

中国通信学会普通高等教育『十二五』规划教材立项项目

21世纪高等院校信息与通信工程规划教材
21st Century University Planned Textbooks of Information and Communication Engineering

现代通信技术 概论

彭英王琚卜益民 编著

Modern

Communication Technology



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



精品系列

中国通信学会普通高等教育『十二五』规划教材立项项目

21世纪高等院校信息与通信工程规划教材
21st Century University Planned Textbooks of Information and Communication Engineering

现代通信技术 概论

彭英王珺卜益民 编著

目录

Modern Communication Technology

人民邮电出版社

北京



精品系列

图书在版编目(CIP)数据

现代通信技术概论 / 彭英, 王珺, 卜益民编著. —
北京: 人民邮电出版社, 2010.9
21世纪高等院校信息与通信工程规划教材
ISBN 978-7-115-23368-4

I. ①现… II. ①彭… ②王… ③卜… III. ①通信技
术—高等学校—教材 IV. ①TN91

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第170098号

内 容 提 要

本书按照通信技术的发展进程和通信网络的分层构架, 结合电信业务网的划分, 全面系统地介绍各类现代通信技术, 特别是近年来涌现的通信新技术, 具体讲述电话交换、数据通信、光纤通信、无线通信、移动通信、多媒体通信、宽带网络通信、接入网、信息安全等技术的基本概念、技术特点、相关业务、典型系统和主要应用。本书在加强通信基本概念、原理与必要的理论分析的同时, 着重从通信网络的各个层面讲述目前先进的通信技术和最新的技术成果。

本书可作为高等院校以通信技术为专业基础课的各专业的教材或参考书, 也可作为从事通信工作的科研和工程技术人员的参考书或培训教材。

中国通信学会普通高等教育“十二五”规划教材立项项目

21世纪高等院校信息与通信工程规划教材

现代通信技术概论

-
- ◆ 编 著 彭 英 王 珺 卜益民
责任编辑 蒋 亮
 - ◆ 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>
三河市海波印务有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 25
字数: 612千字
- 2010年9月第1版
2010年9月河北第1次印刷

ISBN 978-7-115-23368-4

定价: 43.00 元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154



人民邮电出版社

本书是作者基于多年的通信技术实践以及现代通信技术教学工作，不断跟踪通信新技术发展，按照通信技术的发展进程和通信网络的分层构架，结合电信业务应用，对现代通信技术给出的全景式描述，目的是使读者对于通信技术框架体系有一个清晰的认识，对各种常用现代通信技术的概念、技术特点、相关业务、典型系统、主要应用和发展趋势有较为全面的理解。本书在编写过程中，力求内容宽泛、新颖，深入浅出、通俗易懂，因此在必要的理论分析的基础上，加强了通信发展史和各种通信技术应用实例的介绍，这也是本书的特色之一。

前言

2010年11月

前言

随着信息时代的来临，人类的生存方式发生着深刻的变化，带来这些变化的正是日新月异的通信技术——“铲平世界的工具”（托马斯·弗里德曼，2005）。面对种类繁多的通信名词和技术手段，无论是高校学生还是从事通信工作的工程技术人员，都希望能够快速、有效地学习、掌握或是了解通信技术的概念和基本原理，把握通信技术的最新发展趋势。本书就是为满足上述读者需求而编写的。

本书是作者基于多年的通信技术实践以及现代通信技术教学工作，不断跟踪通信新技术发展，按照通信技术的发展进程和通信网络的分层构架，结合电信业务应用，对现代通信技术给出的全景式描述，目的是使读者对于通信技术框架体系有一个清晰的认识，对各种常用现代通信技术的概念、技术特点、相关业务、典型系统、主要应用和发展趋势有较为全面的理解。本书在编写过程中，力求内容宽泛、新颖，深入浅出、通俗易懂，因此在必要的理论分析的基础上，加强了通信发展史和各种通信技术应用实例的介绍，这也是本书的特色之一。

全书共分12章。第1章主要介绍通信发展简史以及与通信技术有关的基本概念；第2章主要介绍数字通信技术的概念和原理；第3章主要介绍电话网技术，包括程控数字交换技术的交换原理、电话交换系统的构成、呼叫接续控制原理，N-ISDN的原理及应用，电话支撑网和智能网的相关内容；第4章介绍数据通信系统的构成，数据传输控制和差错控制原理，数据交换技术和常用的数据通信网，以及Internet和计算机局域网；第5章介绍光纤通信系统的构成，光纤通信新技术和光网络的发展；第6章主要介绍数字微波通信和卫星通信系统构成和主要应用；第7章主要介绍移动通信的工作原理、移动新业务和移动通信的技术演进；第8章介绍多媒体通信的关键技术和应用；第9章主要介绍宽带通信网络，ATM和宽带IP技术；第10章主要介绍NGN及软交换技术；第11章介绍接入网的概念和常用的接入网技术；第12章主要介绍信息安全的概念和常用的网络安全与防范技术。本书每章都列出了学习要点，并附有小结和思考与练习题，有助于读者学习和掌握各章重点内容。全书最后还附有缩略词英汉对照表，可以帮助读者熟悉近年来大量涌现的通信词汇。

