

深入浅出自动化技术丛书

# 工业通信技术

## 原理与应用

许勇 编著

■ 全面介绍工业通信领域的各种基本概念、基本原理和各种通信技术  
■ 重点讲述工业系统中常用的和即将出现的各种通信技术  
■ 详细阐述了工业通信技术和系统的内容、实现手段和完成性能及各要素具体实现的方法和方式  
■ 重点剖析了Profibus控制系统的技术和应用



中国电力出版社  
[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)

深入浅出自动化技术丛书

# 工业通信技术

## 原理与应用

许勇 编著



中国电力出版社

[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)

## 内 容 提 要

本书主要介绍通信技术在现代工业企业中的发展和应用的基础知识。在综合了信息、电子、计算机技术和网络技术发展成果的基础上,系统地讲述了工业通信领域的主要内容。在讲述了通信系统和网络技术的基本原理后,重点介绍了工业系统中常用的和正在出现的各种通信技术。

全书共分为9章,主要内容包括通信系统的基本概念、信道的基本特性、通信网络模型、数字传输技术、无线传输、现场总线以及工业以太网控制系统等。作为典型的应用系统,还专门介绍了Profibus技术和应用。本书可作为广大工程技术人员学习通信基础理论及应用的参考书,也可作为高等院校、自动化及相关专业本科或研究生的教材,高职、高专用作教材时可适当节选。

### 图书在版编目(CIP)数据

工业通信技术原理与应用/许勇编著.—北京:中国电力出版社,2008  
(深入浅出自动化技术丛书)  
ISBN 978-7-5083-7442-0

I.工… II.许… III.通信技术 IV.TN91

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第077652号

责任编辑:夏华香  
责任校对:李亚  
责任印制:郭华清

书 名:工业通信技术原理与应用  
编 著:许 勇

出版发行:中国电力出版社

地址:北京市三里河路6号 邮政编码:100044

电话:(010)68362602 传真:(010)68316497

印 刷:航远印刷有限公司

开本尺寸:185mm×233mm 印 张:25.75 字 数:569千字

书 号:ISBN 978-7-5083-7442-0

版 次:2008年9月北京第1版

印 次:2008年9月第1次印刷

印 数:0001—3000册

定 价:42.00元

### 敬 告 读 者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失  
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

# 《深入浅出自动化技术丛书》

## 编 委 会

主任委员：吴惕华

副主任委员：潘立登

委 员：(以姓氏笔画为序)

王均木	王振臣	孙晓云	孙会琴	许 勇
吕卫阳	李大宇	李海滨	刘向东	刘东辉
刘朝英	何坚强	张永德	张新岭	张伟勇
娄国焕	郝 成	徐昌荣	翁维勤	黄晓华
蔡满军	薛迎成			

# 丛书序

日新月异的自动化技术为传统产业的改造、生产水平的提高和产品更新换代注入了强大活力。微电子技术和计算机、通信、网络技术的崛起，给自动化技术架起了腾飞的双翼，成为当代发展最快、影响最大、最引人瞩目的高技术之一，在百花争艳的信息化舞台上独领风骚。现在，自动化技术不仅渗透于国民经济各行各业，对社会、经济、文化、军事、科技等各个领域都有着深刻的影响，而且正悄然地改变着人们的生产、工作、生活乃至思维方式。一个无处不在的、方兴未艾的自动化时代正在到来。

为了适应自动化技术蓬勃发展的需要，我们组织编写了这套丛书，旨在进一步对自动化技术的应用和推广起到积极的推动作用。本丛书主要面向从事自动化及其相关技术领域的工程技术人员和在校大学生，为他们提供应用自动化技术或解决应用领域中的疑难问题，提高自动化技术水平的参考用书，同时也是他们学习和掌握当前自动化领域涌现的新技术和新方法、知识更新、提高创新能力的良师和益友。许多非自动化专业的工程技术人员，由于工作中常遇到自动化技术问题，有着拓宽知识面，学习和了解有关自动化技术和基本要求的要求，学习本丛书定有裨益。其他凡是对自动化技术有兴趣的初学者均可将本丛书作为快捷的入门先导。

