



研究生教育创新工程教材

Image processing technology for detection

面向检测的图像 处理技术

郭斯羽 © 主编

湖南大学出版社
Hunan University Press

内 容 简 介

本书重点介绍了图像处理和机器视觉的基本概念、基本理论和常用技术。全书共分 11 章。第 1 章介绍了数字图像处理的相关术语和概念、发展历程、应用领域和基本步骤框架等基础知识；第 2 章详细介绍了有关数字图像的获取、表示、基本的像素空间关系和颜色等内容；第 3 章介绍了常用的图像增强方法；第 4 章介绍了与图像复原有关的退化/复原模型、退化函数的估计方法、线性滤波复原、非线性统计复原和图像的几何变换等内容；第 5 章介绍了图像分割方法；第 6 章介绍了二值图像和灰度图像的数学形态学基本操作，以及分水岭分割方法；第 7 章介绍了图像中对象的常用表示方法与特征描述，以及利用主元分析进行特征矢量降维的方法；第 8 章介绍了与对象识别有关的模式识别的基础知识；第 9 章介绍了图像压缩的有关理论与技术；第 10 章介绍了对于利用视觉系统完成实际测量任务而言至关重要的摄像机标定和立体视觉的有关知识；第 11 章给出了若干个工农业领域视觉检测的实例。

本书可作为工科院校电气信息类专业高年级本科生及研究生教材，也可供相关领域的技术人员和研究人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

面向检测的图像处理技术/郭斯羽主编. —长沙: 湖南大学出版社, 2015.3

ISBN 978 - 7 - 5667 - 0895 - 3

I. ①面… II. ①郭… III. ①数字图像处理—研究生—教材
IV. ①TN911.73

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 147696 号

面向检测的图像处理技术

MIANXIANG JIANCE DE TUXIANG CHULI JISHU

主 编: 郭斯羽

责任编辑: 张建平 责任校对: 全 健 责任印制: 陈 燕

印 装: 长沙利君漾印刷厂

开 本: 787×1092 16 开 印张: 14.25 字数: 338 千

版 次: 2015 年 8 月第 1 版 印次: 2015 年 8 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978 - 7 - 5667 - 0895 - 3/TP · 92

定 价: 36.00 元

出 版 人: 雷 鸣

出版发行: 湖南大学出版社

社 址: 湖南·长沙·岳麓山 邮 编: 410082

电 话: 0731 - 88822559(发行部), 88820006(编辑室), 88821006(出版部)

传 真: 0731 - 88649312(发行部), 88822264(总编室)

网 址: <http://www.hnupress.com>

电子邮箱: presszhangjp@hnu.cn

版权所有, 盗版必究

湖南大学版图书凡有印装差错, 请与发行部联系

前 言

图像是一种在众多领域得到越来越广泛应用的信息源,其实用性和重要性得到了广大公众越来越清晰的认识。同时,随着处理的图像由静态图片变为动态视频、由单色图像变为多光谱图像、由低分辨率图像变为高分辨率的图像,数字图像处理技术方面的研究也有力地推动了计算机科学领域中相关算法研究的发展。

虽然有关图像处理和机器视觉的教材和著作为数众多,但随着图像处理技术和机器视觉技术的发展,已有书籍的内容开始略显陈旧。虽然经典的图像处理技术方法目前仍然得到广泛应用,但在近一二十年,出现了许多较新的方法,并且在近年已得到了图像处理和机器视觉领域研究者的广泛认可和接收。因此,编者希望能在本书中尽量收入这一类较新的理论与方法,以使读者能更方便地了解相关知识,并以此为起点进一步开展文献的阅读。

本书的编写突出以下几点:

- (1)在内容的编排上,力图使结构更为合理、简洁与清晰;
- (2)注重相关方法的原理性阐述,配合示意图,使读者能更容易把握这些方法之后的思路;
- (3)力图纳入较新的、已经得到认可和广泛应用的图像处理和机器视觉技术;
- (4)通过工农业领域的实用案例,来说明视觉检测系统的构造思路、图像处理方法的应用,以及在实际应用中降低问题难度、提高检测可靠性的常见思路。

