

影像信息学

主审 罗述谦
主编 康晓东

 人民卫生出版社

影像信息学

主审 罗述谦
主编 康晓东

编者 康晓东
刘玉洁
姚 芳
赵德新
李志圣

人民卫生出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

影像信息学/康晓东主编. —北京: 人民卫生出版社,
2009. 1

ISBN 978-7-117-10587-3

I. 影… II. 康… III. 影像诊断-信息学 IV. R445

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 137435 号

影像信息学

主 编: 康晓东

出版发行: 人民卫生出版社 (中继线 010-67616688)

地 址: 北京市丰台区方庄芳群园 3 区 3 号楼

邮 编: 100078

网 址: <http://www.pmph.com>

E - mail: pmph@pmph.com

购书热线: 010-67605754 010-65264830

印 刷: 北京蓝迪彩色印务有限公司

经 销: 新华书店

开 本: 787×1092 1/16 印张: 13.25

字 数: 322 千字

版 次: 2009 年 1 月第 1 版 2009 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

标准书号: ISBN 978-7-117-10587-3/R·10588

定 价: 28.00 元

版权所有, 侵权必究, 打击盗版举报电话: 010-87613394

(凡属印装质量问题请与本社销售部联系退换)

内 容 提 要

本书遵循 ACM(美计算机协会)和 IEEE-CS(电气和电子工程师学会计算机分会)对信息学涵义的解释与规范,并结合国内外影像信息系统的发展状态,在有针对性地介绍香农信息理论的基础上,分别从影像信息的特点、硬件环境及影像信息的获取、存储、传输编码、标准、检索等方面进行了重点讲解。

全书共分 7 章。第 1 章在给出信息、医学信息概念的界定后,概述了医疗信息应用网络及其发展;第 2 章针对医疗信息网络构建的具体要求,重点讲述了基于传输机制的网络硬件平台;第 3 章在分析医学影像信息数据量及其时间分布的基础上,主要讨论了影像信息的存储问题;第 4 章和第 5 章以香农信息论为指导,总结了与医学信息密切相关的信息压缩编码算法;第 6 章围绕 JPEG 影像格式,描述了医学影像信息及其相关适用标准;第 7 章涉及影像数据挖掘与信息检索,该章也是国际相关领域最新研究的热点内容之一。附录给出了 JPEG-LS 的基本定义与符号。

本书可作为高等院校医学影像学、生物医学工程及电子科学与工程类、控制理论与工程类、计算机理论与技术类、仪器科学与技术类等相关专业学生的教材,也可供相关领域与专业的科研人员参考。

前 言

随着 IT 技术与临床医学的不断融合与发展,一方面,医学影像图像获取和处理作为一门新兴的交叉学科,已成为国际上许多高校、医疗单位和科研机构的研究热点,其在发达国家和地区已像计算机和数学专业般普及;另一方面,利用现代多媒体技术将医学文字、语音和图像信息转换成数字信息,并与医院行政、人员和患者、财务、设备、器材、房产、经营等管理信息集成、存储和传送,已成为数字化医院的应用趋势。而基于医学信息,特别是无论数据量规模还是调用频度都为医学信息绝对多数的影像信息的特点、硬件环境,实现影像信息的获取、存储、传输编码、标准、检索,达到优质、可靠和经济应用的要求,正是影像信息学的研究内容。

我们邀请华中科技大学同济医学院、吉林大学、中南大学湘雅医学院、中国医科大学、第四军医大学和河北医科大学等其他有关院校研究和讲授信息学的专家学者,在天津医科大学 2004 年影像信息学课程教学大纲与讲义的基础上,经过充分调研、酝酿和讨论,共同编写了这本影像信息学。

本书共分 7 章。第 1 章在对信息、医学信息等概念的界定后,概述了医疗信息应用网络及其发展;第 2 章针对医疗信息网络构建的具体要求,重点讲述了基于传输机制的网络硬件平台;第 3 章在分析医学影像信息数据量及其时间分布的基础上,主要讨论了影像信息的存储问题;第 4 章和第 5 章以香农信息论为指导,总结了与医学信息密切相关的信息压缩编码算法;第 6 章围绕 JPEG 影像格式,描述了医学影像信息及其相关适用标准;第 7 章涉及影像数据挖掘与信息检索,该章也是国际相关领域最新研究的热点内容之一。附录给出了 JPEG-LS 的基本定义与符号。书中有“*”号标记的内容为选讲内容。本书适宜学时数为 54~72 学时。

