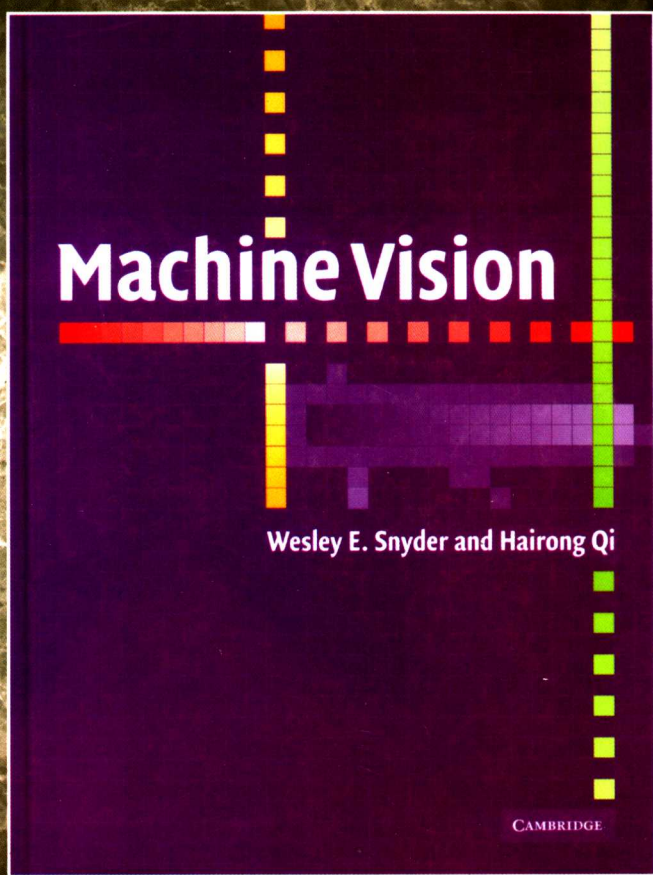


计 算 机 科 学 丛 书

机器视觉教程

(美) Wesley E. Snyder Hairong Qi 著 林学闯 崔锦实 赵清杰 等译



Machine Vision



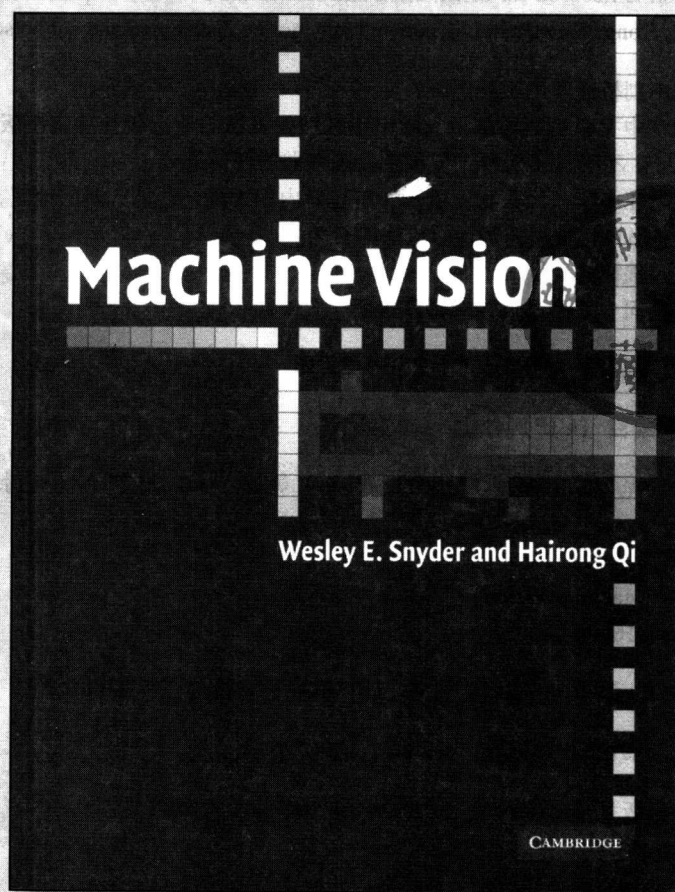
机械工业出版社
China Machine Press



计 算 机 科 学 丛 书

机器视觉教程

(美) Wesley E. Snyder Hairong Qi 著 林学闯 崔锦实 赵清杰 等译



Machine Vision



机械工业出版社
China Machine Press

本书对机器视觉进行了全面且通俗易懂的讲解，是一本从实用角度出发介绍机器视觉理论与应用的教材。本书从介绍数学原理开始，然后讨论图像处理中的关键问题，如图像的描述与品质、边缘检测、特征提取、分割、纹理与形状等。讨论的内容还包括图像匹配、统计模式识别、句法模式识别、聚类、传播、自适应轮廓、参数变换以及一致性标号。本书还介绍机器视觉的一些重要应用，其中包括目标的自动检测等。

本书所附光盘包括书中使用的软件与数据。本书可作为电机工程、计算机科学与数学等专业研究生的教材，也可供技术人员参考。

Wesley E.Snyder, Hairong Qi: Machine Vision.