本丛书编写宗旨是面向读者、面向应用，力求突出实用性、适用性、易用性。在编写中注意不仅既要求内容丰富、覆盖面广，又要技术先进、新颖，而且在内容的组织和表述上要深入浅出、通俗易懂，便于自学，使读者不仅学了就能懂，更要学了就会用。在理论和实际二者兼顾和结合方面，以应用尤其是工程上的实际应用为重点，尽量多采用实例编写；而理论的介绍以应用为目的，注意基本概念，避免面面俱到和“全”而“深”，以“必要”和“够用”为度，尽量减少烦琐的理论推导和公式证明，力求简练实用。在把握先进技术和流行、成熟技术的关系方面，在介绍先进的新技术同时，重点是掌握现阶段的实用的流行技术。

为了保持全套丛书具有科学性、先进性、广泛性和代表性，我们聘请了不同部门和行业各具特长的自动化专家、教授组成了编审委员会。作者均有多年从事自动化专业教学、科研或工程技术工作的经历，具有较丰富的实践经验。为了打造“精品”出好书，本丛书凝聚了作者们的心血和汗水，在此我们致以诚挚的谢意。对丛书中不足之处，还望广大读者批评和指正。

丛书编审委员会  
2007年2月于北京

# 前言

社会经济活动和网络技术的发展使工业系统走向分散化和网络化，并带来了工业通信技术和系统在理论、功能和应用方面的飞速发展和重大变化。通信技术的发展则促进了工业自动化系统的重大变革和更新换代，也带来了人们生产组织和生产方式的巨大变化，其影响遍及人们生产活动和社会生活的各个方面。

本书综合了信息、电子、计算机技术和网络技术的发展成果，系统地讲述了工业通信领域的主要内容，从常规模拟电子通信系统的基本概念到现代的无线数字通信系统。在讲述了通信系统和网络技术的基本原理后，重点介绍工业系统中常用的和正在出现的各种通信技术。

作者综合多年来在国内外从事自动化和工业通信领域的实战工作、教学、研究上的经验和成果，吸收了通信领域的新方法和新技术编写了此书。本收在阐述基本原理设计方法时，注意理论知识的体系和工作技术的内在联系，也更重视工程实际应用。在结构上，努力构成一个开放的架构，除了给教学和学习者提供基本的内容外，还为容纳结合今后更多、更新的内容做了准备。

本书主要介绍工业通信技术和系统的内容、实现手段和系统各要素的具体实现方法和方式。全书共分为9章，主要内容包括通信系统的基本概念、信道的基本特性、通信网络模型、数字传输技术、无线传输、现场总线以及工业以太网控制系统等。作为典型的应用系统，还专门介绍了 Profibus 技术及其应用。

本书的编写工作主要由许勇完成，桂林电子科技大学企业自动化研究室的樊永显、潘明、陈昕光、陈溢文、李瑞和冯静对本书的部分章节和图表也做了大量工作，在此深表感谢。

工业通信技术是一个内容广泛，而且发展迅速的领域。笔者在编写本书的过程中尽量提供系统的技术知识基础，并介绍比较新的技术发展内容。力有不逮之处，欢迎批评指正。

作者

2008年7月于桂林

# 目录

---

## 丛书序

## 前 言

<b>第 1 章</b>	<b>工业通信概论</b> .....	1
1.1	信息和通信的原理.....	1
1.2	通信和通信系统基本概念.....	4
1.3	工业通信系统概要.....	13
1.4	网络协议和协议参考模型.....	32
<b>第 2 章</b>	<b>数据通信原理及基础</b> .....	40
2.1	数据通信系统组成.....	40
2.2	信号与信号传输.....	44
2.3	信道及其主要技术指标.....	52
2.4	信号的传输.....	59
2.5	工业通信系统的可靠性.....	68
<b>第 3 章</b>	<b>通信总线接口技术介绍</b> .....	83
3.1	总线概述.....	83
3.2	常用的内部总线.....	95
3.3	存储器的通信接口.....	106
3.4	新型总线技术.....	113
<b>第 4 章</b>	<b>PC 的系统总线</b> .....	123
4.1	概述.....	123
4.2	早期的 PC 系列总线.....	127
4.3	PCI 总线.....	134
4.4	新一代 PC 总线.....	145
4.5	显卡和显卡的通信接口.....	159
<b>第 5 章</b>	<b>工控机与测控仪器接口总线</b> .....	173
5.1	概述.....	173
5.2	早期的工控机总线技术.....	174

