

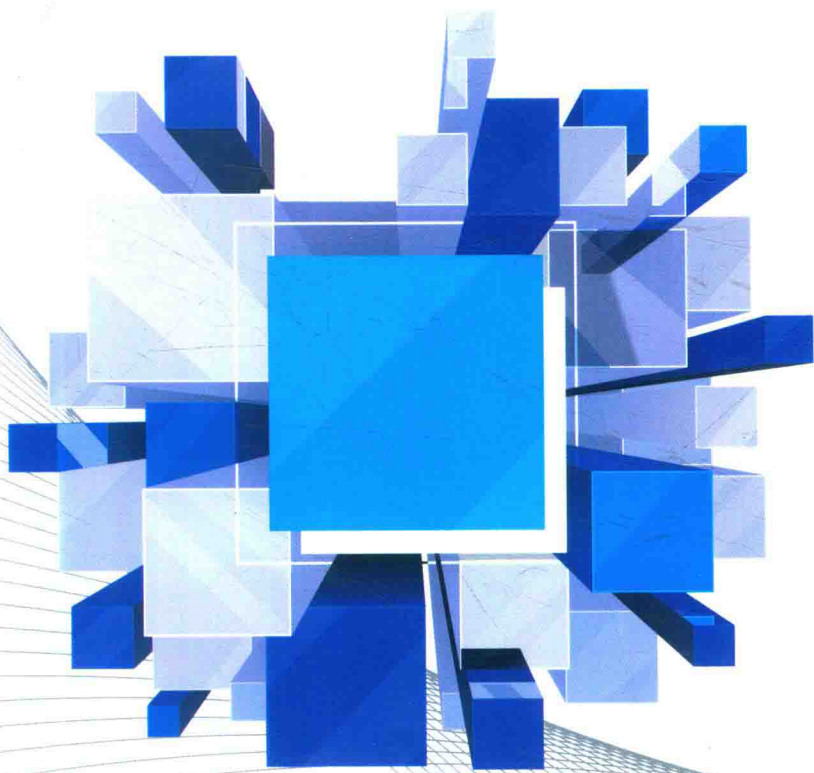


中国电子学会物联网专家委员会推荐

普通高等教育物联网工程专业“十三五”规划教材

《物联网通信技术》学习指导与习题解答

曾宪武 包淑萍 编著



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

中国电子学会物联网专家委员会推荐
普通高等教育物联网工程专业“十三五”规划教材

《物联网通信技术》 学习指导与习题解答

曾宪武 包淑萍 编著

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书是《物联网通信技术》(西安电子科技大学出版社, 2014)的配套辅导书, 主要内容包括每章的学习目标、教学安排与教学建议、知识点以及习题与解答。本书是学习“物联网通信技术”课程的良好参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

《物联网通信技术》学习指导与习题解答/曾宪武, 包淑萍编著. —西安:

西安电子科技大学出版社, 2018.9

ISBN 978-7-5606-4808-8

I. ①物… II. ①曾… ②包… III. ①互连网络—应用—高等学校—教学参考资料 ②智能技术—应用—高等学校—教学参考资料 IV. ①TP393.4 ②TP18

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 308940 号

策 划 毛红兵

责任编辑 万晶晶

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

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.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 2018年9月第1版 2018年9月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印 张 13

