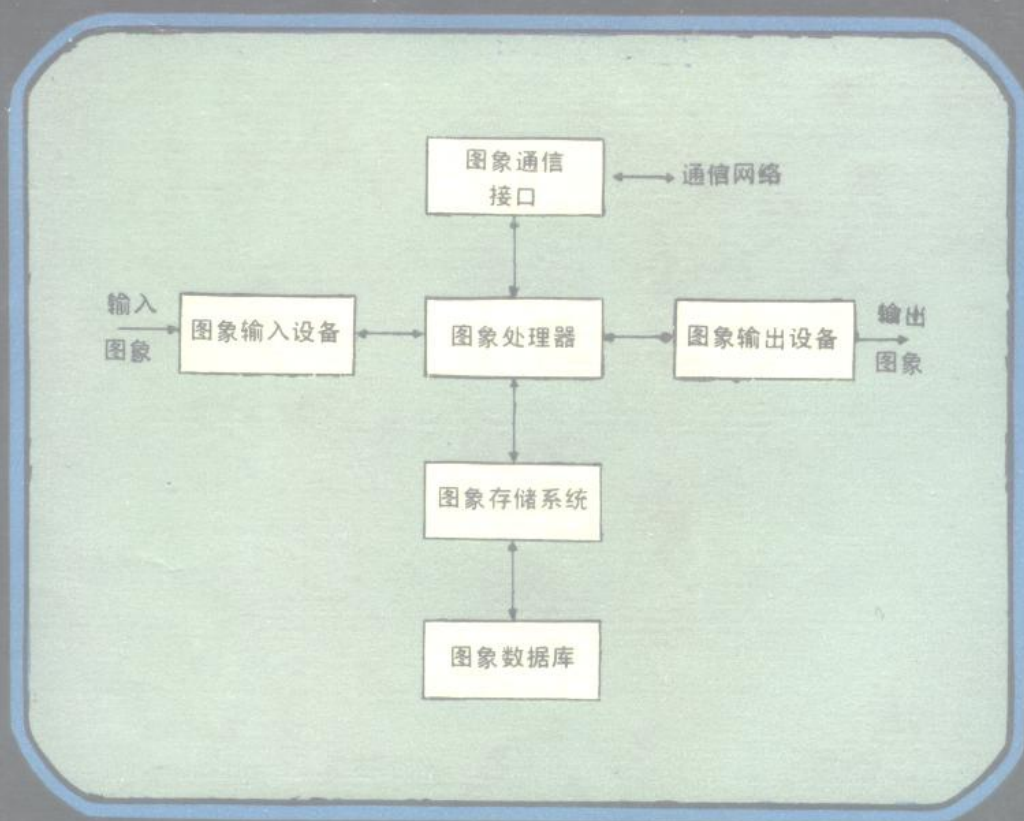


图象信息系统 设计原理

(美) 张系国 著



科学出版社

73.821
92

图象信息系统设计原理

[美] 张系国 著

吴健康 译

陈学佺 校

科学出版社

1990

0036/05

内 容 简 介

本书是美国著名华人教授、IEEE 资深会员张系国先生二十多年的卓著研究和教学成果之总结。本书在精炼地叙述了图象处理技术之后,以主要篇幅论述了图象信息系统的理论和技术,其中包括编码、关系表示、图象数据库系统、图象数据索引等。书中还包括了图象信息系统方面的最新研究成果和前沿课题:象索引和空间推理、图示语言及其理论基础——广义象理论。

本书可供计算机、无线电、通讯、自动化和管理等领域的科技人员参考,也可供高等院校有关专业的教师、研究生及高年级学生参考。

S. K. Chang

PRINCIPLES OF PICTORIAL INFORMATION SYSTEMS DESIGN

Prentice-Hall, Inc., 1989

图象信息系统设计原理

【美】张系国 著

吴健康 译

陈学俭 校

责任编辑 鞠丽娜

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号
邮政编码: 100707

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1990 年 8 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16
1990 年 8 月第一次印刷 印张: 18 1/4
印数: 0001—1,600 字数: 421 000

ISBN 7-03-001712-9/TP·128

定价: 17.40 元

译 者 的 话

1983年,我对图象信息系统发生兴趣并开始了这方面的研究工作。张系国先生对这一领域的贡献使我敬佩,他的巨大贡献使他成为 IEEE 的资深会员。1984年,我有幸请他到中国科学技术大学讲学,用的便是本书的初稿。他讲学的大教室总是挤满了人,他的精辟的见解征服了听众,也包括我,于是我产生了把他的书介绍给我国同行的愿望。

