



“十三五”国家重点出版物
出版规划项目



“中国制造2025”
出版工程

机器视觉技术

陈兵旗 编著

兼外借



化学工业出版社



“十三五”国家重点出版物
出版规划项目



机器视觉技术

陈兵旗 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书分上下两篇介绍机器视觉的构成、图像处理方法以及应用实例。

上篇“机器视觉理论与算法”包括：机器视觉、图像处理、目标提取、边缘检测、图像平滑处理、几何参数检测、Hough 变换、几何变换、单目视觉测量、双目视觉测量、运动图像处理、傅里叶变换、小波变换、模式识别、神经网络、深度学习、遗传算法。

下篇“机器视觉应用系统”包括：通用图像处理系统 ImageSys、二维运动图像测量分析系统 MIAS、三维运动测量分析系统 MIAS 3D、车辆视觉导航系统。

本书汇集了图像处理绝大多数现有流行算法，以浅显的图文并茂的方法讲解复杂的理论算法，每个算法都给出了实际处理案例。

书中所讲案例均来自生产实践，都得到了实际应用的检验。

本书不仅适用于机器视觉和图像处理专业理论结合实践的教学，对于本专业及相关专业的课题研究人员和专业技术人员也具有重要的参考价值。

图书在版编目 (CIP) 数据

机器视觉技术/陈兵旗编著. —北京：化学工业出版社，2018.3

“中国制造 2025”出版工程

ISBN 978-7-122-31312-6

I. ①机… II. ①陈… III. ①计算机视觉 IV. ①TP302.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 001593 号

责任编辑：贾 娜

文字编辑：陈 喆

责任校对：宋 夏

装帧设计：尹琳琳

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011）

印 装：三河市延风印装有限公司

710mm×1000mm 1/16 印张 22 $\frac{3}{4}$ 字数 419 千字 2018 年 9 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询：010-64518888(传真：010-64519686)

售后服务：010-64518899

网 址：<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

定 价：98.00 元

版权所有 违者必究

科学是永无止境的，它是一个永恒之谜。

—— 爱因斯坦



“中国制造2025”
出版工程

《“中国制造 2025”出版工程》

编委会

主任

孙优贤（院士）

副主任（按姓氏笔画排序）

王天然（院士） 杨华勇（院士） 吴澄（院士）

陈纯（院士） 陈杰（院士） 郑南宁（院士）

桂卫华（院士） 钱锋（院士） 管晓宏（院士）

委员（按姓氏笔画排序）

马正先 王大珩 王天然 王荣明 王耀南 田彦涛

巩水利 乔非 任春年 伊廷锋 刘敏 刘延俊

刘会聪 刘利军 孙长银 孙优贤 杜宇雷 李莉

李慧 李少远 李亚江 李嘉宁 杨卫民 杨华勇

吴飞 吴澄 吴伟国 宋浩 张平 张晶

张从鹏 张玉茹 张永德 张进生 陈为 陈刚

陈纯 陈杰 陈万米 陈长军 陈华钧 陈兵旗

陈茂爱 陈继文 陈增强 罗映 罗学科 郑南宁

房立金 赵春晖 胡昌华 胡福文 姜金刚 费燕琼

桂卫华 柴毅 钱锋 徐继宁 郭彤颖 曹巨江

康锐 焦志伟 曾宪武 谢颖 谢胜利 蔡登

管晓宏 魏青松

序

制造业是国民经济的主体，是立国之本、兴国之器、强国之基。近十年来，我国制造业持续快速发展，综合实力不断增强，国际地位得到大幅提升，已成为世界制造业规模最大的国家。但我国仍处于工业化进程中，大而不强的问题突出，与先进国家相比还有较大差距。为解决制造业大而不强、自主创新能力弱、关键核心技术与高端装备对外依存度高等制约我国发展的问题，国务院于2015年5月8日发布了“中国制造2025”国家规划。随后，工信部发布了“中国制造2025”规划，提出了我国制造业“三步走”的强国发展战略及2025年的奋斗目标、指导方针和战略路线，制定了九大战略任务、十大重点发展领域。2016年8月19日，工信部、发展改革委、科技部、财政部四部委联合发布了“中国制造2025”制造业创新中心、工业强基、绿色制造、智能制造和高端装备创新五大工程实施指南。