字 数 304千字

印 数 1~3000册

定 价 32.00元

ISBN 978-7-5606-4808-8/TP

XDUP 5110001-1

*** 如有印装问题可调换 ***

前 言

“物联网通信技术”是物联网工程专业的一门非常重要的必修课，内容涉及了当前应用非常广泛的通信技术。

为了使广大师生能更好地学习本门课程，编者特编写了配合本门课程学习的学习指导与习题解答。本教材按照以下思路编写：

(1) 在每章的开篇，简要地总结了本章涉及的主要内容。

(2) “学习目标”提供了一个教学目标参考。

(3) “教学安排与教学建议”为教师安排教学进度提供参考，同时“教学建议”中提供了一些在教学中应重点注意的内容和一些教学方法建议。

(4) “知识点”归纳了本章的主要知识点，应是学习中重点掌握的内容。

(5) “习题与解答”给出了《物联网通信技术》教材每章后的习题及其解答。习题的解答仅为参考。

本书由曾宪武统稿，由曾宪武和包淑萍编写。由于作者水平有限，书中难免出现不当之处，敬请读者批评指正。最后特别感谢毛红兵编辑提供的宝贵建议。

曾宪武

2018年1月

目 录

第0章 概述	1	0.3.2 物联网通信系统基本结构	2
0.1 学习目标	1	0.3.3 感知控制层与网络传输层通信系统	2
0.2 教学安排与教学建议	1	0.4 习题与解答	2
0.3 知识点	1		
0.3.1 物联网框架结构	1		

第1篇 数据通信基础

第1章 通信的基本模型与概念	6	4.2 教学安排与教学建议	20
1.1 学习目标	6	4.3 知识点	20
1.2 教学安排与教学建议	6	4.3.1 抽样与量化	20
1.3 知识点	6	4.3.2 脉冲编码调制(PCM)	22
1.3.1 模拟通信与数字通信系统模型	6	4.3.3 增量调制	22
1.3.2 通信系统分类	7	4.4 习题与解答	23
1.3.3 通信方式	7	第5章 数字基带传输	26
1.3.4 信息及信息量	7	5.1 学习目标	26
1.3.5 数据通信系统中的主要性能指标	8	5.2 教学安排与教学建议	26
1.4 习题与解答	8	5.3 知识点	26
第2章 数据通信基础理论	11	5.3.1 数字基带信号的波形与编码	26
2.1 学习目标	11	5.3.2 数字基带信号的波形	27
2.2 教学安排与教学建议	11	5.3.3 数字基带传输系统	28
2.3 知识点	11	5.3.4 均衡技术与眼图	28
2.3.1 数据信号分析基础	11	5.4 习题与解答	29
2.3.2 数据率与频带的关系	12	第6章 数字调制系统	32
2.3.3 交换技术	12	6.1 学习目标	32
2.4 习题与解答	13	6.2 教学安排与教学建议	32
第3章 数据通信中的信道	15	6.3 知识点	32
3.1 学习目标	15	6.3.1 调制解调的原理	32
3.2 教学安排与教学建议	15	6.3.2 数字调制系统	33
3.3 知识点	15	6.3.3 2ASK、2FSK 和 2DPSK	33
3.3.1 信道模型及其分类	15	6.4 习题与解答	33
3.3.2 信道容量	16	第7章 差错控制技术	36
3.3.3 有线信道	16	7.1 学习目标	36
3.3.4 无线信道	17	7.2 教学安排与教学建议	36
3.4 习题与解答	17	7.3 知识点	36
第4章 信源编码	20	7.3.1 差错控制编码的特性与能力	36
4.1 学习目标	20	7.3.2 差错控制方法	37

7.3.3 常用检错码	38	8.3 知识点	42
7.3.4 循环码	39	8.3.1 数据链路层的功能及传输控制 规程的功能	42
7.4 习题与解答	39	8.3.2 面向字符的传输控制规程	43
第 8 章 数据链路传输控制规程	42	8.3.3 HDLC 数据链路控制规程	43
8.1 学习目标	42	8.4 习题与解答	44
8.2 教学安排与教学建议	42		

第 2 篇 短距离通信技术

第 9 章 短距离有线通信技术	46	9.4 习题与解答	49
9.1 学习目标	46	第 10 章 短距离无线通信技术	53
9.2 教学安排与教学建议	46	10.1 学习目标	53
9.3 知识点	46	10.2 教学安排与教学建议	53
9.3.1 数据终端间的通信及接口特性	46	10.3 知识点	53
9.3.2 EIA RS-232C	47	10.3.1 蓝牙技术	54
9.3.3 RS 系列接口及各种 串行接口性能	47	10.3.2 红外技术	54
9.3.4 USB 串行总线及其应用	48	10.3.3 超宽带无线通信技术(UWB)	55
9.3.5 CAN 总线	48	10.4 习题与解答	56