5.3	Compact PCI	189
5.4	测量仪器总线	194
<b>第 6 章</b>	<b>常用工业通信技术</b>	<b>220</b>
6.1	串行通信技术	220
6.2	高速串行接口总线	228
6.3	工业无线技术	242
6.4	电力线通信技术	266
<b>第 7 章</b>	<b>常用现场总线</b>	<b>274</b>
7.1	概述	274
7.2	基金会总线 FF	277
7.3	LonWorks	290
7.4	CAN Bus 和汽车内部网络	298
7.5	其他常用现场总线	314
7.6	现场总线发展趋势	318
<b>第 8 章</b>	<b>Profibus 技术及其应用</b>	<b>321</b>
8.1	概述	321
8.2	Profibus 的通信协议	323
8.3	Profibus 的实现	333
8.4	PROFInet	344
8.5	应用系统	350
<b>第 9 章</b>	<b>工业以太网技术及其应用</b>	<b>362</b>
9.1	以太网基础	362
9.2	工业以太网的应用	370
9.3	以太网的工业应用	387
9.4	嵌入式 Web 技术在控制系统中的应用研究	395
9.5	工业以太网的应用和发展	399
<b>参考文献</b>		<b>402</b>





## 第1章 工业通信概论

通信就是信息的传输和交换。随着工业系统走向分布化和网络化，通信技术和网络技术成为工业自动化技术的核心内容之一。工厂生产管理系统和生产控制单元之间、控制器与各种生产设备之间的信息流通道成为工业企业的命脉。对通信和数据传输的理解是我们学习生产系统的基础部分。

### 1.1 信息和通信的原理

信息是对客观事物状态变化的描述，依赖于具体的客观事实。人们通过信息认识与理解客观的事物和系统，进而控制和管理客观事物和系统。

信息的意义在于传递。没有不经过传递而存在的信息，也不存在没有任何信息的传递。信息在传递过程中发挥它的价值和作用。正是由于信息的传递，才有了充满生机和千变万化的世界。

通信就是信息的传递，通信过程就是信息的发送方（信源）通过信道把信息传送到接收方（信宿）的过程。

#### 1.1.1 信息和信息的量化概念

##### 一、信息论介绍

对于信息的含义，不同的人有不同的理解。但比较广泛的说法还是来自信息论的创始人香农（C.E.Shannon）：“信息是人们对事物了解的不确定性的减少或消除”，以及控制论创始人维纳（N. Wiener）的说法：“信息是人与外界相互作用的过程中，同外部世界相互交换的内容的名称”。而在信息管理系统领域，一种更通俗的说法是“信息是经过加工的数据，它对接收者有用，对决策或行为有现实或潜在的价值”。

现代通信技术的发展导致了关于现代通信技术的理论——信息论的诞生。香农为解决通信技术中的信息编码问题，把发送信息和接收信息作为一个整体的通信过程来研究，提出通信系统的一般模型；同时建立了信息量的统计公式，奠定了信息论的理论基础。1948年香农发表的《通讯的数学理论》一文，成为信息论诞生的标志。

香农创立信息论，也是在前人研究的基础上完成的。比如哈特莱（R.V.Hartley）在1922年发表名为《信息传输》的文章，首先提出消息是代码、符号，而不是信息内容本身，使信息与消息区分开来，并提出用消息可能数目的对数值来度量消息中所含有的信息量，为信息论的创立提供了思路。

信息论还研究信道的容量、消息的编码与调制的问题以及噪声与滤波的理论等方面的内容,也研究语义信息、有效信息和模糊信息等方面的问题。

信息方法具有普适性,信息概念具有普遍意义,它已经广泛地渗透到社会的各个领域。信息论可以分成两种:狭义信息论与广义信息论。狭义信息论是关于通信技术的理论,是用数理统计的方法研究信息处理、信息变换和信息传输的科学,研究信息源、信宿、信道及编码等问题。广义信息论则超出了通信技术的范围来研究信息问题,把信息定义为物质在相互作用中表征外部情况的一种普遍属性,它是一种物质系统的特性以一定形式在另一种物质系统中的再现。广义信息论以各种系统、各门科学中的信息为对象,广泛地研究信息的本质和特点,以及信息的取得、计量、传输、存储、处理、控制和利用的一般规律。如今,信息论概念及方法已经推广和应用于其他学科,如生物学、医学、管理科学等,人们也称广义信息论为信息科学。

