

计算机系列教材

数字图像 处理与分析

赵忠明 赵歆波 编著

清华大学出版社



013040736

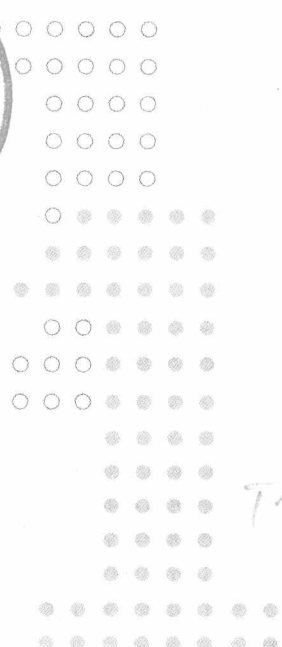
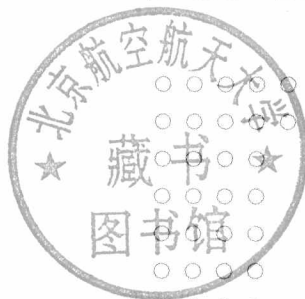
TN911.73

84

计算机系列教材

赵荣椿 赵忠明 赵歆波 编著

数字图像 处理与分析



TN911.73
84



北航

C1648417

清华大学出版社

北京

内 容 简 介

本书系统地介绍了数字图像处理与分析的基本理论和方法。全书共分13章。前3章是基础知识,介绍数字图像处理的研究对象、系统组成、人类视觉模型、光度学与色度学的知识、图像的数学描述和图像变换知识;第4章为预备知识,包括图像的输入输出设备和矢量、矩阵、图像随机场模型、分形学、形态学以及模糊数学等数学基础知识;第5章至第8章是图像处理的基本内容,包括图像增强、恢复、压缩编码和由投影重建图像等;最后5章是图像分析的内容,包括特征提取、分割、描述以及近年来广泛应用的图像序列分析及图像超分辨率重建等内容。

本书是为高等院校计算机、自动控制、信号与信息处理、雷达、通信与电子工程等专业高年级学生及研究生编写的教材,但对其他专业的学生以及从事和图像处理有关的工程技术人员来说,也是一本有用的参考书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

数字图像处理与分析 / 赵荣椿, 赵忠明, 赵歆波编著. —北京: 清华大学出版社, 2013.4
计算机系列教材

ISBN 978-7-302-30806-5

I. ①数… II. ①赵… ②赵… ③赵… III. ①数字图像处理 IV. ①TN911.73

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第287035号

责任编辑: 焦虹 徐跃进

封面设计: 常雪影

责任校对: 焦丽丽

责任印制: 王静怡

出版发行: 清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址: 北京清华大学学研大厦A座 邮 编: 100084

社 总 机: 010-62770175 邮 购: 010-62786544

投稿与读者服务: 010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈: 010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 刷 者: 三河市君旺印装厂

装 订 者: 三河市新茂装订有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 185mm×260mm

印 张: 33.25

字 数: 810千字

版 次: 2013年4月第1版

印 次: 2013年4月第1次印刷

印 数: 1~3000

定 价: 49.00元

早在 20 世纪初,人类为了用图片及时地传输世界各地发生的新闻事件,便开始了对图像处理技术的研究。然而,图像处理技术的真正发展还是在 20 世纪 60 年代以后。一方面是由于受到航天技术发展的刺激;另一方面,也是因为作为图像处理重要工具的数字计算机和各种不同类型的数字化仪器及显示器,有了突飞猛进的发展,并且价格也越来越便宜。到今天,数字图像处理作为一门新的学科,日益为人们所重视,并业已在科学研究、工农业生产、军事技术、医疗卫生、政府部门等许多领域中,发挥着越来越重要的作用。例如,在宇宙探索方面,它被用于有效地传输和处理从宇宙空间拍摄来的各种天体,其中包括地球本身的照片。处理结果除用于各种天文物理研究外,对地球照片的处理,还被用于资源勘探、气象预报、大气污染研究、灾害(水灾、火灾、风灾、虫灾等)测报、地势分类、地图测绘和作物生长情况分析以及估产,等等。生物医学工程是图像处理应用的一个十分活跃的领域,处理各种射线照片、超声影像、断层摄影图像、显微图片、内窥镜像、温谱图、正电子发射以及核子扫描图像等,可以帮助医生对疾病进行快速正确的分析与诊断。在军事上,卫星或航空照片的处理,可以及时而准确地提供靠人力难以获得的侦察情报,并对打击效果进行实时的评估。影像识别与跟踪技术、数字地图技术既可以用于对军事目标的精密制导与瞄准,也可以用于对无人驾驶飞行器进行精确导航。在工业上的应用更是俯拾皆是,其中最重要的是在各种机器人(智能的、工业的等)视觉研制中的应用,此外,在生产过程自动化、产品质量检测、机器零件的无损探伤、人工地震信号处理及地层内部结构的重建等方面都有重要的应用。即使对于计算机科学本身的发展,图像处理技术也是必不可少的,其中尤其是各种图形、图像、文字信息的输入、压缩、处理与显示技术,业已成为多媒体计算机与智能计算机发展的关键技术之一。在其他许多领域,如通信工程、交通运输、仿真技术、冶金、化工、生物学、地理学、材料科学、高能物理、考古研究、公安司法等部门,图像处理与分析技术也都有重要的应用。