第 3 篇 无线传感器网络

第 11 章 无线传感器网络概述	62	13.2 教学安排与教学建议	73
11.1 学习目标	62	13.3 知识点	73
11.2 教学安排与教学建议	62	13.3.1 WSN 路由协议的特点和 性能指标	73
11.3 知识点	62	13.3.2 能量感知路由	74
11.3.1 无线传感器网络的概念与特点	62	13.3.3 查询路由	74
11.3.2 无线传感器网络的关键技术	63	13.3.4 地理位置和能量感知路由	75
11.3.3 物联网中无线传感器网络 应用的难点	63	13.3.5 可靠路由协议	75
11.4 习题与解答	63	13.4 习题与解答	76
第 12 章 IEEE 802.15.4 及 ZigBee 协议规范	66	第 14 章 WSN 的 MAC 协议	86
12.1 学习目标	66	14.1 学习目标	86
12.2 教学安排与教学建议	66	14.2 教学安排与教学建议	86
12.3 知识点	66	14.3 知识点	86
12.3.1 IEEE 802.15.4 标准	66	14.3.1 IEEE 802.11MAC 层协议	86
12.3.2 ZigBee 协议规范	67	14.3.2 基于时分复用的 MAC 协议	87
12.4 习题与解答	68	14.4 习题与解答	88
第 13 章 无线传感器网络的 路由协议	73	第 15 章 WSN 的拓扑控制	92
13.1 学习目标	73	15.1 学习目标	92
		15.2 教学安排与教学建议	92
		15.3 知识点	92

15.3.1 功率控制	92	16.2 教学安排与教学建议	99
15.3.2 层次型拓扑结构控制	93	16.3 知识点	99
15.3.3 启发机制	93	16.3.1 节点定位的基本原理	99
15.4 习题与解答	94	16.3.2 距离定位	100
第 16 章 WSN 节点的定位	99	16.3.3 距离无关的定位算法	100
16.1 学习目标	99	16.4 习题与解答	101

第 4 篇 通信网及其交换技术

第 17 章 通信网概念及其发展	104	19.4 习题与解答	119
17.1 学习目标	104	第 20 章 数据通信网与数据通信	
17.2 教学安排与教学建议	104	交换技术	128
17.3 知识点	104	20.1 学习目标	128
17.3.1 通信网的基本概念与分层	105	20.2 教学安排与建议	128
17.3.2 通信网分类及其质量要求	105	20.3 知识点	128
17.4 习题与解答	106	20.3.1 数据通信网与计算机通信网	129
第 18 章 电话网与 SDH 传输网	108	20.3.2 数据交换	129
18.1 学习目标	108	20.3.3 数据通信网	130
18.2 教学安排与教学建议	108	20.3.4 帧中继网	131
18.3 知识点	109	20.3.5 数字数据网 DDN	131
18.3.1 电话网的组成	109	20.3.6 ATM 通信网	131
18.3.2 PDH 数字传输系统	109	20.4 习题与解答	132
18.3.3 SDH 数字传输系统	110	第 21 章 IP 通信及 IP 通信网	140
18.4 习题与解答	111	21.1 学习目标	140
第 19 章 程控交换与 ISDN	116	21.2 教学安排与教学建议	140
19.1 学习目标	116	21.3 知识点	140
19.2 教学安排与教学建议	116	21.3.1 TCP/IP 协议	140
19.3 知识点	116	21.3.2 IPv4 与 IPv6	142
19.3.1 数字程控交换技术	116	21.3.3 路由器与 IP 通信的	
19.3.2 信令系统及 No.7 信令	117	路由选择协议	142
19.3.3 综合业务数字网	118	21.4 习题与解答	143

第 5 篇 无线移动通信技术

第 22 章 传播特性及多址技术	148	22.4 习题与解答	150
22.1 学习目标	148	第 23 章 移动通信总体结构及	
22.2 教学安排与教学建议	148	相关概念	156
22.3 知识点	148	23.1 学习目标	156
22.3.1 无线电波传播的		23.2 教学安排与教学建议	156
方式及其特点	149	23.3 知识点	156
22.3.2 无线电波的传播损耗及效应	149	23.3.1 移动通信的概念及其特点和	
22.3.3 无线通信中的多址技术	149	发展过程	156

