



电子信息与电气学科规划教材

# 信息传输技术

## 原理及应用

张树京 欧冬秀 毛倩 编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

电子信息与电气学科规划教材

# 信息传输技术原理及应用

张树京 欧冬秀 毛 倩 编著



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书内容广泛,除了运用信息理论观点来审视交通信息系统之外,重点介绍信息传输技术的原理和在道路与轨道交通运输领域内的实际应用。本书共10章,具体内容包括:第1章信息与信息系统,第2章信源编码技术,第3章信道编码技术,第4章数字调制技术,第5章信息传输网络技术,第6章移动信息传输技术,第7章光纤信息传输技术,第8章轨道交通列车运行自动控制系统,第9章智能公共交通信息系统,第10章先进交通管理系统。前7章属于信息传输技术的原理部分,后3章则属于信息传输技术在交通领域内的应用案例。

本书可以用作交通信息工程专业本科生教材,交通信息工程与控制学科研究生教学参考书,也可以满足从事交通信息工程专业技术人员培训自学的需求。

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

信息传输技术原理及应用/张树京,欧冬秀,毛倩编著. —北京:电子工业出版社,2011.1

(电子信息与电气学科规划教材)

ISBN 978-7-121-12230-9

I. ①信… II. ①张… ②欧… ③毛… III. ①信息传输-高等学校-教材 IV. ①TN919.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第217137号

责任编辑:韩同平 特约编辑:李佩乾

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:22.25 字数:613千字

印 次:2011年1月第1次印刷

印 数:4 000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,联系及邮购电话:(010)88254888。

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

服务热线:(010)88258888。

# 前 言

本书是在《信息传输原理》(同济大学出版社,2004)和《信息论与信息传输》(清华大学、北京交通大学出版社,2005)这两本教材的基础上更新扩容后重新编写而成的。本书内容强调信息传输技术的原理与应用,不仅充实和加强了现代信息传输技术的最新成果,而且增加了信息技术在智能交通领域内的应用案例。因此本书不仅可以用作交通信息工程专业本科生和研究生的教学用书,而且也适用于从事交通信息工程专业设计和科研人员的培训自学教材。

交通信息工程专业是电子信息工程与交通运输工程这两大学科门类的全新结合,它将信息科学技术完美地融合到现代交通运输系统中去,充分发挥信息技术在交通运输工程中的作用。因此交通信息工程专业的培养目标应该是运用先进的信息技术更好地在交通运输工程中得到推广应用,以便更快地推动和促进交通运输事业的现代化和信息化。

信息传输是应用信息系统的核心,它肩负着既要海量信息有效准确,又要安全可靠地有序流动和传递的任务,因此信息传输技术是在信息技术中发展最快和应用最广的热点之一,特别是在交通运输系统步入智能化时代后,更是离不开信息传输技术的研究和应用。

**信息传输与通信在概念上有所区别。**其一,基础理论的重点有所不同,通信的理论基础侧重于随机信号(含噪声)分析,而信息传输理论则立足于概率统计和信息理论。其二,在传输业务内容上有所不同,传统的通信系统是以收发报话业务为主,其他非话业务均可视为增值业务;但在信息系统内传输的信息是来自不同业务部门的信源,内容非常广泛,除了通信信息之外还包括许多非通信信息(如控制信息、管理信息等),因此可以统称为信息传输。其三,从传输网络分工的角度出发,电信网承载以语音信号为主的音频信息,计算机网承载以数据信号为主的数字信息,还有广播电视网则承载着以影视图像信号为主的多媒体信息。只有在实现三网合一以后才能整合成完整的信息传输网络。因此,信息传输网络的内容要比通信网络丰富得很多。其四,从传输技术角度出发,通信技术是从窄带模拟通信技术开始,逐步演变为宽带数字通信技术的,经历过模拟信号数字化过程;而信息传输一开始就是数字传输技术。其五,从教学的角度出发,信息传输技术这门课程兼有信息类基础课和部分专业课的内容,不像通信原理仅需担负通信类基础课的任务,因为根据教学安排后面还有配套的各门通信类专业课程。

**根据交通信息工程的专业特点,本书与通信原理教材在编写内容上也有较大区别。**本书着重强调信息传输的技术性内容,加强物理概念的理解,尽量减少理论公式的推导,并适度扩大交通信息工程专业的应用内容,以便使技术原理与应用案例相结合。

本书共由 10 章组成,各章的主要内容如下。

**第 1 章信息与信息系统。**着重介绍信息的属性,信息量和信息熵的计算,不同信源的信息熵,不同信道的传输特性,以及应用信息系统举例。

**第 2 章信源编码技术。**着重介绍字符类信源编码算法、音频类信源编码算法,以及视频类编码算法的特点和编码性能,最后还介绍多媒体信息压缩编码方案,以及在不同应用场合下的国际标准。

**第 3 章信道编码技术。**详细介绍线性分组码的编译码方法,特别是用得较多的循环码、BCH 码和 RS 码。重点介绍同时能对抗随机噪声和突发干扰的卷积码编译码方法,特别是具有代表性的维特比译码过程。最后还介绍以 Turbo 码为代表的级联码。



第4章数字调制技术。首先介绍基带数字信号及其传输性能,然后是三种最基本的二元数字调制方式,即幅移键控(ASK)、频移键控(FSK)和相移键控(PSK),并对它们的传输性能进行详细比较。在此基础上,进一步介绍相对应的三种多元数字调制方式。最后重点介绍了频带利用率最高的最小频移键控(MSK)和抗干扰能力较强的正交幅度调制(QAM)技术。