为了响应党中央、国务院做出的建设制造强国的重大战略部署，各地政府、企业、科研部门都在进行积极的探索和部署。加快推动新一代信息技术与制造技术融合发展，推动我国制造模式从“中国制造”向“中国智造”转变，加快实现我国制造业由大变强，正成为我们新的历史使命。当前，信息革命进程持续快速演进，物联网、云计算、大数据、人工智能等技术广泛渗透于经济社会各个领域，信息经济繁荣程度成为国家实力的重要标志。增材制造（3D打印）、机器人与智能制造、控制和信息化、人工智能等领域技术不断取得重大突破，推动传统工业体系分化变革，并将重塑制造业国际分工格局。制造技术与互联网等信息技术融合发展，成为新一轮科技革命和产业变革的重大趋势和主要特征。在这种中国制造业大发展、大变革背景之下，化学工业出版社主动顺应技术和产业发展趋势，组织出版《“中国制造2025”出版工程》丛书可谓勇于引领、恰逢其时。

《“中国制造2025”出版工程》丛书是紧紧围绕国务院发布的实施制造强国战略的第一个十年的行动纲领——“中国制造2025”的一套高水平、原创性强的学术专著。丛书立足智能制造及装备、控制及信息技术两大领域，涵盖了物联网、大数

据、3D 打印、机器人、智能装备、工业网络安全、知识自动化、人工智能等一系列的核心技术。丛书的选题策划紧密结合“中国制造 2025”规划及 11 个配套实施指南、行动计划或专项规划，每个分册针对各个领域的一些核心技术组织内容，集中体现了国内制造业领域的技术发展成果，旨在加强先进技术的研发、推广和应用，为“中国制造 2025”行动纲领的落地生根提供了有针对性的方向引导和系统性的技术参考。

这套书集中体现以下几大特点：

首先，丛书内容都力求原创，以网络化、智能化技术为核心，汇集了许多前沿科技，反映了国内外最新的一些技术成果，尤其国内的相关原创性科技成果得到了体现。这些图书中，包含了获得国家与省部级诸多科技奖励的许多新技术，图书的出版对新技术的推广应用很有帮助！这些内容不仅为技术人员解决实际问题，也为研究提供新方向、拓展新思路。

其次，丛书各分册在介绍相应专业领域的新技术、新理论和新方法的同时，优先介绍有应用前景的新技术及其推广应用的范例，以促进优秀科研成果向产业的转化。

丛书由我国控制工程专家孙优贤院士牵头并担任编委会主任，吴澄、王天然、郑南宁等多位院士参与策划组织工作，众多长江学者、杰青、优青等中青年学者参与具体的编写工作，具有较高的学术水平与编写质量。

相信本套丛书的出版对推动“中国制造 2025”国家重要战略规划的实施具有积极的意义，可以有效促进我国智能制造技术的研发和创新，推动装备制造业的技术转型和升级，提高产品的设计能力和技术水平，从而多角度地提升中国制造业的核心竞争力。

中国工程院院士

潘雲鶴

前言

《中国制造 2025》的核心内容是装备生产和应用的信息化与智能化，机器视觉是实现这一目标的关键技术。提起“机器视觉”或者“图像处理”（机器视觉的软件部分），许多人并不陌生，但是没有专门学习过的人，往往会把“图像处理”与用于图像编辑的 Photoshop 软件等同起来，其实两者之间具有本质的区别。机器视觉中的图像处理是由计算机对现有的图像进行分析和判断，然后根据分析判断结果去控制执行其他相应的动作或处理；而 Photoshop 软件是基于人的判断，通过人手的操作来改变图像的颜色、形状或者剪切与编辑。也就是说，一个是由机器分析判断图像并自动执行其他动作，一个是由人分析判断图像并手动修改图像，这就是两者的本质区别。本书内容就是介绍机器视觉的构成、图像处理理论算法及应用系统。

