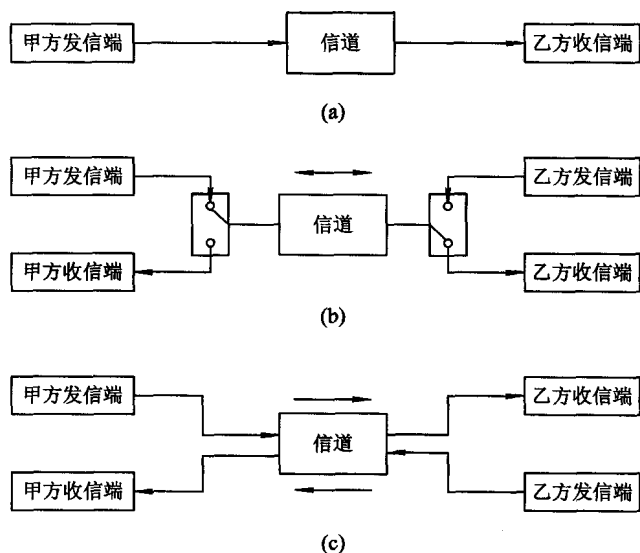


图 1-1 按消息传送的方向和时间划分的通信方式

(a) 单工通信; (b) 半双工通信; (c) 全双工通信

单工通信是指消息只能单方向进行传输的一种通信工作方式。单工通信的例子很多,如广播、遥控、无线寻呼等,这里,信号(消息)只从广播发射台、遥控器和无线寻呼中心分别传到收音机、遥控对象和 BP 机上。

半双工通信方式是指通信双方都能收发消息,但不能同时进行收和发的形式。例如使用同一频段的对讲机、收发报机等都是这种通信方式。

全双工通信是指通信双方可同时进行双向传输消息的工作方式。这种方式双方可同时进行收发消息,很明显,全双工通信的信道必须是双向信道。生活中全双工通信的例子非常多,如电话、手机等。

2. 按数字信号排序分

在数字通信中,按照数字信号排列的顺序不同,可将通信方式分为串序传输和并序传输。所谓串序传输,是将代表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;如果将代表信息的数字信号序列分割成两路或两路以上的数字信号序列同时在信道上传输,则称为并序传输通信方式,如图 1-2(b)所示。

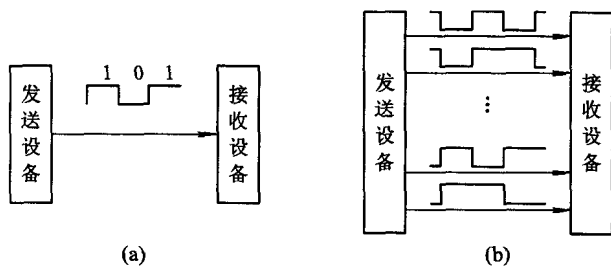


图 1-2 按数字信号排序划分的通信方式

(a) 串序传输方式; (b) 并序传输方式

一般的数字通信方式大都采用串序传输, 这种方式的优点是只需占用一条通路, 缺点是占用时间相对较长; 并序传输方式在通信中也时有用到, 它需要占用多条通路, 优点是传输时间较短。