全书共分11章。第1章介绍了数字图像处理的相关术语和概念、发展历程、应用领域和基本步骤框架等基础知识;第2章详细介绍了有关数字图像的获取、表示、基本的像素空间关系和颜色等内容,这些内容对于构建使用的机器视觉检测系统以及对数字图像进行进一步处理而言,具有基础性的意义;第3章介绍了常用的图像增强方法,包括灰度变换、空间滤波和频域滤波以及算术运算增强等内容,这些内容构成了图像处理技术的主要部分;第4章介绍了与图像复原有关的退化/复原模型、退化函数的估计方法、线性滤波复原、非线性统计复原和图像的几何变换等内容;第5章介绍了图像分割方法,包括阈值分割、基于区域的分割、边缘检测、边界跟踪与检测以及基于偏微分方程的分割等,对于全自动视觉检测系统而言,本章所介绍的内容具有核心作用;第6章介绍了二值图像和灰度图像的数学形态学基本操作,以及分水岭分割方法;第7章介绍了图像中对象的常用表示方法与特征描述,以及利用主元分析进行特征矢量降维的方法;第8章介绍了与对象识别有关的模式识别的基础知识;第9章介绍了图像压缩的有关理论与技术,包括图像中数据

冗余的类型、多种常见的无损与有损压缩方法,以及 JPEG 静态图像压缩编码方法等;第 10 章介绍了对于利用视觉系统完成实际测量任务而言至关重要的摄像机标定和立体视觉的有关知识;第 11 章给出了若干个工农业领域视觉检测的实例。

由于编者水平有限,时间也较仓促,因此疏漏之处深恐难免。如果诸位读者能就文中的笔误、错误、文字表达、内容编排、结构安排、示例等各方面提出宝贵意见,编者将不胜感激。

编 者
2015 年 5 月

目 次

第 1 章 绪论

1.1 数字图像处理的层次	001
1.2 数字图像处理的发展历程	002
1.3 数字图像处理的应用领域	003
1.4 数字图像处理的基本步骤	004
本章小结.....	005
习题.....	005

第 2 章 数字图像基础

2.1 图像的感知与获取	006
2.1.1 照明	006
2.1.2 镜头	012
2.1.3 图像传感器	021
2.2 数字图像	025
2.2.1 简单的图像形成模型	025
2.2.2 图像的采样与量化	026
2.2.3 数字图像的分辨率	026
2.2.4 数字图像的表达	026
2.2.5 像素间的若干基本关系	027
2.3 颜色	028
2.3.1 彩色基础	029
2.3.2 彩色模型	031
本章小结.....	034
习题.....	034

第3章 图像增强

3.1 空间域增强的基本知识	036
3.2 灰度变换	037
3.2.1 若干基本的灰度变换	037
3.2.2 直方图处理	041
3.3 噪声模型	046
3.3.1 若干重要的随机噪声	046
3.3.2 周期噪声	048
3.3.3 噪声参数的估计	048
3.4 空间滤波	049
3.4.1 空间滤波基础	049
3.4.2 平滑空间滤波器	050
3.4.3 锐化空间滤波器	055
3.5 频域滤波	058
3.5.1 频域滤波简介	059
3.5.2 频域平滑滤波器	061
3.5.3 频域锐化滤波器	063
3.5.4 带通/带阻滤波器与陷波滤波器	066
3.6 利用算术操作增强	067
3.6.1 加法运算	067
3.6.2 减法运算	067
3.6.3 乘法运算	068
3.6.4 除法运算	068
本章小结	069
习题	069