## 二、信息的特征

综合目前的研究,归纳出信息的主要特征,可以分为三个方面。

(1) 信息是客观世界事物状态的反映,是物质(事物)间的一种相互作用。信息具有主客体二重性,涉及主客体双方,信息本身表征信源客体的存在方式和运动状态的特性,具有客体性和绝对性;但接收者(信宿)所获得的信息量和价值的大小,与信宿主体的背景有关,表现了主体性和相对性。

(2) 信息有不同的存在形式。数据就是信息存在的一种形式,数据可以是数字,也可以是文字、声音和图形等。以数据形式存在的信息可以在现代信息技术中得到最有效的处理和应用。数据总是在一定程度上具有结构化的特征,因而可以使用结构化的手段收集、存储、传输、处理和使用。非数据形式的信息也是存在的,比如人的大脑里存储的信息和关联(当然这些关联本身也是信息)。在现有的技术水平下,非数据信息是很难管理的。当人们想要对某些信息进行管理的时候,一般需要将其整理为数据。

(3) 信息的产生、存在和流通,依赖于物质和能量,没有物质和能量就没有能动作用。信息是“经过加工的”,是凝聚着劳动和活动的产品,信息可以量化研究。

在工业环境下,信息反映生产系统及其系统组件的状态,包括静止状态和运动状态。信息主要以数据的形式存在,以信号为载体。

## 三、信息的量化

信息反映的是物体(事物)的状态,信息可以消除人们认识中事物状态的不确定性。对信息的量化研究是深入理解通信系统性能指标的基础。

信息量的大小是通过信息对不确定性的消除程度来衡量的。信号是消息的载体,而信息是其内涵。任何信源产生的输出都是随机的,也就是说,信源输出是用统计方法来定性的。对接收者来说,只有消息中不确定的内容才构成信息;否则,信源输出已确切知晓,就没有必要再传输它了。因此,信息含量就是对消息中这种不确定性的度量。

举一个工业自动化系统中常见的电机转速的例子。一个变频调速电机的转速有很多可能的值(转速有多种状态),那么知道了一个电机的确定转速就等于排除了其他多种可能

转速，所以该电机某个时刻的确定转速这个信息的信息量就比较大；而如果对象是个只有一个挡的电扇电机，通电后电机状态也只有转与不转两种，转速还是唯一的，没有什么不确定性，则该电机某个时刻的确定转速这个信息的信息量就比较小。

根据概率论知识，事件的不确定性可用事件出现的概率来描述。事件发生可能性越小，概率就越小；反之，概率越大。因此，消息中包含的信息量与消息发生的概率密切相关。消息出现的概率越小，消息中包含的信息量就越大。假设  $P(x)$  是一个消息发生的概率， $I$  是从该消息获悉的信息量，根据上面的认知，显然  $I$  与  $P(x)$  之间的关系反映为如下规律：

(1) 消息中信息量是消息出现概率的函数，即

$$I=I [P(x)]$$

(2)  $P(x)$  越小， $I$  越大；反之， $I$  越小，且  $P(x) \rightarrow 1$  时， $I \rightarrow 0$ ； $P(x) \rightarrow 0$  时， $I \rightarrow \infty$ 。

(3) 若干个互相独立的事件构成的消息，所含信息量等于各独立事件信息量之和，也就是说，信息具有相加性，即

$$I [P(x_1)P(x_2)\cdots] = I [P(x_1)] + I [P(x_2)] + \cdots$$

1948年，对于可能状态是离散的而且等概率的系统，香农在其狭义信息论中用一个简单的公式来计算系统状态信息的信息量

$$I = \log_a \frac{1}{p(x)} = -\log_a P(x) \quad (1-1)$$

信息量的单位与对数底数  $a$  有关。当  $a=2$  时，信息量的单位为比特 (bit)； $p$  为系统信息状态出现的概率， $p$  反映的是系统可能状态的数量。