本书是集体努力的结果。在此,感谢海内外相关领域学者们的工作,是他们的真知灼见充实了本书的内容;感谢中国医药信息学会(CMIA)专家委员、著名学者、首都医科大学博士生导师罗述谦教授,感谢他在百忙之中审读了本书;感谢人民卫生出版社兰南编审等,感谢他们为此书的内容、评阅和出版贡献了他们的宝贵时间和精力。

本书由康晓东教授主编,刘玉洁博士撰写了第二章及第四章,姚芳博士撰写了第三章,赵德新博士撰写了第五章,第六章的内容由赵德新博士和姚芳博士共同撰写,李志圣博士撰写了第七章及附录部分。硕士生刘技参与了参考资料的整理工作。其余部分由康晓东博士撰写,全书由康晓东统稿。

最后,书中难免有错误和缺点。因此,诚恳地希望各位读者、各位研究和从事相关工作的学者专家提出宝贵意见。

编者

2008 年夏

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 信息含义与表达	1
1.1.1 信息含义与分类	1
1.1.2 信息特征与表达	3
1.2 信息的计算机处理	6
1.2.1 信息计算的硬件实现	6
1.2.2 信息处理的算法实现	9
1.3 影像信息系统	10
1.3.1 医学影像信息	11
1.3.2 PACS/HIS 及其发展	12
第 2 章 影像信息传输的网络平台	15
2.1 网络结构与组成	15
2.1.1 网络结构	15
2.1.2 网络组成	20
2.1.3 * 网络模型	22
2.2 网络中的信息传输技术	27
2.2.1 模拟信号信息数字编码	28
2.2.2 信道及其传输特性	30
2.3 网络中的信息交换技术	33
2.3.1 * 路由选择与流量控制	33
2.3.2 交换式 LAN	35
第 3 章 影像信息及其存储	39
3.1 影像信息数量与时间分布	39
3.1.1 影像图像数据量	40
3.1.2 医疗 LAN 中影像信息的时间分布	41
3.2 影像信息 I/O 设备	42
3.2.1 图像信息输入设备	42
3.2.2 图像信息显示设备	46
3.2.3 图像信息输出设备	52
3.2.4 影像信息存储	53
3.3 HIS/PACS 影像存储	56
3.3.1 PACS 组成	57
3.3.2 HIS 与 PACS 共享存储平台	58

3.3.3	PACS 存储系统	60
第 4 章	影像文件格式与信息熵	63
4.1	数字图像	63
4.1.1	图像信息数字化	63
4.1.2	数字图像格式	68
4.1.3	数字图像质量评价	71
4.2	数字图像统计特征	73
4.2.1	图像差值信号统计特征	73
4.2.2	数字图像信息熵	77
4.3	图像信息保持与率失真理论	80
4.3.1	图像信息保持编码	80
4.3.2	非平稳信源和信源统计未知时编码	84
4.3.3	香农率失真理论	87
4.3.4	* 有记忆信源率失真	91
第 5 章	影像图像信息压缩	95
5.1	图像信息压缩方法分类	96
5.2	图像变换编码、预测编码与矢量编码	98
5.2.1	图像变换编码	98
5.2.2	图像预测压缩与矢量压缩	103
5.3	图像信息压缩的现代方法	108
5.3.1	小波变换压缩	110
5.3.2	基于模型的图像信息压缩	117
5.3.3	* 分形压缩与子带压缩	127
第 6 章	静态图像编码与 JPEG 标准	135
6.1	静态图像编码与 JPEG-LS	135
6.2	JPEG-LS 图像压缩标准	139
6.2.1	JPEG-LS 标准基本内容	139
6.2.2	JPEG-LS 中的单分量编码过程	142
6.2.3	JPEG-LS 编码控制	152
6.3	JPEG 数据	153
6.3.1	JPEG 数据压缩数据格式	154
6.3.2	JPEG-LS 压缩数据格式与通用编码语法	165
6.4	DICOM 与 HL7 标准简介	169
第 7 章	* 信息数据挖掘与图像检索	174
7.1	数据仓库与数据挖掘	175
7.1.1	数据仓库	175
7.1.2	数据挖掘技术	176
7.1.3	常用数据挖掘模式与工具	180
7.1.4	数据挖掘中的关联、挖掘公式和聚类	183

7.1.5 数据挖掘常用算法	188
7.2 图像信息检索	191
7.2.1 图像特征相似度比较方法	192
7.2.2 图像检索中的反馈机制	194
附录 JPEG-LS 定义、缩略语及符号	197

第1章 概述

人的眼、耳、鼻、舌、身都可以感知信息。信息自古就有,但受古代社会文明发展水平的制约,人们对信息的重视程度不够。随着社会的进步,人们对信息的依赖程度越来越高,信息科学、材料科学和能源科学一起被誉为当代文明的“三大支柱”。