第4章 图像复原

4.1 图像退化/复原过程模型	072
4.2 退化函数的估计方法及典型退化系统的传递函数	074
4.2.1 估计退化函数	074
4.2.2 若干典型退化系统的传递函数	074
4.3 线性滤波图像复原方法	076
4.3.1 无约束复原	076
4.3.2 维纳滤波	077
4.3.3 平滑约束滤波器	077
4.4 非线性统计复原	078
4.4.1 最大后验估计	078

4.4.2 最大似然估计	079
4.5 几何变换	080
4.5.1 空间变换	080
4.5.2 灰度级插补	081
本章小结.....	082
习题.....	083

第5章 图像分割

5.1 阈值分割	084
5.1.1 固定阈值分割法	085
5.1.2 迭代法	085
5.1.3 最大类间方差法	085
5.1.4 最佳熵阈值分割法	086
5.1.5 最佳阈值分割	087
5.2 基于区域的分割	089
5.2.1 区域生长	089
5.2.2 区域分离与合并	090
5.3 边缘检测	091
5.3.1 边缘的基本知识	091
5.3.2 边缘检测的梯度算子	092
5.3.3 通过二阶微分零点穿越检测边缘	093
5.3.4 Canny 边缘检测	094
5.4 边界跟踪与检测	097
5.4.1 局部边缘连接	097
5.4.2 Hough 变换	097
5.4.3 边界跟踪	100
5.5 基于偏微分方程的分割	100
5.5.1 活动轮廓模型	101
5.5.2 无边缘活动轮廓模型	105
本章小结.....	106
习题.....	107

第6章 数学形态学图像处理

6.1 集合论的基础知识	109
6.2 膨胀和腐蚀	112
6.3 开操作与闭操作	114
6.4 击中或未击中变换	115
6.5 若干常见的二值图像形态学算法	116

6.5.1 边界提取	117
6.5.2 区域填充	117
6.5.3 连通分量的提取	118
6.5.4 细化	118
6.5.5 粗化	119
6.5.6 骨架	119
6.5.7 裁剪	122
6.6 在灰度级图像上的扩展	123
6.6.1 膨胀与腐蚀	123
6.6.2 开操作与闭操作	124
6.6.3 灰度图像形态学操作的若干应用	125
6.7 基于形态学的分水岭分割	127
6.7.1 基本概念	127
6.7.2 分水线的构造	128
6.7.3 分水岭分割算法	129
本章小结.....	131
习题.....	131

第7章 对象表示与描述

7.1 形状表示	133
7.1.1 链码	133
7.1.2 曲线近似与拟合	134
7.1.3 骨架	136
7.1.4 图像特征点	137
7.2 边界描述子	142
7.2.1 若干简单的边界描述子	142
7.2.2 傅里叶描述子	143
7.3 区域描述子	144
7.3.1 若干简单的区域描述子	144
7.3.2 二维函数的矩	145
7.4 纹理描述子	146
7.4.1 统计方法	146
7.4.2 频谱方法	147
7.4.3 LBP 描述子	147
7.5 主元分析	149
本章小结.....	150
习题.....	150

第 8 章 对象识别

8.1 模式与模式识别的基本概念	151
8.2 基于图像相关的匹配	152
8.3 最小距离分类器与近邻分类器	153
8.3.1 最小距离分类器	153
8.3.2 最近邻分类器	154
8.3.3 k -近邻分类器	155
8.4 贝叶斯分类	155
8.4.1 最大后验概率分类	155
8.4.2 最小风险贝叶斯分类	156
8.5 BP 神经网络分类器	157
8.5.1 BP 网络的基本结构	157
8.5.2 BP 网络的设计与训练	158
本章小结	159
习题	160

第 9 章 图像压缩

9.1 基本知识	161
9.1.1 图像中的数据冗余	161
9.1.2 保真度准则	165
9.1.3 图像压缩模型	166
9.1.4 图像的若干信息论基本知识	167
9.1.5 图像压缩编码的分类	169
9.2 无失真编码	170
9.2.1 行程编码	170
9.2.2 LZW 编码	170
9.2.3 Huffman 编码	172
9.2.4 算术编码	173
9.3 预测编码	174
9.4 变换编码	178
9.4.1 常见的图像变换	178
9.4.2 子图像的大小选择	182
9.4.3 系数选择和比特分配	182
9.5 JPEG 静态图像压缩标准简介	183
本章小结	191
习题	191