如前所述，哈特莱首先提出采用消息出现概率的对数测度作为离散消息的信息度量单位。所以  $a=10$  时，信息量的单位叫哈特莱，是十进制单位。当  $a=e$ ，即采用自然对数时，信息量的单位为奈特 (nat)。众所周知，由于二进制在电子和通信领域的广泛应用，目前使用的单位主要是比特。

比如一个简单开关电路有“开”和“关”两个状态，而某种状态的发生概率都是 0.5，则其确定状态作为一个事件，而信息量就是  $I = \log_2(1/0.5) = \log_2(2) = 1$  (bit)，即一个比特。

再用一个简单的例子来理解香农信息量计算公式。一个地区出现了两件事：一个乡“六月下雨”，而另一个乡“六月下雪”。这两件事的信息量也可以用香农公式来计算。

因为六月下雨的可能比较大，如果该地区平均 8 个乡中就有一个六月下雨，显然“六月下雨”的概率是  $1/8 = 0.125$ 。用香农公式可以计算出“六月下雨”这一信息的信息量为：

$$I_1 = \log_2(1/0.125) = \log_2(8) = 3 \text{ (bit)}$$

也就是说，这件事的信息量为 3 个比特。

再看“六月下雪”，这种情况出现的可能性比较小，1000 个乡里也难有一次，假设 1024 个乡中有一次，则发生的概率是  $1/1024$ ，即  $2^{-10}$ 。这样，该事件的信息量为

$$I_2 = \log_2(1/2^{-10}) = \log_2(2^{10}) = 10 \text{ (bit)}$$

这件事的信息量为 10 个比特，信息量显然大了很多。

当然，信息量的大小只是一种度量，并不直接决定信息本身的价值和重要性，但在很多情况下，信息的信息量还是影响了信息的价值和重要性。

另外，香农的信息论还研究了系统的状态是连续的，而且所有可能状态的概率不均匀的情况下信息量的计算。

### 1.1.2 信息的交换——通信

由于信息具有涉及主客体双方的二重性，信息本身就意味着交流或者交换。通信就是信息的传递，通信过程就是信源通过信道把信息传送到信宿的过程。

信息流的主体为信息，而信源、信道、信宿则是决定信息流畅通与否的三大要素。信源，即信息的来源，其质量关系到所获取的信息是否准确、可靠。信道就是信息传播的途径和通道。信宿就是信息的接收者，不同结构的信宿对信息的提供方式有不同的要求，应根据接收对象的特点选择信息的提供方式。

从古至今，人类的社会活动总离不开消息的传递和交换，人们可以用语言、文字、数据或图像等不同的形式来表达信息。古代的消息树、烽火台和驿马传令，以及现代社会的文字、书信、电报、电话、广播、电视，以及企业中的设备情况和控制命令发送等都是信息交流的具体表现形式。信息以各种方式，依附于一定的载体在各个信源与信宿之间流动，信息的流动便形成了信息流。

通信是人与人之间交流信息的手段，语言是人类通信的最简单的方式。人类早期只是用语言和手势直接进行通信，交流信息。“仓颉造字”则使信息传递摆脱了直接形式，同时扩大了信息的存储形式，可算是一次信息技术的革命。印刷术的发明，扩大了信息的传播范围和容量，也是一次重大的信息技术变革。但真正的信息革命则是电报、电话、电视等现代通信技术的创造与发明，它们大大加快了信息的传播速度，增大了信息传播的容量。

实现通信的方式很多，随着社会的需求、生产力的发展和科学技术的进步，目前的通信越来越依赖利用“电”来传递消息的电通信方式。由于电通信迅速、准确、可靠，且不受时间、地点、距离的限制，因而近百年来得到了迅速的发展和广泛的应用。当今，在自然科学领域涉及“通信”这一术语时，一般均是指“电通信”。广义上讲，光通信也属于电通信，因为光也是一种电磁波。本书中的通信均指电通信。

在信息系统中，信息的流通大致分为信息的获取、信息的传输、信息的处理和信息处理结果的输出等四个步骤，而通信系统则是完成信息传输的系统。

## 1.2 通信和通信系统基本概念

### 1.2.1 通信系统基本模型

通信（Communication）是把消息从某地有效地传递到另一地，是消息传递的全过程。信息源（也是发送终端）需要把各种消息转换成原始电信号，发送设备对原始信号完成某