3. 按通信网络形式分

通信的网络形式通常可分为三种: 点到点通信方式、点到多点通信(分支)方式和多点到多点通信(交换)方式, 它们的示意图如图 1-3 所示。

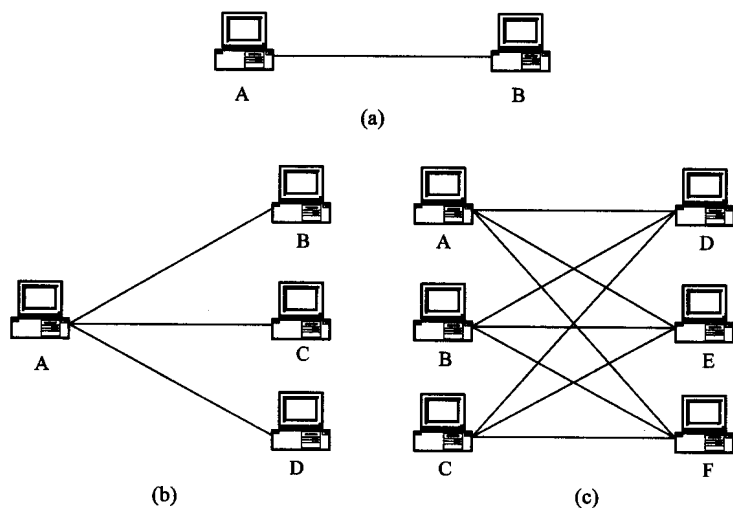


图 1-3 按网络形式划分的通信方式

(a) 点到点通信; (b) 点到多点通信; (c) 多点到多点通信

点到点通信方式是通信网络中最为简单的一种形式, 终端 A 与终端 B 之间的线路是专用的; 在点到多点通信(分支)方式中, 它的每一个终端(A, B, C, ...)经过同一信道与转接站相互连接, 此时终端之间不能直通信息, 而必须经过转接站转接, 此种方式只在数字通信中出现; 多点到多点通信(交换)是终端之间通过交换设备灵活地进行线路交换的一种方式, 即把要求通信的两终端之间的线路接通(自动接通), 或者通过程序控制实现消息交换, 即通过交换设备先把发方来的消息储存起来, 然后再转发至收方, 这种消息转发可以是实时的, 也可是延时的。

分支方式及交换方式均属网通信的范畴。无疑, 它和点与点直通方式相比, 还有其特殊的一面。例如, 通信网中有一套具体的线路交换与消息交换的规定、协议等, 通信网中既有信息控制问题, 也有网同步问题等。尽管如此, 网通信的基础仍是点与点之间的通信。

1.1.4 通信系统的模型

通信的任务是完成消息的传递和交换。以点对点通信为例, 可以看出要实现消息从一地到另一地的传递, 必须有三个部分: 一是发送端, 二是接收端, 三是收发两端之间的信道, 如图 1-4 所示。

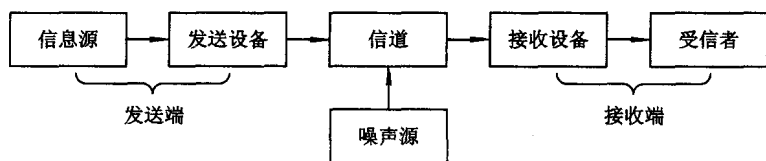


图 1-4 通信系统的模型

通信系统各部分作用如下。

1. 信息源和受信者

信息源简称信源，是信息的发出处。受信者简称信宿，是信息的归宿处。根据信源输出信号性质的不同可分为模拟信源和离散信源，如模拟电话机为模拟信源，数字摄像机及计算机为离散信源。两种信号形式可以互相转化。

2. 发送设备

发送设备的作用就是将信源产生的信号变换为传输信道所需要的信号，使信源和信道匹配起来，并送往信道。这种变换根据对传输信号的要求不同有相应不同的变换方式，通常要求实现大功率发射、频谱搬移、信源编码、信道编码、多路复用、保密处理等，其相应的变换方式为功率放大、调制、模/数转换、纠错编码、FDM 或 TDM、加密技术等。

3. 信道

信道是指传输信号的通道，是从发送设备到接收设备之间信号传递所经过的媒介，可以是无线的，也可以是有线的。信道既给信号以通路，也对信号产生各种干扰和噪声，直接影响着通信的质量，其干扰和噪声的性能由传输媒介的固有特性所决定。图 1-4 中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。图中这种表示并非指通信中一定要有一个噪声源，而是为了在分析和讨论问题时便于理解而人为设置的。

4. 接收设备

接收设备的基本功能是完成发送设备的反变换，即进行接收放大、解调、数/模转换、纠错译码、FDM 或 TDM 的分路、解密等，其任务是从带有干扰的信号中正确地恢复出原始信号。

图 1-4 仅是一个单向通信系统模型，实际通信系统要实现双向通信，通信的双方需要随时交流信息，信源兼为信宿，双方都要有发送设备和接收设备。如果两个方向用各自的传输媒介，则双方都独立地进行发送和接收；如果两个方向共用一个传输媒介，则必须采用频率、时间或代码分割的办法来实现资源共享。