本书是为高等院校计算机、自动控制、雷达、通信与电子工程、信号与信息处理等专业高年级学生及研究生编写的。其目的是向学生介绍有关数字图像处理与分析的基本概念和方法,从而为在这一领域中进行深入学习和研究打下必要的基础。本书兼顾了本科生和研究生两者的需要,因此建议前十章作为本科高年级学生的教材,后三章则推荐研究生学习。其中第 4 章可以不讲授,7.8 节和 7.9 节可作为选择讲授的内容。同样,本书的内容对于从事和图像处理与分析有关的工程技术人员来说,也是有益的。

在编写本书时,认为读者已具备了信号与系统、线性代数、概率论与随机过程、数字信号处理、电子计算机原理、算法语言等知识。同时,由于“模式识别”将作为另一门课程单独讲授,因此,在用到上述知识时,本书只作扼要介绍,这样既避免了不必要的重复,也照顾了

本书的完整性。

本书在作者 1984 年编写的《数字图像处理基础》以及 1995 年编写的《数字图像处理导论》基础上,经增删、改编而成。由于本书是作为大学本科高年级学生和研究生的教材而编写的,因此,力求简明扼要,同时又要包括数字图像处理与分析的最主要内容。自上述两书出版以来,图像处理技术及其应用都得到了突飞猛进的发展,因此,对于书中的许多内容进行了调整,特别增加了许多自那时以来的最新研究成果。其中最重要的补充包括:增加了预备知识一章(第 4 章),其目的不仅仅是为了便于本书后续内容的讲解,同时也是为了给读者在以后的学习与研究中提供支持;在第 3 章,重点增加了小波变换的内容;在第 7 章,重点增加了小波变换图像压缩以及 JPEG 和 MPEG 编码标准的内容;在第 9 章,增加了包括 Contourlet 变换、Gabor 滤波器等方向信息提取的内容,并扼要地介绍了纹理和彩色图像分割方法;此外,本书的最大变化是增加了当今发展迅速、应用广泛的图像序列分析和图像超分辨率重建等三章新内容。当然,除此以外在其他各章,也都不同程度地补充了一些新的算法。做出上述改写目的,一方面是使本书能够继续保持简明扼要的特点,以便于学生在尽量短的时间内,能够掌握图像处理的基本知识;另一方面也试图使本书的内容能够反映出图像处理学科当今的发展水平,以便于学生了解图像处理学科的最新研究动向,从而跟上该学科发展的步伐。

在本书的编写过程中,得到了许多同事和朋友的帮助与支持。邹晓春博士校阅了本书的大部分内容,并给出了许多积极的建议。夏勇博士、蒋晓悦博士、贾静平博士、张昀博士等为本书提供了重要的研究成果与插图。我们的同事张艳宁教授、王庆教授、郑江滨教授自始至终都给予了大力的支持与帮助,并对本书的许多内容都提出了很好的改进意见。还要感谢中国科学院遥感应用研究所的汪承义、杨健和孟瑜三位副研究员及贺东旭博士,他们不仅对本书的编写提出了许多宝贵意见,而且还为本书的各章提供了大部分思考与练习题。这里谨对所有对于本书的出版给予了大力支持与帮助的同事与朋友,表示衷心的感谢!