正如书中所述,图象信息系统比图象处理、计算机视觉有更广泛和深刻的含义。从当今认知科学、生物学等学科的研究成果来看,图象是视觉信息。人类基于视觉的活动可以分为两大类,一类是景物识别;另一类则是基于视觉信息的行为规划。前者是计算机视觉的研究范围,后者则表现在图象通讯、办公系统、地理信息系统、机器人行为规划等应用领域。然而,这两类活动的基础是基于视觉信息的思维活动,涉及视觉信息的存储、管理、操纵、推理等等。这是一个庞大、复杂、富于挑战性的研究领域,也是导向智能计算机、智能机器人和其它智能机器的必由之路。虽然这一领域至今仍充满问号,突破性的进展并非指日可待,但是,张系国先生的这本书却是第一本论述本领域中各方面问题的专著。这本书不仅阐述了一些基本技术,更重要的是提出了一些新的见解和发人深省的问题。

广义象 (generalized icons) 理论是张系国先生提出的。广义象理论论述了物理图象和逻辑图象给出了它们的形式化的描述。虽然这种理论在第十二章中才提出,但是它的影子存在于本书的各个章节。确实,根据广义象和作用于广义象上的操作的概念,可以从理论的高度来看视觉信息的存储、管理、处理和推理。可以说,它比 Ullman 的视觉程序 (visual routine) 更具有一般性。

说这本书很值得一读并不够,反复阅读和思考很有必要。自 1986 年至今,由于工作的关系,我系统地读了五遍以上,每一遍都感到有新的收获。

希望这本译著的出版,对我的同行们有所裨益,对我国相应研究领域有所促进。

吴健康

1988 年 10 月 16 日于合肥

前 言

图象是人机通讯的重要的工具。图象信息系统是这样一种信息系统,其目的是控制和管理图象输入设备、图象处理器、图象输出设备、图象存储系统和图象通讯接口,以提供一个能被广大用户方便使用的图象数据集合。

直至最近,用于研究诸如数字图象这样的非字符性信息管理的力量依然很少。即使是复杂度中等的数字图象,所需要的存储容量也相当可观。随着图象信息处理方面新应用领域的不断扩大(诸如办公室自动化、交互式计算机辅助设计、机器人、地理数据处理、地球资源遥感、医学数据处理、医学图象归档和通讯系统、地图绘制等等),有效而经济地存储、灵活地检索和处理如此大量的图象信息,已变得越来越重要,应予以足够的重视。本书就是专门研究图象信息系统设计中的各种原理和技术的。

本书内容可以分为三部分。第一部分包括第二至六章,讲述图象处理和分析的原理。其中第二章是图象表示和运算的基础,第三章讨论图象处理中的一个主要问题——分割。第四章叙述的图象信息度量则从信息论的角度定量地度量图象的信息内容。第五章讲述数据压缩的容错编码和无错编码,第六章则讲述对图象分页特别有效的多面体编码方法。

第七至第十章属于第二部分。这一部分详尽地论述了图象数据库设计技术,同时也涉及了该领域的最新进展,指出了一些有待于进一步探讨的问题。第七章叙述的图象的知识表示是图象数据模式的基础。第八章从典型的图象数据库管理系统的角度叙述了变焦、数据模式、查询语言处理、图象代数等基本概念和技术。第九章讨论索引和编目,使用二维字符串的“象”索引技术在第十章中论述。

第三部分由第十一章和第十二章组成,涉及图象信息系统设计中的前沿问题。在第十一章中讨论了图象信息系统的可视语言和可视化的人机交互,综述了各种可视语言及其分类。在第十二章中提出了广义象的概念,以此作为图象信息系统设计和可视语言设计的一般原理。广义象理论正处于活跃的研究之中,需要深入的工作以实现其潜在效能。

在这一日渐重要的领域中本书是这类书的第一本。它可作为图象信息系统设计的研究生课本,或作为图象处理课程的补充教材,也可以用作从事图象信息系统工作的专业人员的自学课本或参考书。本书中每章结尾都附有练习题,使用本书作为教材的教师,可向作者索取练习的答案。