1.1 信息含义与表达

信息的概念十分广泛,对信息的不同定义有上百种。例如,数学家认为“信息是使概率分布发生改变的东西”、哲学家认为“信息是使物质成分和意识成分按完全特殊的方式融合起来的产物”……

1.1.1 信息含义与分类

从本质上说,信息是事物自身显示其存在方式和运动状态的属性,是客观存在的事物现象。

1. 信息与物质和能量的关系

信息与物质、能量是有区别的,同时信息与物质、能量之间也存在着密切的联系。

物质是信息存在的基础。信息是一切物质的基本属性,认知主体对于客观物质世界的反映都是通过信息来实现的。但信息不是物质,也不是意识,而是物质与意识的中介;信息的产生、表述、存储、传递等等都要以物质为基础,但物质具有质量,且遵循质量守恒定律,而信息本身没有质量,也不服从守恒定律;信息对物质有依附性,任何信息都离不开物质,都要以物质作为载体,但信息内容可以共享,其性质与物质载体的变换无关。

能量是信息运动的动力。信息的传递、转换、获取、利用过程都要耗费一定的能量。信息必须与能量结合才具有活力,但信息效用的大小并不由其消耗的能量决定;各种形式的能量或信息在传递过程中都可以互相转换,但能量的传递与转换过程遵循能量守恒定律,而信息在传递与转换过程中并不服从守恒定律;信息的传递与获取离不开能量,能量的驾驭和转换则又需要信息。

物质向人类提供材料,能量向人类提供动力,信息向人类提供知识和智慧。对于一个系统来说,物质使系统具有形体,能量使系统具有活力,信息则使系统具有灵魂。只有三者的有机结合,才能使系统真正发挥其功能,朝着进步的方向演化。

2. 信息分类

如果用不同的标准对信息进行分类,可以把信息划分为如下一些类型:

按照信息的发生领域,可将信息划分为物理信息、生物信息和社会信息。

物理信息是指无生命世界的信息。形形色色的气候变化、地球运动、天体演化等无生命

的世界每时每刻都在散发着大量的信息。只是由于条件的限制,人们对于这类信息现象的认识还远远不够。

生物信息是指生命世界的信息。生物信息中的遗传信息就是生命进化的重要原因。没有信息,就没有丰富多彩的生物界,更不会出现人类社会。

社会信息是指社会上人与人之间交流的信息,包括一切人类社会运动变化状态的描述。按照其活动领域,社会信息又可分为科技信息、医学信息、经济信息、政治信息、文化信息等。社会信息是人类社会活动的重要资源,也是社会大系统的一类构成要素和演化动力。

按照信息的表现形式,可将信息划分为消息、资料 and 知识。

消息是关于客观事物发展变化情况的最新报道。消息反映的是事物当前的动态的信息,因此生存期短暂,有较强的时间性,主要用于了解情况和决策行为。

资料是客观事物的静态描述与社会现象的原始记录。资料反映的是客观真实的真实记载,因此生存期长久,有较强的累积性,主要用作论证的依据。

知识是人类社会实践经验的总结,是人类发现、发明与创造的成果。知识反映的是人类对客观事物的普遍认识和科学评价,因此对人类社会活动有重要的意义。人们通过学习掌握知识,可以增长创造才能,提高决策水平,更有效地开展各项社会活动。

按照信息载体的性质,可将信息分为语音信息、图像信息、文字信息、电磁信息和光电信息等。

按照携带信息的信号的性质,可将信息分为连续信息、离散信息和半连续信息等。

按照性质的不同,可将信息划分为语法信息、语义信息和语用信息。

从主体对信息的认识层次上看,由于主体有感受力,能够感知事物运动状态及其变化方式的外在形式,由此获得的信息称为语法信息;由于主体有理解力,能够领会事物运动状态及其变化方式的逻辑含义,由此获得的信息称为语义信息;又由于主体具有明确的目的性,能够判断事物运动状态及其变化方式的效用,因此获得的信息称为语用信息。语法信息、语义信息和语用信息三位一体的综合,构成了认识论层次上的全部信息(全信息)。

语法信息是信息认识过程的第一个层次。它只反映事物的存在方式和运动状态,而不考虑信息的内涵。语法信息只是客观事物形式上的单纯描述,只表现事物的现象而不深入揭示事物发展变化的内涵及其意义。这一层次涉及到符号的数目、信源的统计性质、编码系统、信道容量等等,主要研究信道传递信息的能力,设计合适的编码系统,以高度的可靠性快速有效地传递数据。

