



经典译丛

 Springer

人工智能与智能系统

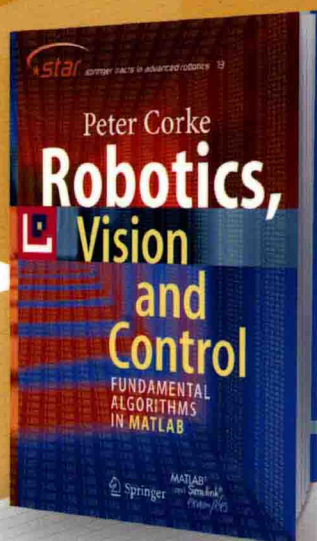
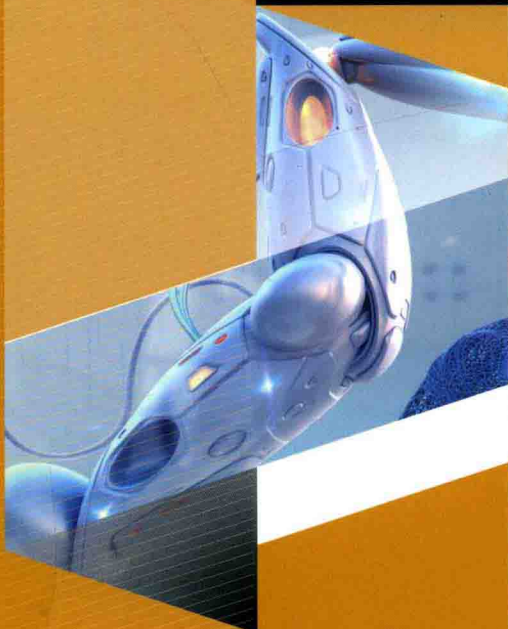
# 机器人学、 机器视觉与控制 ——MATLAB算法基础

## Robotics, Vision and Control Fundamental Algorithms in MATLAB

【澳】 Peter Corke 著

刘荣等译

Robotics, Vision and Control: Fundamental Algorithms in MATLAB



中国工信出版集团



电子工业出版社  
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY  
<http://www.phei.com.cn>

经典译丛·人工智能与智能系统

# 机器人学、机器视觉与控制 ——MATLAB 算法基础

Robotics, Vision and Control  
Fundamental Algorithms in MATLAB

[澳] Peter Corke 著

刘荣等译

电子工业出版社  
Publishing House of Electronics Industry  
北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书是关于机器人学和机器视觉的实用参考书,第一部分“基础知识”(第2章和第3章)介绍机器人及其操作对象的位置和姿态描述,以及机器人路径和运动的表示方法;第二部分“移动机器人”(第4章至第6章)介绍其基本运动控制模式及其导航和定位方法;第三部分“臂型机器人”(第7章至第9章)介绍其运动学、动力学和控制方面的知识;第四部分“计算机视觉”(第10章至第14章)包括光照与色彩,图像形成和处理技术,图像特征提取,以及基于多幅图像的立体视觉技术;第五部分“机器人学、视学与控制”(第15章和第16章)分别讨论基于位置和基于图像的视觉伺服及更先进的混合视觉伺服方法。本书已根据作者在网站公布的勘误表进行了细节更正。

本书可以作为学习机器人技术和视觉控制的高年级本科生和研究生的教辅书籍,也可作为课程仿真实验的指导书。另外也适合作为从事机器人技术研究和开发人员的技术参考书。

Translation from the English language edition:

Robotics, Vision and Control: Fundamental Algorithms in MATLAB by Peter Corke.

Copyright © 2011 Springer Berlin Heidelberg. Springer Berlin Heidelberg is a part of Springer Science + Business Media.

Authorized Simplified Chinese language edition by Publishing House of Electronics Industry. Copyright © 2015.

All Rights Reserved.

本书中文简体字版专有出版权由 Springer Science + Business Media, LLC 授予电子工业出版社。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。

版权贸易合同登记号 图字:01-2013-2463

### 图书在版编目(CIP)数据

机器人学、机器视觉与控制:MATLAB 算法基础/(澳)科克(Corke,P.)著;刘荣等译.

北京:电子工业出版社,2016.5

(经典译丛·人工智能与智能系统)

书名原文:Robotics, Vision and Control: Fundamental Algorithms in MATLAB

ISBN 978-7-121-25990-6

I. ①机… II. ①科… ②刘… III. ①机器人学 ②计算机视觉 IV. ①TP24 ②TP302.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 094010 号

策划编辑:马 岚

责任编辑:周宏敏

印 刷:北京京师印务有限公司

装 订:北京京师印务有限公司

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:35 字数:985 千字 彩插:6

版 次:2016 年 5 月第 1 版

印 次:2016 年 5 月第 1 次印刷

定 价:99.00 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)88254888,88258888。

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

本书咨询联系方式:classic-series-info@phei.com.cn。

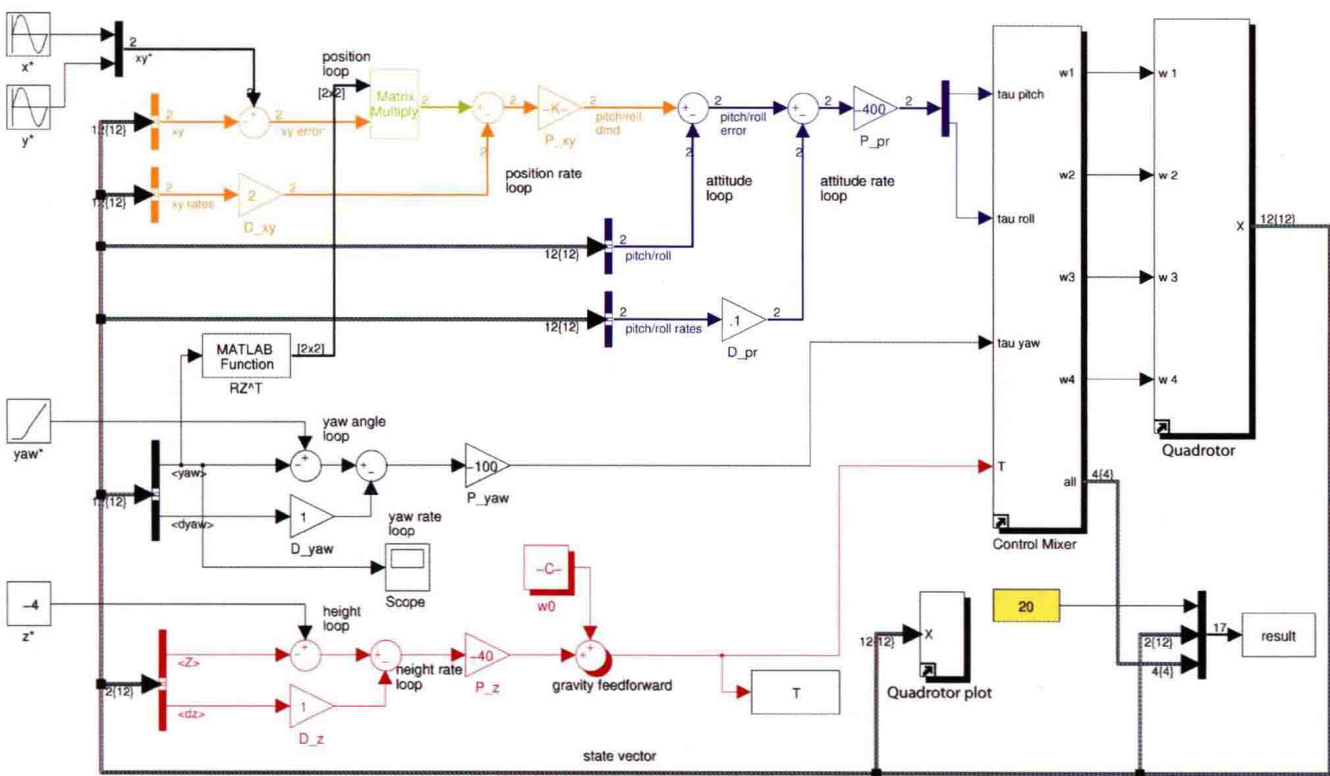


图 4.17 Simulink 模型 s1\_quadrotor，它是四旋翼飞行器的一个闭环仿真模型。飞行器起飞后将以等高度飞行一圈。其中，动力学模块执行方程 (4.9) 的运算，混合模块则执行其逆运算，同时限制旋翼的转速。Quadrotor 模块在输出 12 个元素的状态向量  $x$  时用了一条 Simulink 总线