第5章信息传输网络技术。这里介绍电路交换数据网,分组数据网(PDN),数字数据网(DDN),局域网(LAN),综合业务数字网(ISDN),互联网(IPN),以及接入网(AN),其中有电信网,也有计算机网,重点是应用最广泛的互联网及宽带接入网。

第6章移动信息传输技术。着重介绍电磁波辐射原理,适用于移动通信的线状天线发射和接收,超短波传播特性,移动通信的关键技术(包括多址技术,扩频技术,正交频分复用技术),以及数字移动通信系统和移动信息传输网络(包括自组织网络和无线传感器网络)。

第7章光纤信息传输技术。着重介绍光纤信息传输原理,光纤通信系统,并重点介绍发展最快的光同步数字传输网络(SDH)及光波分复用技术(DWDM)。

第8章轨道交通列车运行自动控制(ATC)系统。它是保证轨道交通运行安全可靠的最重要的信息控制技术之一,它在缩短行车间隔、提高运输效率,以及节能减排等诸多方面都能起到积极作用。

第9章智能公共交通系统(APTS)。它是集多种先进技术于一体的公共交通运输综合管理和控制系统,为公共交通运输提供高效优质服务,也是信息传输技术在道路交通系统内的重要应用领域之一。

第10章先进交通管理系统(ATMS)。它是先进的监测控制和信息处理系统,能提供实时的道路交通信息,及时调整交通流量,使得交通路况始终处于最佳状态。

本书内容广泛,篇幅较大,适用于不同需求的读者群。如果作为教学用书,由于受到教学时数限制,可以适当选用其中部分章节作为必修内容,其他内容选修自学。

张树京(同济大学资深教授)负责全书编审并撰写第1章,欧冬秀(博士,同济大学副教授)撰写第6~10章,毛倩(博士,上海理工大学讲师)撰写第2~5章。本书难免有不妥甚至错误之处,谨请读者批评指正。本书能够出版面世,得到电子工业出版社的大力支持,在此表示感谢。

作者联系方式:ou.dongxiu@tongji.edu.cn

编著者

高等学校“电气信息类”精品教材、优秀畅销教材

| 书 号   | 书 名                     | 作 者        | 奖项、教辅                                                                               |                           |
|-------|-------------------------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| 09191 | 电路分析基础教程                | 燕庆明        |                                                                                     | 电子课件                      |
| 09710 | 电路分析基础(第2版)             | 周 茜        |                                                                                     | 电子课件                      |
| 08925 | 电路分析(第2版)               | 刘 健        |    | 电子课件                      |
| 12363 | 电工与电子技术                 | 毕淑娥        |                                                                                     | 电子课件                      |
| 即将出版  | 电工技术(第2版)               | 黄锦安        |                                                                                     | 省精品课程、电子课件                |
| 09902 | 信号与系统(第3版)              | 王宝祥        |                                                                                     |                           |
| 06239 | 信号与系统(第3版)              | 徐天成        |                                                                                     | 电子课件                      |
| 09194 | 数字信号处理原理及其MATLAB实现(第2版) | 丛玉良        |                                                                                     | 电子课件、习题解答                 |
| 10764 | 数字信号处理——原理、实现及应用(第2版)   | 高西全<br>丁玉美 |    | 省精品课程、电子课件、程序集、配套辅导书      |
| 04928 | 数字信号处理学习指导与习题解答         | 丁玉美        |                                                                                     |                           |
| 11173 | 数字信号处理                  | 刘兴钊        |    | 电子课件、习题解答                 |
| 即将出版  | 数字信号与系统——新视野数字信号处理教程    | 韦 岗        |                                                                                     | 国家精品课程                    |
| 07991 | 信号分析与处理                 | 燕庆明        |                                                                                     | 电子课件                      |
| 10625 | 模拟电子技术基础(第2版)           | 王卫东        |                                                                                     | 省精品课程、电子课件                |
| 06390 | 模拟电路与数字电路(第2版)          | 寇 戈        |    | 国家精品教材、电子课件               |
| 06379 | 数字逻辑电路与系统设计             | 蒋立平        |                                                                                     | 国家精品课程、电子课件、习题解答          |
| 10672 | 数字逻辑电路基础                | 江国强        |                                                                                     | 电子课件、习题解答                 |
| 09152 | 数字电子技术基础教程              | 夏路易        |                                                                                     | 电子课件、习题解答                 |
| 08235 | 高频电子电路(第2版)             | 王卫东        |  | 电子课件、EWB仿真、习题解答           |
| 10863 | 通信电路基础(第2版)             | 沈 琴        |                                                                                     | 电子课件、习题解答                 |
| 06210 | 现代模拟集成电路原理及应用           | 王卫东        |  | 电子课件                      |
| 05697 | 电子线路设计·实验·测试(第4版)       | 谢自美        |  | 国家精品课程、课程网站               |
| 即将出版  | 射频电路设计                  | 褚庆昕        |                                                                                     | 国家精品课程、课程网站               |
| 03278 | 随机过程理论(第2版)             | 周荫清        |  | 电子课件、配套习题集                |
| 03628 | 随机信号分析(第3版)             | 李晓峰        |  | 电子课件                      |
| 07668 | 随机信号分析基础(第3版)           | 王永德        |  |                           |
| 即将出版  | 随机信号分析(第2版)             | 赵淑清        |                                                                                     |                           |
| 10067 | 离散信号检测与估计               | 马淑芬        |  | 电子课件、习题解答                 |
| 06583 | 通信原理教程(第2版)             | 樊昌信        |  | 国家精品课程、电子课件、配套辅导书、配套英文版教材 |
| 10959 | 通信原理(英文版)               | 樊昌信        |                                                                                     |                           |
| 03861 | 通信原理学习指导与习题解答           | 郭爱煌        |                                                                                     |                           |
| 08025 | 现代通信原理与技术               | 王兴亮        |                                                                                     | 国家精品课程、电子课件               |
| 即将出版  | 通信原理大学教程                | 曹丽娜        |                                                                                     | 国家精品课程                    |
| 04373 | 通信系统建模与仿真               | 韦 岗        |                                                                                     |                           |
| 06850 | 移动通信基础(第2版)             | 杨家玮        |                                                                                     | 电子课件                      |
| 即将出版  | 移动通信原理与系统               | 啜钢         |                                                                                     | 电子课件                      |