种变换,使原始电信号适合在信道中传输。信道是指信号传输的通道,提供了信源与信宿之间在电气上的联系。信宿(也称接收终端)将复原的原始电信号转换成相应的消息,接收设备负责把接收到的信号转换回原始电信号。

通信系统的任务是用信号来传递信息。信号是形式,是信息的载体;信息是指消息中所包含的有意义的内容。在很多实际系统中,信号还需要经过处理,得到信息的表示形式——数据。

通信系统由传递信息的一切技术设备组成,由上述内容可知,其基本组成有三要素,即通信三要素。

(1) 信源:信息的发送者,其作用是把各种消息转换成原始电信号。信源可分为模拟信源和数字信源。模拟信源(如电话机、普通温度传感器)输出连续幅度的模拟信号,数字信源(如电传机、计算机、电机转数测量计)输出离散的数字信号。

(2) 信宿:信息的接收者,其作用是将复原的原始信号转换成相应的消息。

(3) 信道:信息传输的途径,以传输媒体和相关通信设施为基础。信道既给信号以通路,也产生噪声和各种干扰。

此外,在实际通信系统中,原始消息的形式一般都需要转换以适应信道特性,所以需要发送器和接收器在不同形式的消息和信号之间转换,包括信号的调制与解调、译码和解码等。考虑了发送器和接收器以后的数据通信系统模型,如图 1-1 所示。

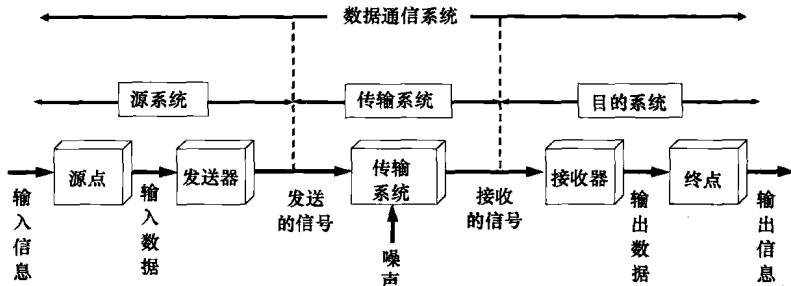


图 1-1 数据通信系统模型

图 1-1 概括地描述了一个通信系统的组成,它反映了通信系统的共性,可称之为通信系统的一般模型。实际中根据不同的应用环境,该模型中的各个小方框(组件)的内容和作用可以有所不同,因而也相应地有不同形式的通信模型。

信源是消息的产生地,负责把各种消息转换成原始电信号,称之为消息信号或基带信号。电话机、电视摄像机和电传机、计算机等各种数字终端设备就是信源。前两者属于模拟信源,输出的是模拟信号;后两者是数字信源,输出离散的数字信号。

信源产生的消息或者信号可能并不适合传输,比如功率不够。所以需要发送设备改变信号形式以适合信道传输。发送设备的基本功能就是匹配信源和信道,即将信源产生的消息信号变换成适合在信道中传输的信号。变换方式是多种多样的,信号的功

率放大就是最常见的变换方式，其次，信号调制也是常见的变换方式。

信道是指传输信号的物理媒介。在无线信道中，信道可以是自由空间或者大气，在有线信道中，信道可以是明线、电缆或光纤。有线和无线信道均有多种物理媒质。媒质的固有特性及引入的干扰与噪声直接关系到通信的质量。根据研究对象的不同，需要对实际的物理媒质建立不同的数学模型，以反映传输媒质对信号的影响。

接收设备的基本功能是匹配信道和信宿，通常就是完成发送设备的反变换，即进行解调、译码、解码等。它的任务是从带有干扰的接收信号中正确恢复出相应的原始基带信号，对于多路复用信号，还包括解除多路复用、实现正确分路等。

信宿是传输信息的归宿点，其作用是将复原的原始信号转换成相应的消息。

除了这些以外，通信系统组件本身也产生信号，系统工作的环境也产生信号。这些都是所谓非工作信号，对系统需要传送的信号有影响和干扰，所以人们把这些非工作信号统称为噪声。噪声源不是人为加入的设备，而是通信系统中各种设备以及信道中所固有的，是人们所不希望的。

根据来源，噪声可分为内部噪声和外部噪声，而外部噪声往往是从信道引入的。一般为了便于分析，把噪声源视为各处噪声的集中表现而抽象地加入到信道中，而不特别标注各个组件产生的噪声。

