

高等学校电子信息类教材

# 现代通信原理

## (第三版)

Principles of Modern Communications  
(Third Edition)

◎ 宋祖顺 宋晓勤 宋平 等编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

高等学校电子信息类教材

# 现代通信原理

(第三版)

## Principles of Modern Communications

(Third Edition)

宋祖顺 宋晓勤 宋平 等编著

电子工业出版社  
Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书主要讲述了现代通信系统的组成、各部件的工作原理及性能分析方法等。讲述方法从物理概念入手,结合数学分析,阐明基本概念及原理的实质,力求深入浅出,通俗易懂。

本书既可作为通信及相关专业通信原理课程的教材,也可作为工科院校及工程技术人员学习通信基础理论的参考书。

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

现代通信原理/宋祖顺,宋晓勤,宋平等编著. - 三版. - 北京:电子工业出版社,2010.1  
高等学校电子信息类教材  
ISBN 978-7-121-09817-8

I. 现… II. ①宋… ②宋… ③宋… III. 通信理论 - 高等学校 - 教材 IV. TN911

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 201522 号

责任编辑:宋 梅

印 刷: 北京京师印务有限公司  
装 订:

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: 25.75 字数: 659 千字

印 次: 2010 年 1 月第 1 次印刷

印 数: 3 000 册 定价: 45.00 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, 联系电话: (010)68279077; 邮购电话: (010)88254888。

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

服务热线: (010)88258888。

## 第三版前言

《现代通信原理》一书自2001年第一版由电子工业出版社出版以来，一直受到广大读者的关心与支持，不少高等院校选用该书作为通信工程、电子工程和信息工程等专业学习通信系统的基本原理和基础理论的教材。2006年，我们对该书进行了全面修订，编写完成了《现代通信原理（第二版）》。

通信事业发展日新月异，新理论和新技术层出不穷。本着有助于读者更好地学习与掌握现代通信基本原理、强化通信基础理论知识学习、广泛了解新的通信技术的思想，我们不断更新教材内容，完善教材呈现形式。三年来，编著者根据教学和科研工作的实践经验并结合广大读者反馈的意见，现已完成了第三版的编写工作。

第三版保留了原书深入浅出、通俗易懂的特点，以信息传输为主线，讲授通信系统的组成，阐述通信系统各主要部件的工作原理，分析它们的性能，并介绍其电路实现方法的编写思路，延续了表述方式深入浅出，便于教学和自学的特色。全书以数字通信系统为重点，并围绕原理介绍了最新的通信技术与实现方法。

全书分为10章。

第1章（绪论）：介绍了通信的发展历史和通信系统的模型、分类、评价指标及信息论中的一些基本概念，初步建立通信系统概念。

第2章（随机信号分析）：复习了概率论基础知识、随机变量、随机过程及其统计特性，重点分析了通信系统的噪声，是分析数字通信系统抗噪声性能的数学基础。

第3章（模拟调制）：分线性调制和角度调制两大类，分析了各种模拟调制的波形、时间函数、频谱、带宽和矢量图，对其抗噪声性能也进行了简略分析比较。

第4章（模拟信号数字化）：从低通和带通信号的抽样定理入手讲述模拟信号数字化的过程和理论基础，着重介绍了PCM和 $\Delta M$ 编/译码原理，并介绍了常用的ADPCM编码原理。

第5章（数字基带传输系统）：介绍了基带信号传输的原理框图，基带信号的码型、波形、时间表示式及功率谱，码间串扰的概念及无码间串扰传输的条件，分析了基带系统的误码特性，并介绍了眼图、部分响应技术和时域均衡。

第6章（数字调制）：介绍了基带的二进制数字调制、各种多进制调制及多种现代调制技术的信号产生、解调和性能分析。

第7章（数字信号的最佳接收）：介绍了最大信噪比接收、最小均方误差接收、最小错误概率接收、最大后验概率接收的概念及数学模型，分析了最佳接收机的性能，并与实际接收机做比较，最后介绍了基带系统的最佳化。

第8章（同步技术）：介绍了载波同步、位同步、群同步的原理、实现方法及性能分析。

第9章（信道编码）：介绍了差错控制工作方式及差错控制的基本概念，以及线性分组码、交织编码、汉明码、循环码、卷积码、 $m$ 序列、Turbo码和RS码。

第10章（通信系统原理实验）：以现代通信技术实验平台为例，介绍了通信原理部件实验和通信系统实验。

书后附有各章习题答案和常用的数学函数表格,便于读者查阅。与本书配套的《现代通信原理习题解答与实验教程》(陆辉 宋平等编著,电子工业出版社,2008年1月出版)中附有书中各章习题的详细解答。