<sup>1</sup> 普通高等教育“十一五”国家级规划教材



# 目 录

|                        |      |
|------------------------|------|
| 第1章 信息与信息系统 .....      | (1)  |
| 1.1 信息与信息量 .....       | (1)  |
| 1.1.1 信息的属性与量度 .....   | (1)  |
| 1.1.2 信息量 .....        | (4)  |
| 1.1.3 信息熵 .....        | (6)  |
| 1.2 信源 .....           | (9)  |
| 1.2.1 离散字符信源 .....     | (10) |
| 1.2.2 连续模拟信源 .....     | (14) |
| 1.2.3 数字编码信源 .....     | (18) |
| 1.3 信道 .....           | (20) |
| 1.3.1 模拟调制信道 .....     | (20) |
| 1.3.2 数字编码信道 .....     | (23) |
| 1.3.3 信道容量公式 .....     | (26) |
| 1.4 信息系统 .....         | (30) |
| 1.4.1 信息系统的组成与分类 ..... | (30) |
| 1.4.2 通信信息系统 .....     | (31) |
| 1.4.3 交通信息系统 .....     | (38) |
| 本章小结 .....             | (41) |
| 习题 .....               | (43) |
| 第2章 信源编码技术 .....       | (44) |
| 2.1 信源编码器 .....        | (44) |
| 2.1.1 信源编码器模型 .....    | (44) |
| 2.1.2 信源编码效率 .....     | (46) |
| 2.1.3 信源编码技术分类 .....   | (47) |
| 2.2 字符类信源编码 .....      | (48) |
| 2.2.1 熵编码技术 .....      | (48) |
| 2.2.2 算术编码技术 .....     | (52) |
| 2.3 音频类信源编码 .....      | (55) |
| 2.3.1 量化编码技术 .....     | (55) |
| 2.3.2 差值编码技术 .....     | (61) |
| 2.3.3 预测编码技术 .....     | (66) |
| 2.4 视频类信源编码 .....      | (67) |
| 2.4.1 正交变换编码技术 .....   | (67) |
| 2.4.2 多值正交函数集 .....    | (69) |
| 2.4.3 矩阵变换编码技术 .....   | (72) |
| 2.5 多媒体信息压缩编码 .....    | (74) |

|                          |              |
|--------------------------|--------------|
| 2.5.1 音频压缩编码技术 .....     | (75)         |
| 2.5.2 视频压缩编码技术 .....     | (76)         |
| 2.5.3 音频视频联合压缩编码技术 ..... | (78)         |
| 本章小结 .....               | (83)         |
| 习题 .....                 | (84)         |
| <b>第3章 信道编码技术 .....</b>  | <b>(85)</b>  |
| 3.1 差错控制 .....           | (85)         |
| 3.1.1 差错控制方式 .....       | (85)         |
| 3.1.2 差错控制分类 .....       | (86)         |
| 3.1.3 差错控制码的概念 .....     | (87)         |
| 3.2 线性分组编码技术 .....       | (90)         |
| 3.2.1 分组码的编码算法 .....     | (90)         |
| 3.2.2 分组码的译码算法 .....     | (93)         |
| 3.3 循环编码技术 .....         | (96)         |
| 3.3.1 循环码的编码算法 .....     | (96)         |
| 3.3.2 循环码的译码算法 .....     | (100)        |
| 3.3.3 BCH 编译码技术 .....    | (101)        |
| 3.3.4 RS 编译码技术 .....     | (103)        |
| 3.4 卷积编码技术 .....         | (104)        |
| 3.4.1 卷积码的编码算法 .....     | (104)        |
| 3.4.2 卷积码的译码算法 .....     | (108)        |
| 3.5 级联码技术 .....          | (111)        |
| 3.5.1 乘积码 .....          | (112)        |
| 3.5.2 交错码 .....          | (112)        |
| 3.5.3 Turbo 码 .....      | (113)        |
| 本章小结 .....               | (115)        |
| 习题 .....                 | (116)        |
| <b>第4章 数字调制技术 .....</b>  | <b>(118)</b> |
| 4.1 基带数字信号传输 .....       | (118)        |
| 4.1.1 基带数字信号的码型 .....    | (118)        |
| 4.1.2 基带数字信号的功率谱 .....   | (120)        |
| 4.1.3 基带数字信号的传输性能 .....  | (122)        |
| 4.1.4 基带数字信号的误码性能 .....  | (126)        |
| 4.2 二元数字调制技术 .....       | (130)        |
| 4.2.1 ASK 信号的传输性能 .....  | (130)        |
| 4.2.2 FSK 信号的传输性能 .....  | (134)        |
| 4.2.3 PSK 信号的传输性能 .....  | (139)        |
| 4.3 多元数字调制技术 .....       | (143)        |
| 4.3.1 MASK 信号的传输性能 ..... | (143)        |
| 4.3.2 MFSK 信号的传输性能 ..... | (144)        |
| 4.3.3 MPSK 信号的传输性能 ..... | (145)        |
| 4.4 最小频移键控技术 .....       | (149)        |

