

内 容 简 介

本书全面、系统地介绍了现代通信原理、数据通信原理和相关的通信技术。全书分为通信原理、数据通信和现代通信技术三篇共 21 章, 内容包括通信与通信系统的基本概念、模拟调制、脉冲编码调制、增量调制、数字复接与同步数字系列、数字信号的基带传输、数字信号的频带传输、差错控制编码、数据通信与通信网、计算机网络体系结构、通信终端与通信设备、数据交换技术、网络互连设备及其通信概念、接入网技术、无线个人区域网络技术、IP 电话技术、光纤通信技术、卫星通信技术、移动通信技术、微波中继通信技术和 ITS 中的通信技术。

本书还精选了 21 篇有关历史人物、通信技术发明等方面的小资料, 供学生课余学习。

本书是专为普通高校计算机专业及相关的非通信专业而编写的本科生教材, 参考学时为 60 学时。本书不但考虑到满足教学要求, 同时也顾及到适合自学, 因此也可作为有志青年的自学教材和有关工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

通信原理与通信技术/张卫钢主编. —2 版. —西安: 西安电子科技大学出版社, 2008. 1

面向 21 世纪高等学校信息工程类专业规划教材

ISBN 978 - 7 - 5606 - 1248 - 5

I. 通… II. 张… III. ① 通信理论—高等学校—教材 ② 通信技术—高等学校—教材 IV. TN91
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 153033 号

责任编辑 张梁 云立实

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 陕西天意印务有限责任公司

版 次 2008 年 1 月第 2 版 2008 年 1 月第 5 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印 张 27.375

字 数 640 千字

印 数 22 001~23 000 册

定 价 36.00 元

ISBN 978 - 7 - 5606 - 1248 - 5/TN · 0225

XDUP 1519012 - 5

* * * 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。

第二版前言

本书第一版自2003年7月出版以来,在全国累计销售近2万册,受到广大师生和相关读者的普遍好评。为此,笔者深感欣慰和荣幸,感谢读者的厚爱和支持。但是,在使用本书的过程中,许多读者也指出了书中的错误和不足。

经过一年的准备,我们在保留第一版结构、风格和主要内容的基础上,对本书重新进行了编写,订正了各种错误;重新梳理了语句;对一些概念给予了更详细的说明;删除了“集群通信系统”、“寻呼系统”等内容;补充了“无线个人区域网络技术”的相关内容;大幅度地修改了第17~20章的内容。同时,为了提高知识性和可读性,在每章后面增加了一节反映通信史的“小资料”,以期学生在了解历史知识的同时,体会到投身科学技术研究与发明之中的酸甜苦辣,认识到那些科学巨匠、历史名人,不管是出身豪门还是家境贫寒,不管是受过良好教育还是自学成才,都有一些共同的特点,那就是勤于思考、勇于探索、善于发现、甘于寂寞、乐于奉献、坚忍不拔、吃苦耐劳、淡泊名利,从而培养学生具有良好的心理素质和科研能力。

本书参考学时为60学时,其中第一篇30学时,第二、三篇各15学时。

本书由张卫钢教授主编并执笔第1~3、5、8、9和21章;吴潜蛟编写第13、15、16章;任卫军编写第6、7、10、17~20章;第4、11、12、14章由张卫钢和吴潜蛟共同编写。吴潜蛟、任卫军还同时担任了本教材的副主编工作。本书采用了马海燕、石美红在第一版中编写的部分内容,袁博文、林晓燕、刘亚萍、吴意琴和赵玲也都为本书的出版付出了劳动,在此向他们表示感谢。

本书是在翻阅大量参考文献的基础上,结合作者多年教学心得和体会编写而成的。对于本书所列的参考文献的各位译、著者,在此表示衷心的感谢和崇高的敬意。

对于书中出现的疏漏,恳请读者斧正。希望广大读者一如既往地关心和支持本书。

作者 E-mail: wgzhang@chd.edu.cn

张卫钢
2007年6月于西安

第一版前言

当今社会是一个信息化的社会。

如果说 20 世纪是计算机的时代，那么 21 世纪将由计算机网络主宰世界。计算机网络作为一门科学技术、一种新兴文化、一种通信方式将全面改变人类的精神与物质生活，并将对科学技术的全面发展产生巨大的推动作用，这主要表现在以下几个方面：

电子交流：人与人之间的信息与情感交流方式由于生活和工作节奏的加快，将从传统的面对面对话、登门拜访、信函通信向电子交流方式发展，比如，普通电话、可视电话、E-mail 等等。网上聊天、网上交友将成为年轻人的新时尚。

电子商务：电子商务就是可以通过网络进行的所有人类经济活动的总和。有了电子商务，人们不用再为进货销售东奔西跑，不用再为生意合同频频会面，不用再为付款催账而成为银行的常客，人们足不出户即可在分秒之间全部完成这些昔日耗费大量精力和物力的商务活动。尤其是在对外贸易活动中，电子商务扮演着极为重要的角色。同样，对于喜欢上街购物而又没有时间的女士来说，到网上浏览各种网络商店，随心所欲地选购自己喜爱的商品，然后坐等送货上门，再通过网络付款，这不仅满足了生活所需，而且免去了腿脚之劳，将成为一种购物时尚。由电子定单、电子合同、电子货币、电子支票、网络银行、网络商店等基本要素构成的电子商务被认为是现代化的一个标志，是人们经济活动方式上的一次飞跃。