本书内容涉及面广,新概念多,理论性强。编写有如下特点。

### 1. 数学推导深入浅出

书中不仅对大量公式做了完整、严密的数学推导,而且为方便读者阅读,对推导的目的、意义、方法及比较难理解的过程均加入了文字说明或解释,便于学习与理解。

### 2. 注重物理意义解释

对重要理论和重要概念,在严格数学推导的基础上给予确切的物理解释。如匹配滤波器为何能获得最大信噪比?部分响应为何能达到传输速率的最大极限而响应拖尾又很小?相关编码为何能消除半余弦滤波器的固定干扰,克服判决模糊?简单增量调制量化失真为何随信号频率升高而增大?对于这些问题,我们都结合数学推导给予物理解释,深化读者对理论与概念的理解。

### 3. 充分应用图解分析

采用矢量图和波形图进行图解分析。如对残留边带信号及窄带调频信号的矢量图分析,是本书中首创的。通过矢量图分析能清楚地说明残留边带信号及窄带调频信号特点。

### 4. 难点表述简便清晰

对于难点内容的表述力求概念清晰,方法简便。如随机序列频谱分析是教学难点之一,本书介绍了一种简便计算方法,能快速地计算出随机序列的带宽、直流成分和基波幅度等关键参数。与其他书籍中介绍的利用公式求解的方法相比,不仅计算简便,而且物理概念清楚,因此有更好的实用价值。

### 5. 横向对比深化概念理解

对于内容相似又有差别的概念,采用横向对比的方法讲述,如载波同步、位同步及群同步在性能、作用和实现方法性能指标等方面的异同点,通过对比指出相同的原因和不同的理由,并阐明存在差异的本质根源。通过这样的讲述方式,让读者从初次接触到同步概念起就从本质上掌握它们的区别与联系。

### 6. 列表对比加深理解记忆

书中采用列表对比的方法,对各种信号的时间函数与频谱函数,对各种数字调制的波形、频谱、抗噪性能及各种现代调制的相位路径、功率谱及电路特点进行对比,能清楚地看出它们各自的特点,便于理解与记忆。

### 7. 追根溯源激发学习兴趣

如数字调制在引言中就指出模拟调制与数字调制在基本原理和频谱搬移过程等方面是相同或相似的,但随之指出它们之间的4种差异。正因为这些差异导致了它们研究内容和研究方法的不同。这样从章节的开始便阐明了学习本章的意义,能引起读者探讨研究的兴趣,激发主动学习与研究的热情。书中对一些名词的由来也进行了解释,如对匹配滤波器中的“匹配”和部分响应中的“部分”等名词均进行了解释,阅读起来通俗易懂,饶有兴趣。

### 8. 注重实际应用能力的培养

为加强实践内容教学,本书特意编写了通信原理实验一章,使理论教学与实验教学能更

好地结合。为使读者能较好地理解基本概念和掌握通信系统的分析方法，编著者结合多年来研究生入学与复试试题的命题经验，精编了各章习题，并将答案附于书后。

本书的第2、4、5章由宋祖顺编写，第6、7、8、9章由宋晓勤编写，第1、3、10章及习题答案由宋平编写。全书由宋祖顺统稿。

衷心感谢电子工业出版社一直以来的大力协助和支持；衷心感谢宋梅、陆辉、章旻、贺慧娟、孙晓卉和唐艳等同志为本书的改编出版所做的大量工作！

真诚希望广大读者对书中存在的缺点和不足之处不吝指正。

(E-mail: xiaoqin.song@163.com)