Originally published by Cambridge University Press in 2004.

This Chinese edition is published with the permission of the Syndicate of the Press of the University of Cambridge, Cambridge, England.

Copyright © 2004 by Cambridge University Press.

This edition is licensed for distribution and sale in the People's Republic of China only, excluding Hong Kong, Taiwan and Macao and may not be distributed and sold elsewhere.

本书原版由剑桥大学出版社出版。

本书简体字中文版由英国剑桥大学出版社授权机械工业出版社独家出版。未经出版者预先书面许可，不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

此版本仅限在中华人民共和国境内（不包括中国香港、台湾、澳门地区）销售发行，未经授权的本书出口将被视为违反版权法的行为。

版权所有，侵权必究。

本书法律顾问 北京市展达律师事务所

本书版权登记号：图字：01-2004-3285

图书在版编目（CIP）数据

机器视觉教程/（美）辛德（Snyder, W. E.）等著；林学 阎等译。—北京：机械工业出版社，2005.9

（计算机科学丛书）

书名原文：Machine Vision

ISBN 7-111-16790-2

I. 机… II. ①辛… ②林… III. 计算机视觉—教材 IV. TP302.7

中国版本图书馆CIP数据核字（2005）第067781号

机械工业出版社（北京市西城区百万庄大街22号 邮政编码 100037）

责任编辑：毛 磊

北京瑞德印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2005年9月第1版第1次印刷

787mm × 1092mm 1/16 · 22印张

印数：0 001-4 000 册

定价：49.00元（附光盘）

凡购本书，如有倒页、脱页、缺页，由本社发行部调换

本社购书热线：（010）68326294

出版者的话

文艺复兴以降，源远流长的科学精神和逐步形成的学术规范，使西方国家在自然科学的各个领域取得了垄断性的优势；也正是这样的传统，使美国在信息技术发展的六十多年间名家辈出、独领风骚。在商业化的进程中，美国的产业界与教育界越来越紧密地结合，计算机学科中的许多泰山北斗同时身处科研和教学的最前线，由此而产生的经典科学著作，不仅肇划了研究的范畴，还揭橥了学术的源变，既遵循学术规范，又自有学者个性，其价值并不会因年月的流逝而减退。

近年，在全球信息化大潮的推动下，我国的计算机产业发展迅猛，对专业人才的需求日益迫切。这对计算机教育界和出版界都既是机遇，也是挑战；而专业教材的建设在教育战略上显得举足轻重。在我国信息技术发展时间较短、从业人员较少的现状下，美国等发达国家在其计算机科学发展的几十年间积淀的经典教材仍有许多值得借鉴之处。因此，引进一批国外优秀计算机教材将对我国计算机教育事业的发展起积极的推动作用，也是与世界接轨、建设真正的世界一流大学的必由之路。

机械工业出版社华章图文信息有限公司较早意识到“出版要为教育服务”。自1998年开始，华章公司就将工作重点放在了遴选、移译国外优秀教材上。经过几年的不懈努力，我们与Prentice Hall, Addison-Wesley, McGraw-Hill, Morgan Kaufmann等世界著名出版公司建立了良好的合作关系，从它们现有的数百种教材中甄选出Tanenbaum, Stroustrup, Kernighan, Jim Gray等大师名家的一批经典作品，以“计算机科学丛书”为总称出版，供读者学习、研究及度藏。大理石纹理的封面，也正体现了这套丛书的品位和格调。

“计算机科学丛书”的出版工作得到了国内外学者的鼎力襄助，国内的专家不仅提供了中肯的选题指导，还不辞劳苦地担任了翻译和审校的工作；而原书的作者也相当关注其作品在中国的传播，有的还专程为其书的中译本作序。迄今，“计算机科学丛书”已经出版了近百个品种，这些书籍在读者中树立了良好的口碑，并被许多高校采用为正式教材和参考书籍，为进一步推广与发展打下了坚实的基础。