这样的模型适合绝大部分的通信系统，在特殊情况下，可以简化或者扩展。比如两个人简单对话时，信源（说话者）产生的消息或者信号可以不加变换地传输到信宿（听话者），可以直接接收并理解，所以并不需要发送设备来做信号变换和反变换。

## 1.2.2 通信系统的分类

### 一、通信系统分类

通信系统的分类有很多种方法，具体如下。

(1) 按通信业务可分为：话务通信和非话务通信。电话业务在电信领域中一直占主导地位，它属于人与人之间的通信。近年来，非话务通信发展迅速。非话务通信主要是分组数据业务、计算机通信、数据库检索、电子信箱、电子数据交换、传真存储转发、可视图文及会议电视、图像通信等。由于电话通信最为发达，因而其他通信常常借助于公共的电话通信系统的基础设施进行。此外，还有遥测、遥控、遥信和遥调等控制通信业务。

传统上，不同的通信任务由不同的通信系统完成，而未来的综合业务数字通信网中，各种用途的消息都可能在一个统一的通信网中传输。

(2) 按调制方式可分为基带传输和频带传输。

调制：按被传输的基带信号的变化规律改变被调载波的某一参数，如信号的幅度、频率、相位等。根据是否采用调制，可将通信系统分为基带传输和频带（调制）传输。基带传输是将未经调制的信号直接传送，如音频市内电话。虽然基带数字信号可以在传输距离相对较近的情况下直接传送，但如果要远距离传输，特别是在无线或光纤信道上传输时，则必须经过调制才能在信道中传输。频带传输就是对各种信号调制后传输的总称。对这些

信号可以采用相干解调或非相干解调还原为数字基带信号。对高斯噪声下的信号检测，一般用相关器接收机或匹配滤波器实现。

理论上，数字调制与模拟调制在本质上没有什么不同，均属于正弦波调制。但是，数字调制是调制信号为数字型的正弦波调制，而模拟调制则是调制信号为连续型的正弦波调制。

调制方式有很多，其中有三种基本的调制方式：幅移键控（ASK）、频移键控（FSK）和相移键控（PSK）。它们分别对应于用载波（正弦波）的幅度、频率和相位来传递数字基带信号，所以也可以分别简称为调幅、调频和调相。表 1-1 列出了一些常见的调制方式和用途。

表 1-1 常见的调制方式

调制方式		用途	
连续波调制	线性调制	常规双边带调制	广播
		抑制载波双边带调幅	立体声广播
		残留边带调幅 VSB	电视广播、数传、传真
	非线性调制	频率调制 FM	微波中继、卫星通信、广播
	数字调制	幅度键控 ASK	数据传输
		相位键控 PSK、DPSK、QPSK 等	数据传输、数字微波、空间通信
	脉冲模拟调制	脉幅调制 PAM	中间调制方式、遥测
		脉宽调制 PDM(PWM)	中间调制方式
	脉冲数字调制	脉码调制 PCM	市话、卫星、空间通信
增量调制 DM		军用、民用电话	
差分脉码调制 DPCM		电视电话、图像编码	
脉冲数字调制	数字调制	相位键控 PSK、DPSK、QPSK 等	数据传输、空间通信
		其他高效数字调制 QAM、MSK 等	数字微波、空间通信
	脉冲模拟调制	脉幅调制 PAM	中间调制方式、遥测
		脉宽调制 PDM(PWM)	中间调制方式
		脉位调制 PPM	遥测、光纤传输
	脉冲数字调制	脉码调制 PCM	市话、卫星、空间通信
		增量调制 DM	军用、民用电话
		差分脉码调制 DPCM	电视电话、图像编码
		其他语言编码方式 ADPCM、APC、LPC	中低速数字电话

