

高职高专“十二五”规划教材
——城市轨道交通控制专业

通信原理

黄根岭 主编
张惠敏 主审



化学工业出版社

· 北京 ·

本书以通信系统为分析对象、从信号传输的角度系统地介绍了模拟和数字两大通信系统的基本模型、基本原理和基本分析方法,重点讨论了数字通信系统原理,并对通信网和通信系统仿真作了适当的介绍。本书各章前附有本章导读,各章后附有本章小结和思考题与习题,既便于教学,也利于自学。

本书适用于高职高专院校通信技术、电子信息工程技术、移动通信技术、计算机通信等电子信息类专业的通信原理课程教学,也可供从事通信领域工作的工程技术人员和科技工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

主 编 黄根岭

审 定 姚惠光

图书在版编目(CIP)数据

通信原理/黄根岭主编. —北京:化学工业出版社, 2015.7

高职高专“十二五”规划教材——城市轨道交通控制专业

ISBN 978-7-122-24007-1

I. ①通… II. ①黄… III. ①通信原理-高等职业教育-教材 IV. ①TN911

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 111288 号

责任编辑:张建茹 潘新文

装帧设计:尹琳琳

责任校对:吴 静

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装:高教社(天津)印务有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 11 字数 276 千字 2015 年 9 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:28.00 元

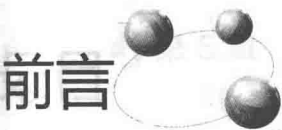
版权所有 违者必究

“城市轨道交通控制专业”教材编写委员会

- 主任:** 张惠敏 (郑州铁路职业技术学院 系主任 教授)
贾 萍 (郑州市轨道交通有限公司设备物资部副部长 高级工程师)
- 副主任:** 穆中华 (郑州铁路职业技术学院 副教授 高级工程师)
陈享成 (郑州铁路职业技术学院 副主任 副教授)
王民湘 (郑州铁路局郑州电务段副段长 教授级高工)
金立新 (郑州铁路局通信段副段长 高级工程师)
郑予君 (河南辉煌科技股份有限公司 总经理)
谢 鸥 (中兴通讯股份有限公司 NC 通讯学院 总经理)
王明英 (郑州铁路局郑州电务段职工教育科科长 高级工程师)
杜胜军 (郑州铁路局通信段职工教育科科长 高级工程师)
左在文 (郑州铁路局新乡电务段职工教育科科长 高级工程师)
胡宜军 (郑州市装联电子有限公司 总经理)
李福建 (河南辉煌科技股份有限公司 工程师)
莫振栋 (柳州铁道职业技术学院 系主任 副教授 铁道行指委铁道通信信号专业指导委员会秘书)
翟红兵 (辽宁铁道职业技术学院 副院长 副教授 铁道行指委铁道通信信号专指委委员)
薄宜勇 (南京铁道职业技术学院 系主任 副教授 铁道行指委铁道通信信号专指委委员)
高嵘华 (西安铁路职业技术学院 副教授 铁道行指委铁道通信信号专指委委员)
李 锐 (安徽交通职业技术学院 系主任 副教授)

委员 (按拼音排序):

毕纲要	薄宜勇	曹 冰	曹丽新	常仁杰	陈福涛	陈享成
陈艳华	陈志红	程 灿	程建兵	杜胜军	杜先华	付 涛
高 峰	高嵘华	高 玉	胡小伟	胡宜军	黄根岭	贾 萍
江兴盟	蒋建华	金立新	兰天明	李春莹	李芳毅	李福建
李丽兰	李 锐	李珊珊	李勇霞	梁宏伟	梁明亮	刘海燕
刘素芳	刘 伟	刘喜菊	刘云珍	孟克与	莫振栋	穆中华
彭大天	任全会	阮祥国	邵连付	孙逸洁	陶汉卿	王民湘
王明英	王 庆	王 文	王学力	韦成杰	吴广荣	吴 昕
吴新民	谢 丹	谢 鸥	徐晓冰	薛 波	燕 燕	杨 辉
杨婧雅	杨艳芳	于 军	翟红兵	张惠敏	张江波	张清森
张云凤	赵 静	赵文丽	赵 阳	郑乐藩	郑予君	周朝东
周建涛	周栓林	朱 锦	朱力宏	朱卓瑾	左在文	



前言

通信是人类传递信息、交流思想、传播文化知识、促进科技发展和人类文明进步的重要手段。自从人类存在开始,通信就已经存在,随着社会的发展,通信的目的从来没有发生过改变,通信的方式却在不断进步,尤其是近些年,通信技术与传感技术、计算机技术紧密结合,使得其应用领域更加广泛;通信技术迅猛发展,正向着数字化、宽带化、智能化、综合化和个性化等方向不断迈进。