随着学科建设的初步完善和教材改革的逐渐深化，教育界对国外计算机教材的需求和应用都步入一个新的阶段。为此，华章公司将加大引进教材的力度，在“华章教育”的总体规划之下出版三个系列的计算机教材：除“计算机科学丛书”之外，对影印版的教材，则单独开辟出“经典原版书库”；同时，引进全美通行的教学辅导书“Schaum's Outlines”系列组成“全美经典学习指导系列”。为了保证这三套丛书的权威性，同时也为了更好地为学校和老师服务，华章公司聘请了中国科学院、北京大学、清华大学、国防科技大学、复旦大学、上海交通大学、南京大学、浙江大学、中国科技大学、哈尔滨工业大学、西安交通大学、中国人民大学、北京航空航天大学、北京邮电大学、中山大学、解放军理工大学、郑州大学、湖北工学院、中国国家信息安全测评认证中心等国内重点大学和科研机构在计算机的各个领域的著名学者组成“专家指导委员会”，为我们提供选题意见和出版监督。

这三套丛书是响应教育部提出的使用外版教材的号召，为国内高校的计算机及相关专业

的教学度身订造的。其中许多教材均已为M. I. T., Stanford, U.C. Berkeley, C. M. U. 等世界名牌大学所采用。不仅涵盖了程序设计、数据结构、操作系统、计算机体系结构、数据库、编译原理、软件工程、图形学、通信与网络、离散数学等国内大学计算机专业普遍开设的核心课程，而且各具特色——有的出自语言设计者之手、有的历经三十年而不衰、有的已被全世界的几百所高校采用。在这些圆熟通博的名师大作的指引之下，读者必将在计算机科学的宫殿中由登堂而入室。

权威的作者、经典的教材、一流的译者、严格的审校、精细的编辑，这些因素使我们的图书有了质量的保证，但我们的目标是尽善尽美，而反馈的意见正是我们达到这一终极目标的重要帮助。教材的出版只是我们的后续服务的起点。华章公司欢迎老师和读者对我们的工作提出建议或给予指正，我们的联系方式如下：

电子邮件: hzjsj@hzbook.com

联系电话: (010) 68995264

联系地址: 北京市西城区百万庄南街1号

邮政编码: 100037

专家指导委员会

(按姓氏笔画顺序)

尤晋元
石教英
张立昂
邵维忠
周克定
郑国梁
高传善
裘宗燕

王 珊
吕 建
李伟琴
陆丽娜
周傲英
施伯乐
梅 宏
戴 葵

冯博琴
孙玉芳
李师贤
陆鑫达
孟小峰
钟玉琢
程 旭

史忠植
吴世忠
李建中
陈向群
岳丽华
唐世渭
程时端

史美林
吴时霖
杨冬青
周伯生
范 明
袁崇义
谢希仁

译者序

机器视觉又常称计算机视觉，这门学科的发生与发展已有几十年的历史，它是一门研究通过图像或视频数据观察周围世界的学科，主要以摄像机拍摄的图像或视频为原始数据，提取出在图像或视频中能观察到的事物。这个学科要解决的问题，与人类通过眼睛观察世界的视觉感知功能十分相似。称机器视觉是强调用机器构成的系统来处理视觉问题，而称计算机视觉则强调处理视觉的问题是一个计算问题，核心部件是计算功能强大的计算机。

随着信息时代的到来，用计算机处理各种信息的需求越来越多。多媒体信息处理技术已成为日常生活各领域的迫切需要，而人们就更希望能用计算机技术来处理视觉问题，例如利用人脸、虹膜、指纹等识别技术来处理与个人有关的一切事务。利用自动识别技术帮助盲人，利用视觉自动监控系统监视环境中发生的非常事件，如陌生人的侵入、老年人的异常行动等。再如智能交通管理系统、视频检索、用于军事目的的自动目标检测等，都需要应用机器视觉技术来解决问题。正如视觉是人类在自然环境与社会环境中生存不可缺少的最重要感知器官，机器视觉技术也是信息技术中的一门不可少的技术，因此它成为计算机学科中不可或缺的一门学科。

但是如何编写好一本机器视觉教科书却并不容易，这是由这门学科本身的特点所决定的。

几十年来，计算机视觉的研究吸引了多个学科学者与研究人员的目光，计算机视觉的研究已深入到许多不同的应用领域，例如字符识别、人脸识别、指纹识别等在基本原理与实施细节上都形成了独特的算法体系，每个领域都有数量极大的参考文献。显然要对每一个都作详细介绍，并要让读者理解，在篇幅上是不可能的，对初学者来说也是不必要的。