|            |                 |              |
|------------|-----------------|--------------|
| 4.4.1      | MSK 信号的特点       | (149)        |
| 4.4.2      | MSK 信号的形成       | (151)        |
| 4.4.3      | MSK 信号的功率谱      | (153)        |
| 4.4.4      | 平滑调频(TFM)       | (153)        |
| 4.4.5      | 高斯最小频移键控(GMSK)  | (154)        |
| 4.5        | 多元正交调幅技术        | (155)        |
| 4.5.1      | QAM 信号的形成       | (155)        |
| 4.5.2      | MQAM 信号图        | (156)        |
| 4.5.3      | 参差正交调幅(SQAM)    | (157)        |
|            | 本章小结            | (159)        |
|            | 习题              | (160)        |
| <b>第5章</b> | <b>信息传输网络技术</b> | <b>(162)</b> |
| 5.1        | 信息传输网络的构成       | (162)        |
| 5.2        | 电路交换数据网         | (164)        |
| 5.3        | 分组交换数据网         | (167)        |
| 5.3.1      | 分组交换数据网的组成      | (167)        |
| 5.3.2      | 分组交换数据网的基本结构    | (169)        |
| 5.3.3      | 分组交换数据网的通信协议    | (170)        |
| 5.4        | 数字数据网           | (174)        |
| 5.4.1      | 数字数据网的组成        | (174)        |
| 5.4.2      | 数字数据网的业务功能      | (174)        |
| 5.4.3      | 帧中继技术           | (175)        |
| 5.5        | 局域网技术           | (177)        |
| 5.5.1      | 局域网的拓扑结构        | (177)        |
| 5.5.2      | 局域网的参考模型        | (178)        |
| 5.5.3      | 局域网的访问协议        | (179)        |
| 5.5.4      | 高速局域网           | (180)        |
| 5.5.5      | 无线局域网           | (182)        |
| 5.6        | 综合业务数字网         | (183)        |
| 5.6.1      | 综合业务数字网的功能      | (183)        |
| 5.6.2      | 综合业务数字网的接口标准    | (185)        |
| 5.6.3      | 宽带综合业务数字网       | (186)        |
| 5.7        | 互联网技术           | (187)        |
| 5.7.1      | 网络互连设备          | (187)        |
| 5.7.2      | 宽带互联网           | (189)        |
| 5.7.3      | 互联网协议           | (190)        |
| 5.7.4      | 互联网地址结构         | (192)        |
| 5.8        | 接入网技术           | (194)        |
| 5.8.1      | 接入网的功能          | (194)        |
| 5.8.2      | 有线宽带接入网         | (194)        |
| 5.8.3      | 无线宽带接入网         | (197)        |
|            | 本章小结            | (202)        |

|                           |       |
|---------------------------|-------|
| 思考题 .....                 | (203) |
| <b>第6章 移动信息传输技术</b> ..... | (204) |
| 6.1 无线电波 .....            | (204) |
| 6.1.1 电波辐射原理 .....        | (204) |
| 6.1.2 高频传输线 .....         | (206) |
| 6.2 超短波天线 .....           | (208) |
| 6.2.1 对称振子 .....          | (208) |
| 6.2.2 天线特性 .....          | (212) |
| 6.3 超短波传播 .....           | (217) |
| 6.3.1 自由空间传播 .....        | (218) |
| 6.3.2 地面传播 .....          | (219) |
| 6.4 移动信息传输技术 .....        | (222) |
| 6.4.1 多址技术 .....          | (222) |
| 6.4.2 扩频技术 .....          | (227) |
| 6.4.3 正交频分复用技术 .....      | (232) |
| 6.5 移动信息传输网络 .....        | (234) |
| 6.5.1 蜂窝式移动通信网络 .....     | (234) |
| 6.5.2 公众移动通信网络 .....      | (238) |
| 6.5.3 专用移动通信网络 .....      | (243) |
| 6.5.4 移动自组织信息网络 .....     | (248) |
| 6.5.5 无线传感器网络 .....       | (253) |
| 本章小结 .....                | (258) |
| 习题 .....                  | (261) |
| <b>第7章 光纤信息传输技术</b> ..... | (262) |
| 7.1 光纤信息传输原理 .....        | (262) |
| 7.1.1 光纤简介 .....          | (263) |
| 7.1.2 光纤传光原理 .....        | (265) |
| 7.1.3 光纤的传输特性 .....       | (266) |
| 7.2 光纤信息传输系统 .....        | (269) |
| 7.2.1 光源和光发射机 .....       | (270) |
| 7.2.2 光放大器 .....          | (272) |
| 7.2.3 光检测器和光接收机 .....     | (274) |
| 7.2.4 光纤耦合器与光纤连接器 .....   | (276) |
| 7.3 光同步数字传输网络 .....       | (277) |
| 7.3.1 准同步数字体系 .....       | (278) |
| 7.3.2 同步数字体系 .....        | (279) |
| 7.3.3 多业务传输平台 .....       | (285) |
| 7.4 光波分复用传输技术 .....       | (287) |
| 7.4.1 光波分复用的概念 .....      | (288) |
| 7.4.2 光波分复用和解复用技术 .....   | (290) |
| 7.4.3 光波分复用网络 .....       | (292) |
| 本章小结 .....                | (294) |