总体而言,通信技术就是研究通信系统和通信网的技术,通信系统是指点对点通信所需的全部设施,通信网是指由多个通信系统组成的多点之间相互通信的全部设施。现代通信技术主要涉及传输、复用、交换和网络四大技术。“通信原理”的研究对象是通信系统,内容主要涉及以调制、编码为主要特征的物理层信息传输和复用技术。

“通信原理”是电子信息领域中的一门非常重要的必修课程,更是通信专业敲门砖般的专业主干课程,起着“领专业之门、夯专业之基、引专业之路”的重要作用。学完本课程,应学会把高等数学、物理以及电路、信号与系统、数字信号处理等先修课程的理论用于解决通信问题的方法和思路,建立起有关通信的一系列基本概念和数学模型,明白系统的框架和原理,掌握通信行业必备的基础知识和专业技能,为下一步学习交换技术、光纤通信、移动通信、数据通信等课程打下坚实的理论基础。

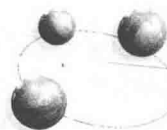
目前,有关通信原理方面的教材可谓汗牛充栋,但绝大多数教材都是针对本科生和研究生编写的,在理论体系和数学论证方面论述过于详细,对高职院校的学生来说,由于他们的数学功底比较薄弱,对教材中的很多数学推导难以理解,进而影响了学习效果。而市场上的一些高职类的通信原理教材,很多都是在本科教材的基础上,由编者进行简单删减、压缩组合而成的,针对性不强,实践应用偏轻。针对上述状况,本书以“必需、够用、突出应用”为原则,以“明概念、熟模型、会分析、能应用”为主线,弱化数学推导,注重物理概念的理解和直观的图形分析,并结合多年的教学经验,力争做到内容简明、语言通俗易懂。本教材的另一个突出特点是充分利用 MATLAB 在通信领域强大的仿真功能,对通信原理课程中出现的通信系统进行 MATLAB 仿真,这样不仅能节省构建实际通信系统的资金和周期,同时调整系统参数也很方便,只需输入不同的参数就能得到不同情况下系统的性能,而且在系统运行结果的显示和存储方面比传统的实验箱教学有很大的优势。实践教学证明:每个仿真模型建立的过程,从构思、构建到调试通过,直到最后得到结果,都是一次对先修课程的复习、巩固、完善和提高,同时,学生的创造性、想象力也可以在仿真平台上得到发挥与施展。为了更好地突出重点,并从整体上了解和把握章节内容,在每章的开始我们设置了“本章导读”,每章的后面我们设置了“本章小结”和“思考题与习题”。

本书由郑州铁路职业技术学院黄根岭担任主编并编写第 1 章~第 4 章,郑州铁路职业技术学院赵新颖编写第 5 章和第 6 章,郑州铁路局郑州通信段金立新编写第 7 章~第 9 章,郑州铁路局郑州通信段杜胜军编写第 10 章~第 12 章,本书由郑州铁路职业技术学院张惠敏教授担任主审。

鉴于编者学识水平有限,书中不妥之处在所难免,敬请同行和读者批评指正。

编者

2015 年 5 月于郑州



第1章 绪论	1
1.1 通信的基本概念	1
1.2 通信系统的组成和分类	1
1.3 通信方式	5
1.4 通信系统的主要性能指标	7
1.5 通信技术发展简史	8
本章小结	9
思考题与习题	9
第2章 信号分析基础	11
2.1 信号的分类	11
2.2 信号的时域分析	12
2.3 信号的频域分析	18
2.4 信号通过线性系统	25
本章小结	29
思考题与习题	30
第3章 信道与噪声	32
3.1 信道的概念	32
3.2 信道分类	32
3.3 信道特性对信号传输的影响	34
3.4 信道中的噪声	34
3.5 信道容量和香农公式	36
本章小结	39
思考题与习题	39
第4章 模拟调制系统	41
4.1 调制的作用和分类	41
4.2 幅度调制	42
4.3 调幅信号的解调	47
4.4 角度调制	49
4.5 各种模拟调制系统的性能比较	52
本章小结	53
思考题与习题	54