1977年初我便开始了本书的写作。在此后的10年中,逐渐加入了很多新的研究成果和概念。1986年,我到匹兹堡大学计算机系工作,与家庭的暂时分隔使我更加忘我地从事写作。1986年秋,中国科学技术大学的吴健康教授访问我,由于车祸的原因使我近两个月不能上班,吴教授替代我对本书的草稿作了进一步加工,我非常感谢他对本书的重要贡献。我的妻子潘芷秋女士的理解和自我牺牲精神对于完成本书的写作是必不可少的,我很自豪地将本书献给她和我们的爱女采薇和采芹。

张系国

1988年5月于匹兹堡

目 录

第一章 图象信息系统概述	1
1.1 图象信息系统研究的新进展	1
1.2 图象信息系统的应用领域	2
1.3 对图象信息系统的性能要求	4
1.4 本书的结构	4
1.5 谢辞	5
第二章 图象表示和运算	6
2.1 图象表示	6
2.2 图象函数	8
2.3 图象运算	11
2.4 线条图的表示	18
习题	20
第三章 图象的分割	23
3.1 图象分割中的模式识别	23
3.2 模式分类器	24
3.3 边界检测	28
3.4 区域生长技术	40
3.5 讨论	43
习题	43
第四章 图象信息度量	46
4.1 引言	46
4.2 图象信息度量和香农熵	47
4.3 严格凹信息度量及图象统计特性	54
4.4 洛伦兹信息度量	56
4.5 PIM 的应用	57
习题	60
第五章 图象数据压缩	61
5.1 引言	61
5.2 基本概念	62
5.3 预测编码	64
5.4 变换编码	68
5.5 合成编码系统	72
5.6 矢量量化	74
5.7 图象序列编码	77
5.8 二值图象编码	81

5.9 讨论	85
习题	85
第六章 图象数据库中的图象编码	91
6.1 预备知识	91
6.2 多面方体编码	92
6.3 PIM 引导的多面方体编码	97
6.4 四分树	99
6.5 三维物体表示	103
6.6 使用广义多面方体编码的相似检索	104
6.7 讨论	105
习题	105
第七章 图象的知识表示	108
7.1 语义网络	108
7.2 语义网络的应用	113
7.3 图匹配及其应用	116
7.4 图匹配算法	120
7.5 匹配属性图	122
7.6 图标号算法	124
习题	127
第八章 图象数据库系统设计	129
8.1 一个典型的图象数据库系统	129
8.2 RAIN 的关系模型	134
8.3 逻辑图象和物理图象的概念	139
8.4 图象存储	141
8.5 帧演技术	143
8.6 图象代数	144
8.7 图象查询翻译系统	151
习题	158
第九章 索引和摘要	159
9.1 逻辑图象	159
9.2 图象查询	161
9.3 图象索引	163
9.4 用抽象建立图象索引	166
9.5 文法抽象规则	168
9.6 语义抽象规则	170
9.7 潜在查询和像	171
9.8 抽象规则的证明	172
9.9 结论	174
第十章 象索引	176

10.1	符号图象的二维字符串表示	176
10.2	采用二维字符串的图象匹配	178
10.3	正交关系	183
10.4	空间推理	186
10.5	符号图象的可视化	188
10.6	象索引	191
	习题	195
第十一章	可视语言	197
11.1	可视语言分类	197
11.2	可视编程语言和支持可视交互的语言	198
11.3	象及可视信息处理语言	208
11.4	数据库系统的可视语言	219
11.5	可视信息处理的认知学背景	223
11.6	结论和讨论	224
	习题	224
第十二章	广义象理论	226
12.1	使用象设计图象数据库	226
12.2	象系统的形式化描述	227
12.3	象代数	232
12.4	复象的评价	236
12.5	象纯度	237
12.6	讨论	240
	习题	241
附录 I	傅里叶变换和滤波器设计	243
I.1	傅里叶变换	243
I.2	线性系统	245
I.3	滤波器设计	246
I.4	最佳滤波器设计	248
附录 II	取样、量化和直方图	250
II.1	图象取样	250
II.2	由投影重构图象	252
II.3	图象取样中的混叠问题	253
II.4	图象量化	254
II.5	直方图函数	256
II.6	图象代数运算及其对直方图的影响	258
II.7	图象质量	259
附录 III	演绎和推理	260
III.1	谓词演算的基本概念	260
III.2	用定理证明进行推理	261

