



高职高专“十一五”规划教材

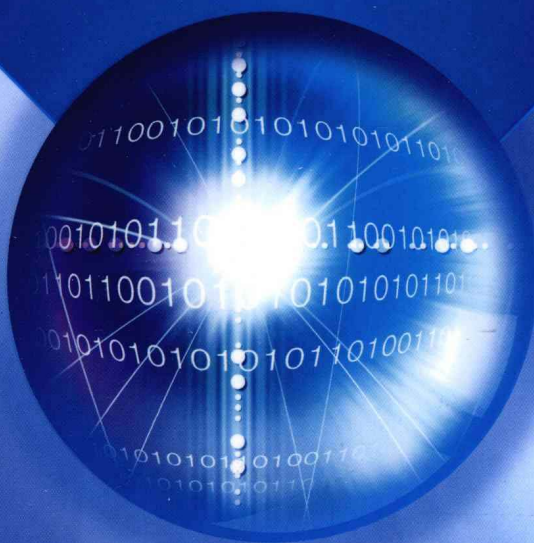
TONGXIN YUANLI YU JISHU



通信原理与技术



张玉平 主编



化学工业出版社

高职高专“十一五”规划教材

通信原理与技术

张玉平 主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书主要介绍了模拟通信和数字通信的基本原理,着重阐述了通信系统的调制与解调技术,以及模数转换技术。全书共分8章,包括绪论、香农定理、模拟调制技术、模拟信号数字化技术、数字基带传输技术、数字频带传输技术、复用技术与同步原理以及差错控制技术等。本书例题丰富,图文并茂,并结合MATLAB仿真软件,给出了一些通信系统软件仿真的实例,有助于读者对整个通信系统的基本原理和技术进行深入认识和理解。

本书适合作为电子信息 and 通信技术等专业的高职高专学生的教材,也可以作为非通信专业的本科生、通信专业的各类成人教学教材,以及其他通信工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

通信原理与技术 / 张玉平主编. —北京: 化学工业出版社,
2008.12
高职高专“十一五”规划教材
ISBN 978-7-122-03780-0

I. 通… II. 张… III. ①通信理论-高等学校: 技术
学院-教材②通信技术-高等学校: 技术学院-教材 IV.
TN91

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 152210 号

责任编辑: 王听讲
责任校对: 吴 静

文字编辑: 徐卿华
装帧设计: 韩 飞

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: 北京市彩桥印刷有限责任公司
787mm×1092mm 1/16 印张 10 $\frac{3}{4}$ 字数 257 千字 2009 年 1 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: 19.00 元

版权所有 违者必究

前言

21 世纪的科学技术突飞猛进、日新月异,通信技术也不例外,正向着数字化、智能化、综合化和个人化等方向不断迈进。通信技术领域的更新与发展都是以通信基本原理为基础的,因此,作为通信行业的工程技术人员,只有掌握了通信系统的基本原理和基础理论,才能适应通信技术的飞速发展。

目前,有关通信原理方面的教科书有很多,大多数都是由国内各院校编写的,也有一些国外教材的中译本。但是,这些教材多数都是针对本科生和研究生使用的,理论性强,数学推导多,论证严谨。对于高职高专的学生来讲,由于他们的数学功底比较薄弱,对通信原理中的很多数学推导过程都难以理解,所以影响了学习效果,也不符合高职高专的培养目标。而市场上的一些高职高专类的通信原理教材,很多都是这些本科教材的简单压缩,大都只给出结论性的东西,高职高专学生看不懂。这些都是高职高专师生在教学过程中最感头疼的事。

针对上述状况,编者在这本教材的编写过程中尤其注重了内容的安排,重点考虑其难易程度,弱化数学推导,以大量的原理框图和各种波形图进行讲解,并结合编者多年的教学经验,力争做到内容简明、通俗易懂。

本书在章节体系中加入了学习要点和本章小结,并且有较多的例题讲解,这样有利于高职高专学生较好地掌握重点,并从总体上了解和把握章节内容。同时,书中插图丰富,有些图采用计算机软件仿真的结果,这样用图形的方法对理论加以说明,可以做到形象直观,学生容易理解。MATLAB 软件作为一套工程计算软件,具有强大的仿真功能。为此,在本书的大多数章节中给出了有关 MATLAB 的应用举例,读者可以根据例子的解答程序在计算机中进行练习,还可以方便地修改参数,观察运行结果,增强学生的学习兴趣。