目前，市面上图像处理方面的书比较多，一般都是着眼于讲解图像处理算法理论或者编程方法，笔者本人也编著了两本图像处理 VC++ 编程和一本机器视觉理论及应用实例介绍方面的书，这些书的主要适用对象是图像处理编程人员。然而，从事图像处理编程工作的人毕竟是少数，将来越来越多的人会从事与机器人和智能装备相关的操作及技术服务工作，目前国内针对这个群体的机器视觉教育书籍还比较少。近年来，经常有地方理工科院校来咨询图像处理实验室建设事项，他们的目的是图像处理理论教学，而不是学习图像处理程序编写，给他们推荐教材和进行图像处理实验室配置都是很困难的事。为了适应这个庞大群体的需要，本书以普及教学为目的，尽量以浅显易懂、图文并茂的方法来说明复杂的理论算法，每个算法都给出实际处理案例，使一般学习者能够感觉到机器视觉其实并不深奥，也给将来可能从事机器视觉项目开发的人增强信心。

本书汇集了图像处理绝大多数现有流行算法，对于专业图像处理研究和编程人员，也具有重要的参考价值。

本书在撰写过程中得到了田浩、欧阳娣、曾宝明、王桥、杨明、乔妍、朱德利、梁习卉子、陈洪密、代贺等不同程度的帮助，也获得了北京现代富博科技有限公司的技术支持，在此对他们表示衷心的感谢！

由于笔者水平所限，书中不足之处在所难免，敬请广大读者与专家批评指正。

编著者

上篇 机器视觉理论与算法

2 第1章 机器视觉

- 1.1 机器视觉的作用 / 2
- 1.2 机器视觉的硬件构成 / 3
 - 1.2.1 计算机 / 4
 - 1.2.2 图像采集设备 / 6
- 1.3 机器视觉的软件及编程工具 / 7
- 1.4 机器视觉、机器人和智能装备 / 8
- 1.5 机器视觉的功能与精度 / 9

12 第2章 图像处理

- 2.1 图像处理的发展过程 / 12
- 2.2 数字图像的采样与量化 / 18
- 2.3 彩色图像与灰度图像 / 20
- 2.4 图像文件及视频文件格式 / 22
- 2.5 数字图像的计算机表述 / 23
- 2.6 常用图像处理算法及其通用性问题 / 24
- 参考文献 / 25

26 第3章 目标提取

- 3.1 如何提取目标物体 / 26
- 3.2 基于阈值的目标提取 / 26



- 3.2.1 二值化处理 / 26
- 3.2.2 阈值的确定 / 27
- 3.3 基于颜色的目标提取 / 30
 - 3.3.1 色相、亮度、饱和度及其他 / 30
 - 3.3.2 颜色分量及其组合处理 / 33
- 3.4 基于差分的目标提取 / 38
 - 3.4.1 帧间差分 / 38
 - 3.4.2 背景差分 / 39
- 参考文献 / 40

42 第4章 边缘检测

- 4.1 边缘与图像处理 / 42
- 4.2 基于微分的边缘检测 / 44
- 4.3 基于模板匹配的边缘检测 / 45
- 4.4 边缘图像的二值化处理 / 47
- 4.5 细线化处理 / 48
- 4.6 Canny 算法 / 48
- 参考文献 / 52

53 第5章 图像平滑处理

- 5.1 图像噪声及常用平滑方式 / 53
- 5.2 移动平均 / 54
- 5.3 中值滤波 / 54
- 5.4 高斯滤波 / 56
- 5.5 模糊图像的清晰化处理 / 59
 - 5.5.1 对比度增强 / 59
 - 5.5.2 自动对比度增强 / 61
 - 5.5.3 直方图均衡化 / 63
 - 5.5.4 暗通道先验法去雾处理 / 65
- 5.6 二值图像的平滑处理 / 67
- 参考文献 / 69

70 第6章 几何参数检测

- 6.1 基于图像特征的自动识别 / 70
- 6.2 二值图像的特征参数 / 70
- 6.3 区域标记 / 73
- 6.4 基于特征参数提取物体 / 74
- 6.5 基于特征参数消除噪声 / 75
- 参考文献 / 76