第 5 章 模拟信号数字化技术	55
5.1 引言	55
5.2 模拟信号的抽样	55
5.3 抽样信号的量化	59
5.4 脉冲编码调制 (PCM)	64
5.5 增量调制 (DM)	68
5.6 差分脉冲编码 (DPCM)	70
本章小结	72
思考题与习题	72
第 6 章 数字基带传输系统	74
6.1 概述	74
6.2 数字基带信号的波形与频谱	75
6.3 数字基带传输的常用码型	77
6.4 无码间串扰的基带传输系统	80
6.5 眼图与均衡	89
本章小结	91
思考题与习题	92
第 7 章 数字频带传输系统	95
7.1 引言	95
7.2 二进制数字调制原理	95
7.3 多进制数字调制原理	104
7.4 新型数字调制技术	107
本章小结	108
思考题与习题	109
第 8 章 信道复用与多址技术	110
8.1 概述	110
8.2 常用的信道复用技术	111
8.3 多址通信技术	118
本章小结	120
思考题与习题	121
第 9 章 同步原理	122
9.1 概述	122
9.2 载波同步	123
9.3 位同步	125
9.4 帧同步	127

9.5 网同步	131
本章小结	132
思考题与习题	133

第 10 章 差错控制编码 134

10.1 引言	134
10.2 差错控制编码的基本概念	134
10.3 常用的简单差错控制码	138
10.4 线性分组码	139
10.5 循环码	141
10.6 卷积码	143
本章小结	146
思考题与习题	146

第 11 章 通信网 147

11.1 概述	147
11.2 电话交换网	148
11.3 数据通信网	150
11.4 综合业务数字网	153
11.5 移动通信网	155
本章小结	158
思考题与习题	158

第 12 章 MATLAB 系统仿真软件 159

12.1 MATLAB 概述	159
12.2 MATLAB 的操作界面	159
12.3 MATLAB 语言编程	160
12.4 MATLAB 仿真方式	161
12.5 MATLAB 在通信原理中的应用	162
本章小结	167
思考题与习题	167

参考文献 168

第1章 绪论

【本章导读】

- 通信系统的模型
- 通信系统的分类
- 通信方式
- 通信系统的性能指标

1.1 通信的基本概念

通俗地讲，通信（communication）就是信息的传递。其中信息（information）是消息（message）中所包含的有效内容，或者说是消息中不确定的部分。消息有多种表现形式，比如语音、文字、音乐、数据、图片等都是消息。信息传递必须要有合适的物理载体，比如古代的烽火传警、击鼓作战、鸣金收兵等，就是利用光或声音这些载体来传递战争信息的实例，我们把传递信息的物理载体称之为信号（signal）。可见，信息、消息和信号之间有着密切联系，信息以消息的形式表现出来，并通过信号来传递，即消息是外壳，信息是消息的内核，信号是信息的载体。

关于信息和数据（data）的区别，一般认为，数据是反映客观事物的性质、形态、结构和特征的符号，数据可以是具体的数字，也可以是文字或图形等形式。信息则是数据加工的结果，是有用的数据。

1837 年摩尔斯发明的有线电报和 1876 年贝尔发明的电话，使通信步入了利用“电”这个载体来传递信息的新时代，在电通信系统中，信息的传递以电信号的形式（电压或电流）来实现，由于电通信具有迅速、准确、可靠且不受时间、地点、距离的限制，因此得到了飞速发展和广泛应用。当今在自然科学领域涉及“通信”这一术语，一般都是指“电通信”（即电信）。本书中讨论的通信均指电通信。

1.2 通信系统的组成和分类

1.2.1 通信系统的一般模型

通信是由通信系统来实现的。通信系统是指完成信息传递的传输媒介和全部设备。以最简单的点对点通信为例，通信系统的一般模型如图 1-1 所示。



图 1-1 通信系统的一般模型

下面简要概述各组成部分的功能。

(1) 信源

信源的功能是将各种不同形式的消息转换成原始电信号。根据消息种类的不同,信源可分为模拟信源和数字信源,模拟信源输出连续的模拟信号,比如话筒、电视机和摄像机的信号;离散信源输出离散的数字信号,比如电传机、计算机等各种数字终端。

(2) 发送设备

发送设备的功能是将信源产生的信号变换成适合在信道上传输的信号。发送设备可能是调制电路、编码电路或滤波电路等。

(3) 信道和噪声源

信道是传输信号的物理媒介。信道有多种形式,通常分为有线信道和无线信道,在有线信道中,信道可以是架空明线、双绞线、电缆或光缆,在无线信道中,信道可以是大气(自由空间)。

噪声是通信系统中客观存在的各种干扰。噪声的来源是多方面,为分析方便起见,在通信系统模型中,将各种噪声集中由一个噪声源来表示。关于信道与噪声的详细内容将在第3章中讨论。