本书的第1章、第2章、第6章、第7章、第12章由彭英编写，第3章、第4章由王珺编写，第5章、第8章、第9章、第10章、第11章由卜益民编写，全书由彭英统稿。

在本书编写过程中,作者得到南京邮电大学经济与管理学院、通信与信息工程学院、继续教育学院等单位的支持和帮助,杨照、曹星、刘静静、陆海挺和叶惠英参与了资料收集和整理,在此表示感谢。本书的部分工作受到国家博士后科学基金(批准号 20090451183)和教育部人文社科项目(批准号 09YJC630117)的资助,在此谨致谢忱。

由于作者水平和视野所限,书中难免有不当和疏漏之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

2010 年 7 月于石城

目 录

第1章 绪论.....1

本章学习要点.....1

1.1 通信发展简史.....1

1.2 通信基本概念.....5

1.2.1 通信系统模型.....5

1.2.2 通信系统分类.....6

1.2.3 信息与信号.....6

1.2.4 通信信道.....14

1.2.5 通信系统的主要性能指标.....20

1.2.6 通信网.....20

1.2.7 通信协议.....22

1.3 通信业务.....23

1.3.1 通信业务的基本概念及 分类.....23

1.3.2 我国现行电信业务分类 目录.....23

1.3.3 通信业务的发展趋势.....25

1.4 标准化组织.....25

1.5 通信技术发展趋势.....28

本章小结.....29

思考与练习题.....29

第2章 数字通信技术基础.....30

本章学习要点.....30

2.1 模拟信号数字化.....31

2.1.1 模拟信号和数字信号.....31

2.1.2 数字通信的特点.....32

2.1.3 脉冲编码调制技术.....33

2.2 时分复用.....41

2.2.1 时分复用的基本概念.....41

2.2.2 时分复用的同步技术.....42

2.2.3 PCM30/32 路系统.....43

2.3 数字复接技术.....45

2.3.1 数字复接的概念.....46

2.3.2 数字复接方法.....48

2.3.3 数字复接中的码速变换.....50

本章小结.....52

思考与练习题.....53

第3章 电话网技术.....54

本章学习要点.....54

3.1 电话网概述.....54

3.1.1 交换的基本概念.....54

3.1.2 交换技术的发展简史.....56

3.1.3 电话网.....57

3.2 电路交换的基本原理.....62

3.2.1 数字交换概念.....62

3.2.2 数字交换网络.....63

3.3 数字程控交换机.....68

3.3.1 概述.....68

3.3.2 硬件结构.....70

3.3.3 软件系统.....72

3.3.4 处理机控制结构.....73

3.3.5 呼叫接续处理的控制原理.....73

3.4 综合业务数字网.....77

3.4.1 ISDN 的基本概念和特点.....77

3.4.2 ISDN 的网络功能体系 结构.....78

3.4.3 ISDN 的业务及应用.....81

3.5 支撑网.....83

3.5.1 信令网.....83

3.5.2 数字同步网.....88

3.5.3 电信管理网.....93

3.6 智能网.....100

3.6.1 概述.....100

3.6.2 智能网概念模型.....101

3.6.3 业务开发过程.....104

3.6.4 智能网业务.....104

3.6.5 智能网的发展与应用.....105

本章小结.....108

思考与练习题	109	4.6.2 局域网的组成	146
第4章 数据通信技术	110	4.6.3 局域网的参考模型和标准	148
本章学习要点	110	4.6.4 以太网	149
4.1 数据通信概述	110	4.6.5 无线局域网	150
4.1.1 数据通信的特点	110	4.6.6 其他典型的局域网	152
4.1.2 数据通信系统构成	111	本章小结	153
4.1.3 通信软件	112	思考与练习题	156
4.1.4 常用传输代码	112	第5章 光纤通信	157
4.1.5 数据传输方式	113	本章学习要点	157
4.1.6 差错控制技术	114	5.1 光纤通信概述	157
4.2 数据交换技术	116	5.1.1 光纤通信发展简史	157
4.2.1 电路交换	116	5.1.2 光纤通信的特点	159
4.2.2 报文交换	117	5.1.3 光纤通信的工作窗口	159
4.2.3 分组交换	118	5.2 光纤通信系统	160
4.2.4 快速分组交换	119	5.2.1 光纤与光缆	160