编 者
于西北工业大学

F O R E W O R D

第 1 章 导论	/1
1.1 数字图像处理与分析的研究对象	/1
1.2 数字图像处理系统的组成	/3
1.3 数字图像处理与分析的若干重要应用	/4
1.4 本书的结构与安排	/5
1.5 本章小结	/5
思考与练习题	/6
参考文献	/6
第 2 章 人类视觉与色度学的基本知识	/7
2.1 人眼的构造	/7
2.2 光度学的基本知识	/8
2.2.1 电磁辐射和可见光谱	/9
2.2.2 相对视敏函数	/9
2.2.3 光通量	/10
2.2.4 发光强度	/10
2.2.5 亮度	/11
2.2.6 照度	/11
2.3 人眼的视觉特性	/12
2.3.1 明暗和彩色视觉	/12
2.3.2 视觉范围和分辨力	/13
2.3.3 视觉适应性	/14
2.3.4 亮度感觉	/15
2.3.5 视觉惰性	/16
2.3.6 马赫带效应	/17
2.3.7 视觉模型	/18
2.4 三基色原理	/20
2.4.1 相加混色和相减混色	/20
2.4.2 配色实验	/22
2.5 彩色模型与色度图	/23
2.5.1 RGB 彩色模型	/23
2.5.2 RGB 色度图	/24
2.5.3 XYZ 彩色模型	/27

- 2.5.4 XYZ 色度图 /29
- 2.5.5 CMY 及 CMYK 彩色模型 /33
- 2.5.6 HIS 模型 /33
- 2.5.7 YUV 与 YIQ 彩色模型 /35
- 2.5.8 $YCrCb$ 彩色模型 /36
- 2.6 彩色视觉模型 /36
- 2.7 本章小结 /39
- 思考与练习题 /39
- 参考文献 /39

第3章 图像描述与图像变换 /41

- 3.1 连续图像的数学描述 /41
- 3.2 图像的数字化和离散图像的数学描述 /43
 - 3.2.1 均匀采样整量的数字化图像 /43
 - 3.2.2 非均匀采样和整量数字化图像 /44
- 3.3 图像变换的预备知识 /50
 - 3.3.1 正交变换的基本知识 /50
 - 3.3.2 点源和狄拉克 δ 函数 /53
 - 3.3.3 二维线性移不变系统 /54
- 3.4 二维连续傅里叶变换 /56
 - 3.4.1 空间频率响应 /56
 - 3.4.2 二维连续傅里叶变换 /57
- 3.5 二维采样定理 /59
- 3.6 二维离散傅里叶变换 /62
 - 3.6.1 二维离散傅里叶变换定义 /62
 - 3.6.2 二维 DFT 的性质 /64
 - 3.6.3 用 FFT 计算二维 DFT /70
- 3.7 图像变换的一般表达式 /73
 - 3.7.1 标量表达式 /73
 - 3.7.2 矩阵表达式 /74
 - 3.7.3 矢量表达式 /74

3.7.4	矢量外积表达式	/76
3.8	哈达玛变换	/77
3.8.1	哈达玛矩阵	/77
3.8.2	哈达玛变换及其快速算法	/78
3.8.3	二维哈达玛变换	/82
3.9	卡胡南-劳埃夫变换	/84
3.10	离散余弦变换	/88
3.10.1	偶余弦变换	/88
3.10.2	奇余弦变换	/89
3.11	小波变换及图像多分辨率分析	/91
3.11.1	短时傅里叶变换	/91
3.11.2	连续小波变换	/92
3.11.3	小波基函数的性质与选择	/94
3.11.4	一些常用的小波基函数	/95
3.11.5	离散小波变换	/96
3.11.6	二维小波变换	/97
3.11.7	多分辨率分析及 Mallat 算法	/97
3.11.8	双正交小波	/103
3.11.9	提升小波	/105
3.11.10	常用小波滤波器	/107
3.12	本章小结	/109
	思考与练习题	/109
	参考文献	/109

第4章 预备知识 /111

4.1	图像输入输出设备	/111
4.1.1	几种常用的光电转换元件	/111
4.1.2	图像的输入设备	/124
4.1.3	图像的输出设备	/127
4.2	矢量、矩阵的基本知识	/131
4.3	数学形态学的基本知识	/136
4.3.1	膨胀和腐蚀	/136