第 10 章 摄像机标定与立体视觉

10.1 摄像机标定	193
10.1.1 摄像机模型	193
10.1.2 摄像机的标定过程	196
10.1.3 由单幅图像获取对象的实际尺寸	198
10.1.4 影响摄像机参数估计值准确性的因素	199
10.2 立体重构	199
10.2.1 一般双目视觉系统的立体几何结构	200
10.2.2 立体视觉中的匹配	200
10.2.3 标准外极线几何结构	201
10.2.4 深度重构	202
本章小结	203
习题	203

第 11 章 基于图像的检测应用实例

11.1 激光焊接对接接头间隙宽度测量	204
11.1.1 对接接头间隙测量视觉系统的结构	204
11.1.2 对接接头间隙测量的图像处理算法	205
11.2 细水雾液滴尺寸测量与分析	207
11.2.1 雾滴的采样与图像采集	207
11.2.2 雾滴图像的处理与分析	207
11.2.3 显微标尺标定	208
11.3 肉牛体形参数检测	209
11.3.1 肉牛图像的获取	209
11.3.2 肉牛图像分割	210
11.3.3 肉牛外形参数测量	211
11.4 成熟番茄的识别与定位	211
11.4.1 成熟番茄定位的双目立体视觉系统组成和标定	211
11.4.2 成熟番茄的识别	212
11.4.3 成熟番茄的定位	213
11.5 滚珠螺母形位误差检测	214
11.5.1 滚珠螺母形位误差检测系统组成	214
11.5.2 滚珠螺母图像的预处理与分割	215
11.5.3 形位误差测量	215
本章小结	216
习题	217

参考文献	218
------	-----

第1章 绪论

视觉是人类最高级的感知类型,它是人们最主要的信息源。虽然来自不同统计源所得的结果有所出入,但基本都认为一个人所获取的信息中至少有 70% 来自视觉。人们已经非常习惯于从视觉中获取信息,以至于即使是完全相同的数据,相比于其他的表达方式,当以可视的方式加以表达时,其中所蕴含的信息将更容易为人们所发现和理解。俗语所说“百闻不如一见”、“a picture is worth a thousand words”都是这一情况的说明,反映了图像在信息传递中的独特效果。

图像是物体透射或反射的光信息经人类视觉系统接收后,在人的大脑中形成的印象或认识。“图像”是客观存在的二维、三维灰度或彩色“图”在人的大脑中形成的“像”。一般而言,凡是能够被人类视觉系统所感知的有形信息或心中的有形想象都统称为图像。而图像处理就是通过某些操作对图像信息进行加工和处理,以满足人的视觉心理和实际应用需求。

图像处理可以通过光学方法或数字方法来进行。光学图像处理方法具有悠久的历史,其处理速度快,信息容量大,分辨率高,但处理精度不高,稳定性差,设备笨重,操作不便,各种处理不如数字手段灵活,受实际工艺和设备材料的局限大,因而发展速度受到了限制;对比而言,数字图像处理的最突出优点就是灵活方便,但最大的缺点则是处理速度慢,特别当图像信息量大的时候尤为突出。

对数字图像处理方法的研究起源于两个主要应用领域:一是为了便于人们分析而对图像信息进行改进;二是为了使计算机自动理解图像信息而对图像数据进行存储、传输及显示。

1.1 数字图像处理的层次

现在的数字图像处理一词已经包含了相当丰富的含义,从基本的图像平滑、锐化等质量增强操作到基于图像的对象识别分类再到基于视觉的机器人全自主导航等典型应用,都常常被笼统地归入在这一术语的范围之内。不过作为一种人为的界定,可以将该领域由低到高分三个层次,分别是(狭义)图像处理、图像分析和图像理解。