23.3.2 移动通信的组网技术	157	25.3 知识点	177
23.4 习题与解答	157	25.3.1 扩频通信原理	178
第 24 章 GSM 数字蜂窝移动		25.3.2 CDMA 数字蜂窝	
通信系统	161	移动通信结构	179
24.1 学习目标	161	25.3.3 CDMA 正向信道	179
24.2 教学安排与教学建议	161	25.3.4 CDMA 反向信道	180
24.3 知识点	162	25.3.5 CDMA 系统功率控制	180
24.3.1 系统结构及其组成	162	25.3.6 CDMA 系统的切换	181
24.3.2 GSM 网络接口	162	25.3.7 CDMA 位置登记及	
24.3.3 GSM 移动通信的信道结构	163	呼叫处理	181
24.3.4 频率资源管理与		25.4 习题与解答	182
频率有效利用	163	第 26 章 第三代移动通信系统	188
24.3.5 GSM 移动通信呼叫建立	164	26.1 学习目标	188
24.3.6 越区切换	165	26.2 教学安排与教学建议	188
24.3.7 GSM 移动通信系统的		26.3 知识点	188
无线传输	165	26.3.1 3G 参数	188
24.3.8 GSM 移动通信的接续	166	26.3.2 WCDMA	189
24.4 习题与解答	166	26.3.3 CDMA 2000	190
第 25 章 CDMA 数字蜂窝移动通信 ...	177	26.3.4 TD-SCDMA	191
25.1 学习目标	177	26.3.5 WiMAX	192
25.2 教学安排与教学建议	177	26.4 习题与解答	192

第0章 概 述

物联网是现有信息技术、通信技术、自动控制技术等深度融合与发展的产物。

0.1 学习目标

- (1) 掌握由信息的感知控制层、网络传送层和应用层构成物联网的三个层次框架。
- (2) 掌握物联网的应用领域。
- (3) 掌握物联网的通信系统的结构与组成。
- (4) 了解物联网通信技术的发展趋势及面临的挑战。

0.2 教学安排与教学建议

1. 教学安排

本章教学建议安排2学时。

2. 教学建议

由于物联网工程专业是非通信专业，学生对通信的总体概念尚未建立起来，因此建议在教学中将“物联网导论”等启蒙课程与本章有机联系起来；同时建议采用联想的教学方法，将学生常见的计算机网络与移动互联网等应用联系起来，以加深学生对物联网三层结构与物联网通信系统结构的理解。

0.3 知 识 点

本章的知识点主要包括物联网框架结构、物联网通信系统基本结构和感知控制层与网络传输层通信系统等。

0.3.1 物联网框架结构

物联网的框架由三个横向层次和一个纵向层次构成。三个横向层次分别为感知控制层、网络传输层和应用层；纵向层次为公共支撑层。

1. 感知控制层

感知控制层通过各种类型的感知设备获取现实世界中的物理信息，这些物理信息可以描述当前“物”的属性和运动状态并可对其进行控制。

2. 网络传输层

网络传输层将来自感知控制层的信息通过各种承载网络传送到应用层。各种承载网络

包括现有的各种公用通信网络和专业通信网络,目前这些通信网主要有移动通信网、固定通信网、互联网、广播电视网、卫星网等。

3. 应用层

应用层是物联网框架结构的最高层次,是“物”的信息综合应用的最终体现。“物”的信息综合应用与行业有密切的关系,具体依据行业的不同而有所不同。

4. 公共支撑层

物联网公共支撑层的作用是保障整个物联网安全、有效地运行,其中主要包括网络管理、QoS管理、信息安全和标识解析等运行管理系统。

0.3.2 物联网通信系统基本结构

在物联网中,通信系统的主要作用是将信息可靠安全地传送到目的地,物联网具有异构性,使得其通信方式和通信系统也具有异构性和复杂性。

按照物联网的框架结构,物联网的通信系统可大体分为两个大类,即感知控制层通信和网络传输层通信。

0.3.3 感知控制层与网络传输层通信系统

1. 感知控制层通信系统

感知控制层的通信目的是将各种传感设备(或数据采集设备以及控制设备)所感知的信息在较短的通信距离内送到信息汇聚系统,并由该系统传送(或互联)到网络传输层,其通信特点是传输距离近、传输方式灵活多样。