III.3 使用语义网络推理	263
III.4 使用产生式推理	265
III.5 规划和动作	267
参考文献	271
汉英名词对照索引	282

第一章 图象信息系统概述

图象是人机通讯的重要的工具。图象信息系统是这样一种信息系统,其目的是控制和管理图象输入设备、图象处理器、图象输出设备、图象存储系统和图象通讯接口,以提供一个能被广大用户方便使用的图象数据集合。图象数据库是以各种方式编码的可共享的图象数据集合,是图象信息系统的核心。图象信息系统方框图如图 1.1 所示。

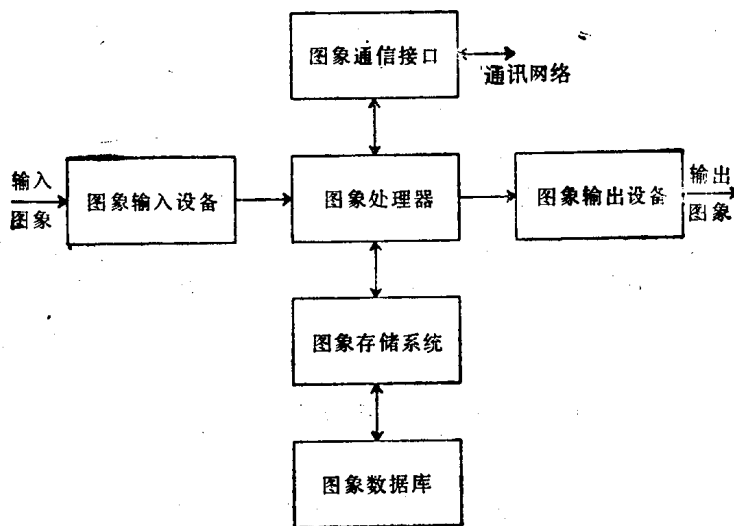


图 1.1 图象信息系统方框图

直至最近,用于研究诸如数字图象这样的非字符性信息管理的力量依然很少。即使是复杂度中等的数字图象,所需要的存储容量也是相当可观的。随着图象信息处理方面新应用领域的不断扩大(诸如:办公室自动化、交互式计算机辅助设计、机器人、地理数据处理、地球资源遥感、医学数据处理、医学图象归档和通讯系统,地图绘制等等),有效而经济地存储,灵活地检索和处理如此大量的图象信息,已经变得越来越重要,因此应予以足够的重视。本书就是专门研究图象信息系统设计中的各种原理和技术的。

1.1 图象信息系统研究的新进展

图象信息系统研究方面的新进展是在各种新技术的推动之下取得的,其中新型的硬件设备包括下述几种:

图象输入设备 高分辨率扫描器,其分辨率自每英寸*数百线到每英寸一两千线,而且还有不少价格低廉的输入设备,如文件扫描器、电视摄象数字化器等,它们可与小型

* 1 英寸 = 0.0254 米。——译者注

机和微型机连接。

图象处理器 自成系统的图象处理器，本身包括有微处理器和阵列处理器，而且可以与大多数小型机连接。它们的处理功能包括：逐像素处理、空间卷积、变焦、旋转、浮点矢量/阵列处理、平滑、增强等。这些价格低廉的图象处理器意味着，以前需用大量计算时间的图象处理和信号处理的任务，可以放到这些处理器上，以较有效的方式完成。而且正采用体系结构上的高度并行化来进一步提高运行速度。

图象输出设备 高分辨率的彩色图形光栅显示，其典型分辨率可达 1024×1024 ，色彩多而可调，能满足高质量的图象图形输出的要求。高分辨激光打印机和绘图仪则可用于产生硬拷贝。

图象存储系统 录象盘技术提供了建立和维持不可擦除的图象数据库的手段。使用缩微胶片存储和检索大量图象的研究又重新兴起。用小型机存储缩微胶片的地址和关键描述，以控制对某一特定文件的检索，这样的电子文件系统也可以用以建立和维持图象数据库系统。