4.2.5 ATM 交换	119	5.2.2 光纤通信系统的组成	164
4.3 数据通信网	120	5.2.3 光线路的码型	167
4.3.1 分组交换公用数据网	120	5.3 同步数字体系	169
4.3.2 数字数据网	121	5.3.1 SDH 的产生	169
4.3.3 帧中继网	123	5.3.2 SDH 的特点	171
4.3.4 计算机通信网	124	5.3.3 SDH 帧结构	172
4.4 Internet	130	5.3.4 SDH 复用原理	173
4.4.1 概述	130	5.3.5 SDH 网络	176
4.4.2 Internet 的地址和域名	132	5.4 光波分复用	178
4.4.3 网络互连协议	135	5.4.1 WDM 的产生	178
4.4.4 传输层协议	136	5.4.2 WDM 的概念	179
4.4.5 应用层协议	136	5.4.3 WDM 的特点	180
4.4.6 路由协议	138	5.4.4 WDM 系统的基本应用形式	180
4.4.7 Internet 的应用	141	5.5 多业务传送平台	180
4.4.8 IPv6	142	5.5.1 MSTP 的产生	180
4.5 网络互连设备	143	5.5.2 MSTP 的基本概念	181
4.5.1 网络互连设备分类	143	5.5.3 MSTP 的系统原理及特点	182
4.5.2 中继器	143	5.5.4 MSTP 的关键技术	183
4.5.3 集线器	144	5.5.5 MSTP 的应用	186
4.5.4 网桥	144	5.6 自动交换光网络	188
4.5.5 路由器	144	5.6.1 ASON 的概念及技术特点	188
4.5.6 网关	145	5.6.2 ASON 的功能	190
4.6 计算机局域网	146		
4.6.1 局域网概述	146		

5.6.3 ASON 的标准化现状	191	7.2.4 位置管理和越区切换	242
5.6.4 ASON 的组网方式	194	7.2.5 多址技术	243
5.6.5 ASON 在本地网中的应用举例	194	7.2.6 多信道共用技术	243
5.7 光纤孤子通信技术	199	7.2.7 抗衰落技术	244
5.8 光网络的发展趋势	200	7.2.8 移动通信系统网络设计	244
本章小结	201	7.3 GSM 移动通信系统	245
思考与练习题	203	7.3.1 GSM 系统特点	245
第 6 章 数字微波中继通信与卫星通信	204	7.3.2 GSM 系统结构	245
本章学习要点	204	7.3.3 GSM 系统提供的业务	247
6.1 数字微波中继通信	204	7.3.4 GPRS 技术	249
6.1.1 概述	204	7.4 CDMA 移动通信系统	249
6.1.2 微波中继通信的特点	205	7.4.1 CDMA 系统特点	249
6.1.3 数字微波中继通信系统的组成	206	7.4.2 CDMA 系统结构	251
6.1.4 数字微波通信系统关键技术	212	7.4.3 CDMA 系统提供的业务	251
6.2 卫星通信	216	7.4.4 CDMA 系统的功率控制	252
6.2.1 卫星通信的概念和特点	216	7.5 第三代移动通信系统	252
6.2.2 卫星通信系统	218	7.5.1 第三代移动通信系统概述	252
6.2.3 通信卫星	221	7.5.2 WCDMA 系统	254
6.2.4 卫星通信的多址方式	223	7.5.3 cdma2000 系统	256
6.2.5 卫星通信的主要应用	224	7.5.4 TD-SCDMA 系统	257
本章小结	227	7.5.5 WiMAX	258
思考与练习题	227	7.5.6 3G 移动业务	261
第 7 章 移动通信	228	7.6 移动通信展望	272
本章学习要点	228	7.6.1 3G 的长期演进	272
7.1 移动通信概述	228	7.6.2 超 IMT-2000/B3G/4G 的研究进展	273
7.1.1 移动通信发展简史	228	7.6.3 下一代移动通信关键技术	275
7.1.2 移动通信的概念及特点	232	本章小结	278
7.1.3 移动通信的系统组成	234	思考与练习题	278
7.1.4 移动通信的工作频段	234	第 8 章 多媒体通信	279
7.1.5 常用移动通信系统	235	本章学习要点	279
7.2 移动通信技术基础	238	8.1 多媒体通信概述	279
7.2.1 电波传播与移动信道的特征	238	8.1.1 多媒体通信系统	279
7.2.2 调制解调技术	239	8.1.2 多媒体通信的关键技术	281
7.2.3 地域覆盖和信道分配	240	8.2 多媒体信息处理技术	282
		8.2.1 多媒体信息处理技术基础	282
		8.2.2 数据压缩的性能指标	285
		8.2.3 几种主要的数据压缩方法	286