语义信息是信息认识过程的第二个层次。它是指认识主体所感知或所表述的事物的存在方式和运动状态的逻辑含义;语义信息不仅反映事物运动变化的状态,而且还要揭示事物运动变化的意义。从信源发出的数则消息,如果只是从通信符号的统计数量来看,其信息量可能相等,但信息量相等的消息其意义却可以是完全不同的。在信息检索中就要考虑到信息的语义问题。

语用信息是信息认识过程的最高层次。它是指认识主体所感知或所表述的事物存在方式和运动状态,相对于某种目的所具有的效用。语用信息就是指信源所发出的信息被信宿接收后将产生的效果和作用。同语义信息相比,它对信宿的依赖性更强,而且与信息传递时间、地点、环境条件等有着密切的关系。

按照事物运动的方式,还可将信息进一步划分为概率信息、偶发信息、确定信息和模糊

信息等,如图 1-1 所示。本书所涉及的信息主要指概率信息。

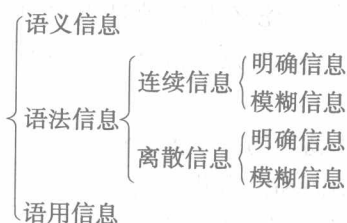


图 1-1 不同性质的信息

1.1.2 信息特征与表达

1. 信息特征

信息的特征,就是指信息区别于其他事物的本质属性。信息的基本特征是:

(1) 普遍性 信息是事物运动的状态和方式,只要有事物存在,只要有事物的运动,就会有其运动的状态和方式,就存在着信息。信息与物质、能量一起,构成了客观世界的三大要素。

(2) 表征性 信息不是客观事物本身,而只是事物运动状态和存在方式的表征。一切事物都会产生信息,信息就是表征所有事物属性、状态、内在联系与相互作用的一种普遍形式。

(3) 动态性 客观事物本身都在不停地运动变化,信息也在不断发展更新。特别是从语用信息的观点来看,事物运动状态及方式的效用是会随着时间的推移而改变的。因此,在获取与利用信息时必须树立时效观念,不能一劳永逸。

(4) 相对性 客观上信息是无限的,但相对于认知主体来说,人们实际获得的信息(实得信息)总是有限的。并且,由于不同主体有着不同的感受能力、不同的理解能力和不同的目的性,因此,从同一事物中获取的信息(语法信息、语义信息和语用信息)肯定各不相同,即实得信息量是因人而异的。

(5) 依存性 信息本身是看不见、摸不着的,它必须依附于一定的物质形式(如声波、电磁波、纸张、化学材料、磁性材料等等)之上,不可能脱离物质单独存在。把这些以承载信息为主要任务的物质形式称为信息的载体。信息没有语言、文字、图像、符号等记录手段便不能表述,没有物质载体便不能存储和传播,但其内容并不因记录手段或物质载体的改变而发生变化。

(6) 可传递性 信息可以通过多种渠道、采用多种方式进行传递,一般把信息从时间或空间上的某一点向其他点移动的过程称为信息传递。信息传递要借助于一定的物质载体,因此,实现信息传递功能的载体又称为信息媒介。

一个完整的信息传递过程必须具备信源(信息的发出方)、信宿(信息的接收方)、信道(媒介)和信息四个要素。

(7) 可干扰性 信息是通过信道进行传递的。信道既是通信系统不可缺少的组成部分,同时又对信息传递有干扰和阻碍作用。

一般把任何不属于信源原意而加之于其信号上的附加物都称为信息干扰。

(8) 可加工性 信息可以被分析或综合,扩充或浓缩,也就是说人们对信息进行加

工处理。所谓信息加工,是把信息从一种形式变换成另一种形式,同时在这个过程中保持一定的信息量。如果在信息加工过程中没有任何信息量的增加或损失,并且信息内容保持不变,那么就意味着这个信息加工过程是可逆的,反之则是不可逆的(实际上信息加工都是不可逆的过程)。

(9) 可共享性 信息区别于物质的一个重要特征是它可以被共同占有,共同享用,也即信息在传递过程中不但可以被信源和信宿共同拥有,而且还可以被众多的信宿同时接收利用。物质交换遵循易物交换原则,失去一物才能得到一物;信息交换的双方不仅不会失去原有信息,而且还会增加新的信息。

2. 信息表达

信息的基本属性是可传递性。信息传递是指通过一定媒介使信息从时间或空间的一点向另一点移动的行为。信息交流就是指各个个体借助于共同的符号系统所进行的信息传递、交换与分享。

信息交流过程涉及四个基本要素:信息的发出者(信源)、信息的接收者(信宿)、交流手段(媒介)和交流对象(信息)。从本质上说,当信息交流双方凭借一定的媒介参加交流活动时,就形成了一种交流关系,在这种关系中,共享的是表述信息的符号,而未必是信息本身。因此,信息交流也可以说是符号的交流。