低级的(狭义)图像处理涉及对图像的初级操作,如图像平滑去噪、对比度增强和锐化等等,可以用输入、输出都是图像的特点来加以界定。

中级的图像分析主要是对图像中感兴趣的对象进行检测和特征提取,从而建立对图像的描述,其特点在于输入的是图像,而输出的则是由图像中所提取的特征。

高级的图像理解则是在图像分析所获得的图像特征基础上,根据人工智能理论与认知理论,对图像中各个目标的性质及其之间的联系进行研究,从而理解图像中所包含的信息含义,并对图像所反映的客观场景进行解释,以指导和规划行动。图像理解、同时也是图像处理的最高目标,就是通过计算机模拟人类视觉,实现机器视觉。

不过以上的层次划分并非一种严格的硬性划分。在图像处理领域的研究和应用中,图像处理、图像分析、图像理解和机器视觉等术语常常以一种较为重叠的方式被使用,而且也常常覆盖了多于一个的上述层次。涵盖这三个层次的数字图像处理实际是一个连续统一体,并无明确的界线。

从抽象程度和数据量来看,(狭义)图像处理基本是在图像的像素级上进行操作,抽象程度最低,数据量最大;图像分析则是在经过较为简洁表示的对象及对象特征上进行操作,抽象程度和数据量均为中等;图像理解则是在从对象描述中抽取出来的符号上进行操作,抽象程度最高,数据量则最少。

1.2 数字图像处理的发展历程

数字图像处理最早的应用之一出现在报纸业。在 20 世纪 20 年代引入的 Bartlane 电缆图片传输系统,将横跨大西洋传送一幅图片所需的时间由一周缩短到了 3 个小时。虽然所传输的图片质量以及传输时间从现代的角度来看都远不能与今日的网络图像传输相提并论,但是对于物理图像的空间采样、灰度量化、数字编码传输与重建的过程而言,其本质与现代技术并无二致。

不过 Bartlane 图片传输尚未涉及对数字图像进行处理,因为数字图像处理要求很大的存储和计算能力,因此数字图像处理领域的发展必然依赖于数字计算机及数据存储、传输及显示等相关技术的发展。

伴随着计算机技术的发展,在 20 世纪 60 年代早期出现了第一台可以执行有实际意义的图像处理任务的大型计算机,当时美国喷气推进实验室用它对“徘徊者七号”卫星所发回的大批月球照片进行处理,以校正用于拍摄的电视摄像机中的各类图像畸变。

在这一时期,不仅被用于空间应用,数字图像处理技术在 20 世纪 60 年代末到 70 年代初也开始用于医学图像、地球遥感监测和天文学等领域。20 世纪 70 年代发明的计算机断层成像(CT)是图像处理在医学诊断领域最重要的应用之一。

进入 20 世纪 80 年代和 90 年代后,随着个人计算机以及网络的普及,数字图像处理在包括工农业、国防、公共安全、科学研究、医疗卫生、教育、娱乐等极为广泛的领域中都不断取得发展,而这一发展势头在 21 世纪中仍未有减缓的迹象。可以不加夸张地说,现代社会中的绝大多数人在日常的生活中,或自觉或不自觉地都会与大量数字图像处理技术与系统发生关系,从家居的监视和门禁系统,到道路上的视频监控和车牌识别,再到 X 光

透视、CT、MRI 等医疗检查,乃至休闲时观看的数字电视与拍照所使用的数码相机等等,都是数字图像处理的典型实际应用。随着近年来在包括计算机软硬件、传感与检测、人工智能等相关领域中的进步,数字图像处理将更为深入地渗透到人们工作生活的各个角落之中。

1.3 数字图像处理的应用领域

如今,数字图像处理已经被应用于涉及人们的生产生活、健康、教育、娱乐等极为广泛的领域之中。以下是若干典型的数字图像处理应用领域,但实际中的数字图像处理应用绝不仅限于所列举的领域与问题。