电视会议：传统的聚众开会将成为历史，不同地区甚至不同国家的人们将利用网络的多媒体功能，召开身临其境般的电视会议，这不仅节省了大量的差旅费，而且更迅速、更方便。

远程教育：远程教育不仅将为那些远离学校和难以入校的人们带来福音，也极大地拓宽了受教育面，同时也改变了传统的课堂教育模式，配合视频点播功能可使受教育者随时随地自由选择学校和课程并进行学习。

远程医疗：到医院看病治疗一直是人们比较头痛的问题，尤其是缺医少药的偏远地区。有了远程医疗，人们在家中通过网络不仅可寻医问药，还能遍邀世界各地的名医专家会诊治病，从而大大提高了人类健康水平和预防与治疗疾病的水平。

网上娱乐：你想打桥牌吗？你想找人对奕吗？你想与朋友进行游戏对抗吗？网络时代的很多娱乐活动将不再需要人们共聚一室，你可通过网络与世界各地的爱好者同享此乐。

视频点播：现在虽然电视节目有很多，但人们仍觉得可看（自己喜欢）的节目太少。视频点播将结束人们的这种烦恼，人们在家中可随意到自己热衷的电视台点播自己喜欢的各类电视节目。

凡此种种，不胜枚举。通过上述实例我们可以看到，尽管计算机网络的作用非常巨大，但它的主要功能就是信息的传输与交换，其核心技术就是通信技术，计算机网络实质上就是一种通信网络。另外，从 20 世纪 80 年代开始，我国大部分高等院校陆续开设计算机专

业,为我国的建设培养了大批的专业技术人员,但由于历史原因和条件所限,各校的计算机专业所设课程基本上都围绕在计算机的组成原理、硬件接口、操作系统、软件工程、数据结构、应用软件、数据库等单机应用的知识上。后来随着网络技术的发展,又增加了一些网络方面的课程,但从当前社会的需求和学生的实际能力,尤其是从网络技术方面的知识掌握和应用能力上看,我们认为计算机专业的学生还缺乏对通信技术的整体把握和相关知识的学习与了解,而其他非通信专业的学生也存在同样的问题。

目前不少计算机网络教材都介绍了一点有关数据通信的基本知识,但广度和深度远远不够,这使得学生在计算机网络及相关通信领域进行更深入的探索与研究时显得力不从心。因此,学习和掌握通信原理和通信技术方面的知识,是学习和掌握计算机网络的基础与核心。为此,我们从1999年在计算机本科专业开设了原来只属于通信专业骨干课程的“通信原理”以及前期的必修课程“信号与系统”。通过几年的教学实践,我们取得了许多宝贵的经验,并且得到了学生与社会的认可,但同时也发现了不少问题,其中最主要的就是教材不合适。目前有关通信原理的教材大都是针对通信专业的,对于计算机专业及其他非通信专业来说,数学内容过多、过深,有关通信的基础知识缺乏介绍与铺垫。因此,我们根据自己长期的教学经验和实践,参考部分大学的教学大纲,编著了这本观点独到、语句精练、论述清楚、内容丰富、紧跟潮流的大学本科教材,以期对21世纪的科学技术和人才培养贡献绵薄之力。

本书参考学时为50学时,其中第一篇30学时,第二、三篇各10学时。

本书主要有以下几个特点:

(1) 内容安排独具匠心。首次将传统的通信原理和新兴的数据通信以及当前主要的通信应用技术编排在一起,使学生通过本书的学习对当代各种通信技术有一个全面的认识与了解。

(2) 知识层次深浅得当。根据学生通信知识薄弱的情况,对学科知识进行了恰当取舍,突出定性分析,减少数学推导。

(3) 文笔通俗,亲和力强,可读性好。作者力求以通俗易懂的语言将枯燥的理论知识娓娓道来,以提高学生的阅读兴趣和阅读效率。

本书由张卫钢主编、统稿并执笔第1、2、3、8和第21章;马海燕编写第5、6、7、17、18和第20章;吴潜蛟编写第13、15和第16章;石美红编写第10、11章;第1.4节和第9章由石美红和张卫钢共同编写;第4、12、14章由吴潜蛟和张卫钢共同编写;第19章由马海燕和张卫钢共同编写。马海燕、石美红和吴潜蛟同时还担任本教材的副主编工作,为本书的出版做出了应有的贡献。王兴亮教授在百忙中审阅了书稿,李纪澄教授以极端负责的态度对本教材进行了复审,并提出了宝贵意见,对两位教授所付出的辛勤劳动我们表示深深的谢意。本书是在翻阅大量参考文献的基础上,结合作者多年教学的心得和体会编写而成的。

由于水平所限,难免有错误和讲述不当的地方,恳请读者斧正。

对本书选用的参考文献的各位译、作者,在此表示衷心的感谢和崇高的敬意。

编者

2003年5月

第 一 篇

通 信 原 理

第1章 通信与通信系统的基本概念

1.1 通信的概念

谈到通信(Communication),我们每个人都不陌生。古代的烽火报警,就是把敌人入侵的消息通过烽火传达给远方的人们(类似的例子还有抗日战争时期的“消息树”);舰船上的灯语和旗语通过灯的闪烁和旗子的挥动与另一舰船或港口进行无声的对话;传统的信函以文字形式把游子的思乡之情浓缩于尺素之中,再利用邮政媒体送达家人;在各种建设工地上,工人们经常使用对讲机相互联络,协调工作;在电影、电视中经常看到军人或警察利用无线电台进行作战指挥;还有电报、电传、电话、寻呼、移动电话、有线广播、无线广播、有线电视、无线电视等当代最为普及的通信手段都是现实生活中我们所熟悉的通信实例。