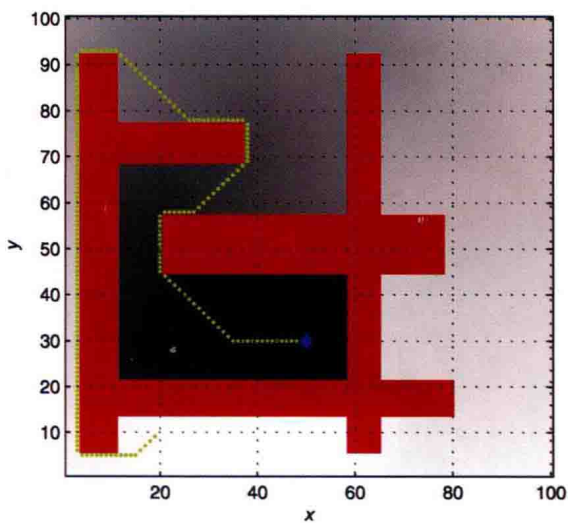


图 5.5 距离变换路径。红色网格代表障碍区。灰色背景的亮度代表单元格到目标的距离，距离单位是单元格大小，如右侧的标尺所示

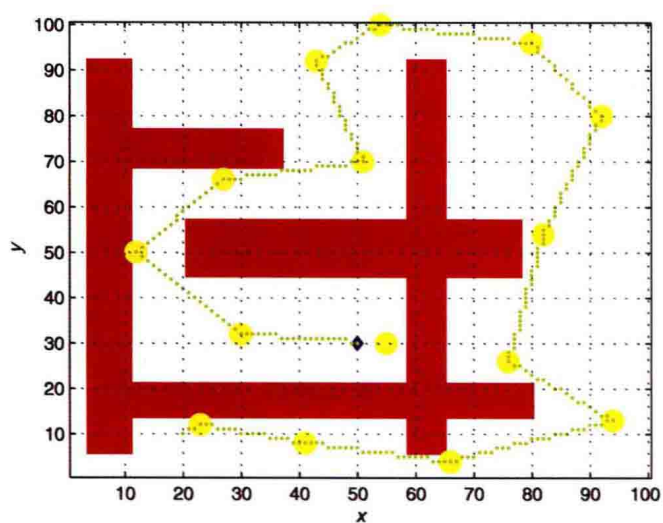


图 5.11 概率路线图 (PRM) 规划器得到的机器人路径，用绿点线表示。机器人走过的路线图节点用黄色高亮显示

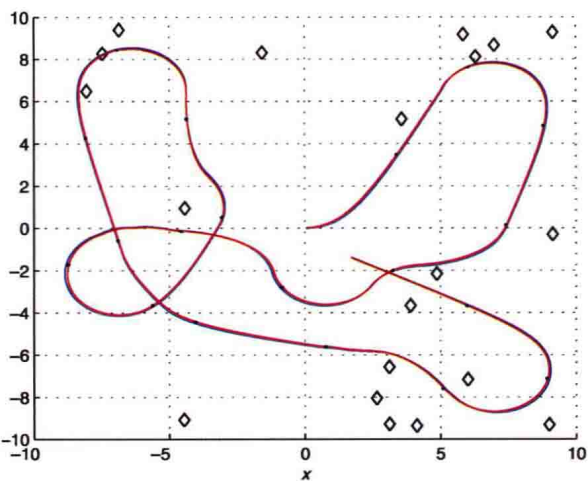


图 6.7 EKF 定位方法，显示了机器人的实际路径（蓝色），以及用里程计和地标估计出的路径（红色）。机器人从原点出发

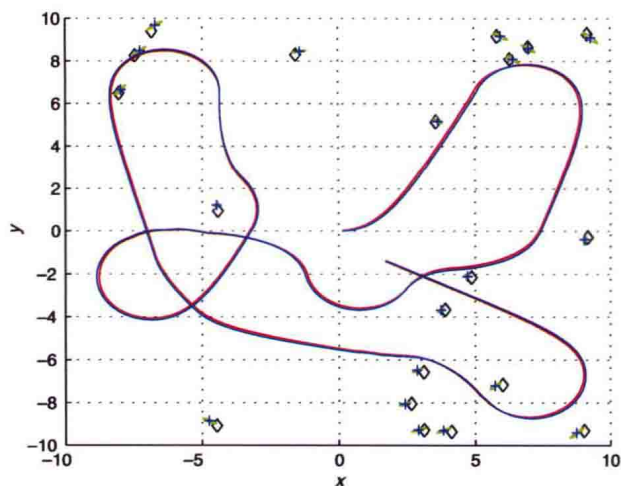
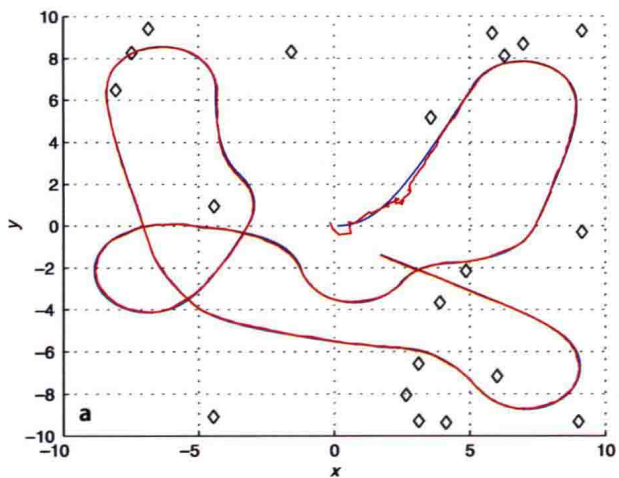
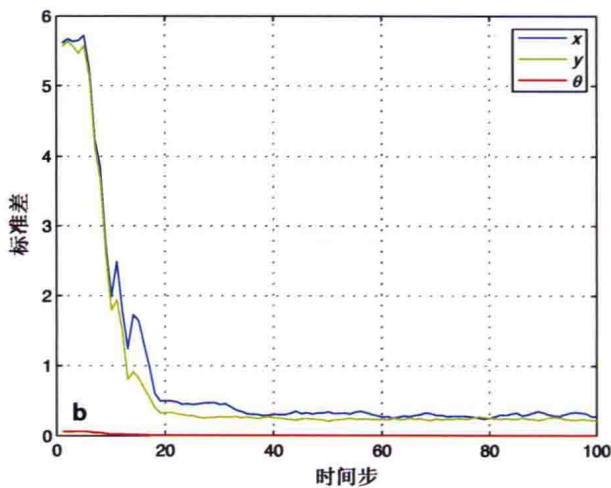


图 6.10 同时定位并制图。图中显示了机器人真实路径（蓝色）和估计路径（红色），它们叠加在真实地图上（黑符号◇）。估计的地图特征用符号+表示，附带一个  $5\sigma$  置信椭圆



(a)



(b)

图 6.13 粒子滤波器的结果：(a)蓝色代表机器人的真实路径，红色代表估计路径；(b)粒子标准差随时间变化的曲线

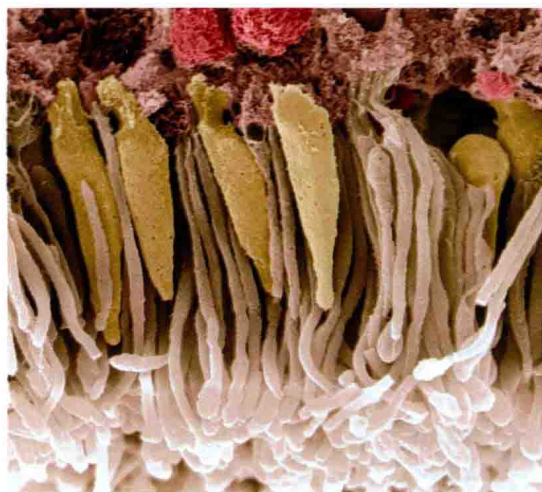


图 10.6 人眼中视杆细胞和锥细胞的彩色扫描电子显微照片。这些细胞的直径范围是  $0.5\sim 4\ \mu\text{m}$ 。它们包含不同类型的被称为光视蛋白的光敏蛋白质。感光细胞的细胞体（红色）位于杆细胞和锥细胞的上层

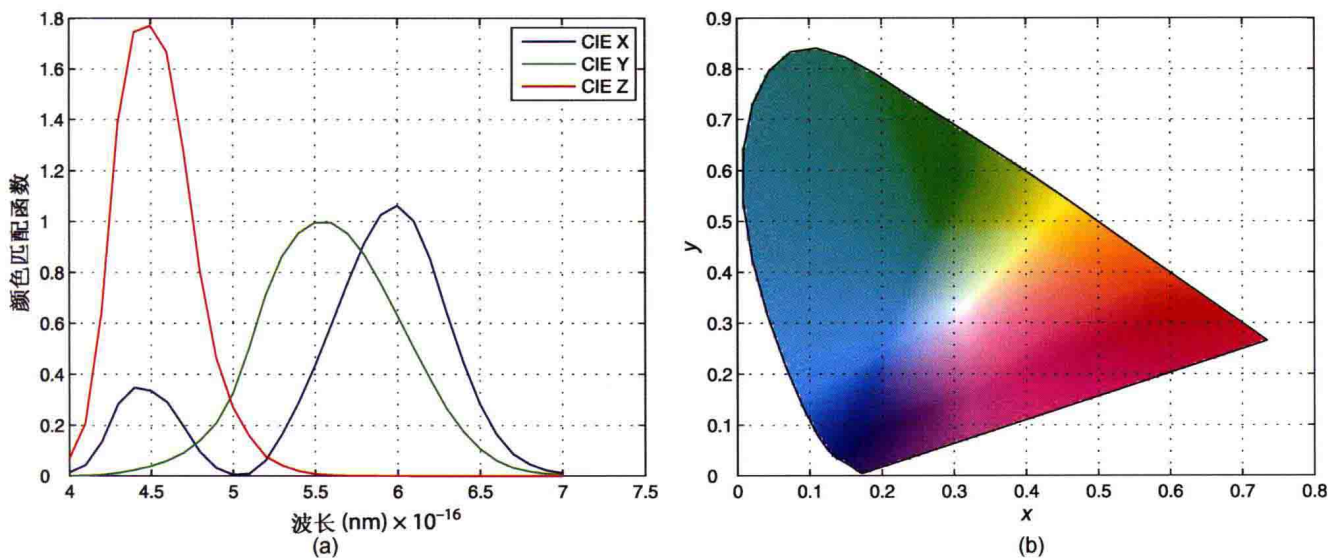


图 10.12 (a)基于虚构三原色的对标准观察者的颜色匹配函数， $X$ 、 $Y$ （光强）、 $Z$  已被 CIE (1987) 表格化；(b) $xy$  色度平面上的颜色