77 第7章 Hough 变换

- 7.1 传统 Hough 变换的直线检测 / 77
- 7.2 过已知点 Hough 变换的直线检测 / 79
- 7.3. Hough 变换的曲线检测 / 81
- 参考文献 / 81

82 第8章 几何变换

- 8.1 关于几何变换 / 82
- 8.2 放大缩小 / 83
- 8.3 平移 / 87
- 8.4 旋转 / 87
- 8.5 复杂变形 / 88
- 8.6 齐次坐标表示 / 90
- 参考文献 / 91

92 第9章 单目视觉测量

- 9.1 硬件构成 / 92
- 9.2 摄像机模型 / 93
 - 9.2.1 参考坐标系 / 94
 - 9.2.2 摄像机模型分析 / 95
- 9.3 摄像机标定 / 97
- 9.4 标定尺检测 / 98

- 9.4.1 定位追踪起始点 / 98
- 9.4.2 蓝黄边界检测 / 100
- 9.4.3 确定角点坐标 / 102
- 9.4.4 单应矩阵计算 / 103
- 9.5 标定结果分析 / 103
- 9.6 标识点自动检测 / 104
- 9.7 手动选取目标 / 110
- 9.8 距离测量分析 / 110
 - 9.8.1 透视畸变对测距精度的影响 / 110
 - 9.8.2 目标点与标定点的距离对测距精度的影响 / 112
- 9.9 面积测量算法 / 113
 - 9.9.1 获取待测区域轮廓点集 / 113
 - 9.9.2 最小凸多边形拟合 / 114
 - 9.9.3 多边形面积计算 / 115
 - 9.9.4 测量实例 / 116
- 参考文献 / 117

第 10 章 双目视觉测量

- 10.1 双目视觉系统的结构 / 118
 - 10.1.1 平行式立体视觉模型 / 119
 - 10.1.2 汇聚式立体视觉模型 / 120
- 10.2 摄像机标定 / 122
 - 10.2.1 直接线性标定法 / 123
 - 10.2.2 张正友标定法 / 124
 - 10.2.3 摄像机参数与投影矩阵的转换 / 128
- 10.3 标定测量试验 / 129
 - 10.3.1 直接线性标定法试验 / 130
 - 10.3.2 张正友标定法试验 / 131
 - 10.3.3 三维测量试验 / 134
- 参考文献 / 135

第 11 章 运动图像处理

- 11.1 光流法 / 136
 - 11.1.1 光流法的基本概念 / 136
 - 11.1.2 光流法用于目标跟踪的原理 / 137
- 11.2 模板匹配 / 138
- 11.3 运动图像处理实例 / 139
 - 11.3.1 羽毛球技战术实时图像检测 / 139
 - 11.3.2 蜜蜂舞蹈行为分析 / 145
- 参考文献 / 154

155 第12章 傅里叶变换

- 12.1 频率的世界 / 155
- 12.2 频率变换 / 156
- 12.3 离散傅里叶变换 / 159
- 12.4 图像的二维傅里叶变换 / 161
- 12.5 滤波处理 / 162
- 参考文献 / 163

164 第13章 小波变换

- 13.1 小波变换概述 / 164
- 13.2 小波与小波变换 / 165
- 13.3 离散小波变换 / 167
- 13.4 小波族 / 167
- 13.5 信号的分解与重构 / 168
- 13.6 图像处理中的小波变换 / 175
 - 13.6.1 二维离散小波变换 / 175
 - 13.6.2 图像的小波变换编程 / 177
- 参考文献 / 179

180 第14章 模式识别

- 14.1 模式识别与图像识别的概念 / 180
- 14.2 图像识别系统的组成 / 181



- 14.3 图像识别与图像处理和图像理解的关系 / 182
- 14.4 图像识别方法 / 183
 - 14.4.1 模板匹配方法 / 183
 - 14.4.2 统计模式识别 / 183
 - 14.4.3 新的模式识别方法 / 187
- 14.5 人脸图像识别系统 / 189
- 参考文献 / 192