(1) 符号 信息是事物的表征,但表征事物的信息本身是不能直接为人们所认识的。实际上,它是通过代表事物的代码——符号来传达的。

符号必须能够表达意义,没有意义,就没有符号,没有符号,意义也无由表现。当然,符号并不是完美无缺的表达工具^①。一切符号在形式上都带有随意性。

符号形式与符号内容在逻辑上是互为依存的关系,但两者在信息交流中并不一定总是对称的。符号形式和符号内容之间相互依存关系的对称运动只限于假设二者以“理想的”代码为依据的场合,例如莫尔斯电码,对各种符号都十分明确地规定了其符号形式和符号内容,并使二者之间具有排他性的一一对应关系。

符号的类型是多种多样的。人类在生活和生产劳动中,为了方便表达,为了在不同情况下满足不同的需要,创造了许多符号系统。人类使用的符号系统大致可以分为两大类型:一是语言符号系统,人们通过发音、书写、键盘输入等口头的或字符的形式进行交流。其中口语是有声的符号,文字是无声的符号;二是非语言符号系统,人们可以运用面部表情、手势或其他身体动作,时间、空间距离,色彩、服饰、气味,声响、图形图像和器物,以及音乐、舞蹈、美术作品等艺术形式进行交流。它也可以分为有声的和无声的两大类^②。

(2) 编码 编码是把一定的意义、信息转换为代码的过程。所谓“码”,就是按照一定规则排列起来的符号或信号序列。通过编码,人类的思想才得以交流,信息才能从一个系统传递到另一个系统。编码的功能主要有三方面:一是可以简化信息传递的形式,以提高信息传递的效率和准确度;二是可以对信息单元的识别提供一个简单、清晰的代号,以便于信息的

^① 任何一套符号都不能把一个人的全部感觉和内部的所有活动表达出来,虽然他可能把全部身心状态投入到编制符号的任务之中。

^② 正是由于人们在进行信息交流时大多同时采用几种符号系统,人类社会的交流活动才如此丰富多彩,但同时也增加了人们理解与沟通的难度。

存储与检索:三是可以显示信息单元的重要意义,以协助信息的选择和操作。

通过与编码相反的过程可以把这些代码还原成编码前的信息形式。这个过程就称为解码或译码。两个系统必须具有共同的编码和译码机制才能进行信息交流。

编码最初是指把文字变换成由点、划和间隔组成的电码(如:著名的莫尔斯电码就是其中的一种)。后来,人们把编码的概念推广到整个信息表述与传达过程中。人们几乎可以运用声、光、电等世间一切物质运动形式对信息进行编码,以形成信息交流系统。对于人类的信息交流系统来说,存在着两个层次的编码活动:人们用语言、文字及其他辅助性的非语言文字符号来表达一定的思想内容的过程是初始编码。通过初始编码,可以建立需要表达的思想内容与音素、字母或其他事物之间的确定联系,即把思想内容用一段话、一段文字或其他符号表现出来。为了有效地进行信息交流,人们还建立和发展了多种多样的通信系统。在通信系统中,通过某种机械装置(编码器),把信息变换成适合在信道上传输的信号的过程就是二次编码。如果把信号理解为对于时间的物理变量,那么二次编码实际上就是把一定形式的符号变换为另一种形式的信号序列,二次编码又可分为信源编码和信道编码两种方式,其目的都是把符号变换成便于在信道中传递的形式。

编码的基本原则是:

- 编码的方法必须是合理的,能够适合使用者和信息处理的需要;
- 编码时要预留足够的位置,以适应需要的发展变化,即具有可扩展性;
- 每一编码都能代表一个确定的信息内容,每一信息都有一个确定的编码表示;
- 编码的结构必须易为使用者了解和掌握;
- 必须建立和不断完善编码标准化体系,以避免混乱和误解。

1) 初始编码——普通语义学的解释:初始编码是人们在一定的文化历史背景下形成的,它只在特定的文化群体中有意义。一旦越过文化边界与另一文化交流,就会出现种种麻烦。

2) 二次编码——通信工程问题:通信系统的基本问题是要解决信息交流的有效性与可靠性这两个方面的问题,即以最大的速率传递信息,而且要保证在干扰存在的条件下,能够准确地和最佳地再现信息,为此就涉及到整个通信过程,包括信源、信宿、信道以及编码问题:

信源问题:信源问题的核心是信源包含的信息到底有多少?这需要作定量描述,可用信源熵 $H(x)$ 来测度。

信宿问题:就是接收者能收到多少或提取多少由信源发来的信息量 $I(p)$ 。这里不涉及信息的意义以及对收信人是否有用的问题。

信道问题:主要是信道最多能传送或存储多少信息量,即所谓信道容量的问题。从通信的有效性出发,它要求以最大的通信速度传送最大的信息量。

信道在单位时间内传递的信息量称为传信率。在一定的信道中,它随信源性质和编码方式而变化。信道在单位时间里所能传递的最大信息量称为信道容量 C 。

为提高通信系统的有效性与可靠性,在二次编码中所使用的编码规则应满足下列条件:

① 保证在编码时所使用的代码序列中码元(即所用的代码组合)尽可能少。码元少,则信道一定时,信道容量就大,从而在这种信道容量下,可提高信息传输的有效性。凡是能载荷一定的信息量,且码元的平均长度最短,可分离的变长码的码元集合称为最佳码。为此必

须使出现概率大的信息符号编以短字长的码元,对于概率小的符号编以长字长的码元,则平均字长一定最短。由于一般信源都存在较大的冗余度,所以信源编码的主要任务是保证适当的编码,借助减小冗余度的办法来降低信息符号所需的平均码元数,提高编码效率。

对于给定的信道,如果传信率小于信道容量,又没有噪声干扰,就可以找到一种编码方法使信息准确无误地传递。反之,如果传信率大于信道容量,那么必然会产生差错。采用不同的编码方式可以有不同的传信率,因此可通过选择传信率最高的编码方案来最有效地利用信道。

② 要求通过编码后,能从编码序列中无失真(或限定失真大小)地恢复原始符号序列的概率为最大,其目的是为了无失真或失真较小地传输信息,以提高信息传输的可靠性。信息传递一般都有干扰存在,为了增加通信的可靠性,必须采用具有一定抗干扰能力的编码。而通信系统的有效性与可靠性是相互矛盾的,香农(A. Shannon)提出的有噪声信道编码定理巧妙地使这个矛盾得到了统一,即香农第二定理^①。

现实的信息系统是由许多信道组成的,不管在哪一信道,当传信率大于信道容量时,就会出现差错,减少有效信息量。因此,多信道信息系统有一个相互匹配的问题。

1.2 信息的计算机处理

信息是人类思维的材料。思维是指发生在人脑中的信息变换,亦即人脑对信息的加工处理过程。思维主体、思维工具和思维材料是思维的三项基本要素。思维主体是指人脑及存在于其中的意识;思维工具就是逻辑;思维材料就是自然界、人类社会所提供的大量客观事物的形象。而客观事物的形象是通过信息被人脑所感知的。思维是人脑对客观事物的反映,但人脑不是直接反映客观对象,而是通过接受与处理客观对象的信息来反映对象的。直接接触客观对象信息的是人的感官,感官把外部事物的信息摄取下来,人脑及其意识处理的是经感官摄取由神经系统送来的信息。信息不仅是思维的原材料,而且还推动着人脑思维活动的发展,决定着思维的方向和结果。一般说来,思维频率与信息量呈正比。

1.2.1 信息计算的硬件实现

科学思维离不开计算。科学思维是通过可感知的语言(符号、文字)来完善并得以显示的。否则,人们将无法使自己的思想清晰化,也无法相互间进行交流和沟通。

1. 图灵(A. M. Turing)与可计算性

20世纪30年代后期,图灵通过对人的计算过程的哲学分析,描述了计算的过程,并得出以他的名字命名的通用计算机概念。由于图灵对计算科学作出的杰出贡献,ACM(美国)计算机协会(Association for Computing Machinery, ACM)于1966年设立了以图灵名字命名的计算机科学大奖——图灵奖,以纪念这位杰出的科学家。后人也将图灵誉为计算机科学之父。

(1) 图灵机及其计算模型 根据图灵的观点可以得到这样的结论:凡是能用算法方法

^① 香农第二定理说明,在有噪声信道中,采用纠错码等方法,用有冗余度的方式来传递信息,可以降低产生误差的概率。

解决的问题,也一定能用图灵机解决;凡是图灵机解决不了的问题,任何算法也解决不了。

(2) 图灵的特征

1) 图灵机由一条两端可无限延长的带子、一个读写头以及一组控制读写头工作的命令组成,如图 1-2 所示。图灵机的带子被划分为系列均匀的方格。读写头可以沿带子方向左右移动,并可以在每个方格上进行读写。