计算机通讯网络 除上述硬件和系统之外，在数据通讯方面的最新进展，特别要提到宽带局部地区网络，它提供了连接多个工作站进行多介质(语言、数据和图象)通讯的手段。

由于这些技术上的进展，现在有可能以不太昂贵的价格集成一个如图 1.1 所示的图象信息系统。

..2 图象信息系统的应用领域

根据实际应用的需要，图象信息系统可以作为某些应用领域的先进信息系统的子系统或作为独立系统来采用。图象信息系统至少应用于下面六个方面。

1.2.1 第五代计算机系统

第五代计算机系统是知识信息处理系统，它以一系列新型的理论和技术作为基础来实现 1990 年的预期功能，以期克服传统计算机所固有的技术限制。在这些系统中，机器智能将有很大的进展，人机交互将更接近人类之间的交互。智能用户接口的功能包括理解语音、图象和自然语言等能力。同时在很多诸如实时符号语言理解等新的应用领域，还需要能进行图象通讯和图象理解的智能用户接口。

1.2.2 办公室信息系统

对绝大多数办公室自动化系统来说，应能处理文件和表格。文件和表格的某些部分，例如：签字、照片、特殊符号等，需要用自然图象的表示方式。由于文件经常包括文字和图形二者，有些时候，将它们作为图象(文件图象)来处理更为合适。这些文件图象需要产生、编码、编辑、存储、检索和传输。办公信息系统是使用局部地区网络的分布式系统，在该系统中，图象通讯和多介质通讯处于一种非常重要的地位。

1.2.3 计算机辅助设计系统

计算机辅助设计(CAD)是一个重要的图象数据库应用领域。在很多实验室和大学

里都正在进行着这类研究。计算机辅助设计和计算机辅助制造 (CAD/CAM) 中数据库的设计与图象数据库设计紧密相关,因此日益引起人们的重视。

1.2.4 图象理解系统

图象理解系统 (IU) 一直受到与防务有关的工业界的重视。近来,重视图象理解系统的工业已不仅是防务,而且扩展到了诸如航天工业、半导体工业等其它工业部门。对于一个完善的图象理解系统,在设计时应综合图象理解、知识库和图象信息操纵这三部分。对于图象理解系统来说,图象信息系统是一个有用的工具,是一个重要的子系统。

1.2.5 计算机集成生产系统

机器人和计算机辅助制造中的计算机视觉系统,也需要图象信息系统作为子系统。例如,在超大规模集成电路 (VLSI) 芯片的自动检查之中,成千上万的电路模式被存放在一个模式库,即一个图象库之中,从电子显微镜中观察到集成电路的图象,根据库中所存的参考模式对它们进行分析,从而找出可能存在的缺陷。生产自动化还包括库存控制、仓库管理、零件和材料的进货和出库等。在这种所谓的计算机集成生产系统 (CIMS) 中,如何将各类数据库综合起来,形成一个集成的信息组合,就成为一个很重要的问题。图象数据库的有用之处在于不仅因为它有应用需求(如上述 VLSI 模式库),而且它也可以作为描述其它数据库的工具(例如设计 CAD/CAM 中的数据库和知识化系统中的数据库)。

1.2.6 医学信息系统

医学信息系统是发展最迅速的应用领域之一。它集局部地区网络、先进的工作站和先进的图象处理器之大成,以提供服务于医院或医疗服务所的一体化环境。医学图象档案和通讯系统 (PACS) 要求设计具有灵活的用户接口和图象通讯能力的一个完善的图象信息系统。

现将对图象信息系统的需求情况总结在表 1.1 中,其中每一应用领域的侧重点都以“×”号标出。由表中可以看出,集成信息系统(如办公信息系统、计算机集成生产系统和医学信息系统)的侧重点都是灵活的用户接口和图象通讯能力,其它类型的信息系统的侧重点在于作为设计工具的图象数据库和图象信息子系统。

表 1.1 对图象信息系统的需求

	灵活的用户接口	图象通讯能力	各种应用的设计工具
第五代计算机系统	×		×
办公信息系统	×	×	
CAD 系统			×
图象理解系统			×
计算机集成生产系统	×	×	
医学信息系统	×	×	

