

Broadview
www.broadview.com.cn

站在浪潮之巅，零距离接触最前沿的计算机视觉编程技术
全面涵盖OpenCV2、OpenCV3双版本的核心编程技巧
附赠OpenCV2、OpenCV3双版本总计200余个配套示例程序源代码

OpenCV3

编程入门

毛星云 冷雪飞 等编著

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

OpenCV3 编程入门

毛星云 冷雪飞 王碧辉 吴松森 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

内 容 简 介

OpenCV 在计算机视觉领域扮演着重要的角色。作为一个基于开源发行的跨平台计算机视觉库，OpenCV 实现了图像处理和计算机视觉方面的很多通用算法。本书以当前最新版本的 OpenCV 最常用最核心的组件模块为索引，深入浅出地介绍了 OpenCV2 和 OpenCV3 中的强大功能、性能，以及新特性。书本配套的 OpenCV2 和 OpenCV3 双版本的示例代码包中，含有总计两百多个详细注释的程序源代码与思路说明。读者可以按图索骥，按技术方向进行快速上手和深入学习。

本书要求读者具有基础的 C/C++ 知识，适合研究计算机视觉以及相关领域的在校学生和老师、初次接触 OpenCV 但有一定 C/C++ 编程基础的研究人员，以及已有过 OpenCV 1.0 编程经验，想快速了解并上手 OpenCV2、OpenCV3 编程的计算机视觉领域的专业人员。本书也适合于图像处理、计算机视觉领域的业余爱好者、开源项目爱好者做为通向新版 OpenCV 的参考手册之用。

本书配套的【示例程序】、【.exe 可执行文件】、【书内彩图】的下载链接可通过扫描本书封底后勒口的二维码获取。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有，侵权必究。

图书在版编目（CIP）数据

OpenCV3 编程入门 / 毛星云等编著. —北京：电子工业出版社，2015.2

ISBN 978-7-121-25331-7

I. ①O… II. ①毛… III. ①图象处理软件—程序设计 IV. ①TP391.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2014）第 310454 号

责任编辑：陈晓猛

印 刷：北京京科印刷有限公司

装 订：三河市皇庄路通装订厂

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：787×1 092 1/16 印张：29.25 字数：653 千字

版 次：2015 年 2 月第 1 版

印 次：2015 年 2 月第 1 次印刷

定 价：79.00 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。

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

服务热线：（010）88258888。

前 言

计算机视觉是一个近几年来日臻成熟的领域。随着运算性能强劲而又价格实惠的计算设备的不断问世，创建复杂的图像应用从未像今天这般容易。OpenCV 在计算机视觉领域扮演着重要的角色，它是一个基于开源发行的跨平台计算机视觉库，实现了图像处理和计算机视觉方面的很多通用算法。自 1999 年问世以来，OpenCV 已经被计算机视觉领域的学者和开发者视为首选工具，并成为了计算机视觉领域最有力的研究工具之一。

OpenCV 最初由 Intel 的一个小组进行开发。在一系列的 beta 版本后，OpenCV 1.0 正式版本终于在 2006 年 10 月 19 日发布。

2009 年 10 月 1 日，OpenCV 2.0 问世，它带来了全新的 C++ 接口，将 OpenCV 的能力无限放大。在 2.0 的时代，OpenCV 增加了全新的平台支持，包括 iOS 和 Android，通过 CUDA 和 OpenCL 实现了 GPU 加速，为 Python 和 Java 用户提供了接口，基于 Github 和 Buildbot 构建了充满艺术感的持续集成的系统，所以才有了被全世界的很多公司和学校所采用的稳定易用的 OpenCV 2.4.x。

2014 年 8 月 21 日，OpenCV 3.0 Alpha 发布，它带来了全新的项目架构的改变，宣告了计算机视觉新时代的来临。和其他大型项目一样，OpenCV3 抛弃了整体统一架构，使用内核+插件的架构形式，让自身主体更加稳定，而附加的库则可以更加灵活多变，以保持高速的发展与迭代。

本书源自于笔者在 CSDN 上连载的名为“OpenCV 入门教程”的系列博客文章，自 2014 年 2 月 24 日发表第一篇以来，得到了广大 OpenCV 爱好者的广泛关注与支持，累计阅读量突破了 40 多万人次。不少读者强烈希望将这些内容集结成书，并加入更多新的内容。于是，经过笔者半年的笔耕不辍，便有了现在这本书的诞生。

