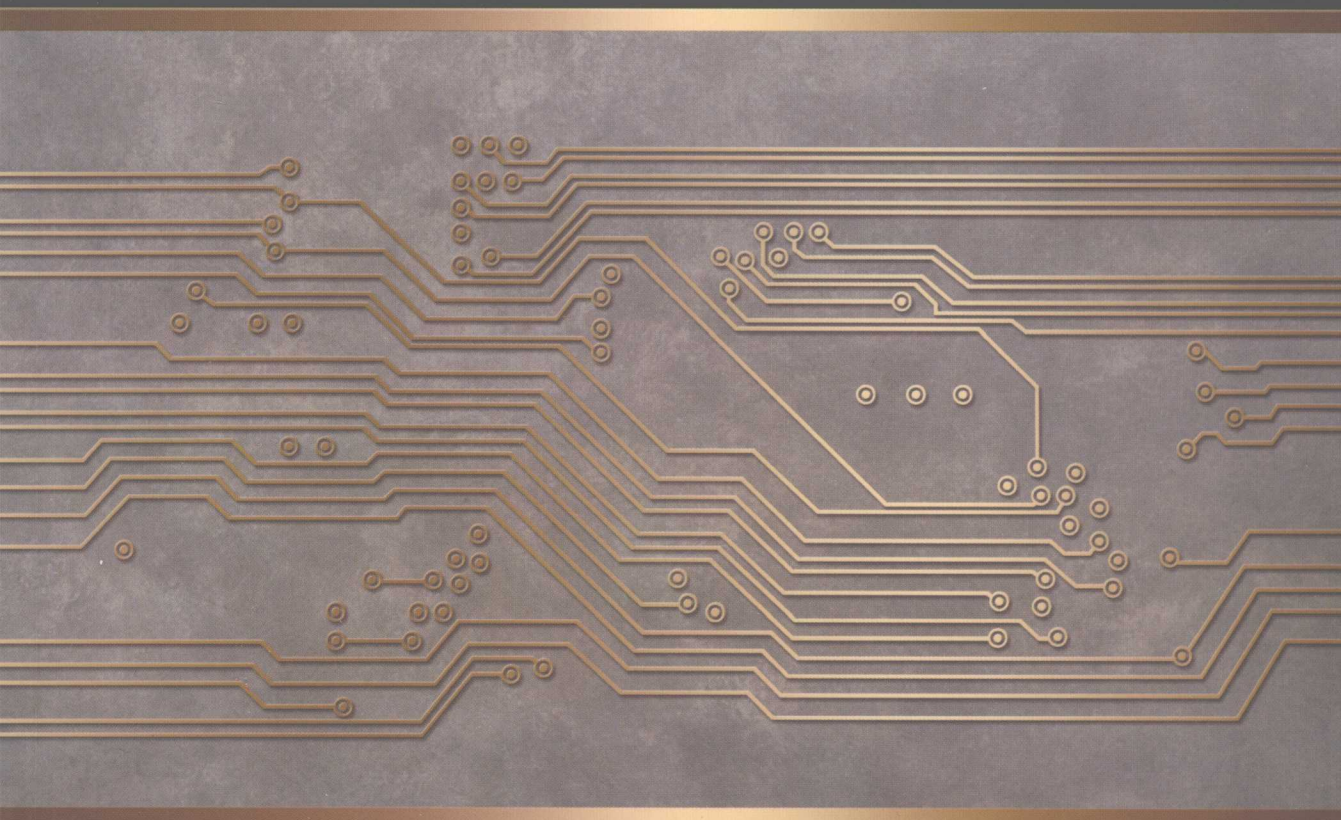


新编电气与电子信息类本科规划教材

现代通信技术与系统

王兴亮 主编



電子工業出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

新编电气与电子信息类本科规划教材

现代通信技术与系统

Modern Techniques and Systems of Communication

王兴亮 主编

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本教材着眼于通信技术的发展,系统地论述现代通信技术与系统的相关知识,包括通信基础、数字通信、数据通信、抗干扰通信、微波通信、卫星通信、移动通信、光通信和接入网技术,共9章内容。