在上述实例中我们发现,无论是远古狼烟滚滚的烽火,还是今天四通八达的电话,无论是饱含情谊的书信,还是绚丽多彩的电视画面,尽管通信的方式各种各样,传递的内容千差万别,但都有一个共性,那就是进行信息的传递。因此,我们对通信下一个简练的定义:所谓通信,就是信息的传递。这里的“传递”可以认为是一种信息传输的过程或方式。

随着计算机技术和计算机网络技术的飞速发展,计算机网络通信也进入了我们的生活。通过因特网(Internet),我们足不出户就可看报纸、听新闻、查资料、看电影、玩游戏、上课、看病、聊天、购物、收发电子邮件。网络通信丰富多彩的功能极大地拓宽了技术的应用领域,使通信渗入人们物质与精神生活的各个角落,成为人们日常生活中不可缺少的组成部分,有关通信方面的知识与技术也就成为当代人应该了解和掌握的热门知识之一。

在这里,我们所讨论的通信不是广义上的通信,而是特指利用各种电信号和光信号作为通信信号的电通信与光通信。

作为一门科学、一种技术,现代通信所研究的主要问题概括地说就是如何把信息大量地、快速地、准确地、广泛地、方便地、经济地、安全地、长距离地从信源通过传输介质传送到信宿。各种通信技术都是围绕着这样几个目的而展开的,而“通信原理”就是介绍支撑各种通信技术的通信基本概念和数学理论基础。

由于“交通”与“通信”具有较强的类比性,因此我们在书中用了一些交通运输(包括公路和铁路运输)实例作为比较对象,比如运输/传输、运载工具/信号、货物/信息、道路/信道等。希望这样的比喻可以帮助大家更透彻地理解通信原理中的许多概念和问题。

1.2 通信系统

1.2.1 通信系统的定义与组成

交通是把货物(乘客)从出发地运输(搬移)到目的地,通信是把信息从信源传输到信宿。如果把用于运输货物或乘客的人、车、路的集合称为交通系统的话,那么,用于进行通信的设备硬件、软件和传输介质的集合就叫做通信系统(Communication System)。需要强调的是,过去对通信系统的定义没有软件部分,但随着计算机进入通信系统,通信软件就成为组成通信系统的基本要素,因此我们在定义中加入软件这一模块。从硬件上看,通信系统主要由信源、信宿、传输介质和接收、发送设备五部分组成,如图 1-1 所示(注意,图中的干扰可以理解为通信系统的一部分,因为在实际应用中,一个通信系统无法彻底消除干扰)。

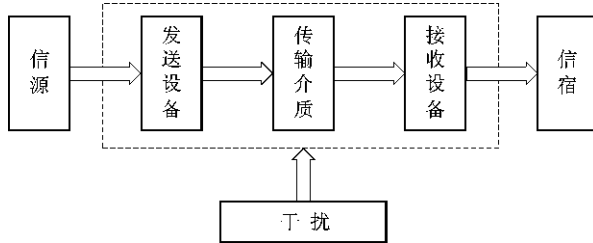


图 1-1 模拟通信系统的一般模型

有线长途电话通信系统包括送话器、电线、交换机、载波机、受话器等要素。广播通信系统包括话筒、扬声器、发送设备、无线电波、接收设备(收音机)等。两个通信系统实例示意图如图 1-2 所示。

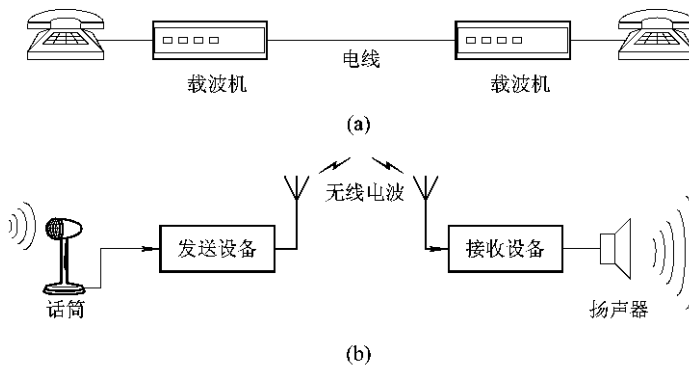


图 1-2 通信系统实例示意图

(a) 有线长途电话通信系统示意图; (b) 广播通信系统示意图

1.2.2 通信系统的分类

1. 按信号种类分类

根据信道传输信号种类的不同,通信系统可分为两大类:模拟通信系统(Analog Communication System)和数字通信系统(Digital Communication System)。信道中传输模拟信号的系统称为模拟通信系统,如大家熟悉的广播;信道中传输数字信号的系统称为数字通信系统(模型如图1-3(a)所示),比如数字移动通信系统。