1.3 对图象信息系统的性能要求

为了比较各种各样的图象信息系统的性能要求，我们首先列出一个理想图象信息系统的主要特性：

图象输入 摄取或数字化光学图象的方法，图象可以在纸上和胶片上或通过照相机输入。

图象编辑 改变数字图象的内容的方法，以及以人机交互的方式或自动的方式生成新图象，去除旧图象。

图象处理 图象增强、边缘检测、纹理分析、分割和模式识别，以及以数字或光学手段进行图象变换。

图象存储 图象的格式化、编码和解码、数据结构化、索引等，以便把图象数据存储在给定的存储介质之中。

图象检索 使用索引或更灵活的相似检索技术，或以某种查询语言来从图象数据库中检索图象。

图象输出 显示图象，获得图象硬拷贝，可能的话获得合成图象和部分图象。

图象通讯 将图象传输到另一个地方的计算机中或另一个工作站去。

表 1.2 中列出了各应用领域对上述性能的要求。

表 1.2 对图象信息系统的性能要求

	输入	编辑	处理	存储	检索	输出	通讯
第五代计算机系统	可能		一些	要	要	要	可能
办公信息系统	可能	可能	一些	要	要	要	要
CAD 系统	可能	要		要	要	要	
图象理解系统	要		要	可能	可能	要	
计算机集成生产系统	可能		一些	要	要	要	要
医学信息系统	要	可能	要	要	要	要	要

1.4 本书的结构

本书讨论图象信息系统设计，并将集中叙述图 1.1 所示方框图中的各子系统。

本书中的内容可以分为三部分。第一部分包括第二至第六章，讲述图象处理和分析的原理。第二章是图象表示和运算的基础，第三章讨论图象处理中的一个主要问题——分割，第四章叙述了图象信息度量，它从信息论的角度定量地度量图象的信息内容。第五章讲述数据压缩的容错编码和无错编码，第六章则讲述对图象分页特别有效的多面体编码方法。

下面四章属于第二部分，在这一部分详尽地论述了图象数据库设计技术，同时也涉及

了该领域的最新进展,指出了一些有待于进一步探讨的问题。第七章叙述了图象的知识表示,它是图象数据模式的基础。第八章从典型的图象数据库管理系统的角度叙述了变换、数据模式、查询语言处理、图象代数等基本概念和技术。第九章讨论索引和编目,采用二维字符串的“象”索引技术在第十章中论述。

第三部分由第十一章和第十二章组成,涉及图象信息系统设计中的前沿问题。在第十一章中讨论了图象信息系统的可视语言和可视化的人机交互,综述了各种可视语言及其分类。在第十二章中提出了广义象的概念,以此作为图象信息系统设计和可视语言设计的一般原理。

物理图象和逻辑图象的概念及它们之间的差别贯穿于本书的始终,传统的图象处理和分析主要讨论物理图象的处理和分析,本书的第一部分覆盖这些经典方法,传统图象数据库主要处理信息的逻辑表示,第二部分扩展了数据库系统技术以用于逻辑图象的存储、操纵和检索。然而,图象数据库系统的最终目的是以整体的形式有效地向用户提供物理图象(可视象)和逻辑图象(相应的解释)以利于用户的理解,这种视觉形式(语法)和逻辑意义(语义)的结合引出了可视语言的概念。因此,可视语言成为近年来活跃的研究焦点就不是奇怪的事情了,可视语言在第三部分中叙述。

物理图象和逻辑图象的结合也引出了广义象(generalized icon)的概念。使用广义象的理论,我们可以对传统图象处理和分析方法,模式识别和图象处理的文法方法以及近期的基于知识的图象理解方法的作用及相互关系作出最确切的评价。因为图象信息系统包括了所有这三方面,所以本书以广义象的理论和应用来作为总结。

1.5 谢 辞

各章所述方法和技术的来源列于每一章结尾所附的参考文献。除了这些参考文献之外,还应特别提一提下面三本书。本书 2.1, 2.2, 3.3, 3.4, 7.1, 7.2.2, 7.3 和 7.4 节中采用了 Ballard 和 Brown (见参考文献 [BALLARD82]) 的书中的类似的方法和相近内容。2.3 节和附录 I 和 II 则类似于 Castleman (见参考文献 [GASTLEMAN79]) 的书。附录 III 近乎于参考文献 [BALLARD82] 和 [WOS84] 中的类似内容。除此之外,还应分别感谢本书中所用插图的原作者,本书作者将对这些插图的解释中的任何错误负全部责任。

第二章 图象表示和运算

本章叙述图象表示和运算的基础知识。2.1 节首先介绍图象处理领域,然后引出物理图象和逻辑图象的概念。2.2 节讨论图象函数,并涉及图象序列和颜色空间的概念。各种图象运算则在 2.3 节中出现。大多数图象处理运算是局部运算,它们可以并行地执行。线划图是除灰度图象之外的另一种图象。2.4 节中是有关线划图的简单描述。