8.3 压缩编码标准与技术	288
8.3.1 静止图像压缩编码标准	288
8.3.2 视频压缩编码标准	289
8.3.3 音频压缩编码标准	292
8.4 多媒体通信同步技术	294
8.4.1 媒体同步概念	294
8.4.2 常用同步方法	295
8.5 流媒体技术	295
8.5.1 流媒体的概念	296
8.5.2 流媒体传输方式	296
8.6 多媒体终端	298
8.7 多媒体的应用	298
本章小结	300
思考与练习题	301
第9章 ATM与宽带IP技术	302
本章学习要点	302
9.1 宽带综合业务数字网与ATM	302
9.1.1 B-ISDN的基本概念	302
9.1.2 ATM的基本概念	303
9.1.3 ATM的应用领域	305
9.2 宽带IP技术的发展	306
9.3 宽带IP骨干网技术	308
9.3.1 宽带骨干传输网概述	308
9.3.2 IP与ATM技术结合	311
9.3.3 IP over SDH	315
9.3.4 IP over DWDM	317
本章小结	321
思考与练习题	321
第10章 下一代网络技术	322
本章学习要点	322
10.1 NGN的概述	322
10.1.1 NGN的产生	322
10.1.2 NGN的概念	323
10.2 NGN的特点	324
10.2.1 NGN的技术优势	324
10.2.2 基于软交换的NGN的功能模型	324
10.3 软交换技术	326
10.3.1 软交换的概念	326
10.3.2 软交换的功能及主要设备	327
10.4 软交换的协议及应用	329
10.4.1 软交换的协议	329
10.4.2 软交换技术的应用	329
10.4.3 软交换与其他网络的互通	330
10.5 NGN的应用实例	331
10.5.1 需求分析	332
10.5.2 改造方案	333
10.6 NGN的研究进展	336
本章小结	337
思考与练习题	337
第11章 接入网与接入技术	338
本章学习要点	338
11.1 接入网概述	338
11.1.1 接入网的产生	338
11.1.2 接入网的功能结构	339
11.1.3 接入网的接口	341
11.1.4 IP接入网	344
11.1.5 接入网的分类	347
11.2 有线接入网技术	349
11.2.1 铜线接入技术	349
11.2.2 光纤/同轴混合接入技术	350
11.2.3 光纤接入技术	351
11.3 无线接入技术	354
11.3.1 无线接入技术概述	354
11.3.2 本地多点分配业务	354
11.3.3 无线局域网	355
11.3.4 其他无线接入技术	359
11.4 EPON接入技术的应用	360
本章小结	364
思考与练习题	364
第12章 信息安全技术	365
本章学习要点	365
12.1 概述	365
12.1.1 什么是信息安全	365
12.1.2 信息安全发展历程	365
12.1.3 信息安全威胁	368

12.1.4 网络环境下典型信息安全模型	368	12.3.4 IPSec VPN 技术	373
12.2 信息安全技术体系	369	12.3.5 “蜜罐”技术	374
12.3 网络安全与防范	370	12.3.6 应急响应技术	374
12.3.1 网络攻击方法	370	本章小结	375
12.3.2 入侵检测技术	371	思考与练习题	375
12.3.3 防火墙技术	372	附录 缩略语英汉对照表	376
		参考文献	389

第1章 绪论

本章学习要点

1. 通信、信息、电信的基本概念。
2. 一般通信系统模型。
3. 通信系统的分类。
4. 通信系统的性能指标。
5. 通信网的组成、拓扑结构、分层结构。

1.1 通信发展简史

通信就是信息的传递。通信是人类社会发展的基础，通信技术的发展深刻地改变着人们的生产方式和生活习惯，是推动人类文明与进步的巨大动力。通信包括邮政与电信。纵观通信历史，可以把通信的发展分为3个阶段。

1. 第一阶段：语言和文字通信阶段

古代人类通信的发展经历了用手势、旗语、信鸽等工具来传递一些简单信息的过程。从甲骨文的记载来看，我国在殷商盘庚时期，已出现有组织的通信活动。商周时，在传递边疆紧急军情的过程中，出现了一种“声、光”相结合的通信方式，即烽燧大鼓。从西周开始，逐渐形成了两类有组织的通信：一是以烽火为主的早期声光通信系统，二是以步行乘车为主的邮传通信系统。