感知控制层通信系统所采用的技术主要有短距离有线通信、短距离无线通信和无线传感网络。

2. 网络传输层通信系统

网络传输层是由数据通信主机(或服务器)、网络交换机、路由器等节点设备以及支持计算机通信系统的数据传送网构成的。支持计算机通信系统的数据传送网可由公众固定网、公众移动通信网、公众数据网及其他专用网构成。

0.4 习题与解答

0-1 物联网通信系统主要由哪两大类构成?

答:按照物联网的框架结构,物联网的通信系统可大体分为两个大类,即感知控制层通信和网络传输层通信。

0-2 感知控制层通信系统的目的及特点是什么?

答:感知控制层的通信目的是将各种传感设备所感知的信息在较短的通信距离内送到信息汇聚系统,并由该系统传送(或互联)到网络传输层,其通信特点是传输距离近、传输方式灵活多样。

0-3 网络传输层通信系统主要由哪些设备及系统构成?

答:网络传输层是由数据通信主机(或服务器)、网络交换机、路由器等节点设备以及

支持计算机通信系统的数据传送网构成的。支持计算机通信系统的数据传送网可由公众固定网、公众移动通信网、公众数据网及其他专用网构成。

0-4 目前物联网通信技术研究的方向主要有哪些？

答：物联网扩频通信和频谱分配问题，基于软件无线电和认知无线电的物联网通信体系架构，物联网中的异构网络融合，基于多通信协议的高能效传感器网络以及IP网络技术为物联网通信技术主要研究的方向。

第 1 篇

数据通信基础

在物联网中，信息是以数据形式呈现的，通信也是数据通信，因此，掌握数据通信的基本原理与基本技术对于掌握物联网的通信技术非常有必要。

本篇主要包括通信的基本模型与概念、数据通信基础理论、数据通信中的信道、信源编码、数字基带传输、数字调制系统、差错控制技术、数据链路传输控制规程方面的内容。

第1章 通信的基本模型与概念

通信的目的是完成消息传送，而消息的传送须经过由若干个环节构成的“通信系统”，将这些环节抽象为一般的模型，即形成通信系统的基本模型。

1.1 学习目标

- (1) 掌握通信系统的基本概念、模拟通信及数字通信系统的模型以及不同角度的通信系统分类。
- (2) 掌握单工、半双工和全双工通信方式，串行通信与并行通信方式。
- (3) 掌握信息量的基本概念。
- (4) 掌握数据通信系统的主要技术指标。

1.2 教学安排与教学建议

1. 教学安排

本章教学建议安排 2 学时。

2. 教学建议

本章涉及的内容较抽象，例如，通信的目的是将信息从源地点通过各种技术手段安全、可靠、经济地传送到目的地，因此在教学中应以该原则出发讲授本章。另外，信息量的概念也较抽象，在教学中请参考《信息论——基础理论与应用》^①中概述等方面的内容。

1.3 知识点

本章的知识点主要包括通信系统模型、模拟通信与数字通信系统模型、通信系统分类、信息及信息量和数据通信系统中的主要性能指标等内容。

1.3.1 模拟通信与数字通信系统模型

1. 通信系统模型

通信的任务是完成消息的传递。通信系统模型主要由发送设备、传输媒质和接收设备组成。

^① 傅祖芸. 信息论——基础理论与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.