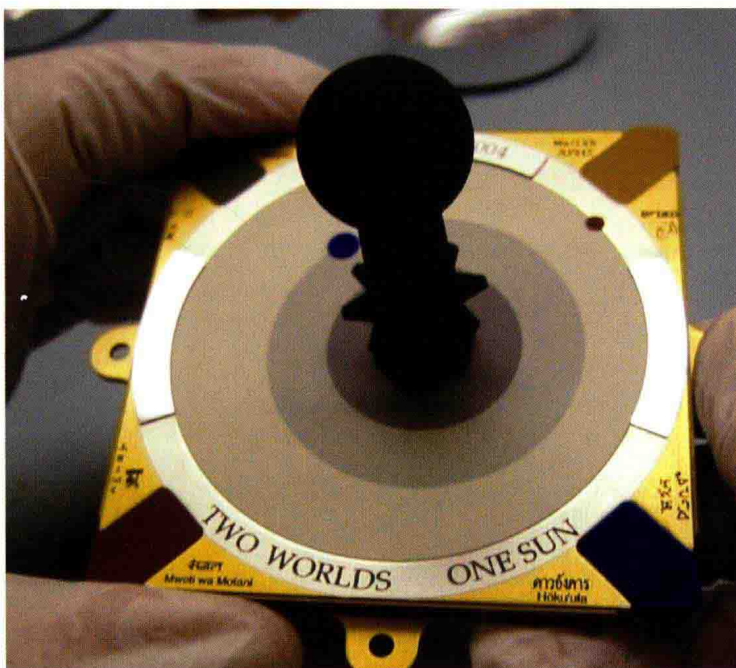
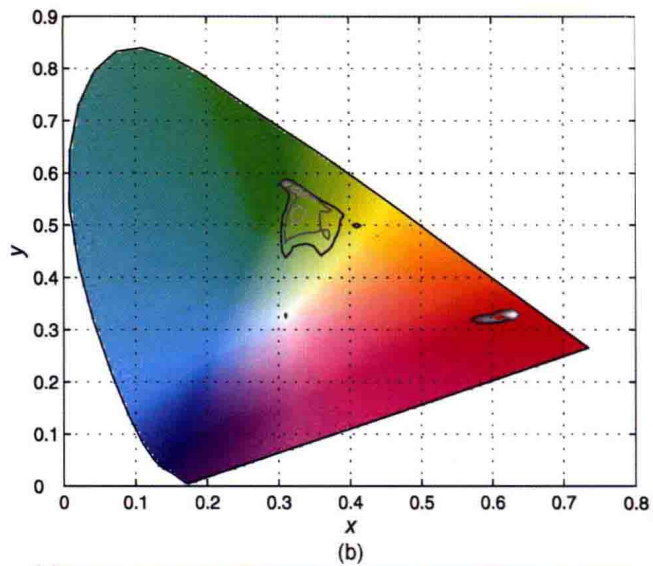
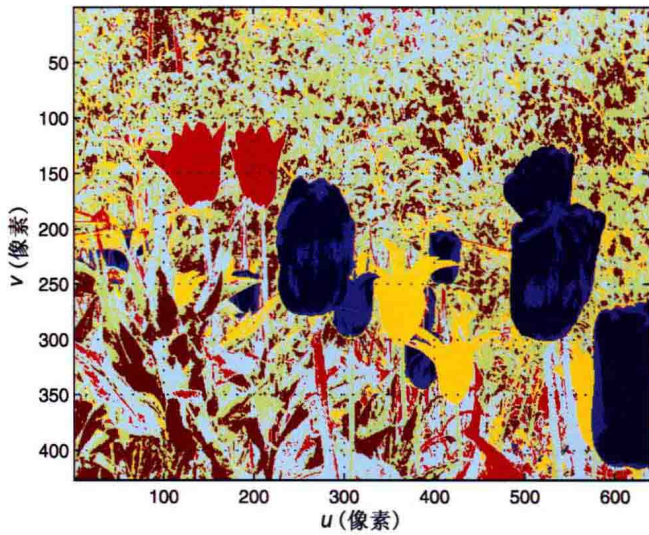


图 10.16 用于火星探测器上全景相机的标定靶。已知反射率和色度（红、黄、绿、蓝和灰色阴影）的区域和用于设定相机的白平衡。中心杆有非常低的反射率，也可充当日晷。它上面刻了一条格言，是关于日晷的最好传说。（照片来自 NASA/JPL/Cornell/Jim Bell）

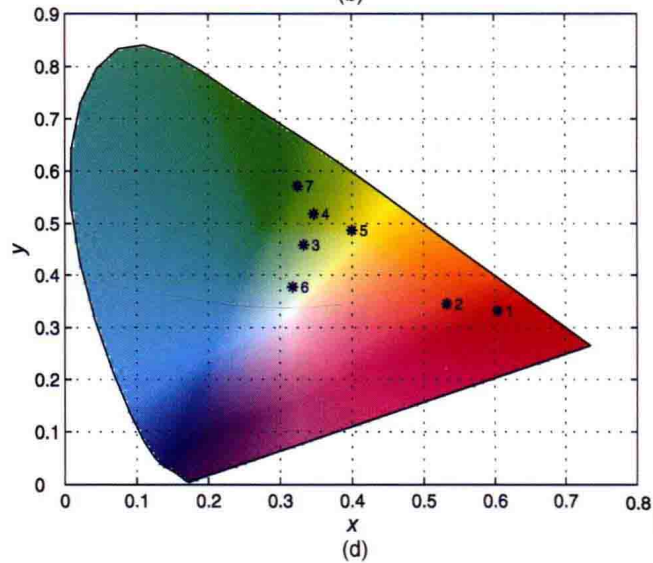


(a)

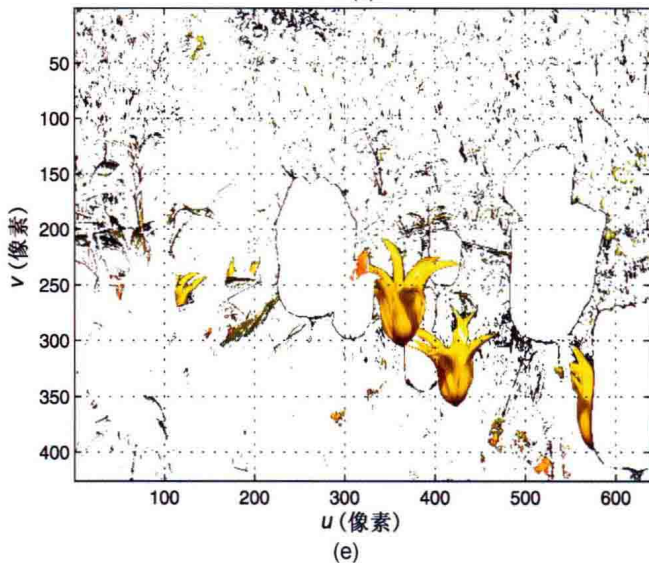
(b)



(c)



(d)



(e)

图 10.19 彩色图像分割。(a)原始彩色图像；(b)叠加了频率等高线的xy色度平面；(c)颜色错乱的标签图像；(d)色度图上的群族中心；(e)只有类型5（黄色）像素

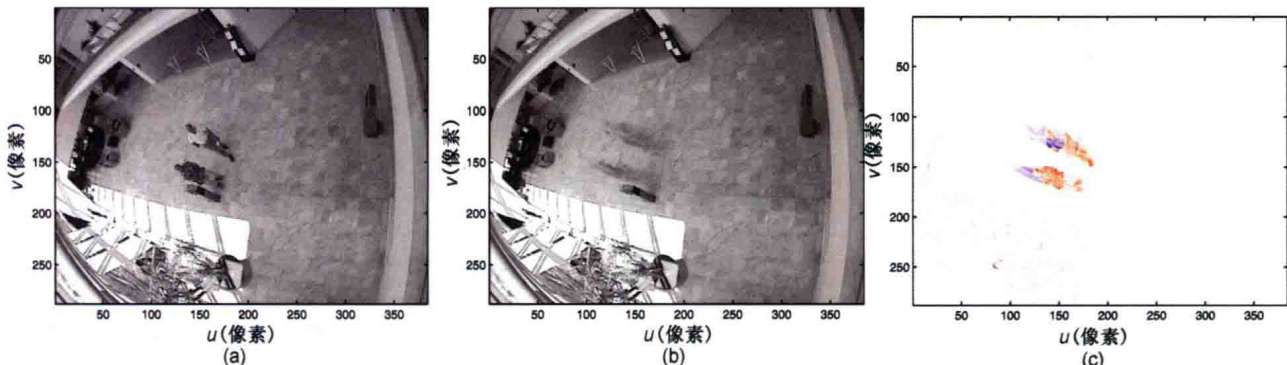


图 12.10 对于 INRIA 的 LeftBag 图像序列在第 250 帧处的图像序列分析示例。(a)当前图像；(b)被估计的背景图像；(c)当前图像与被估计背景图像之间的差值，其中，白色部分为 0，红色和蓝色部分分别是负值和正值，值的大小通过颜色强度来表示（视频来自 EC 投资的 CAVIAR 工程集/IST 2001 37540）