全书共 8 章,第 1 章绪论,主要介绍通信的基本概念和性能指标。第 2 章香农定理,介绍信息量的概念和香农定理。第 3 章模拟调制技术,主要包括各种调幅和调频系统。第 4 章模拟信号数字化技术,主要介绍模拟信号数字化的方法,包括抽样、量化和编码过程。第 5 章数字基带传输技术,主要介绍码间干扰及无码间干扰传输系统。第 6 章数字频带传输技术,主要介绍常见的几种二进制数字调制技术。第 7 章复用技术与同步原理,主要介绍通信系统中的几种复用与同步技术。第 8 章差错控制技术,主要介绍一些差错控制的概念和方法。

本书第 1~6 章由成都电子机械高等专科学校通信系教师张玉平编写,第 7 章和第 8 章由成都电子机械高等专科学校通信系教师周春妮编写,全书由张玉平统稿。在此要特别感谢成都电子机械高等专科学校通信教研室全体老师对本书编写所提的意见和建议。

鉴于编者学识水平有限,书中难免有不妥之处,欢迎广大读者批评指正。

编者

2008 年 9 月于成都

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 通信系统的组成及分类	1
1.1.1 通信系统的组成	1
1.1.2 通信系统的分类	3
1.2 通信系统的性能度量	4
1.3 通信技术的发展概况	6
1.4 MATLAB 简介	8
本章小结	13
习题 1	13
第 2 章 香农定理	14
2.1 信息量和熵	14
2.1.1 离散信源的信息量	14
2.1.2 离散信源的熵	15
2.2 信道容量及香农定理	15
2.2.1 信道容量	15
2.2.2 香农定理	16
2.3 MATLAB 在香农定理中的应用举例	18
本章小结	18
习题 2	19
第 3 章 模拟调制技术	20
3.1 幅度调制的基本原理	20
3.1.1 常规双边带调幅 (AM)	20
3.1.2 抑制载波双边带调幅 (DSB-SC)	22
3.1.3 单边带调幅 (SSB)	25
3.2 线性调制的解调	29
3.2.1 包络检波	29
3.2.2 相干解调	29
3.3 角度调制的基本原理	30
3.3.1 角度调制的基本概念	30

3.3.2 调频信号的产生与解调	36
3.4 模拟调制系统的性能比较	38
3.5 MATLAB 在模拟调制系统中的应用举例	39
本章小结	41
习题 3	43
第 4 章 模拟信号数字化技术	44
4.1 抽样定理	45
4.1.1 低通与带通抽样定理	45
4.1.2 自然抽样与平顶抽样	50
4.2 量化	52
4.2.1 均匀量化的基本原理	52
4.2.2 A 律与 μ 律压缩特性	55
4.3 编码	58
4.3.1 脉冲幅度调制	58
4.3.2 脉冲编码调制	59
4.3.3 差分编码调制	64
4.3.4 增量调制	65
4.4 MATLAB 在 PCM 中的应用举例	68
本章小结	70
习题 4	70
第 5 章 数字基带传输技术	72
5.1 数字基带信号概述	73
5.2 基带传输的常用码型	75
5.3 基带传输与码间干扰	78
5.3.1 再生判决的原理	78
5.3.2 码间干扰	79
5.4 无码间干扰的基带传输	80
5.5 部分响应系统	83
5.6 眼图	86
5.7 MATLAB 在基带通信系统中的应用举例	88
本章小结	89
习题 5	90
第 6 章 数字频带传输技术	92
6.1 二进制调制的基本原理	92
6.1.1 二进制幅度键控(2ASK)	92
6.1.2 二进制频移键控(2FSK)	95

6.1.3	二进制相移键控(2PSK)	98
6.1.4	二进制差分相移键控(2DPSK)	101
6.1.5	二进制数字调制系统性能比较	104
6.2	多进制调制原理	106
6.2.1	多进制幅度键控	107
6.2.2	多进制频移键控	108
6.2.3	多进制相移键控	109
6.3	正交振幅调制	111
6.4	MATLAB 在数字频带传输中的应用举例	113
	本章小结	117
	习题 6	117
第 7 章	复用技术与同步原理	119
7.1	常用复用技术	119
7.1.1	频分多路复用	119
7.1.2	时分多路复用	121
7.1.3	码分多路复用	123
7.1.4	正交频分多路复用	124
7.1.5	波分多路复用	126
7.1.6	多址技术特点及应用	126
7.2	同步原理	127
7.2.1	位同步	127
7.2.2	帧同步	130
7.2.3	载波同步	132
7.3	MATLAB 在复用与同步技术中的应用举例	135
	本章小结	138
	习题 7	138
第 8 章	差错控制技术	139
8.1	差错控制的常用方法	140
8.2	纠错编码	142
8.2.1	纠错编码基本原理	142
8.2.2	纠错能力与码距关系	143
8.3	常用的简单编码	144
8.4	线性分组码	146
8.5	循环码	149
8.6	m 序列	152
8.6.1	m 序列的原理	152