为了使这本书既能作为相关学科研究生与本科高年级学生学习机器视觉基础知识的教科书，并且又能作为有关专业人员自学机器视觉基本概念的参考书，作者将本书组织成基础与专题两个部分。基础部分是本书的重点，讲述每一章命题的基本概念以及基本处理方法，如图像处理、模式识别、线性代数、概率论等基础知识。学生们可以对机器视觉的基本概念及基本处理方法有一个全面的了解与掌握。本书作者还十分重视对学生通过实际动手培养基本能力，因而专门设计了一章讲解图像的一些基本操作，并要求读者能从底层的图像处理程序写起，以便真正掌握算法的实质。因此这本书是一本适合高年级本科生与研究生学习机器视觉的教科书，也是工程师与其他学科的研究人员学习机器视觉的入门参考书。

但是一旦读者在掌握了机器视觉的基础知识后，往往需要深入到机器视觉的某个应用领域中去，因此本书作者在每一章都安排了专题。在专题中讨论一些较深入的概念以及有代表性的观点，并附有丰富的参考文献目录。这样一来，读者就可以方便地深入到感兴趣的领域中去了。

此外，本书作者从始至终都强调两个命题，一个是 consistency 检测，另一个是求优化解。对前一个命题，作者把它看作解决机器视觉问题的基本哲理，这一点的确非常重要。当人们观察一幅数字图像时，孤立地观察每一个像素，或一个仅包含几个像素的小区域，是看不出图像中有什么东西的，而只有在审视了像素及其邻域中灰度（或颜色）值的分布特点才能发现

有价值的东西。例如，图像中有一条直线，若孤立地观察线上的每一点，并不能得出有一条直线的结论，而如果把这些点联系起来观察，就会发现有一条直线存在。这些点为什么组成一条直线呢？这是因为这些点具有一个公共的特点，它们都符合某一直线方程的条件，这就是它们之间存在的一致性。这个例子表明，仅从局部信息来看是看不出图像中有什么内容，只有从全局性角度去观察才能发现图像中究竟包含了什么。然而，图像处理的一些基本算子（如边缘算子、平滑算子等）都只能在局部进行计算，无法在大面积范围内直接进行计算是机器视觉计算的要害，而一致性检测是机器视觉中从局部计算到全局性计算的主要哲理，这点对于理解机器视觉的基本处理方法是极其关键的。至于求优化解是机器视觉计算求解的基本数学工具，还拿检测直线的例子来说吧！在图像中一条直线是由若干点组成的，由于这些点是通过边缘检测算子算出来的，这些点的位置往往不十分准确，因此严格地说这些点并不构成一条理想的直线，它可以用几条不同的直线来近似。那么究竟用哪一条直线来近似呢？这就是要找一个“最优”的直线的问题。要用一句话来概括机器视觉的话，就是从带噪声的数据中求解，这种解可以是识别一个字符，检测出一张人脸，跟踪了一个物体的运动等等。由于数据往往是不完整的，是混杂在一起的（一个场景往往是多种物体的组合），带有很强的噪声，因此往往没有解析解，没有唯一解，需要从多个可能的解中找到最优解，求最优解是机器视觉中最常用的数学工具。

我们在翻译此书的过程中体会到这本书与其他一些机器视觉（或计算机视觉）的著作有明显不同，它的注意力并不放在介绍计算机视觉的最新成果上，而在于把学习机器视觉最需要、最基本的概念与处理方法有条有理地组织起来，有利于学生与初学者尽快地掌握最基本的内容。而专题部分又可以作为读者学习更深入知识的桥梁。

由于翻译时间偏短，有些部分我们理解得不一定正确，用语也不够准确，译文中难免会出现这样那样的错误与不当之处，敬请读者们原谅，并欢迎指正。

致 教 师

本书是讲解计算机识别景物中物体的教材，分基础内容与专题两个部分，可作为教材与教学参考书。几乎所有的章都有基础部分，可以作为教材，按教学法组织的，而专题部分包含大量有关新近发表的文章的参考文献，可以用作参考。本教材是面向电机与计算机工程系、计算机科学系或数学系的高年级本科生与研究生的。

从第4章到17章的内容包括边缘检测、形状描述、传播、自适应轮廓、参数变换、匹配与一致性标号等有关专题，还包括句法与统计模式识别，以及聚类等内容。有两个主题是贯穿所有这些章节的：一致性（解决机器视觉问题的一个主要理论架构）与优化（用来实现这些方法的数学工具）。这两个主题是无所不在的，所以在每章的结尾都要讨论它们在本章中是如何体现的。第18章介绍目标自动检测这一应用问题，结合了前面章节讨论的所有主题，展示如何解决实际问题。

本教材假设读者在线性代数与高等微积分方面具有良好的研究生程度的背景知识。成功完成本课程的学生可以承担在工业、医学、与军用机器视觉系统方面的设计任务。所附的光盘中有作者开发的软件工具以及图像数据，用来支持完成书中作业。这些软件可运行在Windows或Linux操作系统支持的PC机、在OS-X下的Macintosh计算机以及Solaris支持下的SUN计算机环境中。软件能够处理任何一种类型的图像，并能将JPEG等格式的图像转换成“标准”格式图像或进行反方向转换。