本教材的特点是内容新颖,语言简练,编排系统全面,材料充实丰富,反映了当今通信技术发展和应用的最新情况。在文字叙述中突出概念的描述,避免烦琐的公式推导,重点讲述各种通信技术的性能和物理意义,并列举大量例子加以说明。每章前面都有教学要点,每章结束都有小结,并附有适量的思考与练习题。读者可通过华信教育资源网(<http://www.huaxin.edu.cn>)注册下载免费电子教案。

本教材可用作非通信专业本科生教材,也可用作信息与通信工程、计算机通信及其他相关专业大学专科生教材,还可供IT行业的相关科技人员阅读和参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

现代通信技术与系统 / 王兴亮主编. —北京: 电子工业出版社, 2008.6

(新编电气与电子信息类本科规划教材)

ISBN 978-7-121-06518-7

I. 现… II. 王… III. ①通信技术-高等学校-教材②通信系统-高等学校-教材 IV. TN91

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第057919号

策划编辑: 韩同平

责任编辑: 秦淑灵

印 刷: 北京季蜂印刷有限公司

装 订: 三河市万和装订厂

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编: 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 21.5 字数: 621千字

印 次: 2008年6月第1次印刷

印 数: 4000册 定价: 30.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010)88258888。

前 言

多年来,作者一直从事通信理论与技术的教学与科研工作,深切地感受到通信技术发展之迅猛,应用之广泛,通信专业的教材也是更迭不断,使人应接不暇。非通信专业的各方人士在日常事务中也必然接触到通信技术方面的知识,因而特别希望触摸到通信发展的脉络,渴望了解通信的新技术。那么,在校学习的非通信专业的大学生更是有强烈的愿望学习通信新技术,大多数院校的非通信专业都开设了通信新技术这门课程,《现代通信技术与系统》正是在这种环境下应运而生的。

通信专业的教材一般注重原理的论述,有一定的理论深度,不适合非通信专业的学生学习。而本教材针对非通信专业的学生和各方面的人士,着重论述通信技术的发展和应用情况,避免烦琐的理论推导,尽量用通俗易懂的语言讲述问题。目前,市场上出现的一些通信技术方面的教材,作者感觉不能反映通信技术的最新技术,要么内容单一,要么技术陈旧,要么语言不便于非通信方面的人士自学。本教材正是从上述几个问题入手,着眼于通信技术的发展,系统地讲述了现代通信技术与系统的相关内容,包括通信基础、数字通信、数据通信、抗干扰通信、微波通信、卫星通信、移动通信、光通信和接入网技术,共9章内容。

本教材是作者长期教学经验和科研成果的结晶。该书的初稿先后在空军工程大学、西安邮电学院及西安多家民办院校中试用,征求了各方专家和授课老师的意见和建议,且反复修改,反映教学效果良好。本教材还作为空军工程大学国家精品课程“通信原理”的配套教材,供相关专业学生选修课使用。

本教材的特点如下:

- (1) 内容新颖,反映了当前最新的通信技术和应用情况;
- (2) 内容系统全面,材料充实丰富;
- (3) 语言简练、通俗易懂、条理清楚,便于自学;
- (4) 突出概念的描述,避免烦琐的公式推导,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;
- (5) 图文并茂,实用性强;
- (6) 每章的前面有教学要点,结束有小结,并附有适量的思考与练习题。

本教材不但可用作非通信专业本科生教材,也可用作信息与通信工程、计算机通信及其他相近专业大学专科生教材,参考学时为40~50学时。目录中打星号“*”的章节为选学内容。

本教材由王兴亮教授主编,并编写了第1、2、5、8、9章,张德纯教授编写了第3章,李成斌研究员编写了第4章,李伟博士参与编写了第5、6、7章,张亮、周一帆、任啸天、刘敏、侯灿靖、牟京燕、刘莎、储楠、蒋波也参与了教材编写工作。王兴亮教授统编全书。

限于编著者水平,教材缺点和错误在所难免,欢迎各界读者批评斧正。

E-mail: 8185wxl@21cn.com; wxl20060910@yahoo.com.cn

编著者

2008年3月于西安
空军工程大学

绪 论

通信技术的发展日新月异，一日千里，各种通信新技术正在不断地应用到日常生活中，并以此改变着人们的沟通方式，同时也不断影响着整个社会、经济、文化和政治生活等的各个领域，人们要通过信息化开创新的工作方式、管理方式、商贸方式、金融方式、思想交流方式、文化教育方式、医疗保健方式以及消费与生活方式；人们更加需要随时随地获取信息，采用更多、更加便捷的方式来满足多媒体化、多样化、全球化和个性化的信息交流。