(4) 接收设备

接收设备的功能是完成发送设备的反变换。接收设备可能是解调电路、译码电路或滤波电路等。

(5) 信宿

信宿的功能与信源相反,即将原始电信号恢复为相应的消息。比如扬声器。

图 1-1 所示的通信系统模型高度概括了各种通信系统传递信息的全过程和各种设备的工作原理,反应了通信系统的共性,今后的讨论就是围绕通信系统的模型展开的。

1.2.2 通信系统的分类

(1) 按信号特征分类

在电学中,信号实质上是一种赋予物理意义的函数(function),一般以时间为自变量,以携带信息的某个参量(比如正弦波的幅度、频率或相位;脉冲序列的幅度、脉宽和相位)为因变量。根据信号的因变量的取值是连续还是离散,可分为模拟信号和数字信号,若因变量的取值是连续的,则为模拟信号;若因变量的取值是离散的,则为数字信号。注意,连续的含义是指在某一个取值范围内,信号可以有无穷多个取值,若为有限多个取值,则为离散。

根据信道传输的是模拟信号还是数字信号,通信系统对应分为模拟通信系统和数字通信系统。其模型分别如图 1-2 和图 1-3 所示。



图 1-2 模拟通信系统模型

在图 1-2 所示的模拟通信系统中,发送设备是调制器,接收设备是解调器。在该系统中存在两种重要变换,第一种变换是在发送端的信源和接收端的信宿进行的,信源将连续的消息变换成原始的电信号,信宿完成相反的变换。这里所说的原始电信号通常称为基带信号,基带的

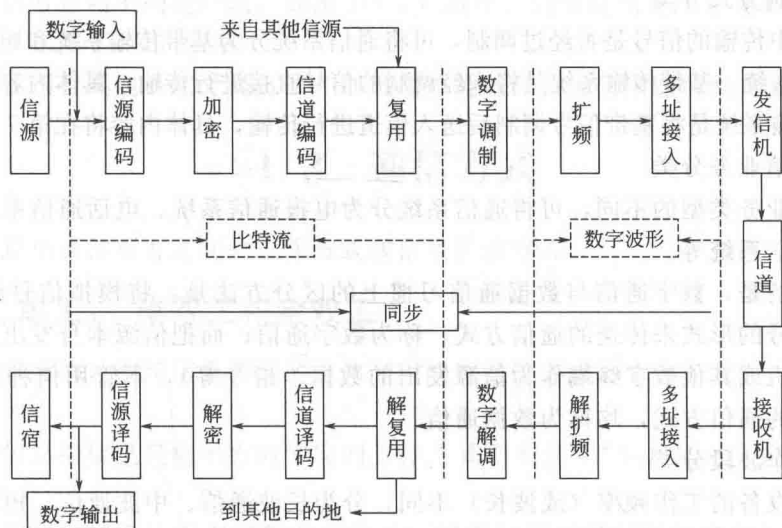


图 1-3 数字通信系统模型

含义是指信号的频率分布从零频附近开始，如语音信号的频率分布为 $300\sim 3400\text{Hz}$ ，图像信号的频率分布为 $0\sim 6\text{MHz}$ 。由于基带信号具有很低的频率分量，一般不宜进行直接传输，因此还要进行第二种变换，即把基带信号变换成适合在信道上传输的信号，并在接收端进行反变换，完成这种变换和反变换的设备通常是调制器和解调器。我们把经过调制后的信号称为已调信号或频带信号。已调信号具有三个特征：一是携带基带信息；二是适合在信道上传输；三是信号的频谱具有通带形式且中心频率远离零频，即调制是实现频谱搬移的过程。

模拟通信系统中，除了调制器和解调器，还有滤波器、放大器等辅助电路。

图 1-3 示出了一个较为完善的数字通信系统模型。它的发送端与接收端各包括 9 个功能单元，还有传输信道及收发同步系统等。从图中可以看出，数字通信系统与模拟通信系统的主要区别是多了信源编码（译码）、信道编码（译码）、加密（解密）、复用（解复用）、扩频（解扩频）和多址接入等模块。这里主要介绍一下信源编码（译码）和信道编码（译码）模块的功能。信源编码的功能主要有两个，一是将信源输出的模拟信号转换成数字信号，以实现模拟信号的数字化传输；另一个功能是通过相关措施降低码元速率（即减少编码位数），提高系统传输的有效性。信源译码是信源编码的逆过程，信道编码的主要功能是将信源编码输出的数字信号变换成适合信道传输的码型，以提高通信系统传输的可靠性，信道译码是信道编码的逆过程。

需要说明的是，实际的数字通信系统不一定包括图 1-3 的所有环节，比如数字基带传输系统中就没有调制和解调模块，而有的模块由于分散在系统各处，图 1-3 并未画出，比如同步系统。