作为一本入门级的 OpenCV 编程教材，本书以详细注释的程序代码为主线，以新版 OpenCV 最核心的 core、HighGUI、improc 和 feature2d 这 4 个组件的相关函数、类和数据结构为出发点，详细讲解了学习新版本 OpenCV 中会遇到了各种问题，并提供了详尽的实战代码作为参考。本书的写作初衷是让更多的使用者能熟练使用采用新版 C++ 接口的 OpenCV2 或 OpenCV3，了解 OpenCV2 和 OpenCV3 的诸多细节上的区别，以推动新版 OpenCV 在世界范围内的普及。

本书的内容安排

本书分为 4 个部分、11 个章节，现将内容梗概列举如下。

第 1 章 邂逅 OpenCV：介绍 OpenCV 的周边概念，分析 OpenCV 的基本架

构，讲解 OpenCV3 的新特性。本章重点讲解了 OpenCV 的下载、安装与配置过程；在配置完成后，带领大家正式领略 OpenCV 的魅力，讲解了 4 个 OpenCV 图像处理小程序，并指导大家学习如何使用 OpenCV 操作视频和调用摄像头。

第 2 章 启程前的认知准备：进行 OpenCV 官方例程的引导学习与赏析，讲解如何编译 OpenCV 的源代码，并引入了对一些周边概念的认知。

第 3 章 HighGUI 图形用户界面初步：对图像的载入、显示和输出到文件进行详细地分析，讲解 OpenCV 中滑动条的创建和使用，以及如何用鼠标进行交互操作。

第 4 章 OpenCV 数据结构与基本绘图：讲解 OpenCV 中常用的数据结构以及基本的绘图操作。

第 5 章 core 组件进阶：讲解 core 模块的一些进阶知识点，如操作图像中的像素、图像混合、分离颜色通道、调节图像的对比度和亮度、进行离散傅里叶变换，以及输入输出 XML 和 YAML 文件。

第 6 章 图像处理：学习各种利用 OpenCV 进行图像处理的方法，包括属于线性滤波的方框滤波、均值滤波与高斯滤波，属于非线性滤波的中值滤波、双边滤波；两种基本形态学操作——膨胀与腐蚀；5 种高级形态学滤波操作——开运算、闭运算、形态学梯度、顶帽以及黑帽；此外，还有漫水填充算法、图像金字塔、图像缩放、阈值化。

第 7 章 图像变换：讲解多种类型的图像变换方法。包括利用 OpenCV 进行边缘检测所用到的 canny 算子、sobel 算子，Laplace 算子以及 scharr 滤波器；进行图像特征提取的霍夫线变换、霍夫圆变换，重映射和仿射变换以及直方图均衡化。

第 8 章 图像轮廓与图像分割修复：讲解如何查找轮廓并绘制轮廓，如何寻找物体的凸包，使用多边形来包围轮廓，以及计算一个图像的矩。此外还介绍了分水岭算法和图像修补操作的实现方法。

第 9 章 直方图与匹配：讲解图像直方图相关的编程技巧，以及直方图对比、反向投影和模板匹配技术。

第 10 章 角点检测：讲解 Harris 角点检测和 Shi-Tomasi 角点检测，以及一种亚像素角点检测方法。

第 11 章 特征检测与匹配：使用 OpenCV2 讲解并实现了 SURF、SIFT 和 ORB 特征检测方法，并在 FLANN 特征匹配的基础上，进一步实现了利用 Homography 映射来找出已知物体。

适合阅读本书的读者

- 研究计算机视觉以及相关领域的在校学生和老师

本书拥有详实的内容，注释详尽的代码，会是助你通过 OpenCV 来研习计算

机视觉理论、撰写论文、通过毕业设计、完成科研项目的得力工具。同时，本书适合作为大学计算机视觉课程的教学用书。

- 初次接触 OpenCV、有一定 C/C++编程基础的研究人员

作为一本定位为快速入门新版 OpenCV 标准的编程教程，本书需要的仅仅是一些简单的 C/C++编程语言基础。如果你已经具备了这些基础，并对计算机视觉感兴趣，那么本书正是为你所准备的。

- 已经有过 OpenCV 1.0 编程经验，想快速了解并上手 OpenCV2、OpenCV3 编程的计算机视觉领域的专业人员

如果你曾经使用过 OpenCV 1.0，或者研读过 OpenCV 1.0 时代的经典著作《Learning OpenCV》，本书会让你倍感亲切。你会发现新版 OpenCV 带了更多强大和便利的特性，让你事半功倍，如虎添翼。

- 想拥有一本新版 OpenCV 接口工具书的计算机视觉爱好者

本书中将自 OpenCV2 以来（包括 OpenCV3）的常用类和函数进行了详细地讲解，并在附录中提供了“书本核心函数清单”以便检索。你会在书中快速查找到你需要用到的函数、数据结构和类的用法。