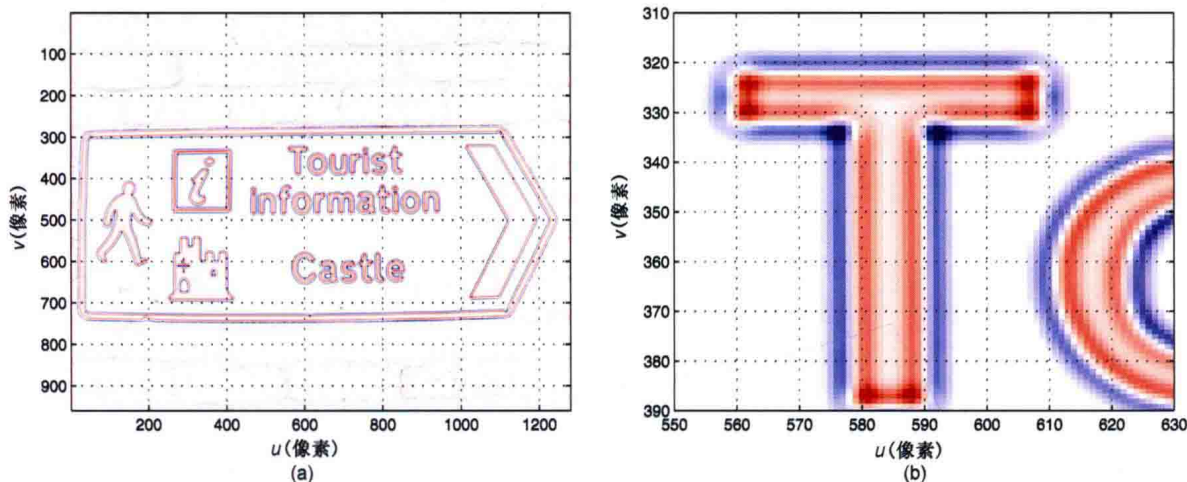


图 12.19 高斯拉普拉斯算子。(a)高斯拉普拉斯算子结果；(b)字母 T 周围的特写，其中蓝色和红色分别表示正值和负值

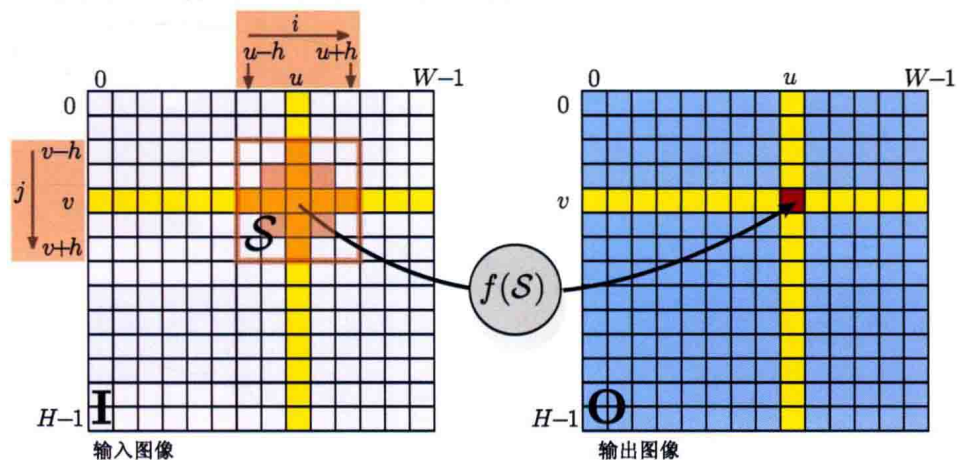


图 12.24 形态学图像处理操作。该操作只针对结构化元素（红色方形轮廓）中的选中像素（红色）

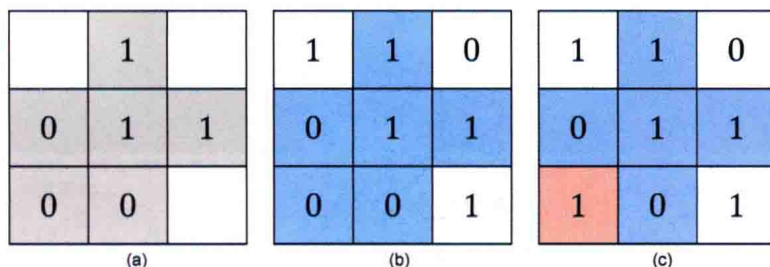


图 12.29 击中与否运算。(a)结构元素值可取 0,1 或者显示为白色；(b)击中样例；(c)未击中样例，红色像素与结构元素不一致



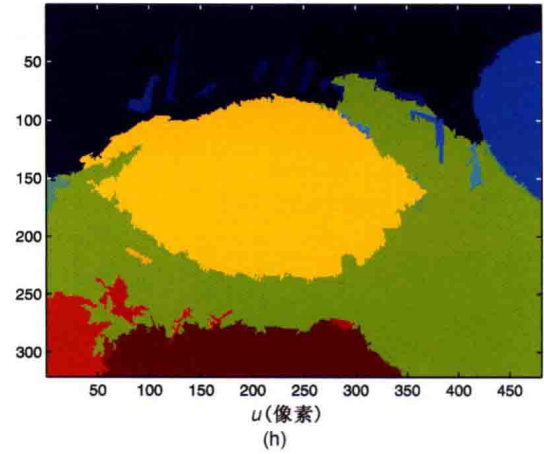
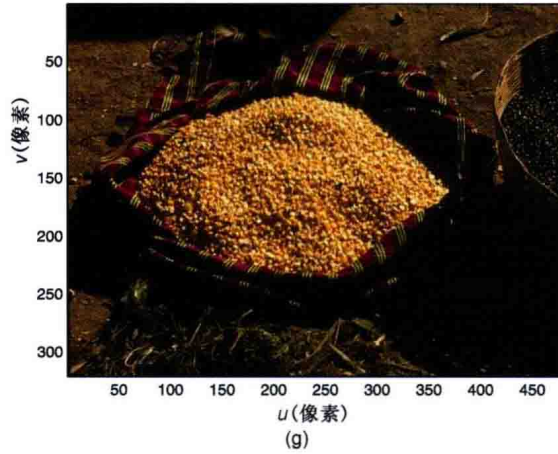
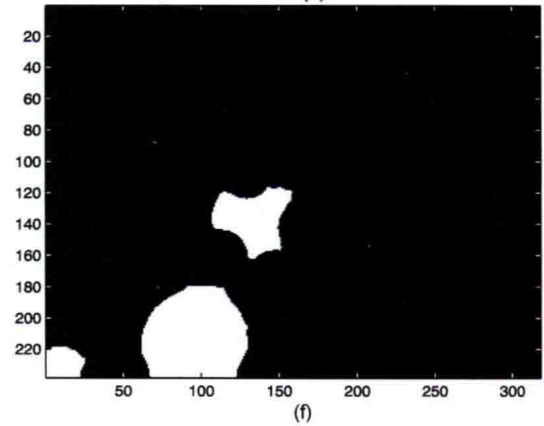
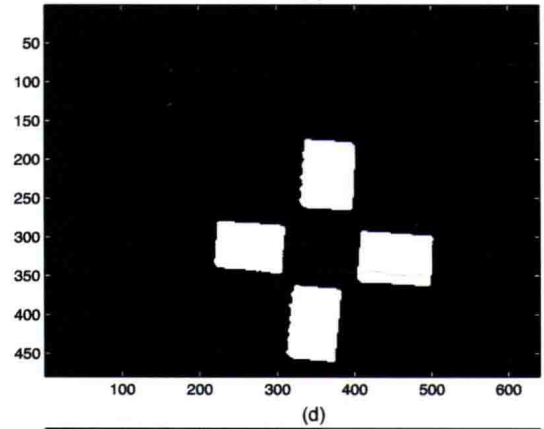
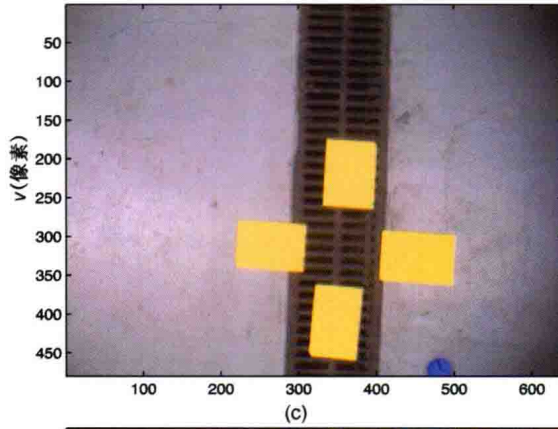
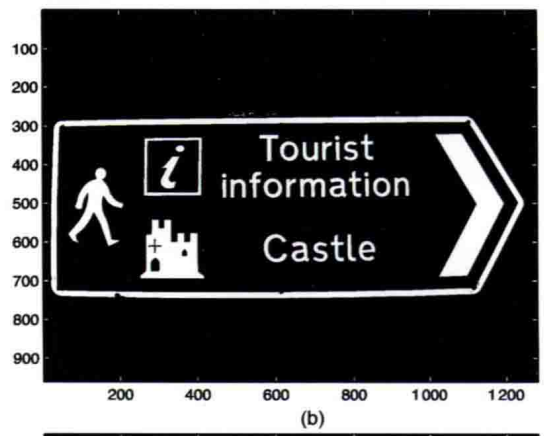
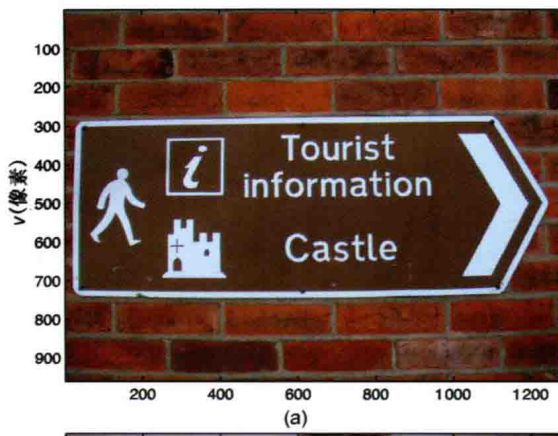