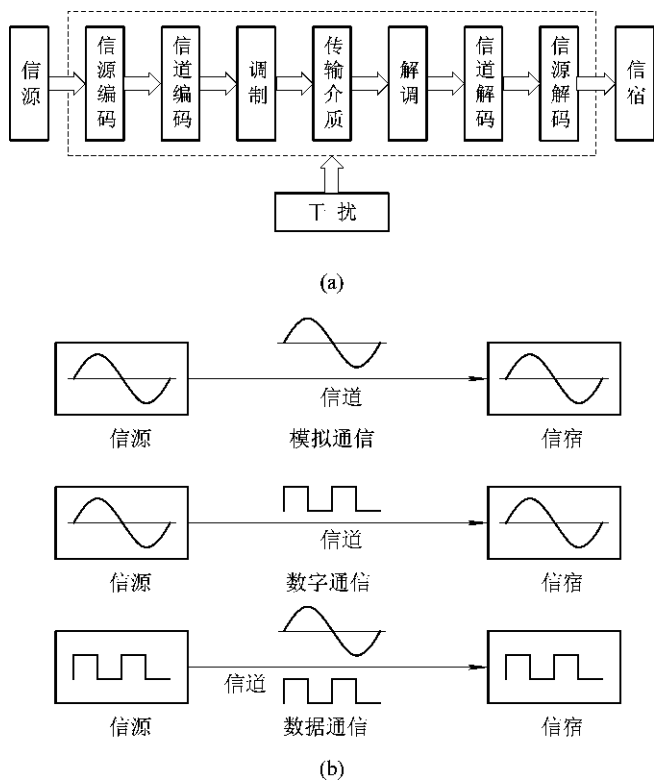


图1-3 数字通信系统示意图

(a) 数字通信系统模型; (b) 三种通信系统示意图

从图1-3(a)中我们看到,数字通信系统与图1-1的主要区别是多了信源编码、解码和信道编码、解码功能模块,而这正是数字通信系统的特点所在。信源编码主要完成的是将模拟信息(模拟信号)转换成数字信号的功能(信源解码的功能相反);信道编码是将信源编码输出的数字信号(一般是经自然编码后的数字信号。自然编码指的是用高电平表示“1”,低电平表示“0”的简单编码方式)变成适合于信道传输的码型(信道解码的功能相反),以提高传输的有效性和可靠性。有关内容我们在后面会有详细介绍。

需要说明的是,自从有了数据通信系统之后,这种以信道传输信号的种类为标准对通信系统进行的分类就显得不够严谨了,因为数据通信系统的信道可以是传输数字信号的信道,也可以是传输模拟信号的信道,或者说数据通信中的数据信号既可以以数字信号的形式在数字信道中传输(比如局域网),也可以以模拟信号的形式在模拟信道中传输(比如通

过“猫”——调制解调器上网)。

根据通信技术的现状,我们认为应该在传统分类方式的基础上,结合信源和信宿所处理的信号种类对通信系统重新进行分类。这样,我们就把通信系统分为三种:模拟通信系统、数字通信系统和数据通信系统(Data Communication System)。

这里需要明确模拟通信、数字通信和数据通信的概念:

(1) 模拟通信一般指的是信源发出的、信宿接收的和信道传输的都是模拟信号的通信过程或方式。因此,模拟通信系统可以说是以模拟信道传输模拟信号的系统。

(2) 数字通信是指信源发出和信宿接收的是模拟信号,而信道传输的是数字信号的通信过程或方式。因此,数字通信系统可以说是以数字信号的形式传输模拟信号的系统。

(3) 数据通信是随计算机和计算机网络的发展而出现的一种新的通信方式,它是指信源、信宿处理的都是数字信号,而传输信道既可以是数字信道也可以是模拟信道的通信过程(方式)。通常,数据通信主要指计算机(或数字终端)之间的通信。有关数据通信的内容将在第二篇详细介绍。

图 1-3(b)是三种通信系统(方式)示意图。

需要说明的是,随着通信技术的发展,数据通信的内涵在不断扩大,语音(话音)、视频等模拟信息经过 A/D 转换也可利用数据通信系统传输并且成为通信技术的发展趋势,也就是说,传统的数字通信业务将被数据通信业务所替代。

严格地讲,模拟通信和数字通信是在传输技术上对通信方式的一种划分,具有质的区别;而数据通信仅仅是为从信源形式上与模拟信息相区别而提出的一个新概念而已,在信号传输上可以采用模拟和数字技术,与模拟和数字通信没有质的区别,在功能上可以涵盖模拟和数字通信的业务。

电信号或光信号在传输时的一个主要特征是“衰减(Attenuation)”,即信号强度的减小。信号传输距离越长,信号频率越高,衰减就越大。另一个特征是信号的波形发生畸变(主要由衰减和干扰引起)。高质量的模拟通信应该是衰减和畸变都比较小,但实际的模拟通信系统很难满足人们对通信质量越来越高的指标要求。

数字通信产生的直接原因是为了提高模拟通信的质量,所以,数字通信可以理解为是模拟通信的升级。因为对通信双方而言,它们接触的仍然是模拟信号(或模拟信息)。如果只从信号传输的角度看(不考虑保密等),数字通信与模拟通信的主要差别仅仅是前者信宿接收到的信号质量更好一点而已,但它们的信号传输方式(传输系统)却迥然不同;而数据通信在信号传输上与数字通信大致相同(先不考虑模拟信道传输),但它的信源一般为数字信息(离散信息),所以数据通信在功能上可以认为是数字通信的延伸或分支。因此,从技术体制上看,通信方式仍然只分为模拟通信和数字通信两种。

我们可以用一个生活实例,来解释模拟通信和数字通信在信号传输方面的不同。一队游客在导游的带领下,沿着窄小的山道拾阶而上。最前面的导游(信源)拿起话筒对着后面的人(信宿)喊“快跟上,别掉队!”,这是模拟通信的信号传输方式;他也可以用传口令的方式让游客们依次将“快跟上,别掉队!”的命令传下去,这就是数字通信的信号传输方式。