1. 医学

图像处理在医学领域的应用十分广泛。实际上,医学影像学已经成为了医学领域的一个重要分支。医学影像学的奠基可以追溯至 1895 年伦琴发现 X 射线,之后不久 X 射线便被用于人体检查,进行疾病诊断,形成了作为医学影像学重要内容之一的放射诊断学这一新学科。到了 20 世纪 50 年代到 60 年代,开始使用超声与核素显像进行人体检查,出现了超声成像和 γ 闪烁成像;70 年代和 80 年代又相继出现了 X 射线计算机体层成像(CT)、磁共振成像(MRI)和包括单光子发射体层成像(SPECT)与正电子发射体层成像(PET)在内的发射体层成像(ECT)等成像新技术。即使是 X 射线成像,现在也已有数字化的扩展,通过与适当的介入手段结合,还可用于诸如血管、胃肠道等的成像,例如数字减影血管造影就是一个典型的例子。目前,医学影像学的范畴不断扩大,诊治水平有了明显提高,成为了临床医学中发展最快、作用重大的学科之一。

此外,还有着许多其他的医学图像处理应用,例如通过图像处理的方法对采集得到的人体组织切片或体液涂片的数字显微图像加以分析,以提供辅助诊断信息;对拍摄所得的舌部相片进行分析,以提供中医诊断中的舌相信息;等等。

2. 遥感

利用多光谱卫星所获得的地面遥感影像,可以用于土地测绘、资源调查、环境污染检测、农作物估产、考古遗迹检测、军事侦察等。于 1972 年开始发射的美国陆地卫星 Landsat 便是在全球范围内得到广泛应用的遥感卫星系统。此外,遥感图像还可用于海洋水温监测、鱼群监测、气象和天气预报图的合成分析预报、太空星体的探测与分析等。

3. 军事和公共安全

这一领域中的典型应用包括巡航导弹的地形识别、指纹自动识别、罪犯脸形的合成、雷达的地形侦查、遥控飞行器 RPV 引导、军事目标的识别与制导、警戒系统及自动火炮控制、反伪装侦查、手迹/人像/印章的鉴定识别、集装箱和行李的不开箱检查等等。

4. 工业领域

零件、产品的无损检测;焊缝及内部缺陷检测;流水线上零件的自动检测识别;邮件、包裹的自动分拣;印刷电路板的质量检测和缺陷检出;生产过程的图像监控;道路交通的图像监控和车牌识别;金相分析;标识、符号的识别;等等。

5. 其他领域

图像的远距离传输;远程视频会议;远程医学诊断和手术;服装试穿;等等。

1.4 数字图像处理的基本步骤

如图 1.1 所示是数字图像处理的一般性步骤。通常来说,一个典型的基于图像的检测应用都包括了图中所示的全部或大部分步骤。

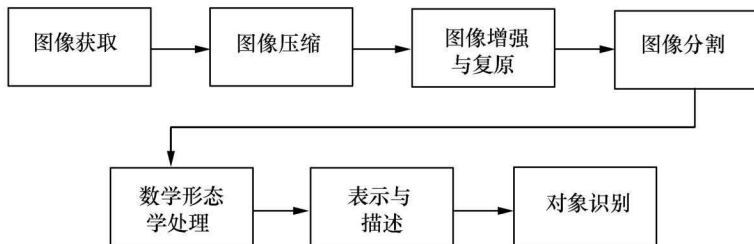


图 1.1 数字图像处理的基本步骤

(1)图像获取是所有基于图像的应用的基础,只有得到了感兴趣对象的图像之后,才有可能通过计算机的处理来自动提取出有用的对象信息,或者通过计算机处理使得这些信息更容易为用户所观察和了解;

(2)图像压缩是对图像数据进行的处理,使得压缩后的图像所需的存储量更少,对图像传输带宽的要求也更低;