- 4.3.2 开操作和闭操作 /137
- 4.4 分形学的基本知识 /137
 - 4.4.1 分形的基本概念 /137
 - 4.4.2 度量空间基本知识 /138
 - 4.4.3 分形维数 /140
 - 4.4.4 迭代函数系统 /144
- 4.5 马尔可夫随机场基本知识 /146
 - 4.5.1 邻域系统 /146
 - 4.5.2 簇 /147
 - 4.5.3 马尔可夫随机场 /147
 - 4.5.4 吉布斯随机场 /148
 - 4.5.5 等价定理 /149
- 4.6 模糊数学的基本知识 /149
 - 4.6.1 引言 /149
 - 4.6.2 经典集合和模糊集合 /150
 - 4.6.3 模糊聚类分析概述 /151
- 4.7 本章小结 /155
- 思考与练习题 /155
- 参考文献 /155

第5章 图像增强 /158

- 5.1 点运算 /158
 - 5.1.1 灰度比例尺变换和窗切片 /158
 - 5.1.2 噪声限幅和门限化 /160
 - 5.1.3 灰度级修正 /161
 - 5.1.4 动态范围调整 /161
 - 5.1.5 图像减影和变化部分的检测 /161
 - 5.1.6 直方图模型化 /162
- 5.2 空间运算 /166
 - 5.2.1 噪声平滑 /166
 - 5.2.2 图像锐化 /168
 - 5.2.3 中值滤波 /173
 - 5.2.4 放大细化 /174

- 5.2.5 多光谱图像的增强 /176
- 5.2.6 反对比度映射和统计比例尺变换 /177
- 5.3 变换域运算 /178
 - 5.3.1 通带滤波 /178
 - 5.3.2 根滤波及逆高斯滤波 /180
 - 5.3.3 同态滤波图像增强 /180
- 5.4 彩色增强 /182
 - 5.4.1 假彩色增强 /183
 - 5.4.2 伪彩色增强的若干方法 /183
- 5.5 本章小结 /187
- 思考与练习题 /187
- 参考文献 /187

第 6 章 数字图像恢复 /188

- 6.1 退化模型 /188
 - 6.1.1 退化现象的物理模型 /188
 - 6.1.2 连续退化模型 /189
 - 6.1.3 离散退化模型 /190
- 6.2 代数恢复方法 /192
 - 6.2.1 无约束最小二乘方恢复 /192
 - 6.2.2 有约束的最小二乘方恢复 /192
 - 6.2.3 能量约束最小二乘方恢复 /193
 - 6.2.4 平滑约束最小二乘方恢复 /194
 - 6.2.5 均方误差最小滤波(维纳滤波) /195
 - 6.2.6 最大熵约束恢复 /196
 - 6.2.7 矢量卡尔曼滤波器 /197
 - 6.2.8 二维卡尔曼滤波 /198
- 6.3 频域恢复方法 /199
 - 6.3.1 反滤波法 /199
 - 6.3.2 能量约束最小二乘滤波 /199
 - 6.3.3 平滑约束最小二乘方滤波 /199
 - 6.3.4 频率域维纳滤波 /200
 - 6.3.5 谱减法图像恢复 /200

6.3.6	功率谱均衡滤波	/201
6.3.7	几何平均滤波	/202
6.4	运动模糊的恢复	/202
6.5	人机会话式恢复	/204
6.6	几何畸变的消除	/207
6.7	盲目解卷积图像恢复	/209
6.8	点扩展函数的确定	/209
6.8.1	点扩展函数的验前确定	/209
6.8.2	点扩展函数的验后确定	/211
6.9	本章小结	/214
	思考与练习题	/215
	参考文献	/215

第7章 图像数据压缩 /216

7.1	图像数据压缩概述	/216
7.1.1	相关性和多余度	/216
7.1.2	关于编码的若干基本知识	/217
7.1.3	保真度准则	/219
7.1.4	压缩方法的分类	/220
7.2	无损压缩编码	/221
7.2.1	信息熵与无损编码	/221
7.2.2	最佳二进制编码(匹配编码)	/225
7.2.3	香能-费诺码	/227
7.2.4	哈夫曼编码方法	/228
7.2.5	算数编码	/229
7.2.6	LZW 编码	/233
7.2.7	行程编码	/236
7.2.8	位平面编码	/237
7.2.9	其他若干编码方法	/238
7.3	空间域编码	/240
7.3.1	率失真函数与有损编码	/240
7.3.2	PCM 编码	/242
7.3.3	DPCM 编码(线性预测编码)	/242