数字通信具有以下特点：

(1) 抗干扰能力强。由于数字信号的取值个数有限(大多数情况下只有0和1两个值)，因此在传输过程中我们不太关心信号的绝对值，只注意相对值即可。比如设高电平5V为1，低电平0V为0，在传输时受噪声影响，5V变成8V，而我们只要看到大于5V的值认为是5V就行了(当然，0V受干扰也可能变成8V，以致于把数据0误认为数据1。但经过信道编码后，数据0不是用简单的低电平表示，因此，这样的误码就很少出现)。同时，传输中继器可再生信号，消除噪声积累。比如一个中继器收到一个受干扰而变成8V的信号，若是模拟通信，中继器就会原封不动地把这个8V信号放大后送往下一级，下一级接着放大再往下送，这样一级一级下去，噪声被不断地放大，形成噪声积累直到通信终端。如果是数字通信，第一个收到这个8V信号的中继器先认为该信号为一高电平信号，然后并不将该信号往下传，而是重新生成一个标准高电平信号(比如为5V)传往下一级，这样，噪声就不会像模拟通信那样被一级一级地放大，而是被中继器“隔离”，从而消除了噪声积累。

(2) 便于进行信号加工与处理。由于信号可以储存，因此可以像处理照片一样对信号随意加工处理(在技术允许的范围)。

(3) 传输中出现的差错(误码)可以设法控制，从而提高了传输质量。

(4) 数字信息易于加密且保密性强。

(5) 能够传输话音、电视、数据等多种信息，增加了通信系统的灵活性和通用性。

总之，数字通信的优点很多。但事物总是一分为二的，数字通信的许多长处是以增加信号带宽为代价的。比如，一路模拟电话信号的带宽为4kHz，而一路数字电话信号大概要占20~60kHz的带宽。这说明数字通信的频带利用率低。尽管如此，数字通信仍将是未来通信的发展方向。

2. 按传输介质分类

按传输介质的不同，通信系统又有无线通信系统与有线通信系统之分。利用无线电波、红外线、超声波、激光进行通信的系统称为无线通信系统。广播系统、移动电话系统、传呼通信系统、电视系统等都是无线通信系统。而用导线(包括电缆、光缆和波导等)作为介质的通信系统就是有线通信系统，如市话系统、闭路电视系统、普通的计算机局域网等。

随着通信技术、计算机技术和网络技术的飞速发展，单纯的有线或无线通信系统越来越少，实际通信系统常常是“无线”中有“有线”，“有线”中有“无线”。因此，无论是作为科学知识还是学科专业，当代的无线通信、有线通信和计算机网络三者的关系密不可分。

3. 按调制与否分类

按调制与否，通信系统可分为基带通信系统和调制通信系统。基带通信系统传输的是基带信号(指没有经过任何调制处理的信号)，而调制通信系统传输的是已调信号。

4. 按传送信息的物理特征分类

按传送信息的物理特征的不同，通信系统分为电话通信系统、电报通信系统、广播通信系统、电视通信系统和数据通信系统等。

5. 按工作波长分类

按工作波长的不同，通信系统可分为长波通信系统、中波通信系统、短波通信系统、微波通信系统和光通信系统等。

一种通信系统可以分属不同的种类，比如我们所熟悉的无线电广播既是中波通信系统（短波通信系统）、调制通信系统、模拟通信系统，也是无线通信系统。

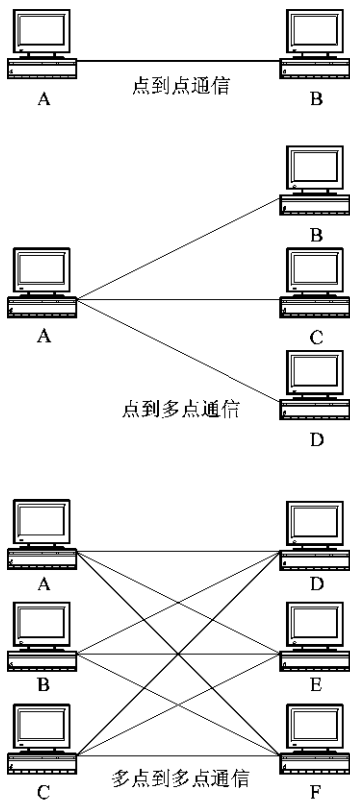
无论怎样划分通信系统，都只是在信号处理方式、传输方式或传输介质等外在特征上做文章，其通信的实质并没改变，即大量地、快速地、准确地、广泛地、方便地、经济地、安全地、长距离地传送信息。因此，我们在分析、研究、设计、搭建和使用一个通信系统时，只要抓住这个实质，就不会被系统复杂的结构、先进的技术和生僻的技术术语所迷惑。

1.3 通信方式

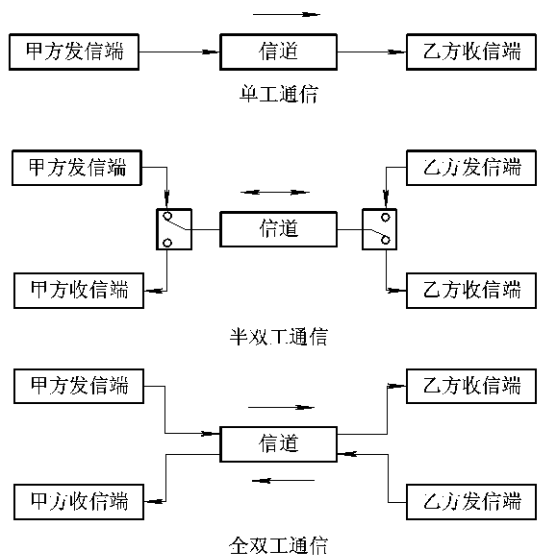
通信方式指通信双方或多方之间的工作形式和信号传输方式，它是通信各方在通信实施之前必须首先确定的问题。