数字通信系统与模拟通信系统相比，有很多优点，比如抗干扰能力强、信号便于处理、变换、存储、加密等，缺点是需要较大的传输带宽和严格的收发同步。

(2) 按传输媒介分类

按照传输媒介的不同，通信系统分为有线通信和无线通信。利用无线电波、红外线、超声波、激光等媒介传输的系统称为无线通信系统，比如广播系统、电视系统、移动电话系统等；利用导线（包括明线、电缆、光缆或波导等）作为媒介的系统称为有线通信系统，比如市话系统、有线电视系统等。

随着通信技术、计算机技术和网络技术的发展，单纯的有线或无线通信已越来越少，常常是“有线”中有“无线”，“无线”中有“有线”。

(3) 按调制方式分类

按照信道中传输的信号是否经过调制,可将通信系统分为基带传输系统和频带(又叫调制或带通)传输系统。基带传输系统是将未经调制的信号直接进行传输,具体内容将在第6章中讨论;频带传输系统是将基带信号调制后送入信道进行传输,具体内容将在第7章中讨论。

(4) 按通信业务分类

按照通信业务类型的不同,可将通信系统分为电报通信系统、电话通信系统、数据通信系统和图像通信系统等。

需要说明的是,数字通信与数据通信习惯上的区分方法是:将模拟信号经数字化处理后,用数字信号的形式来传送的通信方式,称为数字通信;而把信源本身发出的数字形式的消息(如计算机或其他数字终端作为信源发出的数据、指令等),不管用何种形式的信号来传输这类消息的通信方式,均称为数据通信。

(5) 按工作波段分类

按照通信设备的工作频率(或波长)不同,分为长波通信、中波通信、短波通信和微波通信等。表1-1列出了无线电波的划分及其对应的应用领域。

表 1-1 通信用无线电波段划分表

波 段	波长范围	频率范围	频段	主要用途
超长波	10~100km	3~30kHz	甚低频(VLF)	高功率、长距离、点对点通信,如声纳、水下通信等
长波	1~10km	30~300kHz	低频(LF)	长距离点对点通信,如导航、越洋通信等
中波	100~1000m	300~3000kHz	中频(MF)	广播、遇险求救通信,港口船舶调度通信等
短波	10~100m	3~30MHz	高频(HF)	中远距离的各种广播与通信,如电离层反射通信等
米波	1~10m	30~300MHz	甚高频(VHF)	短距离通信、雷达、电视、交通管制及散射通信等
分米波	10~100cm	300~3000MHz	特高频(UHF)	卫星通信、微波接力通信、雷达、导航、全球定位等
厘米波	1~10cm	3~30GHz	超高频(SHF)	短距离通信、波导通信、微波接力、雷达、空间通信等
毫米波	1~10mm	30~300GHz	极高频(EHF)	遥感遥测、光通信等
亚毫米波	<1mm	>300GHz		

(6) 按复用方式分类

传输多路信号有三种复用方式:频分复用、时分复用和码分复用。频分复用是用频谱搬移的方法使不同信号占用不同的频段,如图1-4(a)所示;时分复用是用抽样(脉冲调制)