193 第15章 神经网络

- 15.1 人工神经网络 / 193
 - 15.1.1 人工神经网络的生物学基础 / 194
 - 15.1.2 人工神经元 / 195
 - 15.1.3 人工神经元的学习 / 195
 - 15.1.4 人工神经元的激活函数 / 196
 - 15.1.5 人工神经网络的特点 / 197
- 15.2 BP神经网络 / 198
 - 15.2.1 BP神经网络简介 / 198
 - 15.2.2 BP神经网络的训练学习 / 200
 - 15.2.3 改进型BP神经网络 / 202
- 15.3 BP神经网络在数字字符识别中的应用 / 203
 - 15.3.1 BP神经网络数字字符识别系统原理 / 204
 - 15.3.2 网络模型的建立 / 205
 - 15.3.3 数字字符识别演示 / 207
- 参考文献 / 209

210 第16章 深度学习

- 16.1 深度学习的发展历程 / 210
- 16.2 深度学习的基本思想 / 212
- 16.3 浅层学习和深度学习 / 212
- 16.4 深度学习与神经网络 / 213
- 16.5 深度学习训练过程 / 214
- 16.6 深度学习的常用方法 / 215

- 16.6.1 自动编码器 / 215
- 16.6.2 稀疏编码 / 218
- 16.6.3 限制波尔兹曼机 / 220
- 16.6.4 深信度网络 / 222
- 16.6.5 卷积神经网络 / 225
- 16.7 基于卷积神经网络的手写体字识别 / 228
 - 16.7.1 手写字识别的卷积神经网络结构 / 228
 - 16.7.2 卷积神经网络文字识别的实现 / 231
- 参考文献 / 231

232 第 17 章 遗传算法

- 17.1 遗传算法概述 / 232
- 17.2 简单遗传算法 / 234
 - 17.2.1 遗传表达 / 234
 - 17.2.2 遗传算子 / 235
- 17.3 遗传参数 / 238
 - 17.3.1 交叉率和变异率 / 238
 - 17.3.2 其他参数 / 238
 - 17.3.3 遗传参数的确定 / 238
- 17.4 适应度函数 / 239
 - 17.4.1 目标函数映射为适应度函数 / 239
 - 17.4.2 适应度函数的尺度变换 / 240
 - 17.4.3 适应度函数设计对 GA 的影响 / 241
- 17.5 模式定理 / 242
 - 17.5.1 模式的几何解释 / 244
 - 17.5.2 模式定理 / 246
- 17.6 遗传算法在模式识别中的应用 / 248
 - 17.6.1 问题的设定 / 248
 - 17.6.2 GA 的应用方法 / 250
 - 17.6.3 基于 GA 的双目视觉匹配 / 252
- 参考文献 / 255

下篇 机器视觉应用系统

258 第 18 章 通用图像处理系统 ImageSys

- 18.1 系统简介 / 258
- 18.2 状态窗 / 259
- 18.3 图像采集 / 259
 - 18.3.1 DirectX 直接采集 / 259
 - 18.3.2 VFW PC 相机采集 / 260
 - 18.3.3 A/D 图像卡采集 / 260
- 18.4 直方图处理 / 261
 - 18.4.1 直方图 / 261
 - 18.4.2 线剖面 / 261
 - 18.4.3 3D 剖面 / 262
 - 18.4.4 累计分布图 / 263
- 18.5 颜色测量 / 264
- 18.6 颜色变换 / 264
 - 18.6.1 颜色亮度变换 / 264
 - 18.6.2 HSI 表示变换 / 265
 - 18.6.3 自由变换 / 265
 - 18.6.4 RGB 颜色变换 / 266
- 18.7 几何变换 / 266
 - 18.7.1 仿射变换 / 266
 - 18.7.2 透视变换 / 267
- 18.8 频率域变换 / 267
 - 18.8.1 小波变换 / 267
 - 18.8.2 傅里叶变换 / 268
- 18.9 图像间变换 / 270
 - 18.9.1 图像间演算 / 270
 - 18.9.2 运动图像校正 / 270
- 18.10 滤波增强 / 271
 - 18.10.1 单模板滤波增强 / 271