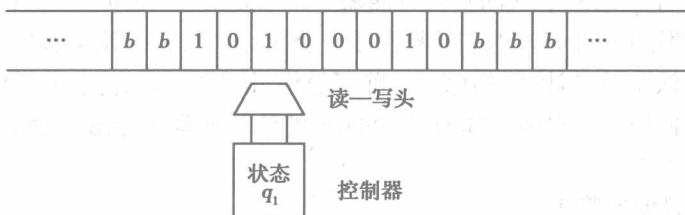


图 1-2 图灵机

2) 写在带子上的符号为一个有穷字母表: $\{S_0, S_1, S_2, \dots, S_p\}$ 。通常,可以认为这个有穷字母表仅有 S_0 和 S_1 两个字符,其中 S_0 可以看作是“0”, S_1 可以看作是“1”,它们只是两个符号,只有形式的意义。众所周知,由字符“0”和“1”组成的字母表可以表示任何一个数。

3) 机器的控制状态表为: $\{q_1, q_2, \dots, q_m\}$ 。通常,将一个图灵机的初始状态设为 q_1 ,在每一个具体的图灵机中还要确定一个结束状态 q_w 。

一个给定机器的“程序”认为是机器内的五元组 $[q_i, S_j, S_k, R(\text{或 } L \text{ 或 } N), q_l]$ 形式的指令集,五元组定义了机器在一个特定状态下读入一个特定字符时所采取的动作。

5 个元素的含义如下:

- q_i 表示机器目前所处的状态;
- S_j 表示机器从方格中读入的符号;
- S_k 表示机器用来代替 S_j 写入方格中的符号;
- R, L, N 分别表示向右移一格、向左移一格、不移动;
- q_l 表示下一步机器的状态。

(3) 图灵机的工作原理 机器从给定带子上的某起始点出发,其动作完全由其初始状态及机内五元组来决定。就某种意义而言,一个机器其实就是它作用于纸带上的五元组集。

一个机器计算的结果是从机器停止的带子上的信息得到的。容易看出, $q_1 S_2 S_2 R q_3$ 指令和 $q_3 S_3 S_3 L q_1$ 指令如果同时出现在机器中,当机器处于状态 q_1 ,第一条指令读入的是 S_2 ,第二条指令读入的是 S_3 ,则机器会在两个方块间无休止地工作。

另外,如果 $q_3 S_2 S_2 R q_4$ 和 $q_3 S_2 S_4 L q_6$ 指令同时出现在机器中,当机器处于状态 q_3 并在带子上扫描到符号 S_2 时,就产生了二义性的问题,机器就无法判定。

以上两个问题是进行程序设计时要注意避免的问题。

图灵机就其计算能力而言,可以模拟现代任何计算机(图灵的带子可以看作是具有可擦写功能的存储器),但它毕竟不同于实际的计算机,在实际计算机的研制中,还需要有具体的实现方法与实现技术。

图灵的描述是关于数值计算的,但英文字母表的字母以及汉字均可以用数来表示,因此,图灵机同样可以处理非数值计算。不仅如此,更为重要的是,由数值和非数值(英文字母、汉字等)组成的字符串,既可以解释成数据又可以解释成程序,从而计算的每一过程都可以用字符串的形式进行编码,并存放在存储器中,以后使用时译码,并由处理器执行,机器码(结果)可以从高级符号形式(即程序设计语言)机械地推导出来。

进一步,1975年图灵奖的共同获得者西蒙(H. A. Simon)和纽厄尔(A. Newell)认为:认知是一种符号处理过程。同时,他们还提出了人类思维过程也可用某种符号来描述的思想,即思维就是计算(认知就是计算)的思想。除了思维、认知之外,有关视觉认知理论的学者也把视觉看作是一种计算。其中以Marr(D. Marr)的计算视觉理论最为著名。计算视觉理论目前已得到广泛的应用。

2. 冯·诺依曼型计算机

在图灵等人工作的影响下,1946年6月,美国杰出的数学家冯·诺依曼(Von Neumann)及其同事完成了关于“电子计算装置逻辑结构设计”的研究报告,具体介绍了制造电子计算机和程序设计的新思想,并给出了由控制器、运算器、存储器、输入和输出设备5类部件组成的,被称为冯·诺依曼型计算机(或存储程序式计算机)的组织结构(图1-3)及实现方法,为现代计算机的研制奠定了基础。迄今为止,绝大多数计算机采用的仍然是冯·诺依曼型计算机的组织结构,只是作了一些改进而已。因此,冯·诺依曼被人们誉为“计算机之父”。