编著者

2009年9月

# 目 录

第 1 章 绪论 .....	(1)
1.1 通信发展简史 .....	(1)
1.2 通信系统的基本模型 .....	(3)
1.3 通信系统的分类和数字通信系统 .....	(4)
1.4 信息量与香农公式 .....	(7)
1.5 数字通信系统的主要性能指标 .....	(9)
习题 .....	(10)
第 2 章 随机信号分析 .....	(12)
2.1 概率论基础知识 .....	(12)
2.1.1 事件及其概率 .....	(12)
2.1.2 概率的基本定理 .....	(13)
2.1.3 概率的几何表示 .....	(14)
2.2 随机变量与概率分布 .....	(15)
2.2.1 随机变量 .....	(15)
2.2.2 概率分布函数与概率密度 .....	(15)
2.2.3 多维随机变量和多维概率分布 .....	(17)
2.2.4 随机变量的数字特征 .....	(18)
2.2.5 通信系统中常见的概率分布 .....	(23)
2.3 随机变量函数的概率密度 .....	(27)
2.4 随机过程 .....	(28)
2.4.1 随机过程的概念 .....	(28)
2.4.2 随机过程的分布函数和概率密度 .....	(29)
2.4.3 随机过程的数字特征 .....	(30)
2.4.4 平稳随机过程 .....	(32)
2.4.5 平稳随机过程的自相关函数及功率谱密度 .....	(33)
2.4.6 各态历经性与时间平均值 .....	(35)
2.4.7 平稳随机过程通过线性系统 .....	(36)
2.5 通信系统中的噪声 .....	(38)
2.5.1 通信系统加性噪声的分类 .....	(38)
2.5.2 高斯噪声 .....	(39)
2.5.3 高斯白噪声及带限高斯白噪声 .....	(40)
2.6 窄带高斯噪声的振幅特性和相位特性 .....	(41)
2.6.1 窄带高斯噪声的概念及数学表示 .....	(41)
2.6.2 $R(t)$ 和 $\varphi(t)$ 概率密度的推导 .....	(43)
2.7 正弦波加窄带高斯噪声的统计特性 .....	(45)

2.7.1	正弦波加窄带高斯噪声的数学表示	(46)
2.7.2	$z(t)$ 和 $\varphi(t)$ 概率密度的推导	(46)
2.8	小结	(48)
	习题	(48)
<b>第3章</b>	<b>模拟调制</b>	(52)
3.1	幅度调制	(52)
3.1.1	完全调幅(AM)	(53)
3.1.2	抑制载波双边带(DSB)调制	(63)
3.1.3	单边带(SSB)调制	(67)
3.1.4	残留边带(VSB)调制	(72)
3.1.5	各种线性调制的比较	(75)
3.2	频分复用(FDM)	(77)
3.3	非线性调制(角度调制)	(78)
3.3.1	调频信号及调相信号	(78)
3.3.2	窄带调频与宽带调频	(84)
3.3.3	调频信号的功率	(91)
3.3.4	调频信号的产生与解调	(91)
3.3.5	调频信号的抗噪性能及加重、去加重电路	(95)
3.4	小结	(97)
	习题	(98)
<b>第4章</b>	<b>模拟信号数字化</b>	(100)
4.1	抽样定理	(100)
4.1.1	抽样定理及其证明	(101)
4.1.2	窄脉冲抽样	(104)
4.1.3	带通抽样	(109)
4.1.4	时分复用(TDM)的概念	(110)
4.2	脉冲编码调制(PCM)系统	(111)
4.2.1	模拟信号数字化的过程	(111)
4.2.2	PCM译码	(113)
4.2.3	3位码编/译码器	(113)
4.2.4	量化误差	(117)
4.2.5	非均匀量化的概念	(120)
4.2.6	压缩与扩张	(121)
4.2.7	数字压扩技术	(125)
4.2.8	PCM集成编/译码器介绍	(129)
4.2.9	PCM24和PCM30/32帧结构介绍	(133)
4.3	自适应差分脉冲编码调制(ADPCM)	(134)
4.3.1	概述	(134)
4.3.2	预测编码	(135)
4.3.3	自适应预测	(138)



4.3.4	自适应量化	(141)
4.3.5	ADPCM 方框原理	(142)
4.4	增量调制( $\Delta M$ )系统	(144)
4.4.1	增量调制及其工作原理	(144)
4.4.2	一般失真和过载量化失真	(146)
4.4.3	改进型增量调制	(147)
4.4.4	$\Delta M$ 集成电路编译码器介绍	(151)
4.5	小结	(155)
	习题	(155)
<b>第5章</b>	<b>数字基带传输系统</b>	<b>(157)</b>
5.1	数字基带传输系统的方框原理	(157)
5.2	数字基带信号	(159)
5.2.1	数字基带信号的码型	(159)
5.2.2	数字基带信号的波形及其表示	(160)
5.2.3	数字基带信号的功率谱	(161)
5.2.4	传输码	(164)
5.3	数字基带波形的形成	(168)
5.3.1	网络法	(168)
5.3.2	横向滤波器法	(168)
5.4	码间串扰	(170)
5.5	数字基带系统的理想传输特性	(171)
5.5.1	理想低通滤波器的传输特性	(171)
5.5.2	等效理想低通特性	(173)
5.5.3	实用的无码间串扰基带传输特性	(175)
5.6	无码间串扰时噪声对传输性能的影响	(176)
5.7	眼图	(179)
5.8	部分响应技术	(180)
5.8.1	半余弦滤波器	(180)
5.8.2	半余弦滤波器的特点	(183)
5.8.3	预编码	(184)
5.8.4	部分响应技术	(184)
5.9	信道均衡	(187)
5.9.1	时域均衡的原理	(188)
5.9.2	抽头系数的确定	(190)
5.9.3	均衡算法及实现	(191)
5.10	小结	(194)
	习题	(195)
<b>第6章</b>	<b>数字调制</b>	<b>(198)</b>
6.1	引言	(198)
6.2	振幅键控(ASK)	(199)