(3) 按工作波段可分为：长波通信、中波通信、短波通信、远红外线通信等。表 1-2 列出了通信使用的频段、常用的传输介质及主要用途。

表 1-2 通信波段与常用传输介质

频率范围	波 长	符 号	传输媒质	用 途
3~30 Hz	$10^8 \sim 10^7$ m	极低频 ELF	有线电对长波无线电	水下通信, 远程导航
30~300 Hz	$10^7 \sim 10^6$ m	超低频 SLF	有线电对长波无线电	水下通信
300~3kHz	$10^6 \sim 10^4$ m	特低频 ULF	有线电对长波无线电	远程通信
3~30kHz	$10^4 \sim 10^3$ m	甚低频 VLF	有线电对长波无线电	音频、电话、数据终端长距离导航、时标
30~300 kHz	$10^3 \sim 10^4$ m	低频 LF	有线电对长波无线电	导航、信标、电力线通信
300kHz~3MHz	$10^2 \sim 10^3$ m	中频 MF	同轴电缆、短波、无线电	调幅广播、移动陆地通信、业余无线电
3~30 MHz	$10 \sim 10^2$ 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	1~10 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
300MHz~3GHz	10~100 cm	特高频 UHF	波导、分米波、无线电	微波接力、卫星和空间通信、雷达
3~30 GHz	1~10 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	1~10mm	极高频 EHF	波导、毫米波、无线电	雷达、微波接力、射电天文学
$10^5 \sim 10^7$ GHz	$3 \times 10^{-4} \sim 3 \times 10^{-6}$ cm	紫外、可见光、红外	光纤、激光空间传播	光通信

其中, 工作波长和频率的换算公式为:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8 \text{ (m/s)}}{f \text{ (Hz)}} \quad (1-2)$$

式中  $\lambda$ ——工作波长;  
 $f$ ——工作频率;



$c$ ——光速。

(4) 按信号特征分类。按照信道中所传输的是模拟信号还是数字信号,相应地把通信系统分成模拟通信系统和数字通信系统。

(5) 按传输介质分类。通信系统可分为有线通信系统和无线通信系统两大类。有线通信是用导线(如架空明线、同轴电缆、光导纤维、波导等)作为传输介质完成通信的,如市内电话、有线电视、海底电缆通信等。无线通信是依靠电磁波在空间传播达到传递消息的目的,如短波电离层传播、微波视距传播、卫星中继等。

(6) 按信号复用方式分类。传输多路信号有三种复用方式,即频分复用、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据不同的频率范围;时分复用是用脉冲调制的方法使不同信号占据不同的时间区间;码分复用是用正交的脉冲序列分别携带不同的信号。传统的模拟通信中都采用频分复用,随着数字通信的发展,时分复用通信系统的应用越来越广泛,码分复用主要用于空间通信的扩频通信中。

另外,通信还有其他一些分类方法,如按系统服务对象:通信系统有服务大众的公共通信系统和服务特定群体的专用通信系统,工业通信系统通常是专用通信系统。按接收设备的运动状态,可分为移动通信和固定通信;按通信方式可分为单工、单双工、双工通信等。

本章中,首先按信道中传输信号的不同,认识模拟通信系统和数字通信系统,其他概念在以后专门解释。

## 二、模拟信号和数字信号

信源发出的消息虽然有多种形式,但总体来讲可分为两大类:一类称为连续消息;另一类称为离散消息。连续消息是指消息的状态连续变化或是不可数的,如语音、活动图片、水库的水位和锅炉的温度等。离散消息则是指消息的状态是可数的或离散的,如计数器的输出、工件的个数等。

消息的传递是通过它的物质载体——电信号来实现的,即把消息寄托在电信号的某一参量上(如连续波的幅度、频率或相位,脉冲波的幅度、宽度或位置)。按信号参量的取值方式不同,也可以把信号分为两类,即模拟信号和数字信号。

凡信号参量的取值是连续的或取无穷多个值的,且直接与消息相对应的信号,均称为模拟信号,如电话机送出的语音信号、电视摄像机输出的图像信号等。模拟信号有时也称连续信号,这种连续是指信号的某一参量可以连续变化,或者说在某一取值范围内可以取无穷多个值,而不一定在时间上也连续,如图 1-3 (a) 所示的脉冲调幅(Pulse Amplitude Modulation, PAM) 信号。

凡信号参量只能取有限个值,并且经常不直接与消息相对应的信号,均称为数字信号,如电报信号、计算机输入/输出信号、PCM 信号等。数字信号有时也称离散信号,这种离散是指信号的某一参量是离散变化的,而不一定在时间上也离散,如图 1-3 (b) 所示的二进制相位键控(Binary Phase Shift Keying, 2PSK) 信号。