- 想拥有海量的详细注释的 OpenCV2、OpenCV3 示例程序代码的 OpenCV 爱好者

本书包含 OpenCV2 版的 95 个书本主线示例程序源代码、21 个附赠示例程序源代码，OpenCV3 版的 95 个书本主线示例程序源代码。OpenCV2、OpenCV3 两版代码提供分开下载。这些程序代码都经过详细而有条理的注释，并提供可以独立运行的.exe文件供快速查看程序效果，方便查看和检索。你会在海量的示例程序中找到你需要的参考代码，从而加速你的研究和学习。

- 图像处理、计算机视觉领域的业余爱好者

海阔凭鱼跃，天高任鸟飞，计算机视觉领域的宝库任你探索。

- 开源项目爱好者

OpenCV 作为一个完全免费并开源代码开发的计算机视觉代码库，有总计上百万行的源代码供你研究学习，本书将是引导你学习它们的良师益友。

本书的示例程序说明

本书的示例程序最初都在 OpenCV 2.4.9（2014 年 4 月 15 日面世）版本下开发，书稿初版也是基于 OpenCV 2.4.9 而写。在书稿写作和修订过程中，恰逢 OpenCV 3.0 Alpha（2014 年 8 月 21 日）和 OpenCV3 Beta（2014 年 11 月 11 日）的发布，所以本书在审校和修订过程中（2014 年 12 月 1 日），决定站在浪潮之巅，以 OpenCV2 为主，加入 OpenCV3 的诸多特性，让这本书可以同时胜任 OpenCV2 和 OpenCV3 两个版本教材的角色。这也是为什么本书会有 OpenCV2 和 OpenCV3

两个独立版本的示例程序的原因。

两个版本、详细注释的 100 多个示例程序源代码是本书的灵魂，现将示例程序的相关情况概括如下。

- 本书包含 OpenCV2 版的 95 个书本主线示例程序源代码、21 个附赠示例程序源代码，以及 OpenCV3 版的 95 个书本主线示例程序源代码。
- OpenCV2、OpenCV3 两版代码提供分开下载。
- OpenCV2 版的示例程序在 Windows7 64 位旗舰版、Visual Studio 2010、OpenCV 2.4.9 的环境下开发与测试，理论上支持 OpenCV2 系列的所有版本的编译运行。
- OpenCV3 版的示例程序在 Windows7 64 位旗舰版、Visual Studio 2010、OpenCV 3.0 beta 的环境下开发与测试，理论上支持目前已经发布的 OpenCV3 全版本。
- 程序源代码都经过详细而有条理的注释。
- 额外提供可以独立运行的.exe 文件供快速查看程序效果，并方便检索。

本书配套示例代码的下载方式有以下几种。

- 扫描本书封面后勒口的二维码，得到下载地址。
- 在作者博客 (http://blog.csdn.net/poem_qianmo) 中单击相应的书本维护博文里贴出的下载链接。
- 在电子工业出版社的官方网站 (<http://www.phei.com.cn>) 中进行下载。
- 直接用搜索引擎搜索“《OpenCV3 编程入门》书本配套源代码”，找到对应的下载地址进行下载。

致谢

首先需要感谢我的导师，南京航空航天大学冷雪飞教授的知遇之恩，她也亲自参与撰写了本书的部分章节。在攻读硕士学位阶段，如果没有导师的谆谆教诲，我不会和 OpenCV 相遇，也就不会有此书的出版。

感谢我的同门师兄王碧辉与吴松森参与撰写本书的部分章节，他们为本书的完善做出了卓越的贡献。

感谢 OpenCV 开发团队为世界研发出如此强大且稳定、易用的计算机开源视觉库，并持续不断地对其进行维护与更新。

感谢父母将我养育成人，感谢家人们的嘘寒问暖，你们是最坚强的后盾。

感谢母校南京航空航天大学赐予我一顆不甘平庸、上下求索的心。

感谢南京航空航天大学的戴泉晨老师对本书出版所做出的帮助与支持。

感谢国家自然科学基金青年科学基金项目“新型单定子二自由度超声电机及其驱动的智能云台系统的关键技术研究”（项目批准号：51205193）对本书理论研究方面提供的经费支持。