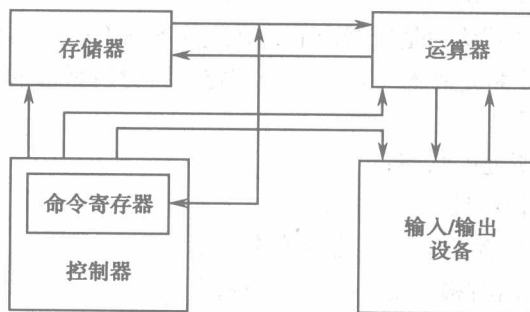


图 1-3 冯·诺依曼型计算机的组织结构

(1) 输入设备和输出设备 输入和输出设备是人与计算机进行交互的两大部件,其作用分别是将信息输入计算机和输出计算机。常用的文字输入设备是键盘,当在键盘上接下一个键时,按下的键通过编码变换成机器可读的数据形式,如字符“A”交换成ASCII码“1000001”,该编码数据随即存入存储器等待处理,同时,通过与“1000001”对应的字符点阵数据在屏幕上显示一个字符“A”。此外,还有扫描仪、穿孔卡片读入机和鼠标等专用输入设备。

输出设备通过数字、字符、图形、图像、声音等形式将计算结果输出。常用的输出设备有打印机、显示器、绘图仪、磁记录设备等。

(2) 存储器 存储器是一种数据或信息的存储部件,它分成很多存储单元,并按照一定的方式进行排列。每个单元都编了号称为存储地址。指令和数据存放在存储器中,而且对指令和数据同等对待,都不加区别地送到运算器中运算。指令在存储器中基本上是按执行

顺序存储的,由指令计数器指明要执行的指令在存储器中的地址。

(3) 运算器和控制器 运算器又称为算术逻辑单元(arithmetic logic unit, ALU),它由很多逻辑电路组成。当控制器把数据带给 ALU 后,它能根据指令完成算术运算或逻辑运算。

控制器由时序电路和逻辑电路组成,其任务是负责从存储器中取出指令,确定指令的类型并对指令进行译码,控制整个计算机系统一步一步地完成各种操作。

随着技术的发展,运算器和控制器现在一般都做在一个集成块中,合称为中央处理机(CPU)。计算机中的各种控制和运算便都由 CPU 来完成,因此,也称 CPU 为计算机的心脏。

1.2.2 信息处理的算法实现

人们使用计算机处理信息,使计算机能够按照人类的意志进行工作,就需要与计算机交流信息。然而,计算机硬件只懂自己的指令系统,即只能直接执行用相应机器语言编写的代码程序。计算机语言就是人与计算机之间通讯的语言。而程序是为了解决某一个特定问题用一种语言编写的指令序列。程序设计一般包括确定数据结构、确定算法、编码、调试程序、整理并写出文档资料等内容。著名的计算机科学家沃思(Nikiklaus Wirth)提出的公式是:

$$\text{数据结构} + \text{算法} = \text{程序} \quad 1-1$$

直观地说,数据是描述客观事物的数字、字母和符号,是计算机程序使用和加工的“原料”。算法是一组严谨地定义运算顺序的规则,并且每一个规则都是有效的且是明确的,此顺序将在有限的次数下终止。计算机解题的过程实际上是在实施某种算法,因此,算法通常是指计算机算法(计算机算法不同于人工处理的算法)。

计算机算法可分为两大类:数值运算算法和非数值运算算法。数值运算的目的是求数值解,如求方程的根、求函数的定积分等,都属于数值运算范围。非数值运算包括的面十分广泛,最常见的是用于事物管理领域。目前,计算机在非数值运算方面的应用远远超过了在数值运算方面的应用。由于数值运算有现成的模型,可以运用数值分析的方法,因此对数值运算算法的研究比较深入,算法比较成熟。对各种数值运算都有比较成熟的算法可供选用。人们常常把这些算法汇编成册(写成程序形式),或者将这些程序存放在磁盘或磁带上,供用户调用。而非数值运算的种类繁多,要求各异,难以规范化,因此只对一些典型的非数值运算算法(如排序算法)作比较深入的研究。其他的非数值运算问题,往往需要使用者参考已有的类似算法重现设计解决特定问题的专门算法。

程序可以作为算法的一种描述,但程序通常还需考虑很多与方法和分析无关的细节问题,因为在编写程序时要受到计算机系统运行环境的限制。通常,程序设计的质量不可能优于算法的设计。

从程序设计的角度看,一个程序应包括以下两方面的内容:

(1) 对数据的描述 在程序中要指定数据的类型和数据的组织形式,即数据结构(data structure)。

(2) 对操作的描述 对操作的描述即操作步骤,也就是算法(algorithm)。

实际上,一个程序除了数据结构和算法的影响外,还应当采用结构化的程序设计方法进行程序设计,并且用某一种计算机语言表示。因此可以说:

$$\text{程序} = \text{算法} + \text{数据结构} + \text{程序设计方法} + \text{语言工具和环境} \quad 1-2$$