8.6.2 扰码与解扰	156
8.7 MATLAB 在差错控制技术中的应用举例	158
本章小结	159
习题 8	160
参考文献	161

第1章 绪 论

【学习要点】

- 通信系统的模型及功能单元
- 通信系统的分类
- 通信系统有效性与可靠性的具体表征指标
- 传输速率与误码率

从传统意义上讲，通信就是指信息的传输与交换，即克服距离上的障碍迅速而准确地传输和交换信息。所以，从技术的角度上讲通信主要包括了两方面的内容：传输理论和网络交换理论。本书主要讨论信息传输的基本原理。

通信中传输的信息是消息中的有效内容，对收信者来说是一些不确定的东西。消息主要包括一些文字、符号、数据、语音和图像等。按照消息的状态不同，通常可以分为连续消息和离散消息两种：连续消息是指消息的状态是连续变化的，比如语音、模拟图像等；离散消息是指消息的状态是可数的或者离散的，比如电报。

消息在通信系统中的传输是以信号形式表现的，即通信系统中传输的是信号。不同的通信系统所传输的信号不同，比如电通信系统传输电信号、光通信系统传输光信号。本书以电通信为主，因而研究的都属于电信号。信号作为消息的载体，与消息是一一对应的，并以参量的形式来代表消息。按照信号参量形式的不同，通常可以把信号分为模拟信号和数字信号两种：模拟信号中的参量取值是连续的，数字信号中的参量取值是离散的。

1.1 通信系统的组成及分类

1.1.1 通信系统的组成

通信的目的是传递消息，而消息的传递是靠通信系统来完成的，通信系统包括了传输信息所需要的一切技术设备和传输媒介，其一般模型如图 1-1 所示。

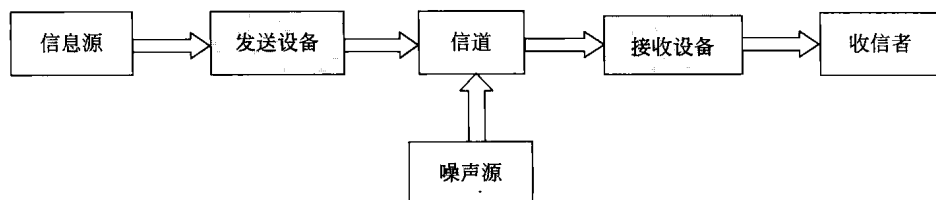


图 1-1 通信系统的一般模型

信息源实际上是一个转换设备,它将消息转换成原始的电信号。根据信息源输出信号性质的不同,通常可以分为模拟信源和数字信源。模拟信源输出模拟信号,比如电话机、模拟摄像机等;数字信源输出数字信号,比如电传机、计算机等。模拟信源可以通过抽样、量化和编码的方式转变成数字信源,随着数字通信技术的飞速发展,数字信源的种类和数量必将越来越多。

发送设备的基本功能是将信息源产生的消息信号转换成适合信道中传输的信号,即完成信息源与信道的匹配功能。通信系统中完成这些功能的方式有很多,比如模拟通信系统通过调制将信号的频谱进行搬移,数字通信系统中采用编码、扰码、调制等方式来达到匹配功能。

信道是指传输信号的通道,即信号传输的物理媒介。通常,信道可分为有线信道和无线信道,比如双绞线、同轴电缆和光纤等属于有线信道;地波传输和短波电离层传输属于无线信道。每一种信道都有其固有的传输特性,而信道在传输各种信号的同时,各种噪声也随之进入,所以信道的这种固有传输特性与噪声干扰将直接影响到通信的质量。

接收设备主要完成发送设备的反变换功能,比如解调、译码等。接收设备是从带有噪声干扰的接收信号中正确分离出相应的原始电信号,因而接收设备的质量将直接决定通信的质量。

收信者也叫信宿,它将原始的电信号恢复成相应的消息。

对于模拟通信系统,其发送设备的核心是调制器,如图 1-2 所示。在模拟通信系统中,由于信息源所发出的原始电信号大都属于基带信号的范畴,即其频谱成分集中在低频段,比如话音信号为 $300\sim 3400\text{Hz}$,图像信号为 $0\sim 6\text{MHz}$ 。这些基带信号往往不适合在信道中直接传输,可以通过调制将信号频谱搬移到高频段,从而使其更加适合信道的传输特性。需要指出的是,在实际的模拟通信系统中,除了调制以外还有放大、滤波、天线辐射等相关过程,但是这些过程只是对信号的性能有所改善,而不涉及信号本质的变换,因而可以放到信道中去讨论。