(3)图像增强是对图像进行某种操作,使得增强后的图像在特定的应用中比原始图像更适于处理;图像复原也是改进图像的一种手段,但复原技术倾向于以图像退化的数学或概率模型为基础,通过客观的准则来指导复原过程,而增强的效果好坏常以人类观察者的主观评价为基础;

(4)图像分割将图像划分为其组成部分或对象区域。一般来说,全自动图像分割是数字图像处理中最为困难的任务之一。分割结果的好坏将直接决定其后对象识别的成功与否;

(5)数学形态学处理提供了一系列有用的工具,可以从图像中提取感兴趣的分量。最常用的二值图像的数学形态学操作通常应用于分割之后所得的二值图像。不过也存在大量灰度图像的形态学处理方法,可以在图像分割之前用来完成包括去噪滤波、对比度增强在内的多种图像预处理任务;

(6)图像分割所得的是未经过组织的像素级二值数据,通过对象的表示,可以将分割结果转化为计算机更容易处理的、具有特定数据结构的图像对象数据;进一步地,由这些对象可以提取出所谓的描述子或特征,这些描述子以相对而言十分少量的数据代表了所描述的对象区域,它们是之后的识别过程的数据基础;

(7)识别是根据对图像中不同对象的描述来对其进行分类并赋予相应的定性的类标号的过程。

本章小结

本章对数字图像处理的重要性和起源、数字图像处理操作的层次划分、数字图像处理的发展历程、若干常见应用领域中的典型应用以及数字图像处理的基本步骤进行了简要介绍,以使读者对于数字图像处理的作用、应用范围及一般性处理步骤构成有一个概括性的了解。

习 题

- 1.1 作为一种人为的界定,图像处理领域可由低到高分哪几个层次?
- 1.2 基于图像的应用一般包括哪些基本步骤?
- 1.3 请结合自身实际,列举出2~3个日常工作、学习和生活中所接触或了解到的图像处理应用。

第2章 数字图像基础

2.1 图像的感知与获取

常见的各类图像一般都是由“照射源”和形成图像的“场景元素”结合所产生的。其中照射源所发射出的能量形式并不限于可见光,实际上,现在常见的可以产生图像的能量源不但包括了几乎整个电磁波谱,而且还包括了声波、超声波等其他非传统光源。而场景元素对照射源所释放的能量既可能产生反射,也可能进行吸收。一般使用数码相机对外界光照下的场景进行拍摄就是对场景元素所反射的能量进行成像的典型例子,而X射线成像则是对场景元素的透射成像的典型例子。

以下有关图像感知与获取的介绍主要针对基于光学的机器视觉系统展开,所介绍的有关内容可以涵盖由X射线到红外线这一广泛电磁波谱的图像感知与获取的知识,而这一电磁波谱范围在工业领域中应用极为广泛。其他非传统图像源的相关内容可参考有关著作与教材,在本书中不多赘言。

2.1.1 照明

在基于机器视觉的检测应用中,照明的目的是突出被测对象的重要特征,而抑制其他无用特征。要达到这个目的,就需要考虑光源和被测对象间的相互作用,其中的一个重要部分便是光源和被测对象的光谱组成。通过使用单色光照射彩色物体,便能增强被测对象相应特征的对比度。

1. 电磁辐射

光是一定波长范围内的电磁辐射。人眼可见的光称为可见光,波长范围为380~780 nm。比可见光波长更短的光称为紫外光(UV),再短的电磁辐射为X射线和伽马射线;比可见光波长更长的光称为红外线(IR),再长的电磁辐射为微波和无线电波。

单色光可以其波长 λ 来表征。当光由多个波长组成时,则通常与黑体辐射光谱加以比较来表征。黑体可以吸收所有落在其表面的电磁辐射,因而可以视为理想的纯热辐射源,因此黑体的光谱与其温度直接相关,光谱辐射符合普朗克定律:

$$I(\lambda, T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1} \quad (2.1)$$