根据不同的标准，通信方式也有多种分类法。

按通信对象数量的不同，通信方式可分为点到点通信（即通信是在两个对象之间进行的）、点到多点通信（一个对象和多个对象之间的通信）和多点到多点通信三种（多个对象和多个对象之间的通信），如图 1-4(a) 所示。



(a)



(b)

图 1-4 通信方式示意图

(a) 按通信对象数量分类；(b) 按信号传输方向与传输时间分类

根据信号传输方向与传输时间的不同,任意两点间的通信方式可分为如下几种:

(1) 单工通信(Simplex):在任何时刻,信号只能从甲方向乙方单向传输,甲方只能发信,乙方只能收信,比如广播电台与收音机、电视台与电视机(点到多点)、遥控玩具、航模(点到点)、寻呼等。

(2) 半双工通信(Half-Duplex):在任何时刻,信号只能单向传输,或从甲方向乙方,或从乙方向甲方,每一方都不能同时收、发信息,比如对讲机、收发报机以及问询、检索等之间的通信。

(3) 双工通信(Full-Duplex):在任何时刻,信号能够双向传输,每一方都能同时进行收信与发信工作,比如普通电话、手机。三种通信方式如图1-4(b)所示。

按通信终端之间的连接方式,通信方式可划分为两点间直通方式和交换方式。直通方式是通信双方直接用专线连接;而交换式的通信双方必须经过一个称为交换机的设备才能连接起来,如电话系统。

在数据通信中(主要指计算机通信),按数字信号传输的顺序,通信方式又有串行通信与并行通信之分;按同步方式的不同,又分为同步通信和异步通信。第二篇将专门介绍后两种通信方式。

一种通信方式可以具有多类性,比如广播电视既是一种单工通信方式也是一种点到多点的通信形式。

1.4 信道和传输介质

1.4.1 信道的概念

所谓信道,就是信号传输的途径。这与交通中的公路或铁路类似。根据通信的概念,信号必须依靠传输介质传输,所以传输介质被定义为狭义信道。另一方面,信号还必须经过很多设备(发送机、接收机、调制器、解调器、放大器等)进行各种处理,这些设备显然也是信号经过的途径。因此,把传输介质(狭义信道)和信号必须经过的各种通信设备统称为广义信道。

为了便于对模拟系统和数字系统进行分析,我们从功能上把广义信道分为调制信道和编码信道,如图1-5所示。

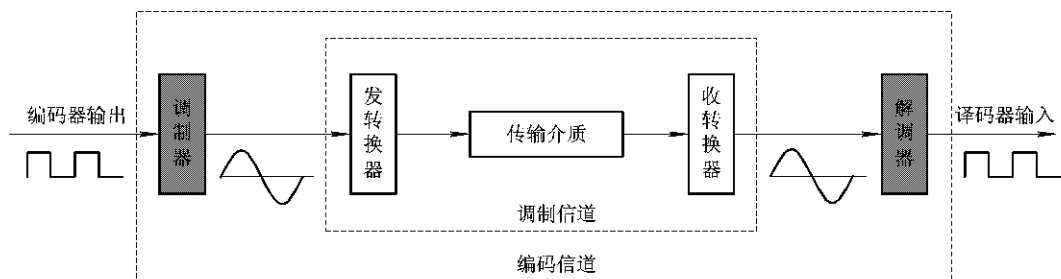


图 1-5 调制信道与编码信道示意图

(1) 调制信道是指在具有调制和解调过程的任何一种通信方式中,从调制器的输出到解调器的输入之间的信号传输途径。对于研究调制与解调的性能而言,可以不管信号在调制信道中作了什么样的变换,也可以不管选用了什么样的传输介质,我们只需关心已调信号通过调制信道后的最终结果,即只需关心调制信道输出信号与输入信号之间的关系而不考虑详细的物理过程。

对于数字通信系统来说,如果我们仅关心编码和译码,那么引入编码信道的概念将十分方便。

(2) 我们定义从编码器的输出到译码器的输入之间的信号传输途径为编码信道。编码信道与调制信道有明显的不同。调制信道对信号的影响是通过乘性干扰及加性干扰使已调制信号发生模拟性的变化;而编码信道对信号的影响则是一种数字序列的变换,即把一种数字序列变成另一种数字序列(产生误码)。

为了便于理解,我们把传输模拟信号的信道称为模拟信道(模拟信号经过的途径),把传输数字信号的信道称为数字信道(数字信号经过的途径)。因此,有时把调制信道看成是一种模拟信道,而把编码信道看成是一种数字信道。模拟信道和数字信道都在广义信道的范畴之中。

由图 1-5 可见,编码信道包含调制信道,故它要受调制信道的影 响。不过,从编码和译码的角度来看,这个影响已反映在解调器的输出数字序列中,即输出数字将以某种概率发生差错。显然,若调制信道特性越差,加性干扰越严重,则出现错误的概率也越大。

1.4.2 传输介质

传输介质(通信介质)指的是可以传播(传输)电信号(光信号)的物质,主要分为有线介质和无线介质。有线介质主要是各种线缆和光缆(类 比铁路、公路);无线介质主要是指可以传输无线电波(类 比飞机)的介质,即无线电波和光波的空间或大气。从通信系统的角度看,传输介质就是连接通信双方收、发信设备并负责信号传输的物质(物理实体)。

在现有的通信系统(包括计算机网络)中,用于信号传输的物理介质有很多种,每一种介质的带宽、时延、损耗、抗干扰能力、费用以及安装维护难度等特性都各不相同。下面我们简要介绍几种常用的传输介质。