图 13.1 像素分类的实例。左侧是输入图像，右侧是分类后图像。分类是针对不同应用的，像素已经被分类为目标物体（白色）或非目标物体（黑色）。感兴趣的目的是：(a) 标牌上的单独字母；(b) 黄色目标；(c) 红色番茄。(d) 是一个多级分割，其中像素已经被分为 28 类，它们代表了在场景中局部共性的像素组

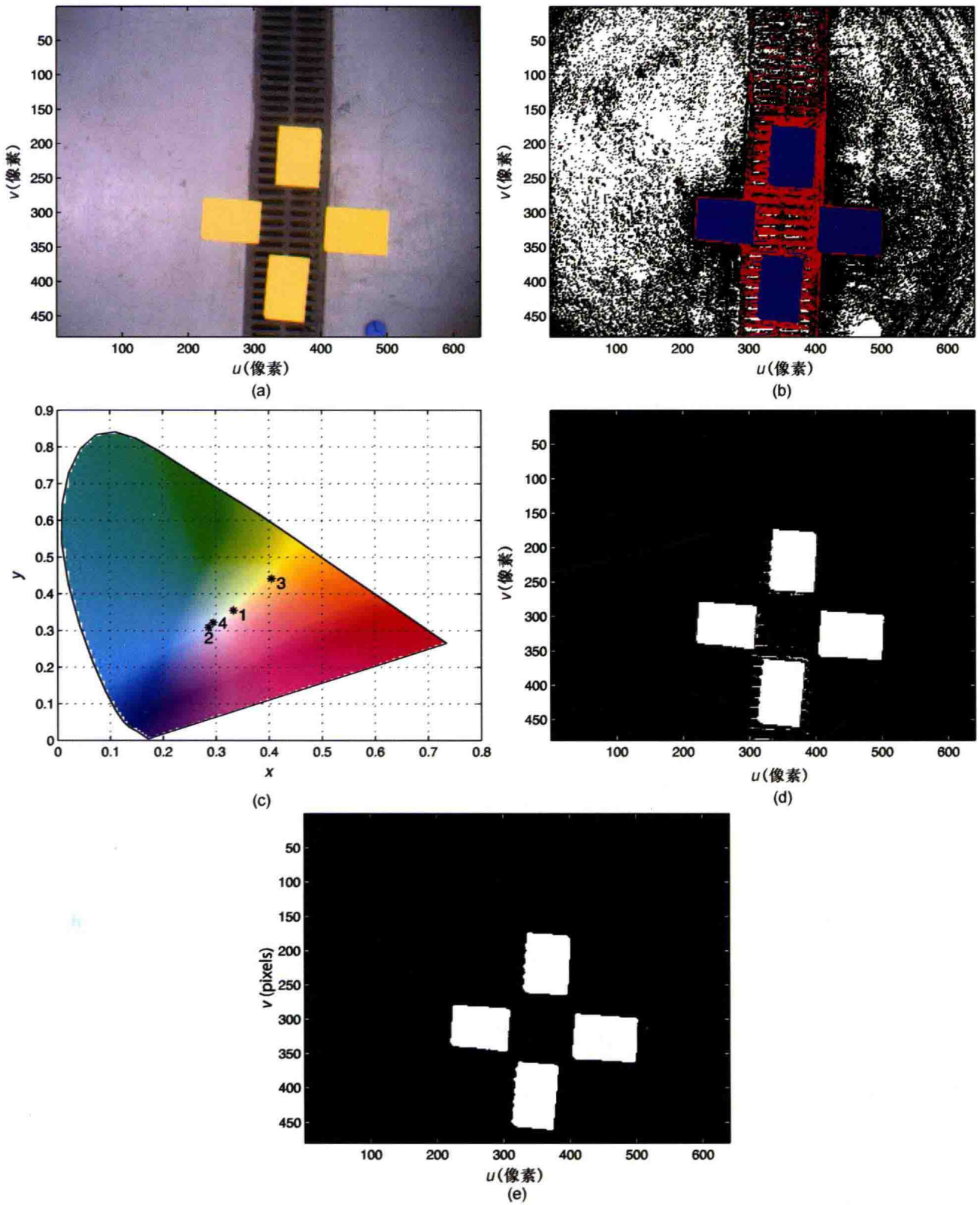


图 13.6 目标图像示例。(a)原始图像；(b)用伪色彩显示的像素分类 ( $C=4$ )；(c) $xy$  色度空间的点集中心；(d)类型  $c=3$  的所有像素；(e)用一个圆形结构化元素进行形态学闭操作后的结果

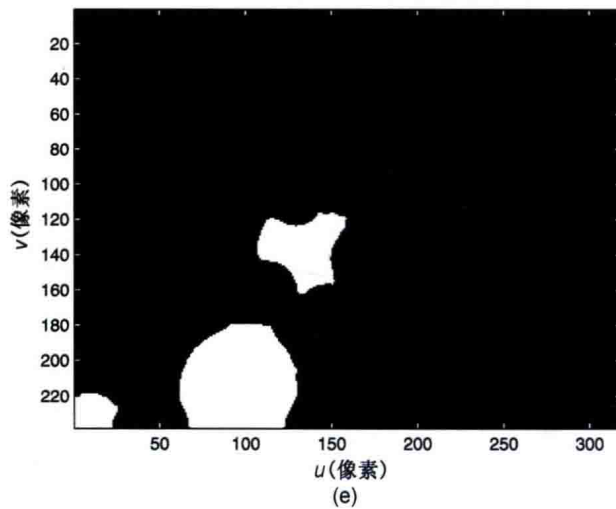
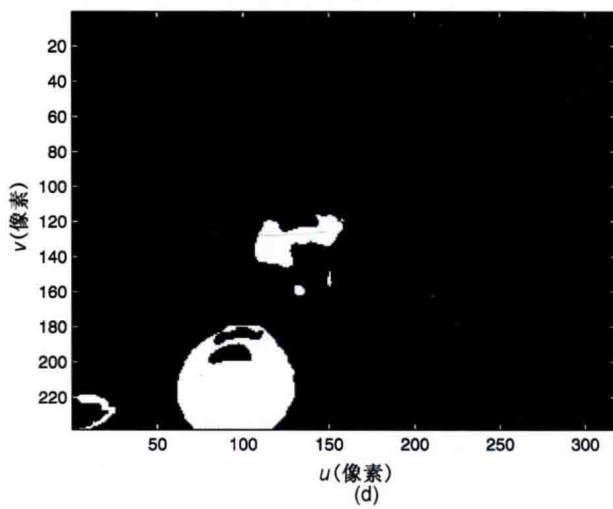
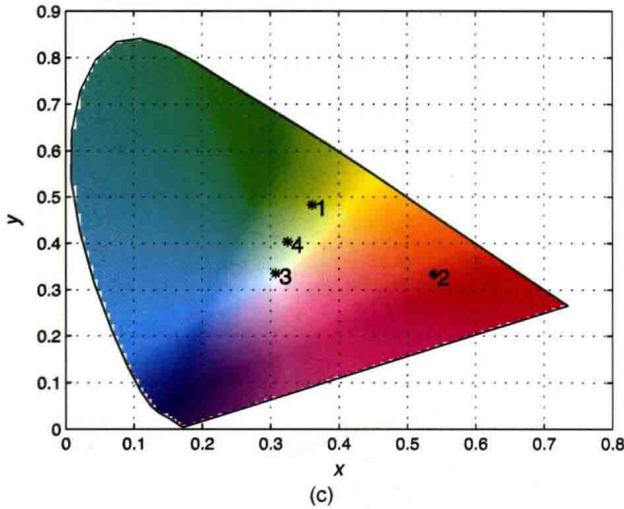
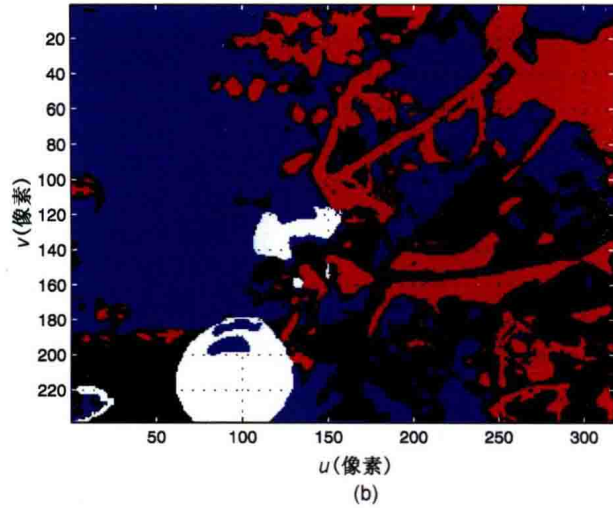
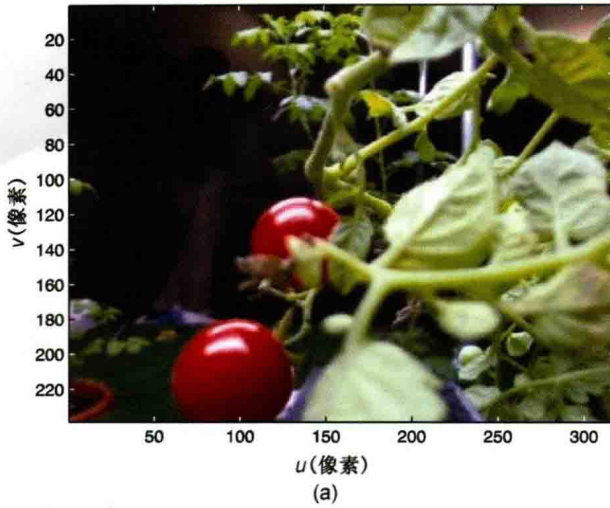