中国历代王朝，利用烽火报警传递军事情报相沿已久。从后来发掘出来的“汉简”可以知道：在两汉时代，从河西四郡（今甘肃武威、张掖、酒泉、敦煌），一直到盐泽（今新疆东部罗布泊），都设置有烽火台，而且规模很大，据说是“五里一燧，十里一墩，三十里一堡，百里一城寨”。举放烽火的方法，昼夜不同，白天举烟，夜晚放火。此外，还采用各种不同的暗号来表示进犯敌人的多少，例如敌人在500人以下的放一道烽火，500人以上的放两道烽火，等等。这种有组织的通信方法，对防守边疆、抵御敌人，曾起过一定的作用，直到明、清时代，许多地方还在使用。例如山东省的烟台市，就是因为明朝在那里设置狼烟台，防止倭寇入侵而得名的。汉代甘肃烽火台遗址如图1-1所示。

用烽火传递军情,固然很快,但它不能把详细的敌情从边境传达上来,更不能把上面的命令传达下去。所以,随着社会的发展和政治、军事的需要,还形成了传送官府文书的更严密的邮驿制度,和烽火配合使用。我国从 3 000 多年前的商代到秦汉时期,形成了一整套驿传制度。特别是汉代,将所传递文书分出等级,不同等级的文书要由专人、专马按规定次序、时间传递。收发这些文书都要登记,注明时间,以明责任。唐代的官邮交通线以京城长安为中心,向四方辐射,直达边境地区,大致 30 里设一驿站。据《大唐六典》记载,最盛时全国有 1 639 个驿站,专门从事驿务的人员共 20 000 多人,其中驿兵 17 000 人。邮驿分为陆驿、水驿、水路兼并 3 种,各驿站设有驿舍,配有驿马、驿驴、驿船和驿田。宋代将所有的公文和书信的机构总称为“递”,并出现了“急递铺”。急递的驿骑马领上系有铜铃,在道上奔驰时,白天鸣铃,夜间举火,撞死人不负责。铺铺换马,数铺换人,风雨无阻,昼夜兼程。南宋初年抗金名将岳飞被宋高宗以 12 道金牌从前线召回临安,就是急递铺传递的十万火急金牌。图 1-2 所示为高邮古孟城驿。

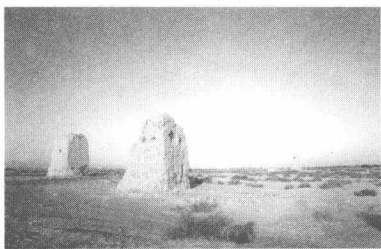


图 1-1 甘肃汉代烽火台遗址



图 1-2 高邮古孟城驿

公元前 558 年~公元前 486 年,古波斯建立有急使信差传邮的邮政驿站,设有待命的信使和驿马,信件由信使一站传一站的方式急速传递,邮递速度很快,当时人们称其为接力邮政。17 世纪中叶,法国在巴黎街道设立了邮政信箱,出现了邮票的雏形。1840 年,第一枚现代意义上的邮票在英国诞生,如图 1-3 所示。



图 1-3 世界第一枚粘贴邮票

2. 第二阶段: 电通信阶段

19 世纪 30 年代,随着电的发明与应用,不少科学家在法拉第电磁感应理论的启发下,开始了利用电来传送信息的试验。在众多的电报发明家中,萨缪尔·莫尔斯(如图 1-4 所示)于 1834 年利用电流一通一断的原理,发明了用电流的“通”和“断”来编制代表字母和数字的代码,即“莫尔斯电码”。后来他在助手维尔德的帮助下,于 1837 年制成了举世闻名的莫尔斯电报机(如图 1-5 所示)。

1843 年,在美国国会的赞助下莫尔斯修建了从华盛顿到巴尔的摩的电报线路,全长 64.4km。1844 年 5 月 24 日,在座无虚席的国会大厦里,莫尔斯向巴尔的摩发出了人类历史上的第一份电报:“上帝创造了何等的奇迹!”电报是利用架空明线来传送报文信息的,所以这是有线通信的开始。电报的发明拉开了电信时代的序幕,由于有电作为载体,信息传递的速度大大加快了。一秒钟电磁波便可以载着信息绕地球 7.5 圈,这是以往任何通信工具所望尘莫及的。

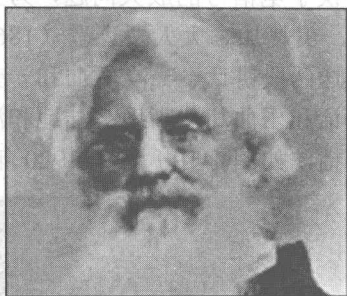


图 1-4 莫尔斯 (1791~1872 年)