数字通信是当今通信技术发展的首要目标。数字通信是用数字信号作为载体来传输消息，或用数字信号对载波进行数字调制后再传输的通信方式。它可传输电报、数字数据等数字信号，也可传输经过数字化处理的语音和图像等模拟信号。数字通信抗干扰能力强，通信质量不受距离的影响，能适应各种通信业务的要求，便于采用大规模集成电路，便于实现保密通信和计算机管理。数字通信向超高速、大容量、长距离方向发展，高效编码技术日益成熟，语音编码已走向实用化，新的数字化智能终端将进一步得到发展。

数据是具有某种含义的数字信号的组合。为了实现数据通信，就必须进行数据传输，即将位于一地的数据源发出的数据信息通过数据通信网络传送到另一地的数据接收设备。如果一个通信系统传输的信息是数据，则这种通信称为数据通信。更具体来说，数据通信是指计算机和其他数字设备之间通过通信节点、有线或无线链路进行数字信息的交换。数据通信和数字通信有概念上的区别，数据通信是一种通信方式，而数字通信则是一种通信技术体制。

扩频通信是将待传送的信息数据被伪随机编码调制，实现频谱扩展后再传输；接收端则采用相同的编码进行解调及相关处理，恢复原始信息数据。扩频通信的优点：抗干扰；抗噪声；抗多径衰落；具有保密性；功率谱密度低，具有隐蔽性和低的截获概率；可多址复用和任意选址；高精度测量等。它广泛应用于军事通信、电子对抗以及导航、测量等各个领域，直到 20 世纪 80 年代初才被应用于民用通信领域。

微波是电磁波的一种，频率在 300 MHz~300 GHz 的射频无线信号称为微波信号。由于它的穿透性较强，不能被电离层反射又容易被地面吸收，故只能直线传播，传播距离只有几十千米到一百多千米，所以像手机的通信就要靠基站来维持。

微波通信由于其频带宽、容量大，可以用于各种电信业务的传送，如电话、电报、数据、传真以及彩色电视等，均可通过微波电路传输。发达国家的微波中继通信在长途通信网中所占的比例高达 50% 以上。随着 GSM、CDMA 及 3G 网络的兴建，微波设备在移动通信网络建设中的重要作用是不容忽视的。

卫星通信简单地讲就是地球上的无线电通信站间利用卫星作为中继而进行的通信。卫星通信系统由卫星和地球站两部分组成。卫星通信的特点是：通信范围大；只要在卫星发射的电波所覆盖的范围内，任何两点之间都可进行通信；不易受陆地灾害的影响；只要设置地球站电路即可开通；同时可在多处接收，能经济地实现广播、多址通信；电路设置非常灵活，可随时分散过于集中的话务量；同一信道可用于不同方向或不同区间（多址连接）。20 世纪 90 年代以来卫星通信也向全面满足个人通信和宽带通信需求的方向发展。

移动通信是指通信的双方至少一方是在移动中进行信息交换的通信方式，是现代通信中发展最为迅速的一种通信手段，它是固定通信的延伸，也是实现人类理想通信必不可少的手段。移动通信已发展成为有线通信、无线通信融为一体，固定、移动相互连通的通信系统。

移动通信系统具有以下特点：(1)利用无线电波进行传播，多径效应引起信号衰落；(2)移动形成的多普勒频移将产生附加调制；(3)强干扰情况下工作，主要干扰有人为干扰、互调干扰、邻道干扰及同频干扰；(4)无线频率资源有限，必须采用频谱和无线频道有效利用技术；(5)移动台随持有者经常移动，故移动通信必须具有位置登记，越区切换及漫游访问等跟踪交换技术。移动通信趋向高码率、宽频带、低价格方向发展。

光通信是一种以光波为传输媒质的通信方式。光波和无线电波同属电磁波，但光波的频率比无线电波的频率高，波长比无线电波的波长短。因此，它具有传输频带宽、通信容量大和抗电磁干扰能力强等优点。