6.2.1	ASK 的实现方法	(199)
6.2.2	ASK 信号的频谱及带宽	(202)
6.2.3	振幅键控信号的解调和抗噪声性能	(204)
6.2.4	ASK 两种解调方法性能的比较	(207)
6.3	频率键控(FSK)	(208)
6.3.1	FSK 信号的产生	(208)
6.3.2	FSK 信号的频谱及带宽	(210)
6.3.3	FSK 信号的解调	(211)
6.3.4	FSK 两种解调方式的比较	(215)
6.4	相位键控(PSK)	(216)
6.4.1	绝对移相(CPSK)和相对移相(DPSK)	(216)
6.4.2	CPSK 和 DPSK 信号的产生	(218)
6.4.3	调相信号的频谱及带宽	(220)
6.4.4	调相信号的解调及性能分析	(221)
6.5	ASK, FSK 和 PSK 性能比较	(224)
6.6	多进制数字调制	(227)
6.6.1	多进制数字振幅调制	(227)
6.6.2	多进制数字频率调制	(228)
6.6.3	多进制数字相位调制	(229)
6.6.4	正交振幅调制	(233)
6.7	现代数字调制	(236)
6.7.1	时频调制及时频相调制	(236)
6.7.2	交错 4 相调制(SQPSK)	(237)
6.7.3	几种窄带数字调制	(237)
6.8	相对 4 相相移键控( $\pi/4$ DQPSK)	(241)
6.8.1	$\pi/4$ DQPSK 相位特点	(241)
6.8.2	$\pi/4$ DQPSK 调制器原理	(242)
6.8.3	$\pi/4$ DQPSK 调制的笛卡儿坐标负反馈功率控制放大器	(244)
6.8.4	$\pi/4$ DQPSK 解调	(245)
6.9	小结	(247)
	习题	(248)
<b>第 7 章</b>	<b>数字信号的最佳接收</b>	<b>(250)</b>
7.1	最大输出信噪比接收	(250)
7.1.1	匹配滤波器的传递函数 $H(f)$	(250)
7.1.2	匹配滤波器的冲激响应 $h(t)$	(252)
7.1.3	匹配滤波器的输出信号与噪声	(253)
7.1.4	匹配滤波器的性能	(254)
7.1.5	匹配滤波器举例	(255)
7.1.6	最大输出信噪比接收	(257)
7.2	最小均方误差接收	(258)

7.3	最小错误概率接收	(259)
7.4	最大后验概率接收	(262)
7.5	最佳接收机性能分析	(263)
7.6	基带系统最佳化	(268)
7.6.1	最佳基带系统结构	(268)
7.6.2	最佳基带系统性能分析	(269)
7.7	各类系统最佳接收机与实际接收机比较	(269)
7.8	小结	(270)
	习题	(271)
<b>第8章</b>	<b>同步技术</b>	<b>(273)</b>
8.1	同步技术分类	(273)
8.1.1	按功能划分	(273)
8.1.2	按实现方法划分	(274)
8.2	载波同步	(275)
8.2.1	自同步法	(275)
8.2.2	外同步法	(282)
8.3	载波同步系统的性能	(286)
8.4	位同步	(290)
8.4.1	外同步法	(291)
8.4.2	直接提取位同步信号法	(293)
8.5	位同步系统的性能	(297)
8.6	群同步	(300)
8.6.1	连贯插入法	(300)
8.6.2	分散插入	(304)
8.7	群同步系统的性能	(306)
8.8	群同步的保护	(308)
8.9	小结	(311)
	习题	(311)
<b>第9章</b>	<b>信道编码</b>	<b>(313)</b>
9.1	信道编码概述	(313)
9.1.1	差错控制的工作方式	(313)
9.1.2	信道编码的分类	(315)
9.2	信道编码的基本概念	(315)
9.2.1	信道编码的基本原理	(315)
9.2.2	信道编码的基本术语	(316)
9.2.3	几种简单实用的纠/检错编码	(317)
9.3	线性分组码	(320)
9.3.1	线性分组码的定义及性质	(320)
9.3.2	生成矩阵 $G$ 和监督矩阵 $H$	(321)
9.3.3	线性分组码的译码	(323)