- 7.3.4 Delta 调制(DM)和自适应 Delta 调制(ADM) /246
- 7.3.5 帧间编码 /247
- 7.3.6 自适应帧间预测编码 /248
- 7.3.7 等值线编码 /248
- 7.4 变换域编码 /249
 - 7.4.1 基于卡胡南-劳埃夫变换的频域图像压缩 /249
 - 7.4.2 其他图像变换编码 /252
 - 7.4.3 子带编码 /253
 - 7.4.4 自适应变换域编码 /255
- 7.5 基于小波变换的编码 /256
 - 7.5.1 小波系数的能量分布 /256
 - 7.5.2 小波系数的相关特性 /258
 - 7.5.3 传统的小波编码方法 /258
 - 7.5.4 嵌入式小波零树编码 /259
 - 7.5.5 基于 SPIHT 算法的小波编码 /265
- 7.6 矢量量化编码 /267
 - 7.6.1 一般矢量量化编码 /267
 - 7.6.2 自适应矢量量化 /269
- 7.7 其他编码方法 /270
 - 7.7.1 模型法 /270
 - 7.7.2 神经网络方法 /270
 - 7.7.3 分形编码 /271
 - 7.7.4 混合编码 /272
- 7.8 JPEG 图像编码标准 /272
 - 7.8.1 彩色模式转换及采样 /273
 - 7.8.2 离散余弦变换 /273
 - 7.8.3 量化 /274
 - 7.8.4 Z 形扫描和系数编码 /274
 - 7.8.5 熵编码 /275
 - 7.8.6 JPEG 图像解码 /275
 - 7.8.7 JPEG 2000 简介 /275

7.9	MPEG 编码标准	/276
7.9.1	MPEG1 编码标准的原理	/277
7.9.2	其他视频编码标准	/281
7.10	本章小结	/284
	思考与练习题	/285
	参考文献	/285
第8章	由投影重建图像	/288
8.1	断层图像投影数据的获取	/288
8.2	重建图像的解——联立方程组方法	/290
8.3	反投影法	/291
8.4	用傅里叶变换进行图像重建	/293
8.4.1	基本原理	/293
8.4.2	数字实现	/295
8.5	利用卷积进行图像重建	/297
8.5.1	基本原理	/297
8.5.2	卷积重建中重建滤波器的设计	/298
8.6	图像重建的逐步逼近法	/299
8.7	最优化重建	/301
8.8	扇形投影数据的重建	/303
8.8.1	等角度间隔扇形投影数据图像重建	/303
8.8.2	收集器等间隔排列的投影重建	/307
8.8.3	扇形投影数据和平行投影数据间的转换关系	/310
8.9	本章小结	/312
	思考与练习题	/312
	参考文献	/312
第9章	特征提取与图像分割	/313
9.1	引言	/313
9.2	图像特征抽取	/314
9.2.1	幅度特征	/314
9.2.2	统计特征	/315

9.2.3	变换系数特征	/316
9.2.4	边界特征	/317
9.2.5	彩色边界特征	/318
9.2.6	点和线的特征	/318
9.2.7	拓扑特征	/319
9.2.8	方向特征	/320
9.2.9	纹理特征	/341
9.3	基于点相关的分割	/344
9.3.1	灰度级的门限化法	/344
9.3.2	门限的选择	/346
9.3.3	基于边缘检测的分割	/351
9.3.4	基于跟踪的分割	/358
9.4	基于区域相关的分割	/361
9.4.1	基于模板匹配的分割	/361
9.4.2	基于线性匹配滤波的分割	/362
9.4.3	基于区域跟踪和增长的分割	/364
9.4.4	基于分水岭算法的图像分割	/365
9.5	纹理图像分割	/367
9.5.1	纹理分割的数学描述	/367
9.5.2	纹理分割的基本方法	/368
9.5.3	基于特征的纹理分割方法	/368
9.5.4	基于模型的纹理分割方法	/372
9.6	彩色图像的分割	/375
9.6.1	在 RGB 空间的分割	/376
9.6.2	在 HSI 空间的分割	/376
9.7	本章小结	/377
	思考与练习题	/377
	参考文献	/378