式中, $c=2.99\,792\,458 \times 10^8 \text{ m/s}$ 为光速; $h=6.6\,260\,693 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ 为普朗克常数; $k=1.3\,806\,505 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ 为玻尔兹曼常数。光谱辐射表示单位面积的黑体在单位立体角、单位波长内辐射出的能量。

如图 2.1 所示即为不同温度 T 下的光谱辐射, 其中两条垂直虚线间的范围代表可见光的波长范围。可见, 当黑体温度在 300 K 时, 辐射基本集中在中红外和远红外段, 这个辐射范围就是我们所感觉到的热感, 因此这一段波长也称为热红外; 温度达到 1 000 K 时, 辐射开始进入可见光范围, 对应了当物体被加热时首先出现的红色辉光; $T=3\,000 \text{ K}$ 时对应的是白炽灯的谱线, 其中红色成分强烈; $T=6\,500 \text{ K}$ 时对应的是日光即白光的光谱; $T=10\,000 \text{ K}$ 是对应的是蓝光成分强烈的光的谱线。

由于光谱与黑体温度相关, 因此又称为色温。

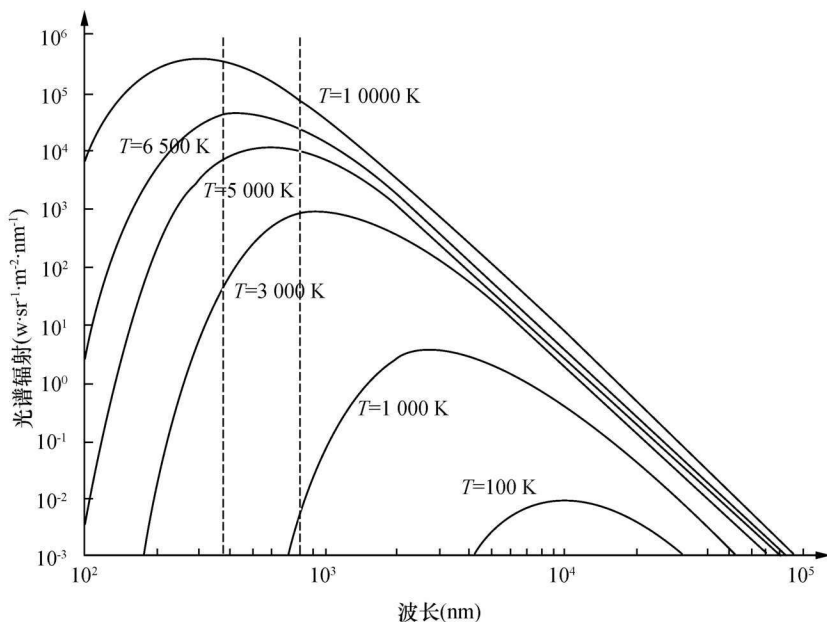


图 2.1 黑体在不同温度下的辐射光谱

2. 光源类型

在机器视觉中, 常用的光源有如下数种。

(1) 白炽灯。白炽灯通过在细的灯丝中流过电流, 使灯丝发热而产生热辐射发光。白炽灯的灯丝一般由钨制成。灯丝的温度很高, 其辐射在可见光范围内。灯丝被置于真空或充满卤素气体(如碘或溴)的密闭玻璃灯泡内, 以防止灯丝氧化。相比于真空, 卤素气体可使灯泡寿命大为延长。白炽灯的优点是相对较亮, 可以产生色温为 3 000~3 400 K 的连续光谱, 且可以工作在低电压; 其缺点是发热严重, 能量转换效率低, 仅有约 5% 的能量被转化为光能, 且寿命短, 老化快, 随着时间的推移, 其亮度迅速下降, 也不能用作闪光灯。此外, 由于我国政策的调整, 白炽灯将被逐步淘汰, 而大功率白炽灯的进口和销售已经被