所谓的全光网络，是指光信号在网络传输及交换过程中始终以光的形式实现，无须经过光/电变换。特别是波分复用(WDM)、空分复用、时分复用和码分复用等复用技术的出现，丰富了光信号交换和控制的方式，使得全光网络的发展呈现出全新的面貌。未来全光网络的主要构架就是以 WDM 技术为主导，结合光时分复用(OTDM)和光码分复用(OCDMA)技术。OTDM 技术可以使一个固定波长的光波携带信息量十几倍、几十倍地增长，OCDMA 则提供一种全光的接入方式。高速、海量的全光网是未来通信网的发展方向。

接入网是由业务节点接口(SNI)和相关用户网络接口(UNI)组成的，为传送电信业务提供所需承载能力的系统，经 Q 接口进行配置和管理。因此，接入网可由三个接口界定，即网络侧经由 SNI 与业务节点相连，用户侧由 UNI 与用户相连，管理方面则经 Q 接口与电信管理网(TMN)相连。

根据接入网框架和体制要求，接入网的重要特征有：①接入网对于所接入的业务提供承载能力，实现业务的透明传送；②接入网对用户信令是透明的，除了一些用户信令格式转换外，信令和业务处理的功能依然在业务节点中；③接入网的引入不应限制现有的各种接入类型和业务，接入网应通过有限的标准化的接口与业务节点相连；④接入网有独立于业务节点的网络管理系统，该系统通过标准化的接口连接 TMN，TMN 实施对接入网的操作、维护和管理。

特别是无线接入技术，是近些年迅速发展起来的新技术领域，从概念上产生了一个重大的飞跃，即不需要缆线类物理传输媒质而采用无线传播手段来代替部分接入网甚至入网的全部，从而达到降低成本、提高灵活性和扩展传输距离的目的。Wi-Fi 和 WiMax 技术，是最近几年通信界讨论的热门话题。

Wi-Fi 表示“无线保真”，指具有完全兼容性的 802.11 标准 IEEE 802.11b 子集，它使用开放的 2.4 GHz 直接序列扩频，最大数据传输速率为 11 Mb/s，也可根据信号强弱把传输率调整为 5.5 Mb/s、2 Mb/s 和 1 Mb/s 带宽。Wi-Fi 的传输范围为室外最大 300 米，室内有障碍的情况下最大 100 米，是现在使用得最多的无线接入手段。

WiMAX 全称为 World Interoperability for Microwave Access，即全球微波接入互操作性。WiMAX 的另一个名字是 802.16。IEEE 802.16 标准，又称宽带无线接入(BWA, Broadband Wireless Access)标准。它是一种无线城域网(WMAN)技术，是针对微波和毫米波频段提出的一种新的空中接口标准。它用于将 802.11a 无线接入热点连接到互联网，也可连结公司与家庭等环境至有线骨干线路。它可作为线缆和 DSL 的无线扩展技术，从而实现无线宽带接入。WiMAX 与 Wi-Fi 一样，都是用于传输无线信号的技术，但 Wi-Fi 解决的是无线局域网的接入问题，而 WiMAX 解决的是无线城域网的问题。Wi-Fi 只能把互联网的连接信号传送到 100 米远的地方，WiMAX 则能把信号传送 50 千米之远。而且，网络连接速度也将飙升至每秒 70 兆位，而现在 Wi-Fi 每秒 54 兆位的速度就已经可以在 1 秒钟内完成 1 个小时 MP3 歌曲的下载。