习题 ..... (295)

**第 8 章 轨道交通列车自动控制系统** ..... (296)

8.1 轨道交通 ATC 系统的用户需求 ..... (296)

8.2 轨道交通 ATC 系统的结构框架 ..... (297)

8.3 轨道交通 ATC 系统的具体功能 ..... (298)

8.3.1 列车自动防护子系统功能 ..... (298)

8.3.2 列车自动驾驶子系统功能 ..... (302)

8.3.3 列车自动监督子系统功能 ..... (302)

8.3.4 计算机联锁子系统功能 ..... (304)

8.3.5 数据通信子系统功能 ..... (304)

8.3.6 设备监测与故障诊断子系统功能 ..... (305)

8.4 轨道交通 ATC 系统中的信息传输技术 ..... (305)

8.4.1 列车运行控制方法 ..... (305)

8.4.2 列车定位技术 ..... (307)

8.4.3 车地无线通信技术 ..... (310)

8.4.4 地面数据通信网络 ..... (311)

本章小结 ..... (313)

**第 9 章 智能公共交通系统** ..... (314)

9.1 APTS 的用户需求 ..... (314)

9.2 APTS 的结构框架 ..... (315)

9.3 APTS 的具体功能 ..... (317)

9.4 APTS 中的信息传输技术 ..... (319)

9.4.1 视频分析与处理技术 ..... (319)

9.4.2 地理信息系统 ..... (321)

9.4.3 全球定位系统 ..... (322)

9.4.4 APTS 信息传输网络 ..... (325)

本章小结 ..... (326)

**第 10 章 先进交通管理系统** ..... (327)

10.1 ATMS 的用户需求 ..... (327)

10.2 ATMS 的结构框架 ..... (328)

10.2.1 硬件结构 ..... (328)

10.2.2 软件架构平台 ..... (331)

10.3 ATMS 的具体功能 ..... (332)

10.4 ATMS 中的信息传输技术 ..... (334)

10.4.1 交通信息采集技术 ..... (334)

10.4.2 交通信息处理技术 ..... (337)

10.4.3 交通信息传输技术 ..... (339)

10.5 交通信息服务 ..... (341)

本章小结 ..... (343)

**参考文献** ..... (344)

# 第 1 章 信息与信息系统

本章重点介绍统计信息论的基本概念,并简要介绍信源与信道的传输特性,最后介绍信息系统的组成和功能。

## 1.1 信息与信息量

自从 1928 年哈特莱(Hartly)首次提出信息的概念和信息的量度方法以来,信息这个名词就与人类产生了不解之缘。无论是人际交往或社会生活,还是文化经济发展和军事国防建设都离不开信息的快速流动和更新。例如,从原来的电报电话通信与广播电视传媒,发展到现在的电子商务和电子金融信息服务,无不都是利用电子信息在各种信息系统内的有序流动和有效发挥信息系统的各种功能。

信息的物理概念应该是客观存在的,信息和物质、能量一样是人类生存和社会发展的三大要素之一,因此信息资源的不断开发和利用是人类共同的任务。信息虽然没有像物质那样的形态和重量,但是信息的产生却来源于物质的运动和形态的变化。因此信息是一切事物运行状态和运动方式的表征,也可以说信息是物质存在的一种固有属性。虽然信息不等同于物质,但是没有物质的变化和没有物质的运动就不会有信息的产生和信息的生存条件。与此同时,信息与能量也有着密切的关系,因为如果没有能量,一切事物就不能发生运动和变化,自然就不会有信息产生和存在的前提,因此信息虽然也不等同于能量,但是能量却是事物运动和发生变化的起因,而信息则是事物运动和变化的结果。

另外,物质和能量要受到空间和时间的限制,但是信息原则上可以延伸和开拓到无限的空间和时间。物质和能量只存在于客观世界,但是信息除了客观存在外,还接受主观世界的影响。例如,文学艺术信息的内涵就与感知者的理解与思维能力,以及爱好习惯和欣赏水平等主观因素有关。因此,有人将信息分为客观信息和主观信息两大类,前者以统计概率作为基础来分析研究信息的量度、信息容量、信息传输速率等,这是现代信息技术的主要研究内容。主观信息则是在统计分析的基础上,进一步赋予信息的逻辑结构、内容意义及实用效果等,这在研究信息科学及信息系统中应用比较广泛。