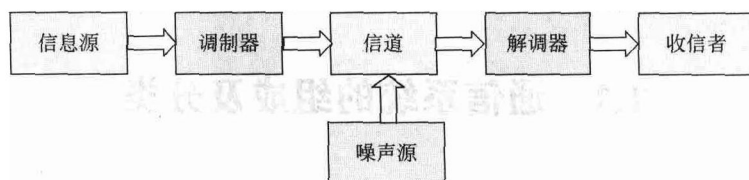


图 1-2 模拟通信系统模型

对于数字通信系统,其发送设备主要由编码器和调制器等组成,如图 1-3、图 1-4 所示,分别表示了数字基带系统和数字频带系统的模型。

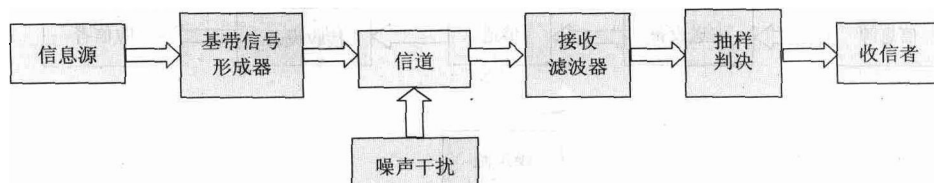


图 1-3 数字基带通信系统模型

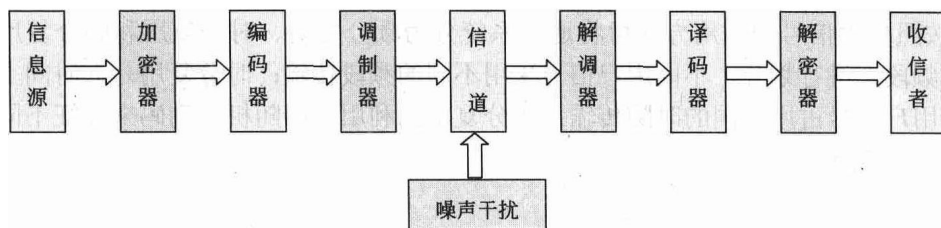


图 1-4 数字频带通信系统模型

数字通信系统中的编码分为信源编码和信道编码两种。信源编码主要作用是把连续消息转换成数字信号，即模数转换的功能（A/D 转换）。同时，为了提高通信系统的有效性，信源编码还可以进行数据压缩；信道编码主要作用是使数字信号与信道传输匹配，通常采用冗余编码的方式提高通信系统的可靠性。

在模拟通信和数字通信系统中，调制技术都是非常重要的通信技术。系统中采用调制的目的主要有以下几点。

① 提高信号频率以便于天线辐射。根据天线理论，只有当辐射天线的尺寸大于信号波长的 $1/10$ 时，信号才能够被天线有效辐射出去，比如对于 1m 长的天线其辐射频率至少需要 30MHz ，而大多数需要传输的消息转换成信号后，其频率都比较低（属于基带信号范畴），故需要通过调制完成频谱搬移。

② 改变信号占用带宽。调制过程的频谱搬移通常把低频段信号搬移到高频段上，故信号在高频段上的相对有效带宽要比低频段上的有效带宽小很多。另外通过不同的调制方式可以改变信号的传输带宽，比如双边带调制、调频等。

③ 实现信道复用。信道的传输带宽是一种资源，而一种信号的传输带宽往往比信道带宽小很多，因而如果一个信道只传输一路信号就显得很浪费。通过调制，可以将多个相同频段内的信号调制到不同频段上进行复用传输，从而有效利用信道。

④ 改善系统性能。通过调制可以提高通信系统的抗干扰能力。

1.1.2 通信系统的分类

从不同的角度可以把通信系统分成很多种类，这里只介绍几种比较常用的分类方法。

① 按照通信的业务和用途可将通信系统分为常规通信和控制通信两种。常规通信主要包括话音通信和非话音通信，比如电话信息服务业务和语音信箱就属于话音通信范畴，而分组数据业务和可视图文、图像通信等则属于非话音通信；控制通信主要指遥控遥测通信，比如雷达通信。