我深信，通过以上课程内容的学习，读者一定能够对通信系统和通信技术有一个全面的了解，进而为进入工作岗位奠定良好的基础。

目 录

第 1 章 通信基础	(1)
1.1 通信的概念	(1)
1.1.1 通信的定义	(1)
1.1.2 通信的分类	(1)
1.1.3 通信的方式	(2)
1.1.4 通信系统的模型	(4)
1.2 信息论基础	(5)
1.2.1 信息的度量	(5)
1.2.2 平均信息量	(6)
1.3 通信系统的性能指标	(7)
1.3.1 一般通信系统的性能指标	(7)
1.3.2 通信系统的有效性指标	(7)
1.3.3 通信系统的可靠性指标	(9)
1.4 通信信道的基本特性	(9)
1.4.1 信道的概念	(9)
1.4.2 传输信道	(12)
1.4.3 信道内的噪声	(13)
1.4.4 常见的几种噪声	(14)
1.4.5 信道容量	(16)
小结	(19)
思考与练习 1	(19)
第 2 章 数字通信	(21)
2.1 数字通信系统模型	(21)
2.1.1 数字基带传输通信系统	(21)
2.1.2 数字频带传输通信系统	(21)
2.1.3 模拟信号数字化传输通信系统	(22)
2.1.4 数字通信的主要优缺点	(22)
2.2 模拟信号的数字化	(23)
2.2.1 A/D 转换	(23)
2.2.2 D/A 转换	(30)
2.2.3 PCM 30/32 路典型终端设备	(31)
2.3 准同步数字体系 (PDH)	(33)
2.3.1 数字复接的概念和方法	(34)
2.3.2 同步复接与异步复接	(34)

2.3.3	PCM 高次群	(35)
2.4	同步数字体系 (SDH)	(36)
2.4.1	SDH 的基本概念	(36)
2.4.2	SDH 的速率和帧结构	(36)
2.4.3	同步复用与映射方法	(37)
2.5	数字基带传输系统	(39)
2.5.1	数字基带信号的常用码型	(39)
2.5.2	数字基带传输系统性能	(42)
2.6	数字频带传输系统	(44)
2.6.1	二进制振幅键控 (2ASK)	(44)
2.6.2	二进制频移键控 (2FSK)	(47)
2.6.3	二进制相移键控 (2PSK)	(51)
2.6.4	二进制数字调制系统的性能比较	(55)
小结		(57)
思考与练习 2		(57)
第 3 章	数据通信	(61)
3.1	概述	(61)
3.1.1	数据通信的概念	(61)
3.1.2	数据通信与计算机网络	(62)
3.1.3	通信网络体系结构	(64)
3.1.4	通信网链路选择与控制	(67)
3.1.5	数据通信的发展趋势	(68)
3.2	数据传输	(69)
3.2.1	数据传输信道	(69)
3.2.2	数据传输方式	(70)
3.2.3	数据传输技术	(72)
3.3	数据交换	(74)
3.3.1	电路交换	(74)
3.3.2	分组交换	(77)
3.3.3	帧中继	(79)
3.3.4	ATM 交换	(81)
3.3.5	几种交换方式的比较	(87)
*3.4	网络互连技术	(88)
3.4.1	网络互连	(88)
3.4.2	网际互连协议	(89)
3.4.3	互连网络原理	(96)
3.4.4	网络互连应用	(105)
小结		(115)
思考与练习 3		(116)

第4章 抗干扰通信	(117)
4.1 扩频通信概述	(117)
4.2 直接序列扩频系统	(122)
4.2.1 扩频通信的基本原理	(122)
4.2.2 直接序列扩频信号	(124)
4.2.3 直接序列扩频信号的相关解扩	(126)
4.3 跳频(FH)扩频通信系统	(130)
4.3.1 跳频通信的基本原理	(130)
4.3.2 跳频通信的数学模型	(131)
4.3.3 双通道跳频系统	(133)
4.3.4 调频信号的解调	(133)
4.3.5 跳频通信系统的技术特点	(135)
*4.4 跳时系统(TH)	(136)
*4.5 混合扩展频谱系统	(137)
*4.6 无线信道抗干扰技术	(138)
4.6.1 分集技术	(139)
4.6.2 信道编码	(143)
4.6.3 信道均衡	(151)
小结	(154)
思考与练习4	(154)
第5章 微波通信	(155)
5.1 概述	(155)
5.2 微波通信技术	(157)
5.3 微波通信系统	(161)
5.3.1 数字微波通信系统	(161)
5.3.2 数字微波通信系统的性能	(163)
5.3.3 大容量微波通信系统	(165)
小结	(168)
思考与练习5	(169)
第6章 卫星通信	(170)
6.1 概述	(170)
6.1.1 卫星通信的特点	(170)
6.1.2 卫星信号的传输	(171)
6.2 卫星通信技术	(171)
6.2.1 卫星信号的传播	(171)
6.2.2 信号的传输与复用	(173)
6.2.3 信号的调制与解调	(173)
6.2.4 编解码技术	(173)
6.2.5 信号处理技术	(173)
6.2.6 卫星通信中的多址技术	(177)