1. 有线介质

有线介质通常指双绞线、同轴电缆、架空明线、多芯电缆和光纤等。

1) 双绞线(Twisted Pair)

双绞线又称为双扭线,它是由若干对且每对有两条相互绝缘的铜导线按一定规则绞合而成的。采用这种绞合结构是为了减少对邻近线对的电磁干扰。为了进一步提高双绞线的抗电磁干扰能力,还可以在双绞线的外层再加上一个用金属丝编织而成的屏蔽层。根据双绞线是否外加屏蔽层,它又可分为屏蔽双绞线(Shield Twisted Pair, STP)和非屏蔽双绞线(UnShield Twisted Pair, UTP)两类(如图 1-6 所示)。

双绞线既可用于模拟信号传输,也可用于数字信号传输,其通信距离一般为几到十几千米。导线越粗,通信距离越远(衰减越小),但导线价格也越高。由于双绞线的性能价格比比其他传输介质要好,因此使用十分广泛。随着局域网上数据传输速率的不断提高,美国电子工业协会的远程通信工业分会(EIA/TIA)在 1995 年颁布了新的商用建筑物电信布



图 1-6 双绞线示意图

线标准 EIA/TIA - 586 - A。此标准规定了五种 UTP 的标准：

第一类双绞线就是住宅常用的缠绕式电话线，只适合语音传输，不适合高速数据传输。

第二类传输速率为 4 Mb/s，可用于传输语音和数据。

第三类是局域网 LAN 采用的最低档双绞线，传输速率可达 10 Mb/s。

第四类主要用于令牌环网，传输速率为 16 Mb/s。

第五类可提供 100 Mb/s 的传输速率，而超五类双绞线可保证 155 Mb/s 的传输速率。

第五类双绞线可用于光纤分布数据接口(FDDI)、快速以太网和异步转移模式(ATM)。

最常用的 UTP 是第三类线和第五类线。第五类线与第三类线的主要区别是：大大增加了每单位长度的绞合次数；在线对间的绞合度和线对内两根导线的绞合度上都经过了精心的设计，并在生产中加以严格的控制，使干扰在一定程度上得以抵消，从而提高了线路的传输特性。

2) 同轴电缆(Coaxial Cable)

同轴电缆由内部导体(单股实心或多股绞合铜质芯线)、内部绝缘体、网状编织的外导体铝制屏蔽层以及外部绝缘体(塑料外层)所组成(如图 1-7 所示)。同轴电缆的这种结构使其具有高带宽和较好的抗干扰特性，并且可在共享通信线路上支持更多的站点。按特性阻抗数值的不同，同轴电缆又分为两种：一种是 50 Ω 的基带同轴电缆；另一种是 75 Ω 的宽带同轴电缆。

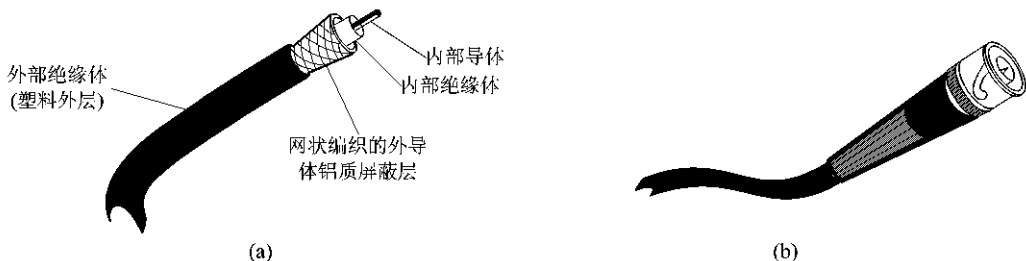


图 1-7 同轴电缆结构示意图

(a) 一段同轴电缆；(b) 一段与连接器相连的同轴电缆

(1) 基带同轴电缆。一条基带同轴电缆只支持一个信道，传输带宽为 1~20 Mb/s。它能够以 10 Mb/s 的速率把基带数字信号传输 1~1.2 km。所谓基带数字信号传输，是指按数字信号位流形式进行的传输，无需任何调制。它是局域网中广泛使用的一种信号传输技术。

(2) 宽带同轴电缆。宽带同轴电缆支持的带宽为 300~450 MHz，可用于宽带数据信号的传输，传输距离可达 100 km。所谓宽带数据信号传输，是指可利用多路复用技术在宽带

介质上进行多路数据信号的传输。它既能传输数字信号，也能传输诸如语音、视频等模拟信号，是综合服务宽带网的一种理想介质。

3) 光纤(Optical Fiber)

光导纤维(简称光纤)是光纤通信系统的传输介质。由于可见光的频率非常高，约为 10^8 MHz 的量级，因此光纤通信系统的传输带宽远远大于其他各种传输介质的带宽，是目前最有发展前途的有线传输介质。

光纤呈圆柱形，由纤维芯、包层、绝缘层和外套三部分组成(如图 1-8 所示)。芯是光纤最中心的部分，它由一条或多条非常细的玻璃或塑料纤维线构成，每根纤维线都有它自己的封套。由于这一玻璃或塑料封套涂层的折射率比芯线低，因此可使光波保持在芯线内。环绕一束或多束有封套纤维的外套由若干塑料或其他材料层构成，以防止外部的潮湿气体侵入，并可防止磨损或挤压等伤害。