9.4	汉明码	(325)
9.5	循环码	(326)
9.5.1	循环码的特点	(326)
9.5.2	生成多项式	(326)
9.5.3	循环码的生成矩阵和监督矩阵	(327)
9.5.4	循环码的编码	(329)
9.5.5	循环码的译码	(330)
9.6	交织编码	(331)
9.7	卷积码	(332)
9.7.1	卷积码的编码	(333)
9.7.2	卷积码的生成矩阵和监督矩阵	(334)
9.7.3	卷积码的网格图表示	(335)
9.7.4	卷积码的译码	(336)
9.8	m 序列	(341)
9.8.1	基本概念	(342)
9.8.2	m 序列的产生	(342)
9.8.3	m 序列的性质	(344)
9.9	网格编码调制	(345)
9.10	Turbo 码	(348)
9.10.1	Turbo 编码器	(348)
9.10.2	Turbo 译码器	(349)
9.11	RS 码	(350)
9.11.1	RS 码中的 GF	(350)
9.11.2	RS 码的编码	(351)
9.11.3	RS 码的译码	(351)
9.12	小结	(352)
	习题	(352)
<b>第 10 章</b>	<b>通信系统原理实验</b>	<b>(354)</b>
10.1	RZ8641 现代通信技术实验平台介绍	(354)
10.1.1	RZ8641 总体结构	(354)
10.1.2	RZ8641 实验模块	(355)
10.2	通信基础知识实验	(356)
10.2.1	模拟信号源	(356)
10.2.2	抽样脉冲源	(356)
10.2.3	用户电话接口	(357)
10.2.4	接收滤波器与功放电路和眼图观察电路	(357)
10.2.5	时钟与基带数据发生模块	(358)
10.2.6	数字频率合成模块	(360)
10.2.7	噪声模块	(360)
10.3	通信原理部件实验	(361)

10.3.1	抽样定理及 PAM 脉冲幅度调制模块	(361)
10.3.2	PCM/ADPCM 编/译码模块	(362)
10.3.3	CVSD( $\Delta M$ )增量调制编码模块及译码模块	(363)
10.3.4	AMI/HDB <sub>3</sub> 码编/译码模块	(364)
10.3.5	FSK(ASK)调制模块	(366)
10.3.6	FSK(ASK)解调模块	(367)
10.3.7	CPSK(DPSK)调制模块	(368)
10.3.8	CPSK(DPSK)解调模块	(368)
10.3.9	卷积码、汉明码、交织码、循环码的编码、传输及译码模块	(369)
10.3.10	软件无线电技术模块	(371)
10.4	各种复用/解复用及均衡实验	(372)
10.4.1	频分复用(FDM)	(372)
10.4.2	时分复用(TDM)	(373)
10.4.3	码分复用(CDM)	(374)
10.4.4	手动频域均衡及眼图观察	(376)
10.4.5	预置式线路时域均衡	(377)
10.5	通信系统实验	(378)
10.5.1	模拟电话实线传输系统实验	(378)
10.5.2	数字电话实线传输系统实验	(378)
10.5.3	位同步提取和基带码元再生中继传输系统实验	(379)
10.5.4	PCM、AMI/HDB <sub>3</sub> 传输系统实验	(380)
10.5.5	PCM、汉明码传输系统实验	(380)
10.5.6	PCM、汉明编码及交织码传输系统实验	(380)
10.5.7	CVSD 编码及汉明码传输系统实验	(381)
10.5.8	CVSD 编码、汉明编码及交织码传输系统实验	(381)
10.5.9	单工通信系统实验	(381)
10.5.10	通信大系统测试实验	(382)
10.6	小结	(382)
习题答案		(383)
附录 A 常用信号的时间函数和频谱函数		(391)
附录 B $\operatorname{erf} x, \operatorname{erfc} x$ 与 $x$ 的关系表		(394)
附录 C 贝塞尔函数		(395)
C.1	贝塞尔函数表	(395)
C.2	贝塞尔函数曲线	(395)
参考文献		(396)