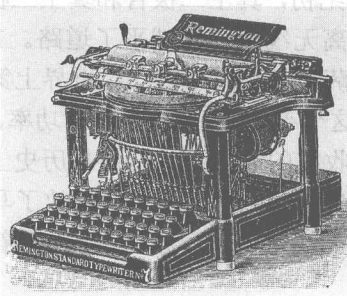


图 1-5 早期的电报机

1876 年, 亚历山大·贝尔 (如图 1-6 所示) 利用电磁感应原理发明电话机, 如图 1-7 所示。这样, 利用电磁波不仅可以传输文字, 还可以传输语音, “人们不用出门也能互相交谈的日子到来了”!^①1879 年, 第一个专用人工电话交换系统投入运营。1881 年, 电话传入我国。



图 1-6 贝尔 (1847~1922 年)

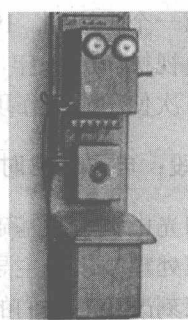


图 1-7 早期的电话机

有线通信的传输方式是以金属为传输介质, 只有线路架设到的地方, 信息才能传到, 这大大限制了信息的覆盖面。因此人们开始探索无线方式的电通信。1895 年, 马可尼和波波夫 (如图 1-8 和图 1-9 所示) 发明无线电, 从而开创了无线电通信的历史。1901 年, 无线电波越过大西洋, 人类实现了远距离通信; 1903 年, 无线电话实验成功。



图 1-8 马可尼 (1874~1937 年)



图 1-9 波波夫 (1859~1906 年)

^① 出自贝尔 1876 年写给母亲的信。

20 世纪初,真空二极管和真空三极管相继问世,解决了电信号的放大问题,为无线电广播和远距离无线电通信铺平了道路。1906 年圣诞前夕,美籍加拿大人费森登(1866~1932 年)在马萨诸塞州海岸建立了世界上第一个广播站,播送两段讲话、一支歌曲和一支小提琴独奏曲。这个小广播站只有 1kW 功率,但它所广播的讲话和乐曲却清晰地被陆地和海上拥有无线电接收机的人听到,这便是历史上第一次无线电广播,如图 1-10 所示。1920 年 6 月 15 日,美国 KDKA 电台在匹兹堡播放了马克尼公司在英国举办的“无线电电话音乐会”,标志着商业无线电广播的开始。

1925 年,英国人贝尔德发明了机械扫描式电视机。同年 10 月 2 日,贝尔德用他发明的电视在伦敦塞尔弗里奇百货商店作了一次现场表演,第一个登上屏幕的便是住在他楼下的一个名叫威廉·戴恩顿的公务员。1927 年,英国广播公司试播了 30 行机械扫描式电视,从此便开始了电视广播的历史。1928 年美国通用电气公司在纽约实验台播映了第一个电视剧。1935 年,英国广播公司启用电子扫描式电视机。1936 年,在柏林举行的第 6 届奥林匹克运动会首次使用电视作现场转播。

3. 第三阶段: 电子信息时代

以微电子和光电技术为基础,以计算机和数字通信为支撑,以信息处理技术为主导的现代通信正经历飞速发展的过程并深刻改变着人们的生活。1947 年,晶体管在贝尔实验室问世,成为必不可少的通信器件。1956 年,越洋通信电缆铺设成功。1959 年,伴随第二代晶体管计算机的诞生,微电子技术得到快速发展。20 世纪 70 年代,商用卫星通信、程控数字交换机、光纤通信系统相继投入使用。与此同时,通信的传输介质从普通导线、同轴电缆发展到双绞线、光纤、光缆,信息承载量大大增加。