### 1.1.1 信息的属性与量度

#### 1. 信息的物理概念

按照信息的表现特征可以分为模拟信息和数字信息两大类。其中模拟信息所反映的事物状态变化是模拟量,它是一类在数值轴上不可细分,或者说分层级差可以达到无限小的数量。例如,语音幅度,图像亮度,温度、湿度,距离、长度,以及高度、宽度等物理参数都是模拟量。而数字信息所反映的事物状态变化则是数字量,它在数值轴上可以分级,并且具有有限的量化分级数量,如各种字符、指令或数据等都是数字量。但是有限的模拟量也可以通过量化分级后,在给定的量化误差范围内转变为多进制的数字量。如果再通过数字编码过程之后,可将多进制数字信息转变成二进制码元序列,其结果就是将一个模拟信息转换成等值的一串二进制数码序列,它就

体现了原来模拟信息的存在和信息量大小。

同时,按照信息在时间轴上的分布还可以分为连续信息和离散信息两大类。其中连续信息指事物状态在时间轴上的变化是渐进和连续的,如各种周期信号、不同频率的电波、随机噪声等。离散信息则在时间轴上的变化是锐变和离散的,如各种脉冲波形、数据信号、天电干扰等。但是连续信息通过在时间轴上的采样过程之后,只要在保持足够采样频率的条件下也可以保留原来连续信息所拥有的信息量,实现连续信息的离散化,将原来的连续信息等值地转换成相应的离散信息。

## 2. 信息的量度方法

根据原先哈特莱对信息量所定义的量度方法,它是在概率统计的基础上以随机信息出现概率的倒数为基础来计算的。其物理意义就是出现概率越小的随机信息,也即比较罕见的信息,它就应该拥有越多的信息量。反之,出现概率较大的随机信息,也即常用信息,则它所拥有的信息量就比较少。同时,根据信息的累加性原则,当多个随机信息同时出现时它的合计信息量应该是各单个随机信息所拥有信息量的累加和。另外,哈特莱采用对数的计量方法,使概率的相乘转化为对数概率的相加,这时出现概率很小的信息也能计算出比较精确的信息量,同时采用对数概率相加的量度方法正好符合信息累加性原则。因此哈特莱对信息的科学量度方法确定为

$$I = \log(1/P) = -\log P \quad (1-1)$$

式中, $P$  就是信息的出现概率,也可称为信息的先验概率。因为  $P$  总是小于 1 的,故  $P$  的对数总是负值,按上式来计算的结果就得信息量  $I$  应该是正值。

如果将式(1-1)中的对数采取以 2 为底来度量,则其计量单位为比特(bit, b),并可将式(1-1)改写成  $I = -\lg P$ 。如果采用自然对数,即以  $e$  为底来度量,则其计量单位为奈特(net),并可将式(1-1)改写成  $I = -\ln P$ 。例如,一个以等概率出现的二进制码元(0 或 1),它的出现概率相等,即为  $P(0) = P(1) = 1/2$ ,故一个等概率码元的信息量应该是  $-\lg(1/2) = 1$  比特。

## 3. 信息与消息

在日常生活中经常会接触到消息这个名词,其实消息与信息的物理概念和它们的属性都是一致的。可以简单地说,消息就是由许多信息有序地组合在一起的信息集或者排列而成的信息序列,而信息则是在消息中最简单的组成单元。例如,一句话是语音消息,一段文字是文字消息,它们都是由若干个音符信息或字符信息所构成的信息序列,因此从消息中信息序列的长度就可以衡量出一个消息所拥有的信息量,而单个音符或单个字符就是其中一个最简单的信息单元。但是消息不是若干信息的任意组合,无论是语音消息还是文字消息都要按照一定规则才能构成有序的信息序列,这就是消息的有序性。例如,组成一个单词要符合词法规则,组成一个句子更要符合语法规则。因此有意义的消息一定是许多信息有规则地组合,它所拥有的信息量应该就是在组成该消息中所有单个信息的信息量之累加和。例如在数据消息中是以二进制码元所组成的数码信息序列,因此数据消息的信息量就是该数码序列的信息量,它应该等于每个码元信息量的累加和。前面已经知道,单个二进制码元(即 1 与 0)是个等概率事件,它的信息量就是 1 比特。因此,如果一个数据消息是由  $n$  个二进制码元所组成的数码序列,则该数据消息的信息量就等于  $n$  比特。通常在数据通信系统中都是采用比特数作为衡量数码序列的信息量大小的,因而比特这个名词已经成为计算二进制数据消息的基本单位。如果是一个由十进制数字序列所组成的数据消息,则首先要经过二/十进制数字编码转换后,再将多位十进制数字转换成一个由多位二进制码元所组成的等值信息序列,然后再按该序列中的二进制码元数目来计算数据消息的信息量(即比特数)。同样地,在数字通信信息系统中还经常用每单位时间内传输的信息量来表示信息传输速率,它的计量单位可以采用比特/秒,即每秒内传输的信息量。

#### 4. 信息与信号

另外,在通信信息系统中还经常用到信号这个名词来替代信息的概念。简单地说,信号就是电子信息,这是因为信号是信息的载体,一个电信号就承载着全部信息序列在通信信息系统内的流动和传输。特别是采用现代数字信号处理技术可以实现模拟信号数字化(即模数转换),因此不管原来是数据信息还是数字化后的模拟信息,都可以用数码信号序列在数字通信信息系统内传输,此时的数码信号序列可以代表原来的数据信息,也可以代表数字化后的模拟信息。在传统的模拟通信系统中采用信号的有效传输频带宽度作为一项重要的技术指标,它的计量单位是赫兹(Hz);而在现代的数字通信系统中却采用信息传输速率作为重要技术指标,其计量单位是每秒比特数(b/s)。经过模数转换后原来模拟信号的频带宽度可以等值转换为数字信号的传输速率。