2. 模拟通信系统模型

模拟通信系统用来传输模拟信号(或信息),模拟信号是一种在时间上连续的信号。模拟通信系统的模型一般由信源、调制器、信道、解调器和信宿(收信者)构成。

3. 数字通信系统模型

数字通信系统传输的是数字信号或离散信号,一般由信源、加密器、编码器、调制器、信道、解调器、译码器、解密器和收信者组成。另外,还有一种传输数字基带信息的数字基带通信系统,它由信源、基带信号形成器、信道、接收滤波器和收信者组成。

1.3.2 通信系统分类

通信系统有许多不同的分类方法,从通信系统的模型出发对通信系统进行分类。

(1) 按消息的物理特征分类,可分为电报通信系统、电话通信系统、数据通信系统、图像通信系统和多媒体通信系统。

(2) 按调制方式分类,可分为基带传输和频带(调制)传输通信系统。

(3) 按信号特征分类,按照信道中传输的是模拟信号还是数字信号,可相应地分为模拟通信系统与数字通信系统。

(4) 按传输媒质分类,可分为有线和无线两大类。

(5) 按信号复用方式分类,可分为频分复用、时分复用和码分复用。

1.3.3 通信方式

对于典型的点对点通信,按消息传递的方向与时间的关系,通信方式可分为单工、半双工和全双工三种。

(1) 单工通信方式:指消息只能按单一方向传输。

(2) 半双工通信方式:指通信双方都能收发消息,但不能同时进行收发工作,须分开进行消息收发。

(3) 全双工通信方式:指通信双方均能同时收发消息。

在数字通信中,按照码元排列方法的不同,可分为串行通信与并行通信方式。

(1) 串行通信方式:指将数字信号的码元按时间顺序一个接一个地在信道中传输。

(2) 并行通信方式:指被分成两路或两路以上的数字信号码元序列同时在多路信道中传输。

1.3.4 信息及信息量

1. 信息

信息是蕴藏在消息中的有意义的内容。

2. 信息量

信息量可以用事件发生的不确定度来描述。不确定度越高,信息量越大。事件发生的不确定度可以用事件发生的概率来描述,即事件发生的可能性越小,则概率就越小;反之,则概率越大。

1.3.5 数据通信系统中的主要性能指标

1. 传输速率

传输速率有两种度量方式,一种是码元传输速率(R_B),另一种是信息传输速率(R_b)。码元传输速率又称为传码率,是单位时间(每秒)内传送码元的数目,单位为波特(Baud)。

信息传输速率(R_b)又称为传信率,是单位时间(每秒)内传送的信息量,单位为比特/秒(bit/s)。码元传输速率(R_B)和信息传输速率(R_b)统称为传输速率。

为了适应线路传输,一般要将数字脉冲信息转换为某个频率的模拟信号传输,用单位时间波形来代替数字信号的“1”或“0”。单位时间内信号波形变化的次数简称为波特率,单位为波特(Baud/s)。

2. 差错率

差错率可用两个指标衡量,一个是误码率,另一个是误比特率。误码率(P_e)是指通信过程中系统传输出错的码元数目与所传输的总码元数目之比,也可以认为是传输出错码元的概率;误比特率(P_b)又称为误信率,是指传输出错信息的比特数目与所传输的总信息比特数之比。