尽管本书的使用方式可以多种多样，但作者的主要设计目的是使其作为机器视觉的研究生课程教材，以及作为机器视觉的参考书。如果作为教材，希望学生能阅读本书每一章的基本部分（本书内容一个学期都学不完）。下面的表格是为研究生程度的基础课程设计的学习计划。

对学生的作业与编程必须包括一个正式的报告，由于作业中通常包含编程，完成作业的时间可以更长些，建议使用的时间列在表格第3列的括号中。本书也可用于本科高年级学生的课程，但听课的学生与讲课内容要仔细挑选。

对希望进一步深造的学生，本书的“专题”部分可以作为阅读大量文献的导引。一定要对你的学生强调这样一点（就像我们在本书中所说的），即没有任何一本教科书能提供参考文献中才能提供的细节。而对一个实际的机器视觉项目来说，则要求开发工程师深入研读出版的杂志与会议论文。正如前面所述，贯穿本书的两个主题是一致性与优化。一致性概念是贯穿整个学科的，作为解决机器视觉问题的主要理论架构。针对一个机器视觉的实际应用，工程师需要进行搜索，以便找到确定信息源之间具有一致性的方法。优化是解决机器视觉问题的主要数学工具，包括确定一致性。在每一章的末尾介绍完技术问题后，我们都要提醒学生在该章何处体现了一致性原则，以及在何处应用了哪一种优化方法。

课程安排举例

序号	内容	作业 (花费周数)	阅读材料
1	引言, 术语, 对图像的运算, 模式分类和计算机视觉, 图像生成, 分辨率, 动态范围, 像素	2.2~2.5 2.9(1)	读第2章, 并确认自己具备学习该课程的基础
2	作为函数的图像, 图像退化, 点扩展函数, 复原	3.1(1)	第1章与第3章
3	图像的特性, 等亮度线, 脊, 连通性	3.2, 4.1(2)	4.1节~4.5节
4	核算子: 应用核运算估计边缘位置	4.A1, 4.A2(1)	5.1节与5.2节
5	用双二次函数拟合图像, 用求向量导数的方法使函数最小化	5.1, 5.2(1)	5.3节~5.4节 (跳过六边形像素)
6	图像的向量表示, 图像基函数, 边缘检测, 高斯模糊, 二阶及高阶导数	5.4, 5.5(2), 5.7, 5.8, 5.9(1)	5.5节与5.6节 (跳过5.7节)
7	尺度空间简介, 讨论作业	5.10, 5.11(1)	5.8节 (跳过5.9节)
8	松弛与退火	6.1, 6.3(1)	6.1节~6.3节
9	扩散	6.2(2)	6A.2节
10	MFA与扩散之间的等价性	6.7与6.8(1)	6A.4节
11	图像数学形态学	7.5~7.7(1)	7.1节
12	数学形态学 (续), 灰度数学形态学, 距离变换	7.10(2)	7.2节, 7.3节
13	填补边缘间隙, 连通性	7.4(1)	7A.4节
14	用最佳阈值进行分割		8.1节, 8.2节
15	连通分量标号	8.2(1)	8.3节
16	二维几何, 变换	9.3(1)	9.1节, 9.2节
17	二维形状特征, 不变矩, 傅里叶描述子, 中轴	9.2, 9.4, 9.10(1)	9.3节~9.7节
18	用蛇形主动轮廓与汽球主动轮廓进行分割		8.5节, 8.5.1节
19	偏微分方程表达与水平集		8.5.2节
20	从X提取形状与结构光照明	9.10(1)	9A.2.2节, 9A.2.3节
21	图论图像表示方法: 图, 区域相邻图. 子图同构		第12章
22	一致性与松弛标号	10.1(1)	第10章
23	Hough变换, 参数变换	11.1(2)	11.1节, 11.2节, 11.3.3节
24	广义Hough变换, 高斯映像, 电路板上检测孔的应用		11A.3节
25	图匹配, 弹簧与模板, 关联图	13.2与13.3(1)	13.1节~13.3节
26	统计模式识别的作用		

致谢

感谢我在北卡罗来纳州立大学的研究生们, 尤其是Rajeev Ramanath, 没有他的帮助, 就完成不了这本书。Bilg  Karacali在校对方面给了不少帮助, 并且对支持向量机这一节贡献很大。

当然要不是为了我的太太Rosalyn, 所有这都不重要了, 正是她对我的鼓励才使这一切得以发生, 她还不止一次地对整本书进行编辑, 把原本工程化的语言转变成标准的英语。