#### 5. 信息的属性

信息的属性主要有:

(1) 随机性。从计算信息量的定义中可以看出,出现信息的概率是决定信息量大小的唯一依据,这就表明信息具有随机性或不确定性。如果该信息的出现是个完全确定的事物,即它的出现概率 $P$ 等于1,则它的信息量 $I$ 就等于零。相反地,如果该信息是完全不确定的,即其出现概率 $P$ 为零,则相应的信息量 $I$ 将为无限大。由此可见,越是意料之外的信息,其信息量就越大;而经常会发生的信息,其信息量就越小。通常随机信息的出现概率是在1与0之间的,因此信息量应该是个有限值。

(2) 动态性。从信息的物理概念中得知,信息是反映一切事物发生和发展的状态变化,因此信息具有动态性。对于固定不变的事物状态,它就不会产生新的信息,因此静态信息的信息量也应该等于零,只有动态信息才具有一定的信息量和信息价值。同时,人们在研究发现信息出现概率分布规律的基础上,可以利用信息的动态性来实现自动控制,甚至智能控制功能。

(3) 时效性。信息的产生与变化具有很强的时效性,也即在不同的时间或者在不同的场合,同一事物的状态变化可以产生完全不同的效果。在通信信息系统中要求既快速、又准确地传输大量信息,因此特别要强调其实时性,以便最大程度地发挥传输信息的作用和效果。相反地,一切过时的信息就会失去其信息价值和效用。

(4) 真实性。只有信息的真实性才能保证其有效的信息价值。如果信息失去真实性,则这些假信息肯定会产生负面影响。同时,同样的信息在不同的场合下对不同的人群可能会产生不同的信息价值和效果。因此人们在利用信息的功能和价值之前,务必要识别信息的真伪,剔除一切假信息,以防以假乱真,造成不良后果。在信息传输系统中通过信道编码技术可以防止或减少各种干扰的危害,以免信息失真。

(5) 安全性。保证信息的安全非常重要,特别是在信息传输过程中要求信息安全可靠。例如在金融经济信息系统中要保证金融经济数据的绝对安全,有序可靠地进行金融经济服务,防止造成不必要的经济损失。在交通信息系统内对信息的安全性和可靠性都要求很高,特别是要防止恶性交通事故发生。在国防军事及社会治安部门的信息系统内对信息的安全保密性要求就更为严格,信源信息通过数字编码技术后可以实现信息加密。

(6) 累加性。如果同样的信息重复多次,或者适当增加信息的冗余度,都可以给信息接受者累加信息量和信息价值,减轻假信息和传输干扰的影响。例如在通信信息系统中,如果同样的数据信息重复传输多次,就可以减少在信道中产生的传输差错,进一步提高信息传输的可靠性,在传输信道内可以采用差错控制技术来实现。

(7) 关联性。通常在具有实际意义的消息中信息之间存在关联性,它反映前后信息的依赖

程度。关联性可用条件概率来度量,即该信息是以先前信息已经存在作为条件的出现概率,可称为条件概率。信息出现的条件概率越大,则说明它们之间的依赖度越高,即关联性越强;反之,则关联性越低。在极端情况下如果在消息中各信息的出现均保持统计独立,则表明它们之间没有任何依赖关系,因此关联性就等于零。

### 6. 信息理论

1948 年美国著名学者香农(Shannon)连续发表论文,首次系统地研究“通信的数学理论”。他在原来信息量定义的基础上引入了信息熵的概念,建立了通信系统中信道容量的计算公式,并分别提出了信源编码和信道编码定理,特别是信息率失真理论,为解决通信系统中信息传输有效性和可靠性之间的矛盾奠定了理论基础。因为香农的信息理论是建立在概率统计基础上的,所以后人将香农的研究成果称为统计信息论。从 20 世纪 60 年代开始,人们又将信息概念和信息技术逐步渗透和应用到生物医学、仿生心理学、语言文学,以及社会经济管理等多个学科领域,并与电子科学、计算机技术、控制理论及系统科学等相结合,建立了一门应用极其广泛的综合性学科,人们称它为信息科学。

### 7. 信息应用

随着信息科学技术的推广,在各种应用信息系统中海量的信息流和大型的信息库不断地涌现,信息系统的功能也就越来越强大,充分显示出信息科学技术在现代生活中所起的重要作用。特别是在 20 世纪 90 年代,美国政府首先提出国家信息基础结构(NII),即俗称的信息高速公路计划以后,在各国政府的倡导和社会各界的参与和推动下,首先是各国的国民经济信息化步伐明显加快,加速全球经济一体化进程,推动了世界经济的快速发展。接着,从学术科技领域迅速发展到了文化教育部门,无不渗透着浓厚的信息概念与信息化意识。同时,从工程规划到生产制造,纷纷应用先进的信息技术和功能强大的信息系统,来加快实现工农业生产和科学技术的现代化和信息化,这预示着人类将全面进入信息社会。