# 第1章 绪 论

通信是一门古老而又年轻的学科。说它古老，是因为自从人类组成社会以来就有通信；说它年轻，是因为它至今仍在蓬勃发展，而且展现出无限的前景。

从一般意义上说，互通情报、交换消息就称为通信。通信学科就是研究如何有效、可靠地把消息从一地传递到另一地的一门科学。

## 1.1 通信发展简史

早在原始社会，人们就用手势、记号和语言来表达思想，传递消息。公元前14世纪，我国殷墟出土的甲骨文，已有边防军传送情报到殷京（现河南安阳）的记载。到了商代，军队中已有通信兵。所谓“来僖告之”，“僖”即相当于现代的通信兵，他们是以旗、鼓和号角作为通信的工具的。到了西周，更是创造性地使用了“阴符”和“阴书”的保密通信，并建立了烽火台和邮驿，用以组织“接力”通信。虽然这些通信方式还都是简单、原始的，但却是通信发展的萌芽阶段。随着社会生产力的发展和战争的需要，人们对传递消息的要求越来越高，电的发现和利用为传递消息提供了许多新的方式，而且使消息几乎在任意通信距离上迅速、准确、方便、可靠地传送。利用电实现的通信，称为电通信，当今在自然科学中，“通信”一词，几乎变成了电通信的同义词。

电通信起源于18世纪末，据说开始用于军事目的是19世纪初，当时，欧洲正处于拿破仑战争时期。1809年春天，奥地利军队跨过莱茵河，进犯巴伐利亚，在入侵者到达迪林根之前，国王马克西米利安就逃跑了。使他大为惊异，同时也使他迅速得救的是以拿破仑为首的法国援军出人意料地赶到。原来是法国军队使用了克劳德·沙布的电报，拿破仑很快就知道了奥地利入侵的消息。结果是奥地利在这年的4月16日占领慕尼黑，6天以后就被拿破仑夺回，4月22日马克西米利安又能够重返国都。快速通信的作用给国王留下了深刻印象，于是国王下令安装自己的电报系统，并通过他的总理蒙哥拉斯要求巴伐利亚科学院进行研制。左默林设想了一个电报方案，并于1809年8月18日在2000英尺（1英尺=30.48厘米）的线路上成功地进行了演示。但是拿破仑战争的结束，使得改善通信的兴趣大为减小，所以电报仍停滞在实验室研究阶段。1830年后，随着铁路发展，火车以每小时50英里（1英里=1.609千米）的速度行驶，迫切需要有能与火车速度相适应的通信系统保证火车运行的调度与管理。1837年惠斯顿和库克在伦敦和伯明翰铁路的尤斯顿和坎登镇之间安装了沿铁路线的电报表演系统，后来经过30年，进行了若干改进，建立了世界范围的电报系统。此后，通信以更快的速度发展，其中重要的发展有：

1876年贝尔发明了电话。

1895年马可尼和波波夫同时分别实现了无线电通信。

1929年贝尔实验室第1次进行了电视试验。

1946年美国制造了第1台电子计算机，到了20世纪50年代末开始了计算机通信。

1956年美国摩托罗拉公司生产出第1个无线电寻呼机。

1957年苏联发射第1颗人造地球卫星,人类开始了空间通信。

1962年美国发射第1颗通信卫星,卫星通信步入实用阶段。

1966年英籍华人高锟提出了光纤通信的设想,十多年后实现了光纤通信。

1970年第1部商用数字时分程控电话交换机在法国投入使用。

1978年美国贝尔实验室研制成功模拟蜂窝制移动电话系统。

1985年英国电信公司开设了综合业务数字网。

1986年欧洲推出泛欧数字移动通信网(GSM)并于1991年GSM在欧洲开始商用。

1989年美国高通公司(Qualcomm)开始码分多址(CDMA)数字蜂窝移动通信实验,1993年生产出第1批双模式移动台,此后CDMA席卷世界。

1991年美国国防部“易通话”(Speakeasy)计划提出软件无线电概念,1994年10月完成第1阶段计划并进行演示。

1991年美国戈尔提出“信息高速公路法案”,很快得到世界各国响应,全球掀起信息高速公路热潮。

1994年国际最大的计算机互联网络(Internet)商业化,实现了世界范围的网络资源共享。

1996年国际电信联盟(ITU)提出名为IMT-2000(国际移动通信2000年)的灵活的无线接入标准。1998年6月,ITU收到包括中国提出的方案在内的共15种方案。2000年5月,ITU确定WCDMA, cdma2000和TD-SCDMA三大主流无线接口标准,写入第三代移动通信系统(3G)技术指导性文件。2007年年底,全球3G用户为3.25亿,预计2010年达8亿,包括2G在内用户总数可达40亿。