2.1 图 象 表 示

数字图象处理是研究以计算机技术来处理数字图象的学科。图象处理系统可以认为是图 2.1 所示图象信息系统的特例,其系统方框图如图 2.2 所示。图象首先由图象数字化器(图象输入设备)数字化,然后数字图象由图象处理器进行处理,其结果通过图象显示器(图象输出设备)显示出来供用户观看。

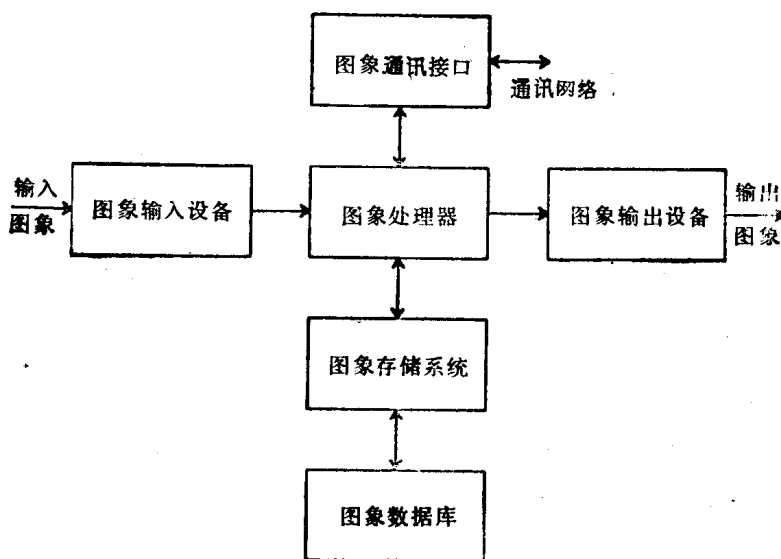


图 2.1 图象信息系统

图象处理包括下述几个主要方面：1) 数字化；2) 编码和数据压缩；3) 增强和恢复；4) 分割；5) 图象分析和描述；6) 图象理解；7) 图象信息管理。

根据惯例,图象处理通常指的是前四项,计算机视觉包括前六项,图象信息系统则包括所有七项。

图 2.2 所示方框图并非图象处理系统的唯一形式。若侧重图象理解,方框图将会有很大的不同。其它表示的图象处理系统可以认为是图 2.2 所示之系统的变形,它们将在第三章中讨论。

我们认为,表示(数据结构,模型)和处理(算法,过程)是并存的,也必须并重。表示与

描述图象的模型紧密相关,表示也会影响处理图象的技术以及如何存储和检索图象。

下面我们使用 Image 和 Picture 这两个词时,认为它们是通用的,它们之间可能的差别在于 image 指由输入传感器件获得的或产生在输出显示器上的视觉数据;而 picture 则指所有源自原始视觉数据的各种表示(译者注:译文中我们将二者都译成图象)。

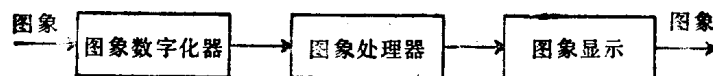


图 2.2 图象处理系统

对于图象表示,我们认为,必须考虑物理表示和逻辑表示的并存性。

物理图象表示 物理图象表示与由图象输入设备得到的图象直接关联,它包括:由图象函数表示的图象;由表结构表示的分割后的图象;由几何图集合表示的几何模型(见参考文献 [MORTENSON 85])。图象处理通常侧重物理图象表示。