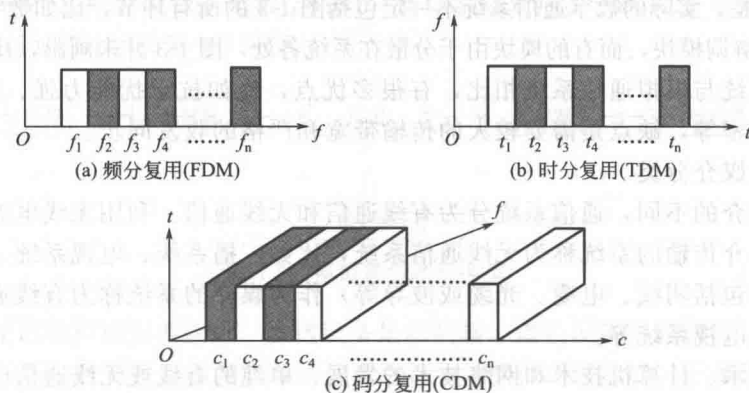


图 1-4 复用方式示意图

的方法使不同信号占用不同的时隙,如图 1-4(b) 所示;码分复用是用正交的脉冲序列分别携带不同信号,如图 1-4(c) 所示。

另外,通信还有其他一些分类方法,如按用户类型可分为公用通信和专用通信。

1.3 通信方式

通信方式是指通信双方之间的工作方式或信号传输方式。

1.3.1 单工、半双工和全双工

对于点对点通信,按照信息传递的方向和时间,通信方式分为单工通信、半双工通信和全双工通信三种。

- 单工通信是指信息只能单方向传输的工作方式,如图 1-5(a) 所示。广播、遥控就是单工通信方式。

- 半双工通信是指通信双方都能收发信息,但不能同时进行收和发的工作方式,如图 1-5(b) 所示。对讲机就是半双工通信方式。

- 全双工通信是指通信双方可同时进行收发信息的工作方式,如图 1-5(b) 所示。电话就是全双工通信方式。

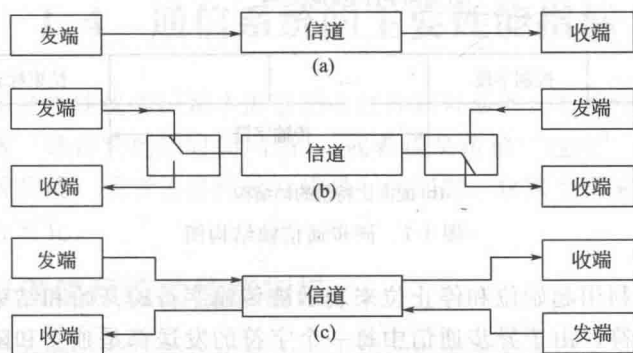


图 1-5 通信方式示意图

1.3.2 串行通信和并行通信

在数据通信中,按照数字信号码元排列方式的不同,可分为串行通信和并行通信。串行通信是将数字信号码元序列以串行方式一个码元接一个码元地在一条信道上传输,如图 1-6

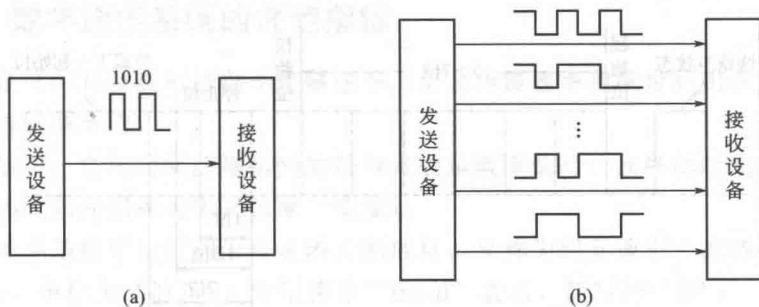
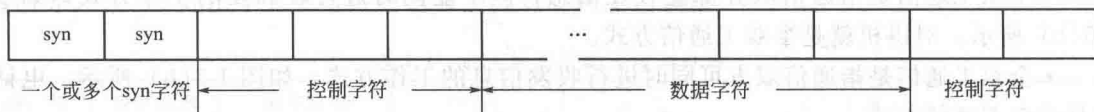


图 1-6 串行通信和并行通信

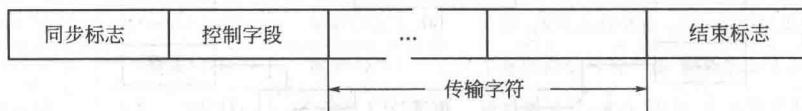
(a) 所示；并行通信是将数字信号码元序列以成组的方式在两条或两条以上的并行信道上同时传输，如图 1-6(b) 所示。

1.3.3 同步通信和异步通信

在数据通信中，发送端和接收端必须严格做到同步，按照同步方式的不同，可分为同步通信和异步通信。在同步通信中，可采用外同步和自同步两种方式实现收发同步。外同步是占用另外一条信道传送同步信号，接收端根据收到的同步信号来进行码元同步和字符同步或帧同步；自同步是从收到的信号中提取同步信号。如果一帧长度比较短（如一个字符长），则只需发帧同步信号即可，不需要另加码元同步信号，如果一帧长度较长，则除了帧同步外，还要进行位同步。图 1-7 表示出了面向字符型和面向比特型的帧结构。面向字符型的方案，每个数据块以一个或多个同步字符 syn 作为开始，后文是一个确定的控制字符。面向比特型的方案，如果采用高级数据链路控制规程（HDLC），则前文和后文采用标志字段 01111110，以区分一帧的开始和结束。



(a) 面向字符型的帧结构



(b) 面向比特型的帧结构

图 1-7 同步通信帧结构图

在异步通信中是利用起始位和停止位来表示被传输字符的开始和结束，每个起始位和停止位之间只传一个字符。由于异步通信中每一个字符的发送都是独立和随机的，并以不均匀的速率发送，所以这种通信方式称为异步通信。

在异步传输中，字符的传输由起始位引导，表示字符的开始，起始位为逻辑 0，用低电平表示，其宽度为一个码元的时间，被编码的字符后面通常附加一个校验位，校验位后面为停止位，停止位为逻辑 1，用高电平表示，通常为 1、1.5 或 2 个码元宽度，可根据需要选择。在下一个字符的起始位收到之前，线路一直处于逻辑 1 状态，接收端根据从 1 到 0 的跳变来识别一个新字符的开始，如图 1-8 所示。