随着世界通信技术的发展,我国通信事业特别是在改革开放以来得到蓬勃发展。通信网平台加专门应用信息系统构成的中国高速信息网正在建设之中。以光纤为骨干辅以微波、卫星信道的“八纵八横”高速传输系统覆盖全国。金桥、金关、金卡、金税、金企、金农、金智、金策的“八金工程”的八大信息工程已经建成。“十一五”期间又将农信工程、共信工程、安信工程、家信工程、城信工程和RFID工程列为信息技术应用的六大专项工程。截至2009年8月,我国固定电话用户达到3.28亿户,手机用户达7.03亿部。随着通信事业的发展和市场的需求,信息产业和信息服务已成为国民经济的重要部门,光纤、微波、卫星、移动、交换和终端等设备的生产与研制已成为信息产业的支柱。与此同时,以电信部门为主的各种信息服务也在不断完善和发展。

迄今通信不仅能迅速、准确、方便、可靠地传递消息,而且通信的内容和形式不断丰富,新的通信系统已超出了人与人之间通信的范围。特别是数字通信的发展,使人通过计算机可与各种机器进行通信。未来家庭的一个综合数字终端系统,不仅可以打电话,而且可以在电视中与对方“见面”;可以选看全国以致全世界范围内你所喜欢的电视节目,可以与各种数据库、图像库、音乐库和影片库等进行通信,获得你所需的节目;查阅和复印各种文献资料;可以在家里订票;在荧光屏前购物;可以在家里参加各种会议和讨论;可以在家里工作和接受教育;生了病,可以接受著名医生的远距离诊断治疗;可以直接指挥机器人讲话,指挥它做各种家务,同你下棋,为你唱歌跳舞等。可以说,通信必将渗透到人类生产、生活的各个领域,它对国民经济发展,人民物质文化生活的提高甚至包括学习、工作和生活方式的改善等方面将发挥越来越大的作用。关于未来通信系统的组成结构和关键技术的研究,始终是世界各国通信工作者的研究重点,通信的概念也在不断地拓展和延伸。通信的发展必将提供全球性优质服务,真正实现在任何时间、任何地点、向任何人提供通信服务这一通信发

展的最高目标。有幸和有志在通信领域中工作的人们，让我们为通信的现在和未来而努力奋斗吧！

## 1.2 通信系统的基本模型

通信就是把消息从一地传送到另一地。譬如说从甲地传送消息到乙地，那么甲地称为发信端，乙地称为接收端。以最简单的通信方式——面对面交谈为例，讲话是表达消息的一种方式。发话人是消息的来源，称为信源；语音通过空气传到对方，而传递消息的媒质称为信道；听话者听到后获得消息，是消息的归宿，称为信宿。这样就完成了消息的传递，也就构成了通信系统，这个过程可以用图 1.1 表示。

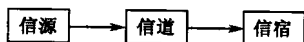


图 1.1 通信系统简图

对电通信而言，诸如语音、报文和图像等一类原始消息首先要转变成电量，因此在发信端要加入输入变换器；为使变换器产生的电量能适合信道传送的要求，在发信端还必须要有发送设备。在接收端要完成相反的过程，因此接收设备和输出变换器是必不可少的。由于发送、接收设备和信道不可避免地要引入噪声，通常把所有可能产生的噪声归结到信道中，图 1.2 所示是通信系统的基本模型。

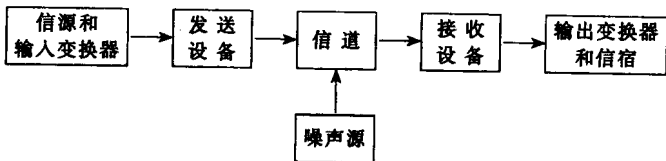


图 1.2 通信系统的基本模型

实际通信系统形式虽然很多，但总包括这 5 个部分，下面对每个方框进行说明。

**信源和输入变换器：**信源是消息的来源，通常消息是非电的，因此必须把来自信源的消息转变成随时间变化的电量，这个电量称为消息信号或基带信号。这个过程是由输入变换器完成的，如语音激励的送话器、电视摄像机和光电输入机等就属这类输入变换器。

**发送设备：**把输入信号连接到信道上。虽然有时发信机的输入信号直接加到信道上是可行的，但为了加工信号，使信号满足信道传送的各项要求，发送设备常常是必要的。由发送设备完成的信号加工工作主要包括放大、滤波和调制。在这些加工中，最重要的工作是调制。通过调制，使被传送信号的特性与信道的要求相匹配。