通信系统除了完成信息传输之外，还必须进行信息的交换。传输系统和交换系统共同组成一个完整的通信系统。

1.2 信息论基础

1.2.1 信息的度量

“信息”(information)一词在概念上与消息(message)的意义相似，但它的含义却更具

普遍性、抽象性。信息可被理解为消息中包含的有意义的内容；消息可以有各种各样的形式，但消息的内容可统一用信息来表述。传输信息的多少可直观地使用“信息量”进行衡量。

传递的消息都有其量值的概念。在一切有意义的通信中，虽然消息的传递意味着信息的传递，但对接收者而言，某些消息比另外一些消息的传递具有更多的信息。例如，甲方告诉乙方一件非常可能发生的事情，“明天中午12时正常开饭”，那么比起告诉乙方一件极不可能发生的事情，“明天12时有地震”来说，前一消息包含的信息显然要比后者少些。因为对乙方(接收者)来说，前一事情很可能(必然)发生，不足为奇，而后一事情却极难发生，听后会使人惊奇。这表明消息确实有量值的意义，而且对接收者来说，事件愈不可能发生，愈会使人感到意外和惊奇，则信息量就愈大。正如已经指出的，消息是多种多样的，因此，量度消息中所含的信息量值，必须能够用来估计任何消息的信息量，且与消息种类无关。另外，消息中所含信息的多少也应和消息的重要程度无关。

由概率论可知，事件的不确定程度可用事件出现的概率来描述。事件出现(发生)的可能性愈小，则概率愈小；反之，概率愈大。基于这种认识，可以得到：消息中的信息量与消息发生的概率紧密相关。消息出现的概率愈小，则消息中包含的信息量就愈大，且概率为0时(不可能发生事件)信息量为无穷大，概率为1时(必然事件)信息量为0。

综上所述，可以得出消息中所含信息量与消息出现的概率之间的关系应反映如下规律：

- (1) 消息中所含信息量 I 是消息出现的概率 $P(x)$ 的函数，即

$$I = I[P(x)] \quad (1-2)$$

- (2) 消息出现的概率愈小，它所含信息量愈大，反之信息量愈小，且

$$P = 1 \text{ 时 } I = 0$$

$$P = 0 \text{ 时 } I = \infty$$

- (3) 若干个互相独立事件构成的消息，所含信息量等于各独立事件信息量的和，即

$$I[P_1(x)P_2(x)\cdots] = I[P_1(x)] + I[P_2(x)] + \cdots$$

可以看出， I 与 $P(x)$ 间应满足以上三点，则它们有如下关系式：

$$I = \log_a \frac{1}{P(x)} = -\log_a P(x) \quad (1-3)$$

信息量 I 的单位与对数的底数 a 有关： $a=2$ ，单位为比特(bit 或 b)； $a=e$ ，单位为奈特(nat 或 n)； $a=10$ ，单位为笛特(Det)或称为十进制单位； $a=r$ ，单位称为 r 进制单位。通常使用的单位为比特。

1.2.2 平均信息量

平均信息量 $\bar{I}$ 等于各个符号的信息量乘以各自出现的概率之和。

二进制时：

$$\bar{I} = -P(1) \lg P(1) - P(0) \lg P(0) \quad (1-4)$$

把 $P(1)=P$ 代入，则

$$\begin{aligned} \bar{I} &= -P \lg P - (1-P) \lg(1-P) \\ &= -P \lg P + (P-1) \lg(1-P) \quad (\text{bit/ 符号}) \end{aligned}$$

对于多个信息符号的平均信息量的计算如下:

设各符号出现的概率为

$$\begin{pmatrix} x_1, & x_2, & \cdots, & x_n \\ P(x_1), & P(x_2), & \cdots, & P(x_n) \end{pmatrix}$$

且 $\sum_{i=1}^n P(x_i) = 1$, 则每个符号所含信息的平均值(平均信息量)为

$$\begin{aligned} \bar{I} &= P(x_1)[- \lg P(x_1)] + P(x_2)[- \lg P(x_2)] + \cdots + P(x_n)[- \lg P(x_n)] \\ &= \sum_{i=1}^n P(x_i)[- \lg P(x_i)] \end{aligned} \quad (1-5)$$

由于平均信息量同热力学中的熵形式相似, 故通常又称它为信息源的熵。平均信息量 $\bar{I}$ 的单位为 bit/符号。

当离散信息源中每个符号等概率出现, 而且各符号的出现为统计独立时, 该信息源的信息量最大。此时最大熵(平均信息量)为

$$\bar{I}_{\max} = \sum_{i=1}^n P(x_i)[- \lg P(x_i)] = - \sum_{i=1}^n \frac{1}{N} \left[\lg \frac{1}{N} \right] = \lg N \quad (n = N \text{ 时}) \quad (1-6)$$

1.3 通信系统的性能指标

衡量、比较和评价一个通信系统的好坏时, 必然要涉及系统的主要性能指标, 否则就无法衡量通信系统的好坏与优劣。无论是模拟通信还是数字、数据通信, 尽管业务类型和质量要求各异, 它们都有一个总的质量指标要求, 即通信系统的性能指标。