图 1-10 人类历史上第一次无线电广播

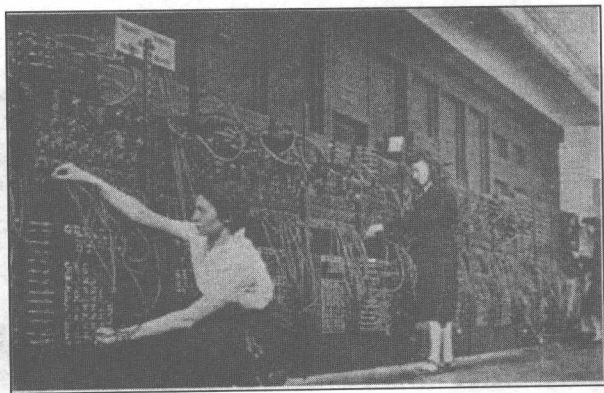


图 1-11 第一代电子计算机

在光纤通信领域作出重要贡献的科学家中,华裔物理学家高锟(如图 1-12 所示)功

不可没。从1957年开始,高锟即从事光导纤维在通信领域的研究。1964年,他提出在电话网络中以光代替电流,以玻璃纤维代替金属导线。1965年,他在《光频率介质纤维表面波导》一文中提出玻璃纤维损耗率低于20dB/km时,远距离光纤通信将成为可能。他由于在光纤领域的特殊贡献,被誉为“光纤之父”,并于2009年获得诺贝尔物理学奖。



图1-12 高锟(1933年~)

在各种各样的通信方式中,利用电信号来传递信息的通信方式称为电通信,这种通信具有迅速、可靠、准确等特点,且不受时间、地点、空间、距离的限制,因而得到飞速发展和广泛应用,本书讨论的通信技术是指电信技术。根据国际电信联盟(ITU)给出的定义,所谓电信是指利用有线、无线、光或者其他电磁系统传递、发射或者接收符号、文字、图像、声音或者其他任何性质的信息。下面介绍相关基本概念。

1.2 通信基本概念

1.2.1 通信系统模型

通信的任务是在信息源和收信者之间建立一个传输信息的通道,实现信息的传输。如果把通信概括为一个统一的模型,这一模型包括信息源、发送设备、信道、接收设备、信宿和噪声源。通信模型框图如图1-13所示。

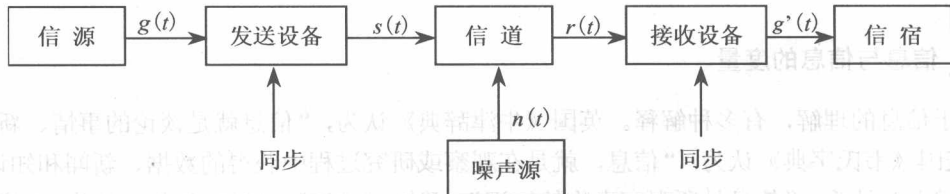


图1-13 通信模型示意图

通信模型中各部分的功能如下。

- (1) 信源:是指各种信息(如语音、文字、图像及数据等)的发出者,其作用是把各种可能消息转换成原始电信号。信源的信号为 $g(t)$, 随时间发生变化,通常不适于直接在信道上传输。
- (2) 发送设备:基本功能是完成信息源与信道之间的匹配,即将信息源发出的信息变换成适合在信道中传输的信号。经过变换的信号 $s(t)$,既载有信源的信息,同时又便于在信道上传输。
- (3) 信道:是信号传输介质的总称。按传输介质的种类可以分为有线信道(如双绞线、电缆、同轴电缆、光纤等)和无线信道(如可以传输电磁信号的自由空间)。按传输信号的形式又可以分为模拟信道和数字信道。
- (4) 接收设备:对接收信号进行与发送设备相反的变换处理,以便恢复发送端信息源送出的信号。由于接收的信号已经叠加有噪声干扰,接收设备应尽可能地抑制干扰,使所恢复的信号尽可能准确。
- (5) 信宿:是信息传输的终点,即信息的接收者。

(6) 噪声源：是指系统内各种干扰影响的等效结果，是信道中的噪声及分散在通信系统其他各处噪声的集中表示。通过信道后的信号 $r(t)$ ，在传输中受到了噪声 $n(t)$ 的干扰，接收设备进行相对于发送的反变换，反变换后的信号为 $g'(t)$ 信号，是信号 $g(t)$ 的近似值或估计值。

1.2.2 通信系统分类

通信系统的种类繁多，它们的具体性质也各不相同。按其不同形式可分为如表 1-1 所示的几类。

表 1-1

通信系统分类

分类形式	种 类
按通信内容分	语音通信、数据通信、图像通信、多媒体通信
按信号特征分	模拟通信系统、数字通信系统
按传输介质分	有线通信（双绞线、同轴电缆、光纤通信）； 无线通信（短波、微波、卫星）

1.2.3 信息与信号

通信的目的是为了获取信息 (Information)。信息是人类社会和自然界中需要传递、交换、存储和提取的抽象内容，为了传递和交换信息，必须通过语言、文字、图像和数据等将其表示出来。在通信中，信息的传递是通过信号传递来实现的。实现通信首先就要将传递的消息转换为声音信号、电信号或光信号，然后通过各种手段（微波、卫星、网络、光缆等）来进行传输。