W. E. Snyder

我首先要感谢Wesley Snyder博士邀请我作为合作者，我非常喜欢这种合作，并且从中获取了极其宝贵的经验。

在最后一要交付这本书时，正值我的父母从中国来探亲。为了支持我完成最后的工作，他们一直陪伴我而放弃了在城市里观光与欢度节假日，我要深深地感谢他们。还要感谢Feiyi，给予我永远的技术支持与紧张工作后的宽慰。

Hairong Qi

目 录

译者序	
致教师	
第1章 引言	1
1.1 本书宗旨	1
1.2 读者需具备的预备知识	1
1.3 一些术语	2
1.3.1 图像处理	2
1.3.2 机器视觉	3
1.4 机器视觉系统的组成	3
1.5 图像的性质	4
1.6 图像的操作分析	4
参考文献	5
第2章 数学原理回顾	7
2.1 概率论简单回顾	7
2.2 线性代数简单回顾	8
2.2.1 线性变换	10
2.2.2 求导运算	11
2.2.3 特征值与特征向量	12
2.3 函数最小化简介	12
2.3.1 牛顿-拉弗森方法	14
2.3.2 局部最小与全局最小	15
2.3.3 模拟退火	15
2.4 马尔科夫模型	16
2.4.1 隐马尔科夫模型	17
2.4.2 维特比算法	18
2.4.3 马尔科夫输出	19
2.4.4 估计模型参数	20
2.4.5 隐马尔科夫模型的应用	20
参考文献	21
第3章 编写图像处理程序	23
3.1 图像文件系统软件	23
3.1.1 IFS头部结构	23
3.1.2 某些有用的IFS函数	24
3.1.3 带共性的问题	24
3.2 图像处理程序的基本结构	24
3.3 好的编程风格	25
3.4 示例程序	25
3.5 生成文件	27
第4章 图像的生成与表示方式	29
4.1 图像表示方法	29
4.1.1 图像表示	29
4.1.2 函数表示	30
4.1.3 线性表达式	30
4.1.4 概率表示	30
4.1.5 空域频率表示	30
4.1.6 关系表示方法(图表示法)	32
4.2 数字图像	32
4.2.1 数字图像的生成	32
4.2.2 距离图像的生成	35
4.3 图像生成机制	37
4.4 将图像看作表面	38
4.4.1 等亮度线	38
4.4.2 脊	38
4.4.3 二值图像与中轴	39
4.5 邻域关系	39
4.6 结论	41
4.7 术语	41
专题4A 图像表示方法	42
4A.1 采样的变种:六角形像素	42
4A.2 其他形式的图像表示	44
参考文献	46
第5章 线性算子与核算子	49
5.1 什么是线性算子	49
5.2 核算子在数字图像中的应用	49
5.2.1 自变量的方向:卷积和相关	50
5.2.2 用核算子估计导数	50

5.3 通过函数拟合估计导数	51	6A.5 与神经网络之间的关系	103
5.4 图像的矢量表示	55	6A.6 结论	104
5.5 图像的基向量	56	参考文献	105
5.6 边缘检测	57	第7章 数学形态学	111
5.7 用核算子表示可微函数的采样	59	7.1 二值形态学	111
5.8 计算卷积	62	7.1.1 膨胀	111
5.9 尺度空间	64	7.1.2 腐蚀	113
5.9.1 四叉树	64	7.1.3 膨胀与腐蚀的性质	113
5.9.2 高斯尺度结构	65	7.1.4 开运算与闭运算	115
5.10 量化边缘检测算子的精确性	67	7.1.5 开运算与闭运算的性质	116
5.11 人们的做法	67	7.2 灰度形态学	117
5.12 结论	69	7.3 距离变换	118
5.13 术语	69	7.3.1 采用掩膜计算距离变换	118
专题5A 边缘检测器	72	7.3.2 Voronoi图	119
5A.1 Canny边缘检测器	72	7.4 结论	119
5A.2 改进边缘检测	73	7.5 术语	119
5A.3 从边缘点推理线段	73	专题7A 形态学	121
5A.4 空域频率表示	74	7A.1 有效地计算腐蚀、膨胀	121
5A.5 术语	75	7A.2 形态学采样定理	124
参考文献	77	7A.3 选择结构元素	126
第6章 图像松弛: 复原与特征抽取	81	7A.4 边缘及表面上的缝隙弥合	126
6.1 松弛	81	7A.5 术语	136
6.2 复原	81	参考文献	136
6.3 最大后验方法	84	第8章 分割	139
6.3.1 贝叶斯准则	84	8.1 划分图像	139
6.3.2 题外话: 逆问题中的问题	86	8.2 阈值化分割	140
6.3.3 用于边缘保留型平滑的目标函数	86	8.3 连通分量分析	142
6.4 均值场退火	87	8.3.1 递归式区域增长算法	143
6.4.1 选择先验项	89	8.3.2 迭代式连通分量分析方法	145
6.4.2 退火: 避免局部最小值	91	8.3.3 标号图像的一种替代方法	149
6.4.3 如何对一个含有核算子的函数求导	92	8.4 曲线分割	149
6.4.4 实际考虑: 边缘保留型的平滑	94	8.5 主动轮廓线	150
6.5 结论	95	8.5.1 能量最小化原则	150
6.6 术语	95	8.5.2 偏微分方程方法	151
专题6A 替代算法与等价算法	97	8.6 曲面分割	153
6A.1 GNC: 一种可去除噪声的替代算法	97	8.6.1 曲面描述	153
6A.2 传导率可变的扩散	99	8.6.2 椭圆及椭球拟合	154
6A.3 面向边缘的各向异性扩散	100	8.7 评估分割质量	155
6A.4 对图像松弛算子的一个通用描述	100	8.8 结论	156