3. 信噪比

信噪比是用来衡量通信系统抗干扰能力的一个重要指标。信噪比是指信号与噪声的平均功率之比,用 S/N 表示,单位为 dB。

1.4 习题与解答

1-1 分别画出模拟通信系统和数字通信系统的模型图。

答:模拟通信系统和数字通信系统的模型如图 1.1 所示。

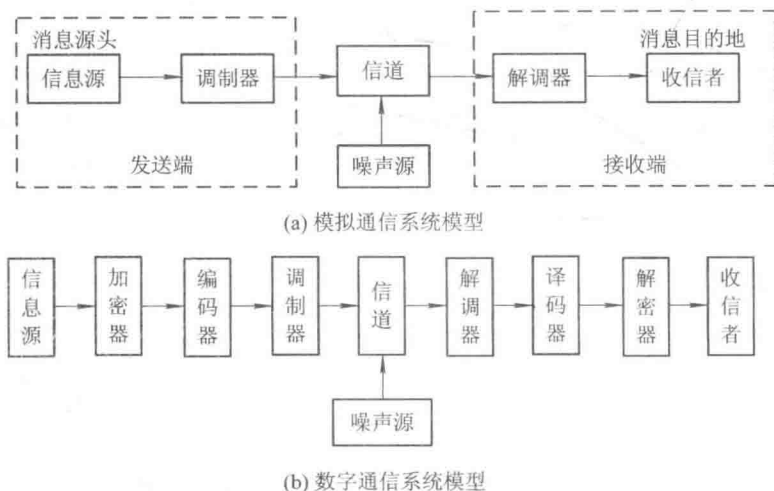


图 1.1 模拟通信系统和数字通信系统模型

1-2 简述通信系统的分类。

答：通信系统有许多不同的分类方法，这里我们从通信系统的模型出发对通信系统进行分类。依据消息的物理特征不同，通信系统可以分为电报通信系统、电话通信系统、数据通信系统、图像通信系统和多媒体通信系统等；根据是否采用调制环节，可将通信系统分为基带传输和频带(调制)传输通信系统；按照信道中传输的是模拟信号还是数字信号，可以相应地把通信系统分为模拟通信系统与数字通信系统；按传输媒质，通信系统可分为有线和无线两大类；按信号复用方式，可分为频分复用、时分复用和码分复用。

1-3 某信源的符号集由 A、B、C、D 和 E 组成。设每一个符号是独立出现的，其出现的概率分别为 1/4、1/8、1/8、3/16 和 5/16。试求该信源符号平均信息量。

解：据题意可知，信源符号 A、B、C、D 和 E 出现的概率为

$$\begin{bmatrix} A & B & C & D & E \\ \frac{1}{4} & \frac{1}{8} & \frac{1}{8} & \frac{3}{16} & \frac{5}{16} \end{bmatrix}$$

且

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n P(x_i) &= P(A) + P(B) + P(C) + P(D) + P(E) \\ &= \frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \frac{1}{8} + \frac{3}{16} + \frac{5}{16} \\ &= 1 \end{aligned}$$

于是，平均信息量为

$$\begin{aligned} H(x) &= - \sum_{i=1}^n P(x_i) [\lg P(x_i)] \\ &= - \frac{1}{4} \lg \frac{1}{4} - \frac{1}{8} \lg \frac{1}{8} - \frac{1}{8} \lg \frac{1}{8} - \frac{3}{16} \lg \frac{3}{16} - \frac{5}{16} \lg \frac{5}{16} \\ &= 2.3 \text{ bit/符号} \end{aligned}$$

1-4 通信系统的主要性能指标有哪些？

答：通信系统的优劣常常用传输速率、差错率和信噪比这些技术指标来衡量，通常我们总希望一个通信系统传输速率要快、差错率要小、带宽利用率要高。

1-5 误码率是什么？误信率是什么？它们之间有何关系？

答：误码率(P_e)是指通信过程中系统传输出错的码元数目与所传输的总的码元数目之比，也可以认为是传输出错码元的概率；误比特率(P_b)又称为误信率，是指传输出错信息的比特数目与所传输的总信息比特数之比。它们均是差错率的衡量指标。

1-6 码元传输速率是什么？信息传输速率是什么？它们之间的关系如何？

答：码元传输速率(R_B)又称为传码率，是单位时间(每秒)内传送码元的数目，单位为波特(Baud)；信息传输速率(R_b)又称为传信率，是单位时间(每秒)内传送的信息量，单位为比特/秒(bit/s)。码元传输速率(R_B)和信息传输速率(R_b)统称为传输速率。

在二进制码元的传输中，每个码元代表一个比特的信息量，此时码元传输速率和信息传输速率在数值上是相等的，即 $R_B = R_b$ ，差别仅是单位不同。在多进制脉冲传输中，码元传输速率和信息传输速率是不相同的。如在 M 进制中，每个码元脉冲代表了 $\lg M$ 个比特的信息量，此时传码率和传信率的关系是

$$R_b = R_B \lg M$$