② 按照调制方式可将通信系统分为基带通信和调制通信两种。基带通信系统是把信号直接进行传输，即未经过调制过程，比如音频通信；调制通信系统是把信号经过调制后传输，即进行了频谱搬移的过程，比如调幅、调频系统。

③ 按照传输信号的特征可将通信系统分为模拟通信和数字通信两种。模拟通信系统中传输的信号是连续信号，数字通信系统中传输的信号是数字信号，即信号的参量是可数的或者离散的。随着通信技术的发展，数字通信技术以其抗干扰能力强、便于进行各种数字信号处理、集成化程度高以及有利于实现综合业务通信网等诸多优点，已越来越广泛地被应用。

④ 按照传输信号的复用方式可将通信系统分为频分复用、时分复用和码分复用。频分复用是在频段上进行划分,不同用户信号采用不同的频段传输;时分复用是在时间上进行划分,不同用户信号占用不同的时隙传输;码分复用则利用不同随机序列码来表征不同的用户信号。如图 1-5 所示。

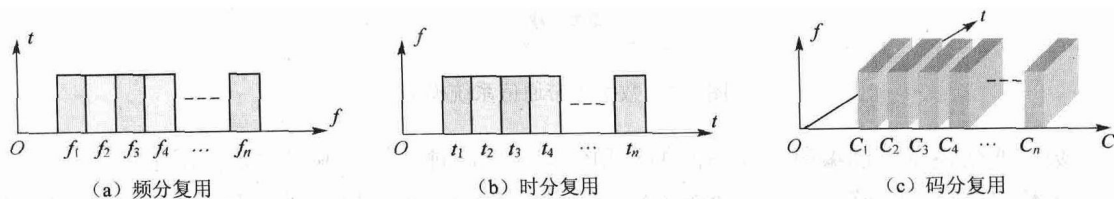


图 1-5 按照复用方式分类的系统

⑤ 按照通信方式可将通信系统分为单工通信、半双工通信和全双工通信三种。单工通信中的消息信号只能单方向进行传输,比如遥控遥测通信;半双工通信中通信双方都能够发送和接收消息信号,但是不能同时进行发送和接收,比如无线对讲系统;全双工通信中的通信双方可以进行实时的收发消息信号,比如电话通信系统。

⑥ 按照信号传输媒介可将通信系统分为有线通信和无线通信两种。有线通信采用有线信道传输,比如双绞线、同轴电缆、光纤等;无线通信采用无线信道传输,比如微波通信、卫星通信都是利用电磁波在空间中进行传输。

1.2 通信系统的性能度量

通信系统优劣的评价指标有很多,比如系统的有效性、可靠性、标准性、经济性和适应性等。根据通信的任务是快速、准确地传输信息,因而系统的有效性和可靠性便成为衡量通信系统最主要的性能指标。

模拟通信系统的有效性通常用有效传输带宽来度量。信道的传输带宽本身就是一种资源,在一定的信道带宽范围内,多个用户可以采用频分复用的方式在信道中同时传送,单一用户的传输带宽越小,则信道所能容纳的用户数就越多,因而系统的有效性就越好。比如同一个话音信号在 AM 系统传输所需的带宽要比在 FM 系统中传输所需带宽小很多,因而 AM 系统的有效性比 FM 系统的有效性好。

模拟通信系统的可靠性通常用接收端最终输出的信噪比来度量。接收端所得到的信噪比越大,表明系统抑制噪声的能力越强,因而系统的可靠性就越高。比如 FM 广播与 AM 广播相比,FM 广播的声音质量明显优于 AM 广播的声音质量,说明 FM 广播系统比 AM 广播系统抑制噪声的能力强,因而 FM 系统的可靠性比 AM 系统的可靠性高。

这里通过 AM 系统与 FM 系统的比较发现,系统的有效性和可靠性似乎是一对矛盾,系统有效性好但可靠性却不高,这种矛盾将在香农定理中得到解释。

数字通信系统的有效性通常用传输速率来表征。数字通信系统的传输速率主要包括码元传输速率和信息传输速率两种。

码元传输速率(R_s)是指单位时间内(通常指每秒钟)传输码元的个数,单位为波特(Baud)。信息传输速率(R_b)是指单位时间内(通常指每秒钟)传输的信息量或者比特数,单位为比特/秒(bit/s)。码元传输速率与信息传输速率既有区别又有联系,两者都作为传输速率的指标,但含义完全不同。信息传输速率与进制有关,在数值上可以和码元传输速率进行换算,换算关系为