第 10 章 区域描述 /383

10.1	简单几何性质的描述与变换	/383
10.1.1	邻接性和连通性	/383
10.1.2	距离测量	/385

10.1.3	曲线的描述	/385
10.1.4	扩展、收缩和变薄	/386
10.1.5	线到点的变换	/386
10.2	目标大小的描述	/387
10.2.1	面积和积分光学密度	/387
10.2.2	长度和宽度	/387
10.2.3	周长或边界长	/388
10.3	形状描述	/388
10.3.1	矩形度和投影比	/389
10.3.2	圆度	/389
10.3.3	曲线拟合	/390
10.3.4	边界链编码(BCC)和差分链 编码(DCC)	/392
10.3.5	傅里叶描绘子	/392
10.3.6	中轴变换	/396
10.3.7	投影与截痕	/397
10.4	区域综合特征的描述	/399
10.4.1	矩	/399
10.4.2	拓扑描绘子	/400
10.5	相互关系描述	/400
10.5.1	形式语言(数理语言)的基本 概念	/400
10.5.2	短语结构文法	/402
10.5.3	程序文法	/405
10.5.4	图像描绘语言	/407
10.5.5	高维图像文法	/409
10.6	相似性描述	/414
10.6.1	距离测度	/414
10.6.2	相关性测度	/414
10.6.3	结构相似性	/415
10.7	本章小结	/415
	思考与练习题	/416
	参考文献	/416

第 11 章 运动检测、估计与视频分割	/417
11.1 概述	/417
11.2 静止背景下运动对象检测	/418
11.2.1 帧差法	/419
11.2.2 背景减除法	/421
11.2.3 高斯背景建模法	/422
11.3 序列图像的运动估计	/424
11.3.1 光流法	/424
11.3.2 块匹配运动估计	/428
11.3.3 相位相关法	/438
11.3.4 像素递归法	/439
11.3.5 贝叶斯运动估计法	/442
11.4 图像序列分割	/443
11.4.1 图像序列分割的含义	/444
11.4.2 图像序列分割的意义	/444
11.4.3 预备知识	/444
11.4.4 基于时域的视频图像分割算法	/450
11.4.5 基于时空域的视频图像分割 算法	/453
11.5 本章小结	/454
思考与练习题	/455
参考文献	/455
第 12 章 运动对象跟踪	/458
12.1 Mean-Shift 算法	/459
12.2 基于区域的跟踪	/461
12.2.1 模板提取、更新与匹配算法	/462
12.2.2 候选区域位置的预测	/465
12.3 基于特征的跟踪	/466
12.3.1 特征提取	/467
12.3.2 特征匹配	/469
12.4 基于模型的跟踪	/471

- 12.5 基于轮廓的跟踪 /471
 - 12.5.1 活动轮廓模型 /472
 - 12.5.2 基于活动轮廓模型的跟踪 /475
 - 12.5.3 基于活动轮廓模型跟踪的实例 /476
 - 12.5.4 基于活动轮廓模型跟踪的优缺点 /476
- 12.6 基于 Mean-Shift 的跟踪算法 /477
 - 12.6.1 目标模型的描述 /477
 - 12.6.2 候选区域模型的描述 /478
 - 12.6.3 相似性函数 /478
 - 12.6.4 目标定位 /478
 - 12.6.5 基于 Mean-Shift 的目标跟踪实例 /480
- 12.7 基于 Kalman 滤波的跟踪算法 /481
 - 12.7.1 Kalman 滤波用于目标位置预测 /481
 - 12.7.2 Kalman 滤波用于基于图像序列的目标跟踪 /484
 - 12.7.3 基于 Kalman 滤波的图像序列目标跟踪实例 /487
 - 12.7.4 扩展 Kalman 滤波(EKF)与 UKF /487
- 12.8 基于粒子滤波的图像序列目标跟踪算法 /489
 - 12.8.1 粒子滤波算法 /490
 - 12.8.2 基于粒子滤波器的图像序列目标跟踪 /493
- 12.9 本章小结 /496
- 思考与练习题 /497
- 参考文献 /497