8.9 术语	156	专题10A 二维线条图的三维解释	211
专题8A 分割	157	参考文献	213
8A.1 纹理分割	157	第11章 参数变换	215
8A.2 使用边缘的图像分割	159	11.1 Hough变换	215
8A.3 运动分割	160	11.1.1 垂直线带来的问题	216
8A.4 颜色分割	160	11.1.2 如何找到交点——累加器数组	217
8A.5 使用MAP方法的分割	160	11.2 减少计算复杂度	218
8A.6 人如何完成分割	160	11.3 检测圆	218
参考文献	160	11.3.1 用非共线三个像素表示一个圆的定位	218
第9章 形状	167	11.3.2 用参数变换检测圆	219
9.1 线性变换	167	11.3.3 检测圆中利用梯度信息降低计算量	219
9.2 基于协方差矩阵的变换方法	169	11.4 广义Hough变换	220
9.2.1 K-L展开的推导	169	11.5 结论	220
9.2.2 K-L展开的性质	172	11.6 术语	221
9.3 简单特征	173	专题11A 参数变换	221
9.4 矩	176	11A.1 检测抛物线	221
9.5 链码	177	11A.2 检测峰值	223
9.6 傅里叶描述子	178	11A.3 高斯图	223
9.7 中轴	178	11A.4 立体视觉中的参数一致性	223
9.8 变形模板	179	11A.5 结论	224
9.9 二次曲面	180	11A.6 术语	224
9.10 表面的谐波函数表示	181	参考文献	225
9.11 超二次曲面	181	第12章 图和图论概念	227
9.12 广义柱体	183	12.1 图	227
9.13 结论	183	12.2 图的性质	227
9.14 术语	183	12.3 图结构的实现	228
专题9A 形状的描述	184	12.4 区域邻接图	228
9A.1 求非凸区域的直径	184	12.5 图匹配的应用: 子图同构问题	230
9A.2 从图像推测三维形状	186	12.6 外观图	230
9A.3 运动分析与跟踪	192	12.7 结论	231
9A.4 术语	194	12.8 术语	231
参考文献	197	参考文献	232
第10章 一致性标号	205	第13章 图像匹配	233
10.1 一致性	205	13.1 图像表达的匹配	233
10.2 松弛法标号	208	13.1.1 模板匹配	233
10.2.1 利用一致性来修正标号	208	13.1.2 点匹配	234
10.2.2 标号问题示例	209	13.1.3 线段匹配	234
10.3 结论	210		
10.4 术语	211		