图 13.7 菜园图像示例。(a)原始图像（由 MIT 分布式机器人菜园项目提供）；(b)用伪色彩显示的像素分类 ( $C=4$ )；(c)在  $xy$  色度二维空间中的点集中心；(d)类型  $c=2$  的所有像素；(e)用半径为 15 的圆形结构化元素进行形态学闭操作后的结果

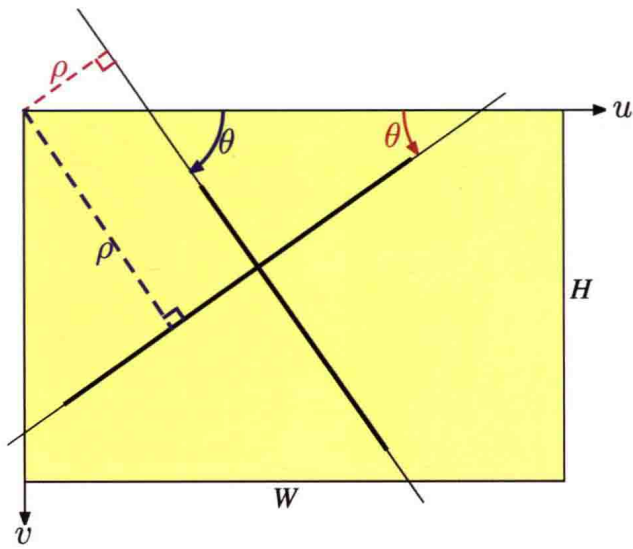


图 13.17 两条线段的 $(\theta, \rho)$ 参数化。正值显示为蓝色，负值显示为红色

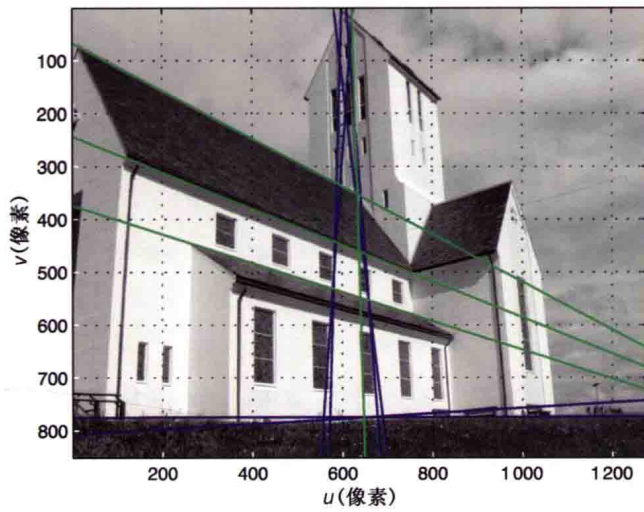


图 13.19 真实图像的霍夫变换。蓝色线对应于 10 条最强的选票峰值。  
叠加的绿色线是边缘段长度至少为 100 像素的那些直线

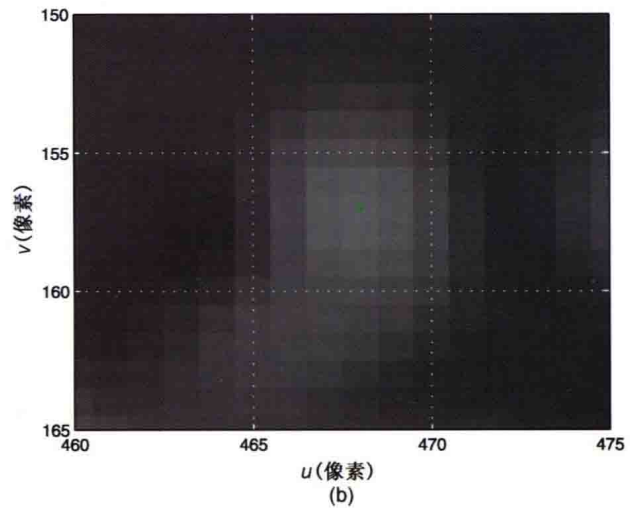
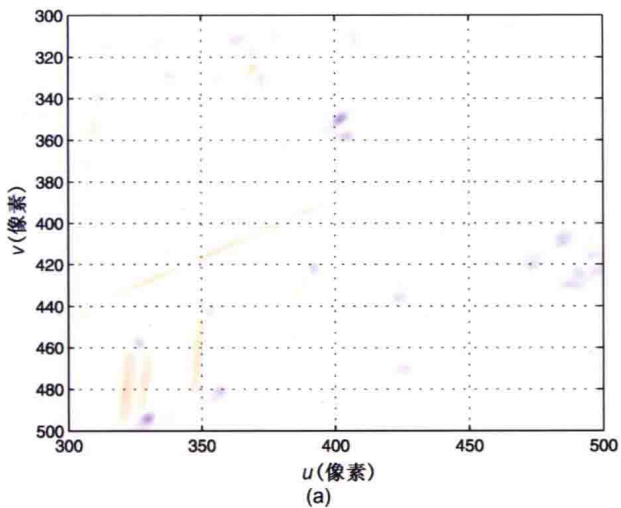


图 13.21 Harris 角点强度。(a)显示为一幅图像的角点强度放大视图（蓝色为正，红色为负）；(b)显示检出特征点的角点强度放大视图（亮度与强度成比例）

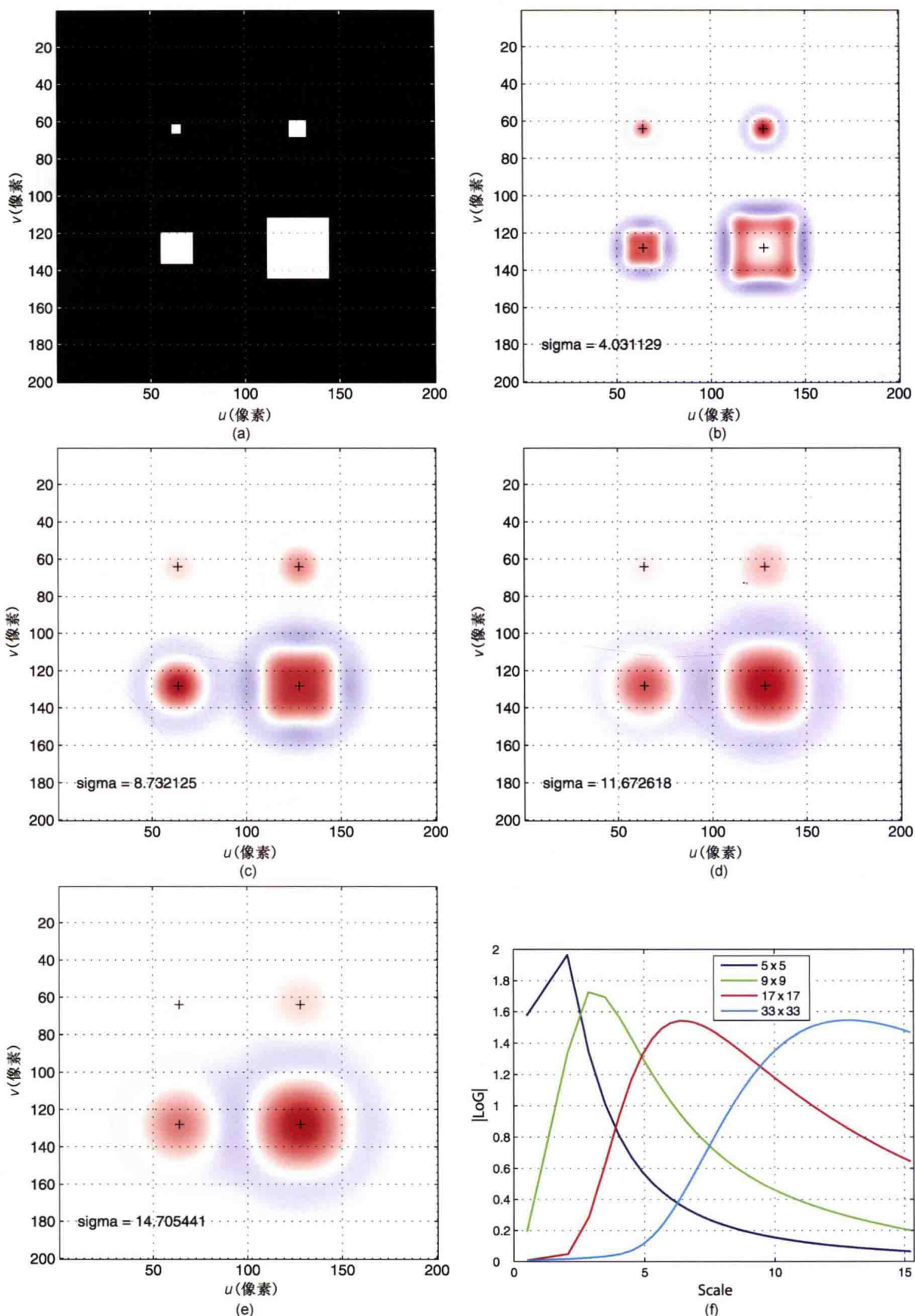


图 13.23 空间尺度示例。(a)具有方块大小分别为  $5 \times 5$ 、 $9 \times 9$ 、 $17 \times 17$  和  $33 \times 33$  的合成图像  $I$ ；(b)~(e)对于渐增的尺度值，归一化的高斯拉普拉斯操作  $\sigma^2 L \otimes G(\sigma) \otimes I$ ， $\sigma$  值显示在左下角。使用了伪色彩显示：红色代表负，蓝色代表正；(f)每个正方形中心处（由“+”指示）随  $\sigma$  变化的高斯-拉普拉斯操作的幅值