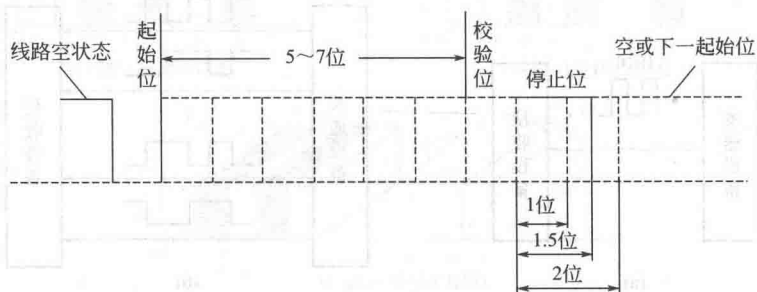


图 1-8 异步通信帧结构图

1.3.4 点对点通信和网通信

按照通信设备与传输线路之间的连接类型,可分为点对点通信(专线通信,如图1-9所示)、点到多点和多点之间通信(网通信,如图1-10所示)。

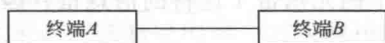


图 1-9 点对点通信示意图

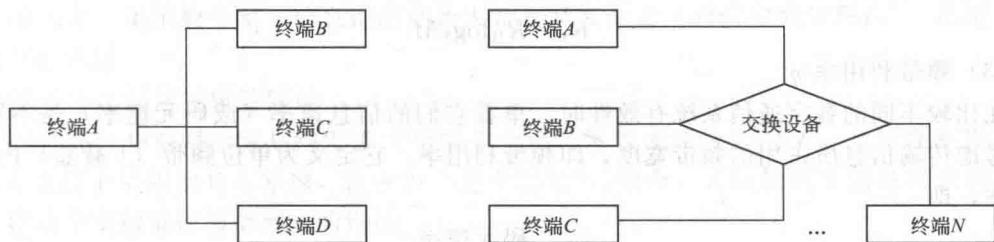


图 1-10 网通信示意图

由于通信网的基础是点对点通信,所以本书重点讨论点对点通信。

1.4 通信系统的主要性能指标

衡量一个通信系统性能优劣的基本因素是有效性和可靠性。有效性是指传输一定量信息时所占用的信道资源(频带宽度和时间间隔),或者说是传输“速度”的问题;可靠性是指信道传输信息的准确程度,或者说是传输“质量”的问题。这两个因素相互矛盾而又相互统一,并且还可以相互转化。

1.4.1 模拟通信系统的性能指标

模拟通信系统的有效性用信号在传输中所占用的传输带宽来表示,传输带宽越窄,有效性越好,反之越差;可靠性用接收端最终输出的信噪比来度量,输出信噪比越高,可靠性越好,反之越差。

信噪比是输出端信号的平均功率与噪声平均功率比值的简称,用 SNR (Signal to Noise Ratio) 或 S/N 表示,它的单位一般使用分贝 (dB),其值为 10 倍对数信噪比,即 $SNR = 10\lg S/N$ 。

1.4.2 数字通信系统的性能指标

数字通信系统的有效性可用码元传输速率、信息传输速率和频带利用率来衡量。

(1) 码元传输速率 R_B

在数字通信中,常用时间间隔相同的符号来表示数字信号,这样的时间间隔内的符号称为码元。对应的时间间隔称为码元长度(宽度)。

码元传输速率是指单位时间内传送码元的数目,又称为码元速率、波特率或传码率。用符号 R_B 来表示,单位为“波特”,常用符号“Baud”表示,简称为“B”。

需要注意的是,码元速率仅表示每秒钟传输的码元数,而没有限定此时的码元是何种进

制，码元的进制数取决于发送码元的通信系统。

(2) 信息传输速率 R_b

信息传输速率又称为比特率或传信率，是指每秒钟传送二进制的位数，单位为比特/秒，简记为 b/s 或 bps。

在二进制通信系统中，每个码元携带 1 比特的信息量，因此信息速率等于码元速率，但两者的单位不同。

在多 (M) 进制通信系统中，由于每个码元携带 $\log_2 M$ 比特的信息量，因此信息速率与码元速率的关系式：

$$R_b = R_B \log_2 M$$

(3) 频带利用率 η

在比较不同的数字通信系统有效性时，单看它们的信息速率（或码元速率）是不够的，还应考虑传输信息所占用的频带宽度，即频带利用率。它定义为单位频带（1 赫兹）内的传输速率，即