$$R_b = R_s \log_2 N$$

式中, N 为码元的进制。

【例 1-1】 已知某八进制数字传输系统, 发送端在 3s 内共发送 9600 个码元。计算该系统的码元传输速率 R_s 和信息传输速率 R_b 。

解 码元传输速率

$$R_s = \frac{1}{T_s} = \frac{9600}{3} = 3200 \text{ Baud}$$

信息传输速率

$$R_b = R_s \log_2 N = 3200 \times \log_2 8 = 9600 \text{ bit/s}$$

在数字通信系统中, 有时为了提高信息传输速率, 其占用的传输带宽也会随之增大。为了能够准确表征系统的有效性, 定义了频带利用率(η), 即单位频带内的码元传输速率, 单位为波特/赫兹(Baud/Hz)。

$$\eta = \frac{R_s}{B}$$

式中, B 为传输带宽。

显然, 系统的频带利用率越高, 则系统有效性越好。

数字通信系统的可靠性通常用误码率或误比特率来表征。误码率(P_e)是指接收端收到错误码元的个数与传输总码元个数之比; 误比特率(P_b)是指接收端收到错误比特的个数与传输总的比特数之比。

$$P_e = \frac{\text{接收端收到错误码元个数}}{\text{传输总码元个数}}, \quad P_b = \frac{\text{接收端收到错误比特数}}{\text{传输总比特数}}$$

显然, 当系统的误码率或者误比特率增加时, 系统的可靠性在下降。

【例 1-2】 已知某四进制数字传输系统, 其信息传输速率为 2400bit/s, 接收端在 1h 内共接收到 216 个错误码元, 计算该系统的误码率 P_e 和误比特率 P_b 。

解 根据信息传输速率求出码元传输速率

由 $R_b = R_s \log_2 N$ 得

$$R_s = \frac{R_b}{\log_2 N}$$

$$\text{码元传输速率} \quad R_s = \frac{R_b}{\log_2 N} = \frac{2400}{\log_2 4} = 1200 \text{ Baud}$$

1h 内共传输码元的个数为

$$1200 \times 60 \times 60 = 4.32 \times 10^6 \text{ 个}$$

误码率

$$P_e = \frac{216}{4.32 \times 10^6} = 5 \times 10^{-5}$$

误比特率

$$P_b = P_e \log_2 N = 5 \times 10^{-5} \times \log_2 4 = 1 \times 10^{-4}$$

1.3 通信技术的发展概况

自从电通信系统应用以来,通信技术的发展日新月异。1844年,Morse成功地将“What hath God wrought”(上帝创造了什么)这句话通过电报的形式从华盛顿传到马里兰州的巴尔的摩,从而开启了长距离实时通信的序幕。1864年,Maxwell创立了光的电磁理论。1875年,Bell发明了电话。1901年,Marconi实现了横贯大西洋的无线电通信。1904年,Fleming发明了真空二极管。1906年,Reginald Fessenden成功发送了世界上第一个无线电广播。1918年,Armstrong发明了超外差接收机,并于1936年发表了关于调频无线电通信的论文。1936年,BBC开始进行商用电视广播。1937年,Reeves发明了脉冲编码调制技术。1948年,随着晶体管的出现,大规模和超大规模集成电路技术开始发展。同年,Shannon发表了一篇“A Mathematical Theory of Communication”(通信的一个数学理论)的论文,奠定了数字通信的理论基础。随后,电缆通信、卫星通信、微波通信、光纤通信等通信技术层出不穷。

我国电通信的发展最早可追溯到1871年由丹麦大北电报公司秘密在上海南京路12号设立报房并开通电报开始。新中国成立后,通信技术随着生产力的发展不断进步。以下是我国建国以后通信技术发展的一些主要历程。