6.3	卫星通信系统	(180)
6.3.1	静止卫星通信系统	(180)
6.3.2	移动卫星通信系统	(183)
6.3.3	VSAT 卫星通信系统	(185)
6.3.4	卫星通信新技术	(187)
6.4	卫星通信技术在 GPS 系统中的应用	(190)
6.4.1	GPS 基本概念	(190)
6.4.2	GPS 系统组成及作用	(190)
6.5	卫星通信技术的发展	(192)
6.5.1	激光技术的应用	(192)
6.5.2	先进通信技术卫星	(193)
6.5.3	宽带多媒体卫星移动通信系统	(194)
	小结	(195)
	思考与练习 6	(195)
第 7 章	移动通信	(196)
7.1	概述	(196)
7.1.1	移动通信的特点	(196)
7.1.2	移动通信的分类	(197)
7.1.3	移动通信系统的小区制	(198)
7.2	移动通信的基本技术	(199)
7.2.1	蜂窝组网技术	(199)
7.2.2	多址技术	(204)
7.2.3	调制技术	(205)
7.2.4	交织技术	(206)
7.2.5	自适应均衡技术	(206)
7.2.6	信道配置技术	(207)
7.3	GSM 移动通信系统	(208)
7.3.1	GSM 系统的网络结构	(209)
7.3.2	GSM 系统的无线空中接口 (Um)	(212)
7.3.3	通用分组无线业务 (GPRS)	(218)
7.3.4	GSM 系统的区域定义	(221)
7.3.5	移动用户的接续过程	(222)
7.4	CDMA 移动通信系统	(223)
7.4.1	CDMA 的概念	(223)
7.4.2	CDMA 蜂窝系统的无线传输	(226)
7.5	第三代移动通信系统	(227)
7.5.1	WCDMA 系统简介	(227)
7.5.2	CDMA2000 系统简介	(229)
7.5.3	TD-SCDMA 系统简介	(232)
7.5.4	移动通信新技术	(234)

7.5.5 后 3G 移动通信关键技术	(241)
小结	(243)
思考与练习 7	(243)
第 8 章 光通信	(245)
8.1 光纤通信	(245)
8.1.1 光纤通信概述	(245)
8.1.2 光纤通信系统的组成	(247)
8.1.3 光纤通信的应用	(251)
8.2 波分复用技术	(252)
8.2.1 波分复用的基本原理	(252)
8.2.2 WDM 通信系统	(255)
*8.3 相干光通信技术	(258)
8.3.1 相干光通信的基本原理	(258)
8.3.2 相干光通信的关键技术	(260)
*8.4 光孤子通信	(261)
8.4.1 光孤子的基本特征	(261)
8.4.2 光孤子通信系统	(262)
*8.5 全光通信系统	(263)
8.5.1 全光通信的概念	(263)
8.5.2 全光通信技术	(264)
8.5.3 全光通信网	(266)
8.5.4 光时分复用	(268)
小结	(269)
思考与练习 8	(269)
第 9 章 接入网技术	(270)
9.1 概述	(270)
9.1.1 接入网的概念	(270)
9.1.2 接入网的功能模型	(271)
9.1.3 接入网的分类	(272)
9.1.4 接入网的拓扑结构	(276)
9.1.5 接入网的综合接入业务	(281)
9.2 xDSL 接入技术	(284)
9.2.1 HDSL 接入技术	(284)
9.2.2 ADSL 接入技术	(288)
9.2.3 VDSL 接入技术	(299)
*9.3 光纤接入技术	(303)
9.3.1 无源光网络 (PON) 接入技术	(303)
9.3.2 有源光网络 (AON) 接入技术	(307)
9.3.3 光纤接入技术的优点与劣势	(313)