逻辑图象表示 逻辑图象表示是高级的抽象表示,表明图象物体间的逻辑关系,计算机视觉和图象信息管理通常涉及逻辑图象表示。

各表示的分层结构如图 2.3 所示,物理图象表示和逻辑图象表示结合起来形成知识库。

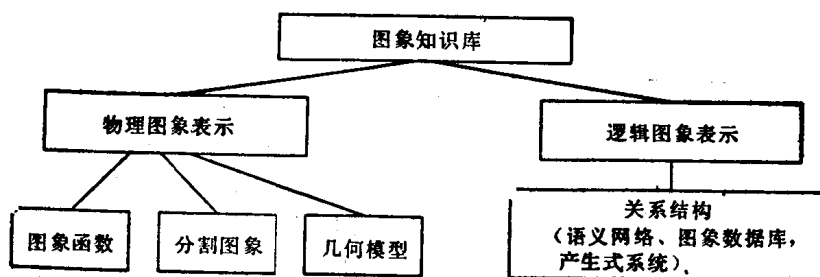


图 2.3 图象表达的分层图

观察各表示和处理之间相互关系的另一途径是将它组成一如图 2.4 所示的金字塔结构。在传统图象处理运算中,金字塔结构中的信息流通常是从底层到顶层,而计算机视觉和图象理解常需要由上而下传输信息以利于低级处理。例如,要检测集成电路芯片上的缺陷,我们需要线路模型,以便于标识各个区域中的斑点和小孔。在车辆的机器人驾驶中,机器人必须有外界模型(地图)以便识别大地标志,估计自己的位置。这些信息可以插入知识库以便用于规划下一步动作。由此可见,低级处理中需要高级信息,我们称之为基于模型或基于知识的图象处理。

本书的第一部分主要讨论物理图象表示,逻辑图象表示将在第二部分讨论。本章集中叙述图象函数表示。图象

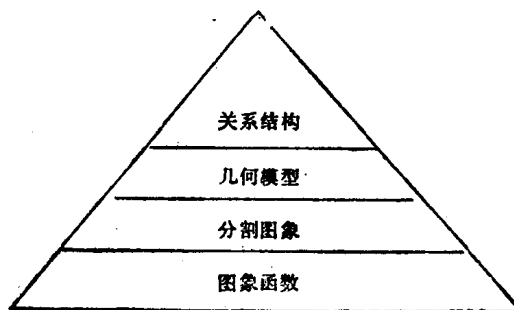


图 2.4 图象表示的金字塔结构

分割在第三章中叙述。除了 6.5 节中有关于三维物体表示的简要讨论外，本书将不涉及几何模型。

2.2 图象函数

图象函数 $f(x, y)$ 是一个二变量实函数，其取值非负有界。即对所有 (x, y) ， $0 \leq f(x, y) \leq L - 1$ ，我们通常假设 f 具有良好的解析性能。

数字化图象时，取样指从图象中抽取一组离散样本点，量化则给出这些样本点的离散数值表示，如图 2.5 所示。

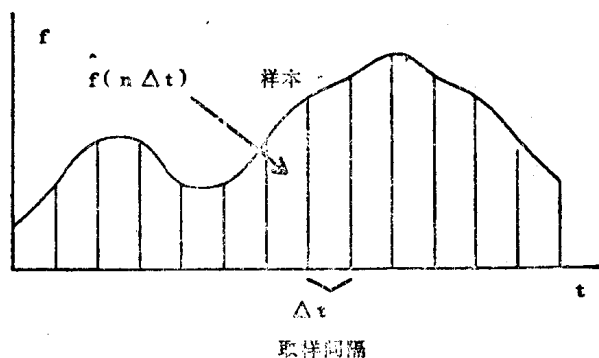


图 2.5 取样处理

结果的数字图象函数 f （或简称数字图象）可以表示为图象元素（简称象素）的阵列。数字图象函数 f 可以看作从 $\{0, 1, \dots, M-1\} \times \{0, 1, \dots, N-1\}$ 到 $\{0, 1, \dots, L-1\}$ 。 $\{0, 1, \dots, L-1\}$ 标为灰度集的集合， L 是灰度级。例如，我们用 3 比特表示每一象素，则 L 为 8；如用 8 比特，则有 256 个可分灰度等级，两个整数 M, N 表示数字图象的尺寸。图 2.6 是一个数字图象的例子。在此方形格子中，每一点 (x, y) 都有一个用 $f(x, y)$ 表示的象素的灰度值。

0	1	0	4
1	2	3	0
1	1	1	0

f

图 2.6 数字图象的一个例子

多光谱图象函数表示为

$$f_i(x, y) = \{f_1(x, y), f_2(x, y), \dots, f_n(x, y)\} \quad (2.1)$$

这里 $f_1, f_2, \dots, f_n$ 是图象函数。

例如，在图象处理及计算机图形学中，我们常用三基色（红、绿、蓝）来产生彩色图象。因此，彩色图象可以表示为多光谱图象函数：

$$f_i(x, y) = \{f_R(x, y), f_G(x, y), f_B(x, y)\} \quad (2.2)$$

该图象 f_i 中，每一象素值 $f_i(x, y)$ 都由 (r, g, b) 表示， r, g, b 分别为三图象函数