1. 信息与信息的度量

对于信息的理解，有多种解释。英国《牛津辞典》认为，“信息就是谈论的事情、新闻和知识”。美国《韦氏字典》认为，“信息，就是在观察或研究过程中获得的数据、新闻和知识”。日本《广辞苑》认为，“信息是所观察事物的知识”。我国《辞海》（1989 年版）认为，“信息是通信系统传输和处理的对象，泛指消息和信号的具体内容和意义，通常需通过处理和分析来提取”。

Hartley（1928 年）认为，信息是选择通信符号的方式，并用选择的自由度来计量其大小。Shannon（1948 年）提出信息是减少不确定性。Wiener（1948 年）认为：信息是人们在适应外部世界，并反作用于外部世界的过程中，同外部世界进行互相交换的内容名称。Longo（1975 年）指出，信息是反映事物的形成、关系和差别的东西，而不在事物本身。Buckland（1991 年）认为，信息可以定义为事物或记录 (Record)。Tangue-Sutcliffe（1995 年）认为，信息是人产生的记录跨越时空和其他人交流的内容，他提出了“对应于用户的信息需求或兴趣的信息记录的信息度序列测度方法”。我国学者钟义信（1988 年）认为，信息是事物运动的状态和方式，是物质的一种属性。

在通信系统中，形式上传输的是消息，但实际上传输的是信息。通信的结果是消除或部分消除不确定性从而获得信息，因而信息量与不确定性消除的程度有关。

(1) 消息中所含的信息量与概率的关系

概率论知识告诉我们，事件的不确定程度，可以用它出现的概率来描述。消息中的信息量与消息发生的概率密切相关。消息出现的概率越大，则所含信息量就越少。如果事件是必

然的(概率为1),那么它传递的信息量就应该为0。如果事件是不可能的(概率为0),那么它有无穷的信息量。而且当我们得到一个不是由一个事件构成而是由若干个独立事件构成的消息,那么这时我们得到的总的信息量,就是若干个独立事件的信息量的总和。因此,消息 x 中所含的信息量 I 与消息出现的概率 $p(x)$ 间的关系式应当反映如下规律。

① 消息中所含的信息量,是该消息出现的概率 $p(x)$ 的函数,即

$$I = I[p(x)], \text{ 且 } 0 \leq p(x) \leq 1 \quad (1-1)$$

② 消息出现的概率越大,它所含的信息量越小;反之信息量越大。且当 $p(x)=1$ 时, $I=0$ 。

③ n 个相互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

$$I[p(x_1)p(x_2)\cdots p(x_n)] = I[p(x_1)] + I[p(x_2)] + \cdots + I[p(x_n)] \quad (1-2)$$

这样,可以得到 I 与 $p(x)$ 的关系式

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

式(1-3)为消息 x 所含的信息量。

(2) 信息量单位的确定

信息量单位的确定取决于式(1-3)中对数的底 a 的确定。

若 $a=2$,则信息量的单位为比特(binary unit, bit),即

$$I = \log_2 \frac{1}{p(x)} = -\log_2 p(x) \text{ (bit)} \quad (1-4)$$

若 $a=e$,则信息量的单位为奈特(nature unit, nat),即

$$I = \ln \frac{1}{p(x)} = -\ln p(x) \text{ (nat)} \quad (1-5)$$

若 $a=10$,则信息量的单位为哈特(Hartley, Hart),即

$$I = \lg \frac{1}{p(x)} = -\lg p(x) \text{ (Hart)} \quad (1-6)$$

目前应用最为广泛的单位是比特,且为了书写简洁,常将 $\log_2$ 简写为 $\log$ 。

【例 1-1】设中文电报中4出现的概率为1/4,5出现的概率为1/8,试分别求出4和5的信息量。

解:根据式(1-3)知:

$$I_4 = -\log p(x) = -\log(1/4) = 2(\text{bit})$$

$$I_5 = -\log p(x) = -\log(1/8) = 3(\text{bit})$$

值得注意的是,这里“比特”是指抽象的信息量单位,与计算机中“比特”的含义有所不同,它是代表二元数字(Binary Digit)。每个二元数字能提供的最大平均信息量为1bit。

(3) 信息熵

设离散信息源是由 n 个符号组成的集合,称为符号集。符号集中的每一个符号 x_i 在消息中分别按概率 $p(x_i)$ 独立出现,其概率空间为

$$\left(\begin{matrix} x_1, x_2, \dots, x_n \\ p(x_1), p(x_2), \dots, p(x_n) \end{matrix} \right), \text{ 且 } \sum_{i=1}^n p(x_i) = 1 \quad (1-7)$$