**信道：**信号的通道。信源与信宿在物理上往往是分开的，信道提供了信源与信宿之间在电气上的联系。信道具有许多不同的形式，例如，自由空间的短波无线电信道、双绞线、电缆或光纤，以及卫星或微波接力等，都是常见的实际信道。

**接收设备：**从来自信道的各种微弱传输信号和噪声中选择所需要的消息信号。接收机主要通过解调过程来完成这个功能，而解调是发信设备调制过程的逆过程。由于存在噪声和有用信号的畸变，接收机不一定能完全再现消息信号。接收设备要实现的功能是采用什么样的解调方式才能有效地克服和减小噪声和其他信号的影响。接收设备除了完成解调任务之外，还将为信号提供放大和滤波。



输出变换器和信宿：信宿是信息的归宿，也就是消息的接收者。比如传送的是语言消息，接收者是用耳朵听，人耳接收的是声波的振动，因此还需要把接收设备复制的电信号变换成接收者能接受的消息，如语音振动。这种设备就是输出变换器。输出变换器有许多种，如耳机、扬声器、电视屏幕、凿孔机、磁带记录仪和打印机等，都是典型的输出变换器。

噪声源：它与上述部件不同，它不是人们有意加入的设备，而是通信系统中各种设备以及信道中固有的，并且是人们不希望有的。在通信系统中，某些点的噪声与信号相比可以忽略（如发信机中），所以不考虑噪声的影响。然而在有些点，噪声与信号功率相当，甚至噪声超过信号，这样噪声将严重地降低通信系统的性能，通信系统设计的主要任务就是同噪声做斗争。通信系统中的噪声从来源分，包括系统中各部件自身产生的内部噪声和外部噪声源对系统的作用而引起的外部噪声。由于信道对传输信号有衰减，在信道输出端信号常常被减弱，同时外部噪声往往从信道引入，加之内部噪声，在这里噪声的影响最为严重。因此把噪声抽象为从信道加入，对分析通信系统性能是合适的，而且这样处理噪声为分析问题带来了方便。

### 1.3 通信系统的分类和数字通信系统

前面已经说过，随着通信技术的发展，通信的内容和形式不断丰富。因此通信的种类层出不穷，很难列举齐全。按照不同的分类法，通信就有不同的种类，常见的分类法有：

按收发两地有没有一条具体的线路相连接来区分，通信分为有线通信和无线通信。常见的以架空明线、电缆、波导管和光缆等作为线路连接的均属有线通信，而中、长、短波通信，微波接力通信，卫星通信和散射通信等均属无线通信。

按消息的形式分，如传送的消息是语音的则称为电话；传送的消息是文字和符号的则为电报；传送固定图像的为传真；传送活动图像的则为电视。

按信号性质分，传送模拟信号的通信为模拟通信；传送数字信号的通信为数字通信。

前两种分类法是大家都很熟悉的，为搞清第3种分类法，我们有必要对模拟信号与数字信号加以介绍。

凡信号的某一参量可以取无限多个值，并且直接与消息对应的信号称为模拟信号。语音激励话筒而产生的信号波形如图 1.3 所示。语音信号不但在时间上连续，而且它的幅度有无穷多个取值，并且其值的大小与语声强弱一一对应，显然它是模拟信号。

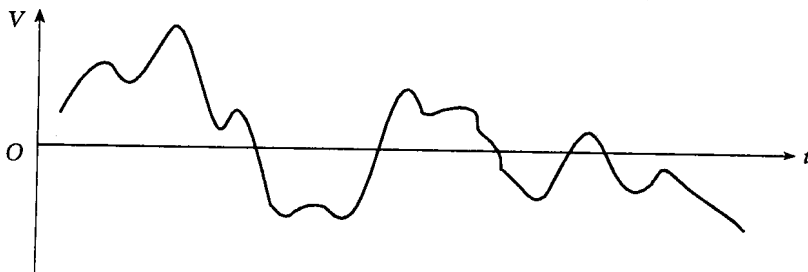


图 1.3 语音激励话筒而产生的信号波形