1.3.1 一般通信系统的性能指标

通信系统的性能指标有: 有效性、可靠性、适应性、保密性、标准性、维修性、工艺性等。从信息传输的角度来看, 通信的有效性和可靠性将是系统最主要的两个性能指标, 这也是通信技术讨论的重点。

有效性是指要求系统高效率地传输消息。解决通信系统如何以最合理、最经济的方法传输最大数量的消息。

可靠性是指要求系统可靠地传输消息。由于存在干扰, 收到的与发出的消息并不完全相同。可靠性是一种量度, 用来表示收到消息与发出消息的符合程度。因此, 可靠性决定于系统抵抗干扰的性能, 也就是说, 决定于通信系统的抗干扰性。

一般情况下, 要增加系统的有效性, 就得降低可靠性, 反之亦然。在实际中, 常常依据实际系统要求采取相对统一的办法, 即在满足一定可靠性指标下, 尽量提高消息的传输速率, 即有效性; 或者, 在维持一定有效性条件下, 尽可能提高系统的可靠性。

1.3.2 通信系统的有效性指标

模拟通信系统中, 每一路模拟信号需占用一定信道带宽, 如何在信道具有一定带宽时充分利用它的传输能力, 可有几个方面的措施。其中有两个主要方面, 一是多路信号通过频率分割复用, 即频分复用(FDM), 以复用路数多少来体现其有效性, 如同轴电缆最高可

容纳 10 800 路 4 kHz 模拟话音信号。目前使用的无线频段为 $10^5 \sim 10^{12}$ Hz 范围的自由空间,更是利用多种频分复用方式实现各种无线通信的。另一方面,提高模拟通信有效性是根据业务性质减少信号带宽,如话音信号的调幅单边带(SSB)为 4 kHz,就比调频信号带宽小数倍,但可靠性较差。

数字通信的有效性主要体现在一个信道中通过的信息速率。对于基带数字信号传输,可以采用时分复用(TDM)以充分利用信道带宽;而对于频带数字信号传输,可以采用多元调制提高有效性。数字通信系统的有效性可用传输速率来衡量,传输速率越高,系统的有效性越好。通常可从以下三个不同的角度来定义传输速率。

1. 码元传输速率 R_B

码元传输速率通常又可称为码元速率(也有称为数码率、传码率、码率、信号速率或波形速率等),用符号 R_B 来表示。码元速率是指单位时间(每秒)内传输码元数目的多少,单位为波特(Baud),常用符号“Bd”表示(注意,不能用小写)。例如,某系统在 2 秒内共传送 4800 个码元,则系统的传码率为 2400 Bd。

数字信号一般有二进制与多进制之分,但码元速率 R_B 与信号的进制数无关,只与码元宽度 T_b 有关。

$$R_B = \frac{1}{T_b} \quad (1-7)$$

通常在给出系统码元速率时,有必要说明码元的进制,多进制(M)码元速率 R_{BM} 与二进制码元速率 R_{B2} 之间,在保证系统信息速率不变的情况下,相互可转换,转换关系式为

$$R_{B2} = R_{BM} \cdot \lg M (\text{Bd}) \quad (1-8)$$

式中, $M=2^k$, $k=2, 3, 4, \dots$ 。

2. 信息传输速率 R_b

信息传输速率简称信息速率,又可称为传信率、比特率等。信息传输速率用符号 R_b 表示。 R_b 是指单位时间(每秒)内传送的信息量的多少,单位为比特/秒(bit/s),简记为 b/s 或 bps。例如,若某信源在 1 秒内传送 1200 个符号,且每一个符号的平均信息量为 1(bit),则该信源的 $R_b=1200$ b/s 或 1200 bps。因为信息量与信号进制数 M 有关,所以 R_b 也与 M 有关。

3. 消息传输速率 R_m

消息传输速率亦称消息速率,它被定义为单位时间(每秒)内传输的消息数,用 R_m 表示。因消息的衡量单位不同,有各种不同的含义。例如,当消息的单位是汉字时, R_m 的单位为字/秒。消息速率在实际中应用不多。

4. R_b 与 R_B 的关系

在二进制中,码元速率 R_{B2} 同信息速率 R_{b2} 在数值上相等,但单位不同。

在多进制中, R_{BM} 与 R_{bM} 之间数值不同,单位亦不同。它们之间在数值上有如下关系式:

$$R_{bM} = R_{BM} \cdot \lg M \quad (1-9)$$

在码元速率保持不变的条件下,二进制信息速率 R_{b2} 与多进制信息速率 R_{bM} 之间的关系为