9.4 无线接入技术	(314)
9.4.1 无线接入的概念	(314)
9.4.2 无线固定接入方法	(315)
9.4.3 无线接入新技术	(320)
小结	(328)
思考与练习 9	(329)
参考文献	(330)
10 光接入技术	(331)
10.1 光接入技术概述	(331)
10.1.1 光接入技术概念	(331)
10.1.2 光接入技术的作用	(331)
10.1.3 光接入技术的分类	(332)
10.1.4 光接入技术的网络结构	(332)
10.1.5 光接入技术的接入业务	(333)
10.2 光接入技术	(334)
10.2.1 HDPL 接入技术	(334)
10.2.2 ADPL 接入技术	(338)
10.2.3 VDSL 接入技术	(339)
10.3 光接入技术	(340)
10.3.1 无源光网络 (PON) 接入技术	(341)
10.3.2 有源光网络 (AON) 接入技术	(342)
10.3.3 光接入技术的优点与劣势	(343)

第1章 通信基础

【本章教学要点】 通信的概念 信息论基础 通信系统的性能指标 通信信道的基本特性

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, 是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。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输信息, 还要有存储、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。

在各种各样的通信方式中, 利用“电”来传递消息的方法称为电信 (Telecommunication), 这种通信具有迅速、准确、可靠等特点, 且几乎不受时间、空间的限制, 因而得到了飞速发展和广泛应用。

在自然科学中, “通信”一般指“电信”, 即利用有线电、无线电、光和其他电磁媒质, 对消息、情报、指令、文字、图像、声音等消息进行传输。电信业务可分为电报、电话、传真、数据传输及可视电话等, 从广义的角度看, 广播、电视、雷达、导航、遥测、遥控等也可列入电信的范畴。

1.1.2 通信的分类

常用的分类方法有以下几种。

1. 按传输媒质分

按消息由一地向另一地传递时传输媒质的不同, 通信可分为两大类: 一类为有线通信, 另一类为无线通信。所谓有线通信, 是指传输媒质为导线、电缆、光缆、波导等形式的通信, 其特点是媒质能看得见, 摸得着。所谓无线通信, 是指传输消息的媒质看不见、摸不着 (如电磁波) 的一种通信形式。

通常, 有线通信也可进一步分为明线通信、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。

2. 按信道中传输的信号分

信道是个抽象的概念, 这里我们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两种, 由此, 通信也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, 则称为模拟信号。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, 将在第2章介绍的脉冲幅度调制 (PAM, Pulse Amplitude Modulation) 信号, 经过调制后已调信号脉冲的某一参

量是可以连续变化的，但在时间上是不连续的。这里的“某一参量”是指我们关心的并作为研究对象的那一参量，而不仅指时间参量。当然，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。

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，则称为数字信号。数字信号有时也称离散信号，这个“离散”是指信号的某一参量是离散（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、短波通信和微波通信等。为了使读者对通信中所使用的频段有一个比较全面的了解，下面把通信使用的频段及其说明列入表 1-1 中，作为参考。

表 1-1 通信使用的频段及其说明

频率范围(<i>f</i>)	波长(<i>λ</i>)	符号	常用传输媒质	用途
3 Hz~30 kHz	10 ⁸ ~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 ~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 ~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 ~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、无线寻呼
300 MHz~3 GHz	100~10 cm	特高频 UHF	波导、分米波无线电	电视、空间遥测、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 ~10 ⁷ GHz	3 × 10 ⁻⁴ ~3 × 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

$$c = \lambda \cdot f \tag{1-1}$$

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，通常认为 $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ 。

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。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通信系统；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，供读者参考。

1.1.3 通信的方式

通信的工作方式通常有以下几种。

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，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。

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
		抑制载波双边带调幅 DSB
		单边带调幅 SSB
		残留边带调幅 VSB
	非线性调制	频率调制 FM
		相位调制 PM
	数字调制	幅度键控 ASK
		频率键控 FSK
		相位键控 PSK, DPSK, QPSK 等
		其他高效数字调制 QAM, MSK 等
脉冲调制	脉冲模拟调制	脉幅调制 PAM
		脉宽调制 PDM
		脉位调制 PPM
	脉冲数字调制	脉码调制 PCM
		增量调制 DM
		差分脉码调制 DPCM
		其他语言编码方式 ADPCM, APC, LPC