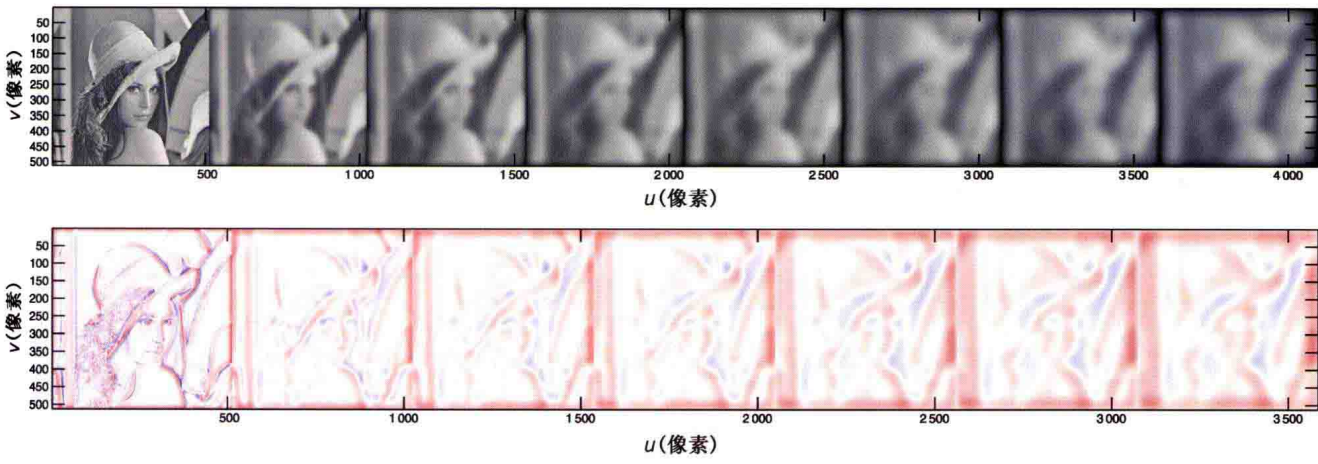


图 13.25  $\sigma=2$  的尺度空间序列：（上图）高斯序列；（下图）高斯-拉普拉斯序列

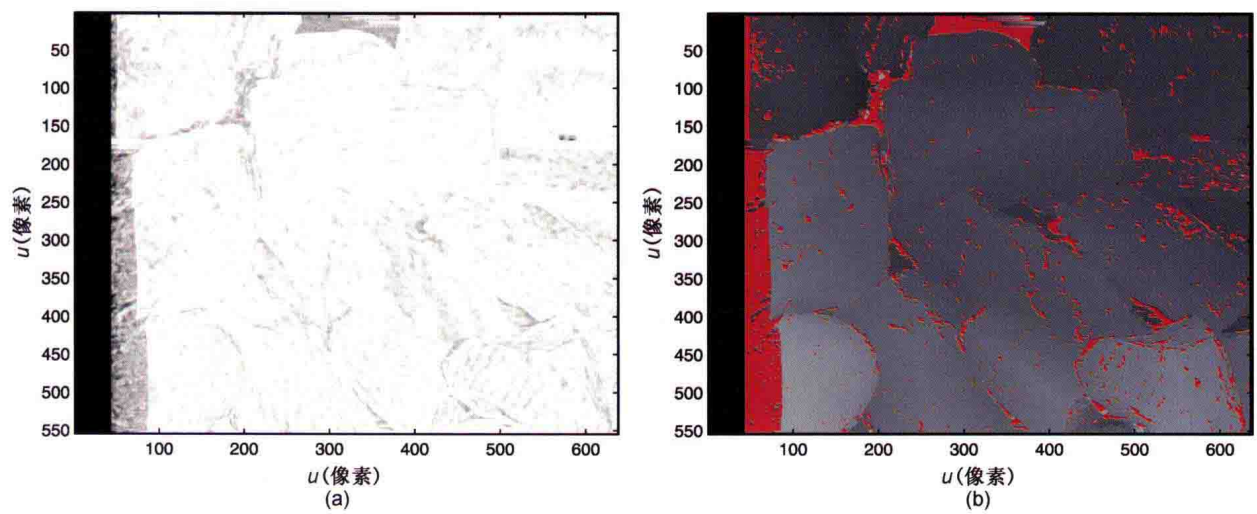


图 14.27 立体模板相似性。(a)相似性图像，其中越明亮的地方表示相似度越高；(b)差异图像，具有较低相似度得分的像素被标记为红色

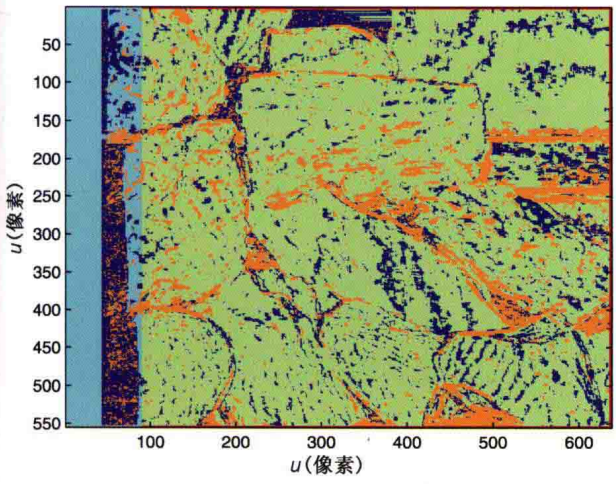


图 14.31 每个像素基础上的立体匹配状态。好的立体匹配（绿色）；差异搜索范围超过右侧图像左边缘（蓝绿色）；最大相似度较低（蓝色）；非尖锐峰值（橙色）；搜索模板超出图像边缘（红色）

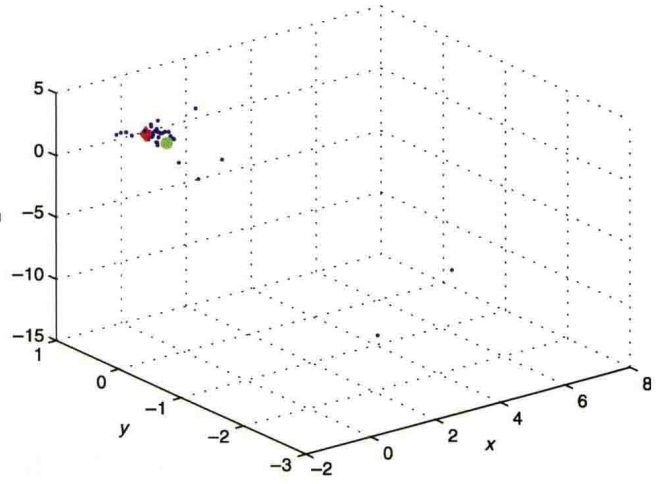


图 14.43 估计位置的扩散，像素噪声是 $\sigma=0.5$ 。蓝点是成对估计的点位置，红色菱形标志是空间点（在相机坐标系中）的真实位置，绿色圆圈是估计位置的中值

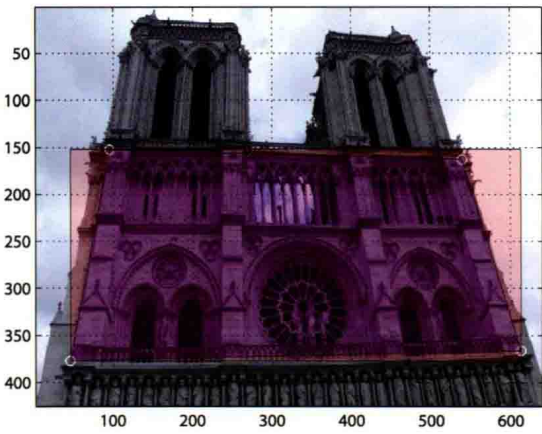


图 14.44 从地面上拍摄的照片显示了透视缩减的影响，它使建筑物呈现为梯形状（也称为梯形失真）。手动挑选了建筑物近似前平面上的4个点，用白色○标记点指示（巴黎圣母院）