1950年6月,开始建设北京国际电台的中央收信台和中央发信台,并于1951年相继竣工。这是新中国第一个重点通信建设工程。

1950年12月12日,我国第一条有线国际电话电路——北京至莫斯科的电话电路开通。经由前苏联转接通往东欧各国的国际电话电路也陆续开通。

1952年9月10日,北京至上海的相片传真业务开放,9月24日,北京至莫斯科的国际相片传真业务开放。

1952年9月30日,第一套明线12路载波机(J2)装机,开通北京至石家庄的载波电路。

1954年,研制成功60kW短波无线电发射机。

1956年,上海试制成功55型电传打字电报机。

1956年2月28日,北京长途电话局开放会议电话业务。首次会议电话会议为中华全国总工会召开的十省市电话会议。

1958年,上海试制成功第一部纵横制自动电话交换机,第一套国产明线12路载波电话机研制成功。

1959年,第一套60路长途电缆载波电话机研制成功,北京与莫斯科之间开通国际用户电报业务,1月20日正式开放的北京市内电话开始由5位号码向6位号码过渡。

1963年,120路高频对称电缆研制成功。

1964年,北京至石家庄7×4高频电缆60路载波试验段建成,开始试通电报、电话业务。

1966年,我国第一套长途自动电话编码纵横制交换机研制成功,并在北京安装使用。

1967年,电子式中文译码机样机试制成功,并在上海安装试用。

1970年,960路微波通信系统I型机研制成功,我国第一颗人造卫星(东方红1号)发射成功。

1972年,北京开始建设地球站一号站,1973年建成投产。

1974年,北京卫星地球站二号站建成投产,通信容量为132条话路和1条双向彩色电视

信道。通过印度洋上空的国际通信卫星与亚非各国和地区开通直达电路。研制成功石英光纤。

1978年, 120路脉码调制系统通过鉴定, 研制成功多模光纤光缆。

1980年, 64路自动转报系统(DJ5-131型)研制成功。

1982年, 首次在市内电话局间使用短波长局间中继光纤通信系统。256线程控用户电报自动交换系统研制成功并投入使用。我国自行设计的8频道公用移动电话系统在上海投入运营。

1983年9月16日, 上海用150MHz频段开通了我国第一个模拟寻呼系统。4380路同轴电缆载波系统研制成功, 并通过国家鉴定。

1984年4月8日, 我国的DFH-2(东方红2号)试验通信卫星成功发射, 定点高度为35786km, 4月16日定点于东经125°E赤道上空。通过该星进行了电视传输、声音广播、电话传送等试验。我国开始在长途通信线路上使用单模光纤, 进入了第三代光纤通信系统。

1984年5月1日, 广州用150MHz频段开通了我国第一个数字寻呼系统。程控中文电报译码机通过鉴定并推广使用。首次具备国际直拨功能的编码纵横制自动电话交换机(HJ09型)研制成功。

1985年, 上海贝尔公司组装第一批S-1240程控交换机, 广州与香港、深圳、珠海开通电子邮件。深圳发行了我国第一套电话卡, 共3枚, 面值87元。我国正式经国际卫星组织的C频段全球波束转发中央电视台的电视节目。北京至南极无线电话通话成功, 这是我国电信史上最远距离的短波通信。

1986年7月1日, 以北京为中心的国内卫星通信网建成投产, 7月2日, 我国第二颗实用通信卫星发射成功。第一台局用程控数字电话交换机(DS-2000型)研制成功。

1987年, 第一个长距离架空光缆通信系统(34Mbps)在武汉至荆州、长沙间试通。

1987年9月20日, 钱天白教授发出了我国第一封电子邮件, 此为中国人使用因特网之始。

1987年11月, 广州开通了我国第一个移动电话局, 首批用户有700个。我国第一个160个人工信息台在上海投入使用。

1988年, 第一个实用单模光纤通信系统(34Kbps)在扬州、高邮之间开通, 全长为75km。北京高能物理所成为我国最早使用因特网的单位。它利用因特网实现了与欧洲及北美地区的电子邮件通信。

1988年3月27日, 我国发射了实用通信卫星。

1988年5月9日, 北京、波恩国际卫星数字式电视会议系统试通。

1989年, 第一条1920路(140Mbps)单模长途干线在合肥、芜湖间建成开通。

1989年5月, 我国的第一个公用分组交换网通过鉴定, 并于11月正式投产使用。

1989年6月, 广东省珠江三角洲首先实现了移动电话自动漫游。

1990年7月, 上海引进美国摩托罗拉公司的800MC集群调度移动通信系统。140Mbps数字微波通信系统研制成功。

1991年, 1万门程控数字市内电话交换机通过鉴定。1920路(6GHz)大容量数字微波通信系统和一点对多点微波通信设备通过鉴定。

1991年3月, 第一个ISDN(综合业务数字网)的模型网在北京完成联网试验, 并通过了技术鉴定。622Mbps光纤通信数字复用设备(五次群复用设备)研制成功, 3月通过了技术鉴定。