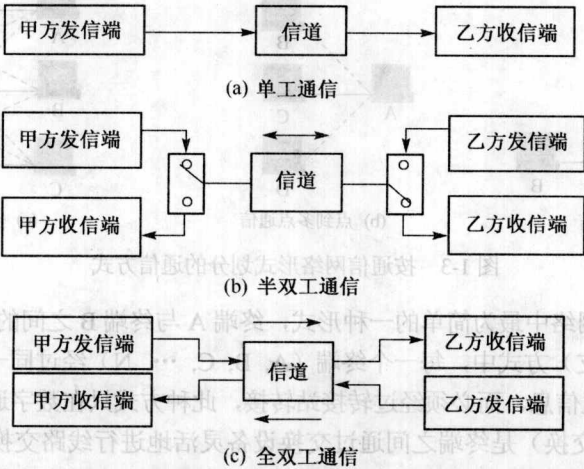


图 1-1 按消息传送的方向与时间划分的通信方式

单工通信是指消息只能单方向传输的通信方式，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 BB 机上。

半双工通信是指通信双方都能收发消息，但不能同时进行收发的通信形式，如使用同一频段的对讲机、收发报机等。

全双工通信是指通信双方可同时进行双向传输收发消息的通信方式。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很多，如普通电话、各种手机等。

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。所谓串序传输是指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数字信号序列同时在信道上传输,则称为并序传输,如图1-2(b)所示。

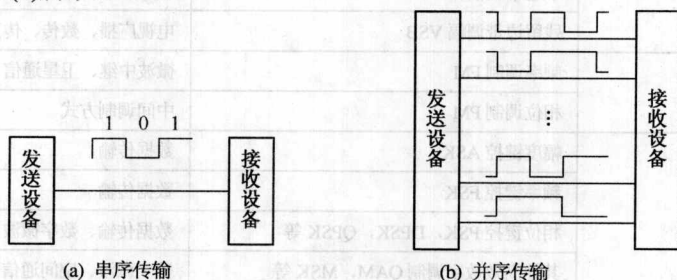


图 1-2 按数字信号排序划分的通信方式

一般的数字通信方式大都采用串序传输,其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有时也用到,其优点是传输时间较短,缺点是需要占用多条通路。

3. 按通信网络形式分

通信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。

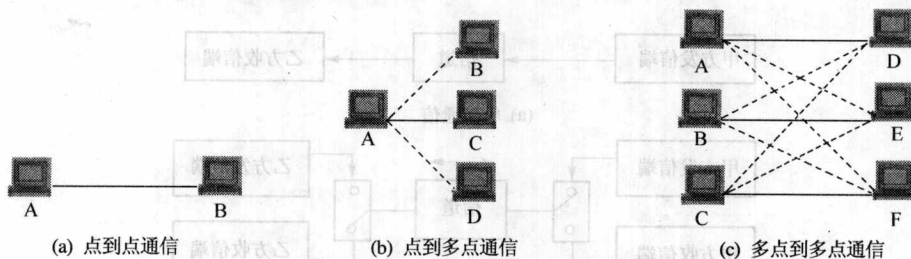


图 1-3 按通信网络形式划分的通信方式

点到点通信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。

点到多点通信(分支)方式中,每一个终端(A, B, C, ..., N)经过同一信道与转接站相连接,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,也可以是延时的。

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,点与点之间的通信仍是网通信的基础。

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,要实现消息从一地到另一地的传递,必须有三个部分:发送端、接收端和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，是信息的发生源。受信者，简称信宿，是信息的归宿。根据信源输出信号的性质不同可分为模拟信源和数字（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数字信源。两种信号形式可以互相转换。

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不同要求有不同的变换方式，通常要求有实现大功率发射、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、频分复用（FDM, Frequency Division Multiplexing）或时分复用（TDM, Time Division Multiplexing）、加密技术等。

3. 信道

信道是指传输信号的通道，是信号从发送设备到接收设备之间所经过的媒质。信道可以有线的也可以是无线的，两者均有多种传输媒质。信道既给信号以通路，也对信号产生各种干扰和噪声，直接影响通信的质量，其干扰和噪声的性能由传输媒质的固有特性决定。图 1-4 中的噪声源是信道中的所有噪声及分散在通信系统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、解密技术等，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质，则双方独立地进行发送和接收；如果两个方向共用一个传输媒质，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，还必须进行信息交换。传输系统和交换系统可以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）相似，但其含义更具普遍性、抽象性。