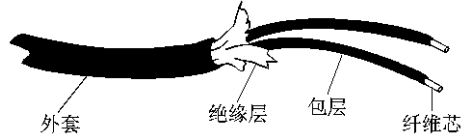


图 1-8 光纤结构示意图

根据光纤传输数据的模式不同，可分为多模光纤和单模光纤两种。

多模光纤意指光在光纤中可能有多条不同角度入射的光线在一条光纤中同时传播，如图 1-9(a)所示。这种光纤所含纤芯的直径较粗，其范围是 $50\sim 100\ \mu\text{m}$ 。光线在多模光纤中传输时因入射角的不同，会导致不同的光线行进的距离不同，即光线在光纤中传输的时间不一样。由此产生的一个结果是，输入的光脉冲在光纤的输出端离开时可能会有些扩散(或色散)，从而导致光脉冲的波形失真。

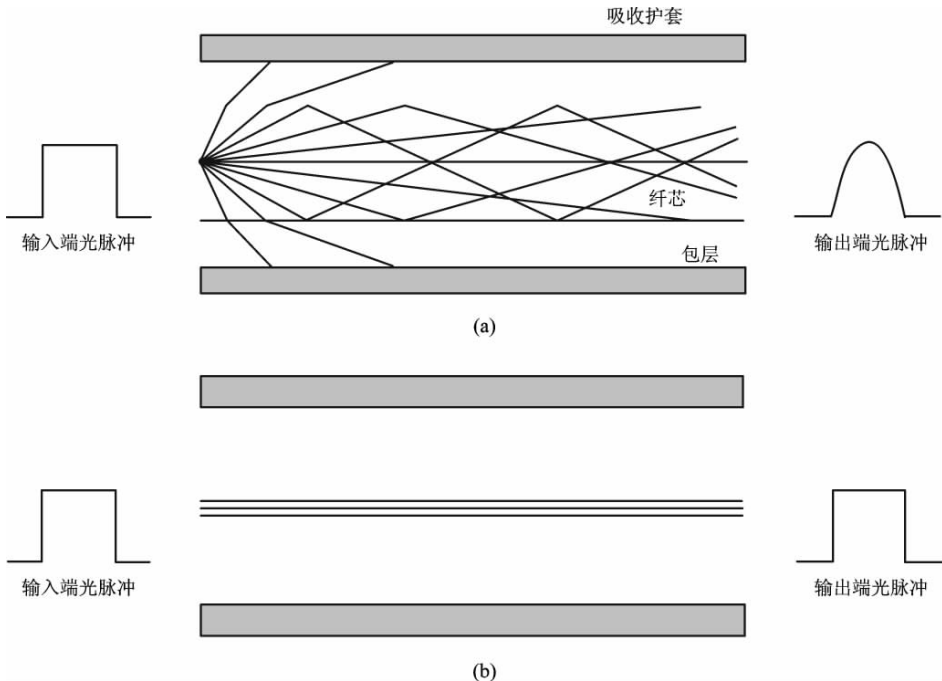


图 1-9 两种光纤传输示意图

(a) 多模; (b) 单模

单模光纤意指光在光纤中的传播没有反射，而沿直线传播，如图 1-9(b)所示。这种光纤的直径比多模光纤细得多，细到只有一个光的波长(直径在 $7\sim 9\ \mu\text{m}$ 之间)，就像一根波导那样，光线不能在纤芯中反射传播，只允许光线一直向前传播，且以很小的失真离开光纤。这两种光纤的性能比较见表 1-1。

表 1-1 单模光纤与多模光纤的比较

项 目	单模光纤	多模光纤
距离	长	短
数据传输率	高	低
光源	激光	发光二极管
信号衰减	小	大
端接	较难	较易
造价	高	低

光纤不易受电磁干扰和噪声影响，可进行远距离、高速率的数据传输，而且具有很好的保密性能。但是，光纤的衔接、分岔比较困难，一般只适应于点到点或环形连接。FDDI(光纤分布数据接口)就是一种采用光纤作为传输介质的局域网标准。

2. 无线介质

无线介质主要由无线电波和光波作为传输载体。

在光波中，红外线、激光是常用的信号载体，前者广泛用于短距离通信，如电视、录像机、空调器等家用电器使用的遥控装置；后者可用于建筑物之间的局域网连接，因为它具有高带宽和定向性好的优势，但是，由于受天气、热气流或热辐射等影响，使得它的工作质量存在不稳定性。

由于无线电波容易产生，传播距离远，能够穿过建筑物，而且既可以全方向传播，也可以定向传播，因此绝大多数无线通信都采用无线电波作为信号传输的载体。

频率的概念大家并不陌生，在电信领域我们把一个信号单位时间变化的周期数称为该信号的频率，用单位“赫兹(Hz)”表示。亨利希·鲁道夫·赫兹是一位德国物理学家，他的研究导致了无线电波(电磁波)的发现，并论证了电磁波以光速传播，得出了无线电波是电磁辐射的一种形式的重要结论。为纪念他的杰出贡献，人们用他的名字作为频率的单位。

为了合理、充分地利用无线电频率资源，根据频率高低的不同(波长的不同)，人们将无线电波分为 9 个大波段(见表 1-2)。因为不同频率(波长)电磁波的传播特性各异，所以其应用场合也不尽相同。根据物理概念，波长指一个周期信号两个相邻波峰(波谷)之间的距离，在通信中指电信号(光信号)在一个周期内传播的距离，通常用 λ 表示。波长 $\lambda(\text{m})$ 、频率 $f(\text{Hz})$ 、光速 $c(3\times 10^8\ \text{m/s})$ 三者满足公式 $\lambda=c/f$ 。