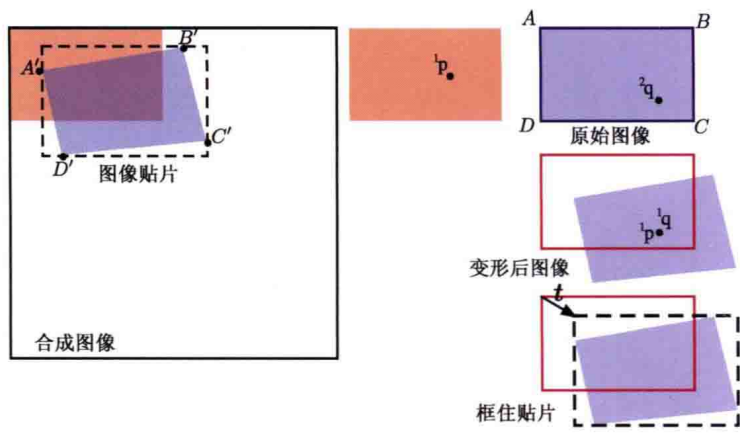


图 14.47 图像序列中的第一幅显示为红色，第二幅显示为蓝色。第二幅图像被变形为图像贴片，然后被拼接进合成图像

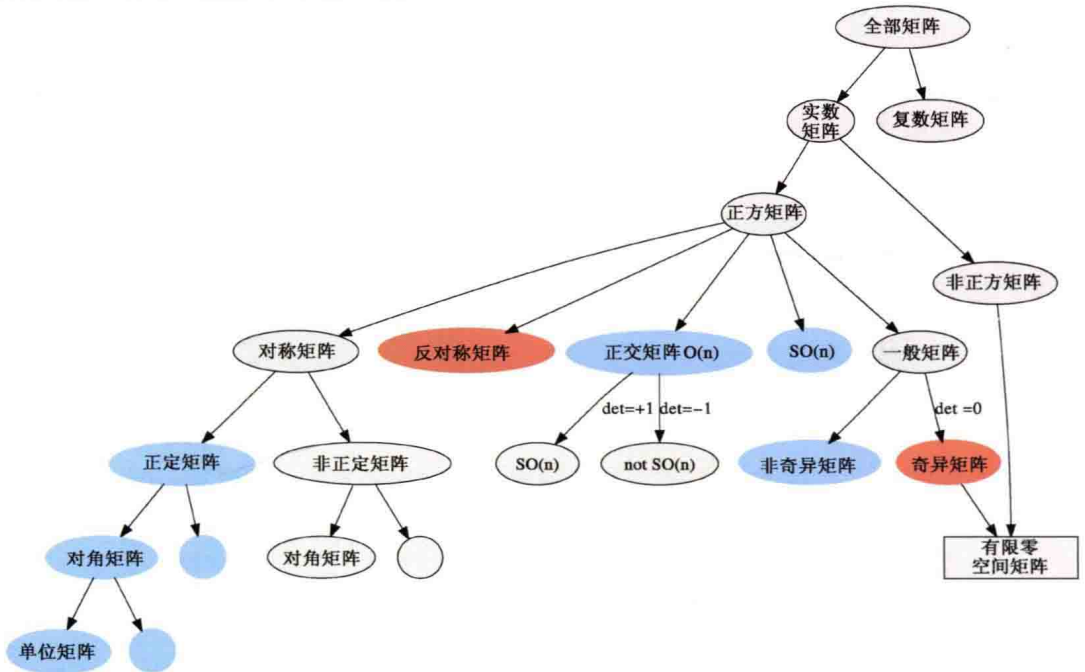


图 D.1 矩阵分类。总是奇异的矩阵用红色表示，总是非奇异的矩阵用蓝色表示

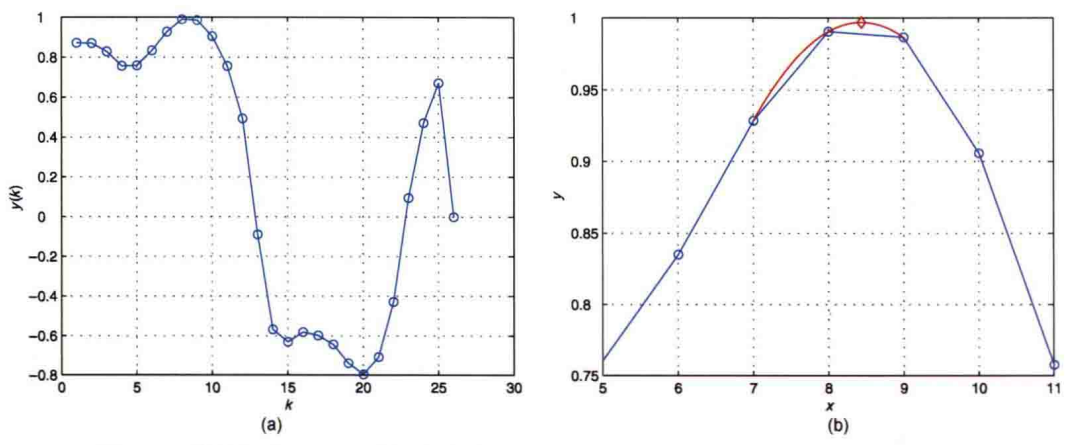


图 K.1 峰值拟合。(a)一个拥有多个局部最大值的离散信号；(b)在第一个最大值附近的局部放大图，含拟合曲线（红色）以及估计的峰值（红色的）

# 译者序

从世界上第一台工业机器人诞生至今,机器人技术已经有了长足的发展。智能机器人是现今机器人领域研究的热点,其特点之一是能够融合多种传感器的信息做出分析、判断和决策,以适应复杂的环境和任务。随着硬件成本的降低和计算机性能的提升,视觉传感器已逐渐成为机器人常用的感知器件。与其他种类传感器相比,视觉传感器能提供更加丰富和全面的信息,因而必将成为智能机器人的主要传感器。

目前,国内外有关机器人技术和机器视觉技术的专著很多,但大多是两种技术单独论述。即使有的机器人专著中包含了视觉技术,也是作为机器人传感器的一种简要介绍。本书是将机器人学与机器视觉知识有机结合的产物。虽然书中阐述了机器人学和机器视觉各自的基础知识,但更注重如何利用视觉信息控制机器人的运动,将两者融合运用。本书侧重知识的实用性,图片说明及应用实例贯穿全书,很少有理论方程的长篇大论。即使在讲述理论知识的同时,也穿插了很多实例,可以让读者对学到的知识点及时进行验证,使读者不断获得掌握知识的满足感,增加学习兴趣。另外,本书给出的实例算法和程序都是基于目前国内大专院校和研究所广泛使用的数学仿真软件包 MATLAB。该软件包功能强大,而且有很多开源的工具箱,其中本书主要使用的“机器人学工具箱”和“机器视觉工具箱”就是作者自己编写的。读者可以利用 MATLAB 中现成的函数、模块及工具箱完成机器人的运动和控制仿真,从而省去大量编程时间,便于快速验证和掌握所学的知识,也为下一步用其他语言编程打下了基础。

全书共分为 5 部分。第一部分是机器人学基础(第 2 章和第 3 章),介绍了机器人及其操作对象的位置和姿态表达,以及机器人路径和运动的表示方法;第二部分和第三部分介绍了两类典型的机器人,其中第二部分(第 4 章至第 6 章)是关于移动机器人的,介绍了其基本运动控制模式及其导航和定位方法;第三部分(第 7 章至第 9 章)针对关节式机械臂,介绍了其运动学、动力学和控制方面的知识;第四部分(第 10 章至第 14 章)涉及了机器视觉技术的基础知识,包括光照与色彩、图像形成、图像处理、图像特征提取,以及立体视觉技术;第五部分(第 15 章和第 16 章)介绍了基于视觉的机器人控制方法,包括基于位置的视觉伺服和基于图像的视觉伺服,以及更先进的混合视觉伺服方法。

本书可以作为学习机器人技术和视觉控制的高年级本科生和研究生的教辅书籍。现有的专业教材一般理论性较强,知识比较抽象,难以理解。同时,要在实际机器人上开展大量实验成本既高,也耗时。本书中大量的仿真实验实例会帮助学生更容易和及时地验证并掌握相关知识。该书也可以作为从事机器人技术研究和开发人员的技术参考书,可以帮助他们在机器人投入实际制作前对机器人的运动和控制进行仿真,验证其设计的合理性和有效性。

参加本书翻译工作的有刘荣(翻译第 1 章、第 6 章、第 15 章和第 16 章及附录)、薛彤(翻译第 2 章和第 3 章)、陈锐(翻译第 4 章和第 5 章)、徐江平(翻译第 7 章至第 9 章)、李扬(翻译第 10 章至第 12 章)和翟士民(翻译第 13 章和第 14 章)。全书由刘荣负责统稿和审校。鉴于译者水平有限,难免有错误和不妥之处,敬请广大读者批评指正。



## 序 言

很久以前,我收到一本很厚的博士论文让我评审。论文的主题是关于机器人视觉控制的,作者是彼得·科克(Peter Corke)。以下是我对该论文评语的一段摘录:这是一篇杰作,无论在论文构思还是实际内容上都是出类拔萃的,其质量之高堪称博士生论文的表率。

二十多年来,彼得·科克一直致力于机器人与视觉二者的集成技术研究和探索,并且取得了许多突出的成果。现在,他的这些成果终于在本书中与大家见面了。在这本新书中,不仅有前沿理论,还有应用实例,它包含了作者多年来在井下机器人、无人飞行器、水下机器人、野外作业机器人等领域探索中所取得的富有特色的基础和应用研究成果。

虽然现在已有很多关于机器人以及视觉的专著,但很少有像这本书一样在两种技术的集成、剖析以及例证方面做得如此出色的。书中对有关技术的探讨和论述既深入透彻,又通俗易懂。对于机器人领域正在或将要从事这方面研究的人员而言,这是一本绝对有价值的参考书。本书涉及的技术比较全面,对于要实现机器人视觉任务的几乎每个方面都有涵盖与分析,这一点读者可以从书中对 MATLAB 工具箱(Toolbox)软件的有效使用中体会到。

本书内容按读者接受相关知识的先后逻辑进行安排,从移动机器人基础到机器人导航、定位,以及机械臂的运动学、动力学和关节控制,再到摄像机建模、图像处理、特征提取以及多图像几何学。最后,将以上技术知识通过集成到视觉伺服系统中进行更广泛的探讨。在上述过程中,作者展示了如何利用强有力的数字工具和有效软件对复杂问题进行分解并最后解决的方法。

*Springer Tracts in Advanced Robotics*(STAR,施普林格先进机器人技术集)系列丛书致力于将机器人学领域的最新研究进展引入学术界,内容选择是基于它们的重要性和研究质量。出版该系列丛书的目的是要通过机器人学一些关键技术开发进展的广泛而及时的传播,推动学术界研究人员之间的交流与合作,并为该技术的进一步发展做出贡献。

彼得·科克的这本专著以其跨学科性、缜密的构思和精彩的内容为 STAR 系列丛书增色良多。

欧萨马·卡蒂布(Oussama Khatib)

加州,斯坦福

2011年7月