$$\eta_B = \frac{\text{码元速率}}{\text{占用的频带宽度}}$$

$$\eta_b = \frac{\text{信息速率}}{\text{占用的频带宽度}}$$

数字通信系统的可靠性常用误码率和误比特率来衡量。

误码率是指接收的错误码元数与传输的总码元数的比值，即

$$P_e = \frac{\text{错误码元数}}{\text{传输总码元数}}$$

误比特率是指接收的错误比特数与传输的总比特数的比值，即

$$P_b = \frac{\text{错误比特数}}{\text{传输总比特数}}$$

1.5 通信技术发展简史

1820 年，法国物理学家安培首次提出利用电磁现象传递电报信号，标志着近代数字通信研究的开始，此后电报通信技术理论不断发展。

1831 年，英国物理学家、化学家法拉第发现电磁感应定律，解释了电与磁之间的关系。

1837 年美国发明家摩尔斯成功研制出世界上第一台电报机，他利用自己设计的电码（摩尔斯电码），将信息转换成一串或长或短的电脉冲传向目的地，再转换为原来的信息，从而实现了长途电报通信。

1873 年，英国物理学家麦克斯韦完成巨著《电磁学通论》，建立了一套电磁理论，预言了电磁波的存在，说明了电磁波与光具有相同的性质，两者都是以光速进行传播。

1876 年，美国发明家贝尔发明世界上第一部电话机，将声音信号转变为电信号沿导线传送，1878 年在相距 300 公里的波士顿和纽约之间进行了首次长途电话实验，并获得了成功，这是模拟通信的开始。

1888 年，德国物理学家赫兹用实验证实了电磁波的存在，证明了麦克斯韦的电磁理论。

1895 年，意大利物理学家马可尼首次利用电磁波完成了仅数百米的无线电通信实验，1901 年实现了横渡大西洋的无线通信，从而开辟了无线电通信技术的新领域。

1904年,英国物理学家弗莱明发明真空二极管。

1906年,美国科学家德富雷斯特发明真空三极管。

1928年,美国物理学家奈奎斯特建立数据信号传输理论,并相继提出消除符号(码元)间干扰的三个准则。

1937年,英国人里夫斯提出脉冲编码调制(PCM)理论,从而推动了模拟信号数字化的进程,到了20世纪40年代末,美国制造出第一台实验用的PCM多路通信设备,首次实现了数字通信技术。

1948年,晶体二极管问世。

1948年,美国数学家,信息论的创始人香农发表论文《通信的数学理论》,奠定了信息论的理论基础。

1951年,晶体三极管问世。

1966年,华裔科学家高锟发表《光频率介质纤维表面波导》论文,开创性地提出光导纤维在通信上应用的基本原理,被誉为“光纤之父”;如今,光纤构成了信息社会的环路系统,推动了全球宽带通信系统的发展。

随着通信技术、计算机技术和网络技术的发展,通信已经由单一的通信设备、技术、制式发展演变为一个集光纤通信、移动通信、卫星通信和微波中继通信等多种通信手段于一体、具有多种业务功能的复杂的综合通信网,满足人们在任何地方、任何时间进行通信联络的需求。



本章小结 ▶▶▶

(1) 通信的目的是信息传递。信息是消息中不确定的部分,信号是信息的载体。

(2) 通信系统是指完成通信任务的传输媒介和全部设备。按照传输信号的特征,通信系统分为模拟通信系统和数字通信系统;按照传输媒介,通信系统分为有线通信系统和无线通信系统;按调制方式,通信系统分为基带传输系统和频带传输系统;按复用方式,通信系统分为频分复用通信系统、时分复用通信系统和码分复用通信系统。

(3) 通信方式是指通信双方之间的工作方式或信号传输方式。按照信息传递的方向和时间,通信方式分为单工通信、半双工通信和全双工通信三种;按照数字信号码元排列方式,可分为串行通信和并行通信两种通信方式;按照同步方式,可分为同步通信和异步通信两种通信方式。

(4) 衡量一个通信系统性能优劣的基本因素是有效性和可靠性。模拟通信系统的有效性用信号在传输中所占用的传输带宽来表示,可靠性用接收端最终输出的信噪比来度量;数字通信系统的有效性可用码元传输速率、信息传输速率和频带利用率来衡量,可靠性常用误码率和误比特率来衡量。



思考题与习题 ▶▶▶

1-1 简述消息、信息、信号和数据之间的区别和联系。

1-2 什么是通信?什么是通信系统?

1-3 画出通信系统的一般模型,并简述各组成部分的功能。

1-4 按传输信号的特征,通信系统如何分类?

1-5 数字通信有哪些主要优缺点?