从 21 世纪开始,信息技术又跨上一个新的台阶。首先是互联网的快速发展,不仅使信息通信网络遍布全球,深入各个企业、单位、家庭和个人生活;而且各种网站数量剧增,原有的网址数量远远不能满足需求,因此有必要设计改进后的网址结构,扩大网址容量,开发新一代的国际互联网(NGN)。同时,无线宽带移动通信技术的发展和运用,也是 21 世纪信息技术的一个新亮点。依靠新一代(3G 甚至 4G)无线宽带网络,手机终端可以上网浏览、进行视频通信以及欣赏实时转播球赛或文娱节目等。因此,新一代的信息通信网络将进一步推动世界经济发展进程,极大地改进人类生活方式和提高生活质量,充分享受全球的信息资源和信息科技成果。

### 1. 1. 2 信息量

根据哈特莱的信息度量方法,香农再针对不同的情况给出了不同信息量的计算公式。下面首先以字符信息为例来介绍离散信息的信息量计算方法,主要有以下几种。

#### 1. 自信息量

按照信息量的计算公式(1-1),若单个随机字符  $X$  的出现概率为  $P(X)$ ,则其自信息量  $I(X)$  可定义为

$$I(X) = -\log P(X) \tag{1-2}$$

如果在一个信源内同时有两个随机字符  $X$  与  $Y$  发生,它们的联合出现概率为  $P(XY)$ ,则  $X$  与  $Y$  的联合自信息量为

$$I(XY) = -\log P(XY) \tag{1-3}$$

当  $X$  和  $Y$  是两个独立的随机字符时, $X$  与  $Y$  的联合出现概率  $P(XY)$  应等于它们各自出现

概率之乘积,即  $P(XY) = P(X)P(Y)$ 。因此采用对数概率的度量方法后,它们的联合自信息量为

$$I(XY) = -\log P(X) - \log P(Y) = I(X) + I(Y) \quad (1-4)$$

即为它们各自的自信息量之和。式中  $P(X)$  和  $P(Y)$  分别是字符  $X$  与  $Y$  的出现概率。

依此类推,我们可以推广到计算由多个随机字符所组成的字符序列的联合自信息量,只要这些字符信息都是彼此统计独立的,则该字符序列的联合自信息量就应该等于各个字符的自信息量之总和。

## 2. 条件自信息量

条件自信息量的定义为由条件出现概率来确定的自信息量。若随机字符  $X$  是在另外一个字符  $Y$  之后出现的,则字符  $X$  的条件出现概率就是  $P(X|Y)$ ,故字符  $X$  的条件自信息量应为

$$I(X|Y) = -\log P(X|Y) \quad (1-5)$$

它说明随机字符的条件自信息量是在限定条件下唯一能确定该字符所拥有的自信息量。如果随机字符  $X$  和  $Y$  是彼此统计独立的,那么条件出现概率就等于独立无条件的出现概率,即  $P(X|Y) = P(X)$ ,此时条件自信息量  $I(X|Y)$  应该等于随机字符  $X$  独自出现的自信息量  $I(X)$ 。另外,  $X$  与  $Y$  字符对的联合自信息量应该是字符  $Y$  的自信息量与字符  $X$  的条件自信息量之和。

## 3. 互信息量

假定随机字符  $X$  与  $Y$  来自两个不同的信源,则在  $X$  与  $Y$  字符对之间存在互信息量  $I(X,Y)$ ,它的定义为

$$I(X,Y) = \log \{ P(X|Y)/P(X) \} \quad (1-6)$$

式中,  $P(X|Y)$  是在字符  $Y$  给定后出现  $X$  的条件出现概率;  $P(X)$  则是字符  $X$  的出现概率。由概率论可知,联合概率

$$P(XY) = P(X)P(Y|X) = P(Y)P(X|Y)$$

因此  $X$  与  $Y$  字符对之间所拥有的互信息量也可以写成

$$I(Y,X) = \log \{ P(Y|X)/P(Y) \} \quad (1-7)$$

其中,  $P(Y)$  是字符  $Y$  的出现概率;而  $P(Y|X)$  则是在字符  $X$  给定后出现  $Y$  的条件概率。人们通常将条件出现概率  $P(X|Y)$  或者  $P(Y|X)$  称为后验概率,而将字符  $X$  或  $Y$  的出现概率  $P(X)$  或  $P(Y)$  称为先验概率。由此可见,  $X$  与  $Y$  字符对之间所拥有的互信息量实际上是各自的后验概率与先验概率之比的对数。如果字符  $X$  与字符  $Y$  保持统计独立,则  $X$  与  $Y$  之间的互信息量也就为零,这正是独立信源的特点。

## 4. 条件互信息量

条件互信息量是针对来自不同信源的三个随机字符以上的字符集来计算的。它的定义是指在给定随机字符  $Z$  的条件下,出现字符对  $X$  与  $Y$  之间的互信息量为

$$I(X,Y|Z) = \log \{ P(X,Y|Z)/P(X|Z) \} \quad (1-8)$$

式中,  $P(X,Y|Z)$  是在给定字符  $Z$  已经出现的条件下,同时出现  $X$  与  $Y$  字符对的条件概率;而  $P(X|Z)$  则是在给定  $Z$  已经出现的条件下,仅出现字符  $X$  的条件概率。如果  $X,Y,Z$  这三个随机字符都保持彼此统计独立,则原来的条件出现概率都变换成无条件出现概率,此时字符集的条件互信息量也就等于字符  $X,Y,Z$  各自的自信息量之和。

## 5. 信息量的属性

### (1) 自信息量的属性

① 非负性。由于每个随机字符的出现概率通常都是在 0 与 1 之间,即  $P(X) < 1$ ,故  $P(X)$