13.1.4 特征图像	235	参考文献	276
13.2 匹配简单特征	237	第15章 聚类	279
13.3 图匹配	238	15.1 聚类之间的距离	279
13.3.1 关联图	238	15.2 聚类算法	281
13.3.2 弹性模板	240	15.2.1 合并聚类	281
13.4 结论	241	15.2.2 k 均值聚类	283
13.5 术语	241	15.3 最优化聚类方法	284
专题13A 匹配	243	15.3.1 分支定界法	285
13A.1 弹簧加模板回顾	243	15.3.2 向量量化	285
13A.2 人工神经网络用于物体识别	244	15.3.3 赢者全得算法	285
13A.3 图像索引	247	15.4 结论	286
13A.4 匹配几何不变量	248	15.5 术语	286
13A.5 结论	250	参考文献	288
13A.6 术语	251	第16章 句法模式识别	289
参考文献	251	16.1 术语	289
第14章 统计模式识别	255	16.2 文法类型	290
14.1 分类器设计	255	16.2.1 0型文法	290
14.1.1 决策规则的选择	255	16.2.2 1型文法	290
14.1.2 最大似然分类器	256	16.2.3 2型文法	291
14.1.3 分类器学习算法	256	16.2.4 3型文法	291
14.2 贝叶斯规则和最大似然分类器	257	16.3 用文法结构进行形状识别	291
14.2.1 贝叶斯规则	257	16.3.1 3型文法	291
14.2.2 参数模式分类器	258	16.3.2 2型方法	294
14.2.3 概率密度估计	259	16.4 结论	296
14.2.4 均值估计	260	16.5 术语	296
14.2.5 方差估计	260	参考文献	297
14.2.6 似然比	261	第17章 应用	299
14.3 决策区间和错误概率	262	17.1 多谱图像分析	299
14.4 条件风险	263	17.2 光学字符识别	299
14.5 二次函数分类器	265	17.3 自动诊断和辅助诊断	299
14.6 最小最大规则	267	17.4 检测和质量控制	300
14.7 最近邻方法	267	17.5 安全检测和入侵者识别	300
14.8 结论	268	17.6 机器人视觉	300
14.9 术语	269	17.6.1 机器人外科手术	301
专题14A 统计模式识别	270	17.6.2 机器人驾驶	301
14A.1 用统计方法匹配特征向量	270	参考文献	302
14A.2 支持向量机	272	第18章 自动目标识别	307
14A.3 结论	275	18.1 层次体系	307
14A.4 术语	276	18.2 系统组成	308

18.3 算法的性能评价	309	18.5.1 基于模型的技术	316
18.3.1 性能表示	310	18.5.2 基于统计的技术	317
18.3.2 从训练数据生成ROC曲线	311	18.5.3 模板匹配	317
18.3.3 性能和系统评价	312	18.6 Hough变换	318
18.4 特有的机器视觉问题	312	18.7 形态学技术	318
18.4.1 目标信号可变性和误警率	312	18.8 链码	319
18.4.2 跟踪	313	18.9 结论	319
18.4.3 分割	314	参考文献	320
18.4.4 特征选择	314	索引	327
18.5 自动目标识别算法	314		

第1章 引 言

The proof is straightforward, and thus omitted.

Ja-Chen Lin and Wen-Hsiang Tsai[⊖]

1.1 本书宗旨

我们把这本书写成两个层次的形式。主要层次的内容是入门引导，但“入门引导”并不意味着“容易”或“简单”，或者“不需要数学”。“入门引导”讨论的话题是在理解深入的话题之前必须要掌握的。

此外，我们还力求把这本书写成有用的参考书。例如当读者需要实现一个实际系统时，需要得到比这本书中所包含的内容更详细的资料时，我们能为他提供恰当的参考资料，使他能很顺利地研究下去。

我们写这本书的风格，力求适合学生的特点，并且具有交谈的风格。

我们还力求使这本书有很强的可读性，并令人感到愉快。某些词故意拼错，显然是为了增加幽默感，某些幽默通过夸张或使用双关语来实现，希望读者能体谅我们。

我们并不打算在这本书中包括机器视觉的所有话题。尤其是涉及字符识别与人脸识别的几乎所有文章都没有包括进来。这丝毫没有轻视这些十分重要与十分成功的应用领域的意思，而只是因为这些文章具有很强的针对性。何况我们是无法在这本书中包括每一个方面的。

有两个命题在本书中贯穿始终：**一致性**与**优化**。一致性是一种概念上的工具，体现在许多算法中，以有利于机器识别图像。其融合从局部度量中得到的信息以便获取有关图像全局性的结论。优化问题是一种数学机制，它几乎在每一章都使用，以实现这些章节要解决的问题，不管是模式分类或是图像匹配。

由于一致性与优化这两个命题是如此重要与无所不在，因此在每一章的结论中我们都给学生指出它们在本章何处出现。所以读者有必要阅读每章的结论，也许这里包含有考试的内容呢！

1

1.2 读者需具备的预备知识

本书的主要读者是：电机工程、计算机工程、计算机科学、数学、统计学或物理学专业的研究生或本科高年级学生。为了学好这本书，你必须学过研究生的高等微积分，以及统计学或概率论的课程。你必须正规地上过线性代数课或掌握这方面的知识。

许多家庭作业是编程作业，要用计算机来完成。为了完成这些作业需要的硬件与软件环境需具有如下功能：

- 1) 用C语言处理大数组 (256 × 256)。

⊖ Ja-Chen Lin and Wen-Hsiang Tsai, "Feature-preserving Clustering of 2-D Data for Two-class Problems Using Analytical Formulas: An Automatic and Fast Approach," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 16(5), 1994.