1991 年 11 月 15 日, 上海首先在 150MHz 频段上开通汉字寻呼系统。

1992 年 7 月, 我国第一个 168 自动声讯台在广东省南海开通。

1993 年 9 月 19 日, 我国第一个数字移动电话通信网在浙江省嘉兴市首先开通。

1994 年 10 月, 我国第一个省级数字移动通信网在广东省开通, 容量为 5 万门。

1998 年 5 月 15 日, 北京电信长城 CDMA 网商用试验网——133 网在北京、上海、广州、西安投入试验。

1999 年 1 月 14 日, 我国第一条开通在国家一级干线上的, 传输速率为 $8 \times 2.5\text{Gbps}$ 的密集波分复用 (DWDM) 系统通过了信息产业部鉴定, 使原来光纤的通信容量扩大了 8 倍。

2002 年 1 月 8 日, 中国联通“新时空”CDMA 网络正式开通。中国联通计划在未来 3 年内逐步建成一个覆盖全国、总容量达到 5000 万户的 CDMA 网络, 成为世界最大、最好的 CDMA 网。

2002 年 5 月 17 日, 中国移动从 5 月 17 日起在全国正式投入 GPRS 系统商用。这意味着, 现阶段世界范围内最先进、应用最成熟的移动通信技术——GPRS 在中国实现大规模应用, 中国真正迈入 2.5G 时代。

1.4 MATLAB 简介

MATLAB 是一种交互式、面向对象的程序设计语言, 由美国的 Clever Moler 博士于 1980 年开发, 其设计初衷是为了解决“线性代数”课程的矩阵运算问题, 取名为 Matrix Laboratory 即矩阵实验室的意思。因此, MATLAB 是以矩阵计算为基础的数值计算软件, 它不需要编写复杂程序就可以解决许多复杂数值计算问题。随着应用技术的发展, MATLAB 已经不仅仅是一个“矩阵实验室”了, 它集科学计算、图像处理、声音处理于一身, 并提供了丰富的 Windows 图形界面设计方法。它可以把计算结果很方便地用图形来表示, 使人们能直接了解其许多内在的本质。目前, MATLAB 以其强大的功能, 成功地应用于各工程学科的研究领域。下面只作简要介绍。

1. 变量赋值

在 MATLAB 中, 变量的赋值主要有以下几种形式。

标量的赋值方式 $a = 8$

矢量的赋值方式 $a = [1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5]$, $a = 1:2:3:4:5$

矩阵的赋值方式 $A = [1 \ 2 \ 3; 4 \ 5 \ 6; 7 \ 8 \ 9]$, 该矩阵的结果相当于

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 4 & 5 & 6 \\ 7 & 8 & 9 \end{bmatrix}$$

2. 基本运算

(1) 矢量与标量的加减乘除

矢量加 (+)、减 (-)、乘以 (*) 或除以 (/) 一个标量时, 其结果是该矢量的每一个元素加、减、乘以或除以同一个标量。

比如 $x = [1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5] + 2$

结果为 $x=$

3 4 5 6 7

标量的加(+)、减(-)、乘以(*)矢量的结果与矢量加(+)、减(-)、乘以(*)标量的结果相同,即满足交换律。但标量除以(/)矢量是非法的。

(2) 矢量与矢量之间的加减运算

两个长度相同的矢量相加或者相减是对应的元素进行相加或者相减。

比如 $x=[1,2,3,4,5]*2+[2\ 3\ 4\ 5\ 6]$

结果为 $x=$

4 7 10 13 16

(3) 矢量与矢量之间的点乘和点除

两个长度相同的矢量点乘(.*)和点除(/.)分别是对应元素的相乘和相除。

比如 $x=[1\ 2\ 3].*[2,3,4]$

结果为 $x=$

2 6 12

比如 $x=[3\ 6\ 9]./[1\ 3\ 3]$

结果为 $x=$

3 . 2 3

(4) 幂与点幂运算

① 两个标量的幂运算表示以前一个量为底,后一个量为指数的幂运算。

比如 $x=2^8$

结果为 $x=256$

② 标量与矢量只能进行点幂运算。

比如 $x=2.^{[1\ 3\ 5]}$

结果为 $x=$

2 8 32

比如 $x=[1\ 3\ 5].^2$

结果为 $x=$

1 9 25

③ 两个相同长度的矢量点幂运算。

比如 $x=[1\ 2\ 3].^{[2\ 3\ 4]}$

结果为 $x=$

1 8 81

比如 $x=[2\ 3\ 4].^{[1\ 2\ 3]}$

结果为 $x=$

2 9 64

(5) 矩阵的基本运算

① 矩阵相加

比如 $x=[1\ 2\ 3;4\ 5\ 6]+[1\ 1\ 1;2\ 2\ 2]$

结果为 $x=$

2 3 4