感谢电子工业出版社博文视点的陈晓猛和丁一琼编辑为本书的出版所做的大量工作，他们对出版物的专业和严谨的态度给我留下了深刻的印象。

最后，需要感谢我博客上的众多读者们，是你们对这本书的期待和热情的留言让我有了完成这本书的动力和勇气。

交流与勘误

由于编者水平有限，书籍即使经过了多次的校对，也难免会有疏漏之处。希望书本前的你，能够热心地指出书本中错误，以便在这本书下一版印刷的时候，能以一个更完美更严谨的样子，呈现在大家的面前。另外，你要相信你不是一个人在战斗，在作者的博客中，可以找到与自己志同道合的众多喜欢计算机视觉编程技术的爱好者们。我们可以一同交流，共同学习进步。

最后，愿大家在本书的帮助下，都能很好地入门和掌握新版 OpenCV。

愿本书能为新版 OpenCV 在国内的普及以及在世界范围内的发展，献上绵薄之力。

作者博客地址：http://blog.csdn.net/poem_qianmo

作者联系邮箱：happylifemxy@163.com

作者新浪微博：[@浅墨_毛星云](#)

浅墨

2014年12月于南京

目 录

第一部分 快速上手 OpenCV	1
第 1 章 邂逅 OpenCV	3
1.1 OpenCV 周边概念认知	4
1.1.1 图像处理、计算机视觉与 OpenCV	4
1.1.2 OpenCV 概述	4
1.1.3 起源及发展	5
1.1.4 应用概述	6
1.2 OpenCV 基本架构分析	7
1.3 OpenCV3 带来了什么	11
1.3.1 项目架构的改变	11
1.3.2 将 OpenCV2 代码升级到 OpenCV3 报错时的一些策略	12
1.4 OpenCV 的下载、安装与配置	14
1.4.1 预准备：下载和安装集成开发环境	14
1.4.2 第一步：下载和安装 OpenCV SDK	15
1.4.3 第二步：配置环境变量	16
1.4.4 第三步：工程包含 (include) 目录的配置	17
1.4.5 第四步：工程库 (lib) 目录的配置	21
1.4.6 第五步：链接库的配置	22
1.4.7 第六步：在 Windows 文件夹下加入 OpenCV 动态链接库	25
1.4.8 第七步：最终测试	26
1.4.9 可能遇到的问题和解决方案	27
1.5 快速上手 OpenCV 图像处理	28
1.5.1 第一个程序：图像显示	29
1.5.2 第二个程序：图像腐蚀	30
1.5.3 第三个程序：图像模糊	31
1.5.4 第四个程序：canny 边缘检测	32
1.6 OpenCV 视频操作基础	34
1.6.1 读取并播放视频	34
1.6.2 调用摄像头采集图像	35
1.7 本章小结	38

第 2 章 启程前的认知准备	39
2.1 OpenCV 官方例程引导与赏析	40
2.1.1 彩色目标跟踪: Camshift	41
2.1.2 光流: optical flow	42
2.1.3 点追踪: lkdemo	43
2.1.4 人脸识别: objectDetection	43
2.1.5 支持向量机引导	44
2.2 开源的魅力: 编译 OpenCV 源代码	45
2.2.1 下载安装 CMake	45
2.2.2 使用 CMake 生成 OpenCV 源代码工程的解决方案	46
2.2.3 编译 OpenCV 源代码	50
2.3 “opencv.hpp” 头文件认知	53
2.4 命名规范约定	54
2.5 argc 与 argv 参数解惑	56
2.5.1 初识 main 函数中的 argc 和 argv	56
2.5.2 argc、argv 的具体含义	57
2.5.3 Visual Studio 中 main 函数的几种写法说明	58
2.5.4 总结	59
2.6 格式输出函数 printf() 简析	59
2.6.1 格式输出: printf() 函数	59
2.6.2 示例程序: printf 函数的用法示例	60
2.7 智能显示当前使用的 OpenCV 版本	61
2.8 本章小结	61
第 3 章 HighGUI 图形用户界面初步	63
3.1 图像的载入、显示和输出到文件	64
3.1.1 OpenCV 的命名空间	64
3.1.2 Mat 类简析	64
3.1.3 图像的载入与显示概述	65
3.1.4 图像的载入: imread() 函数	65
3.1.5 图像的显示: imshow() 函数	66
3.1.6 关于 InputArray 类型	67
3.1.7 创建窗口: namedWindow() 函数	67
3.1.8 输出图像到文件: imwrite() 函数	68
3.1.9 综合示例程序: 图像的载入、显示与输出	70
3.2 滑动条的创建和使用	73
3.2.1 创建滑动条: createTrackbar() 函数	73
3.2.2 获取当前轨迹条的位置: getTrackbarPos() 函数	76
3.3 鼠标操作	76
3.4 本章小结	80

第二部分 初探 core 组件	83
第 4 章 OpenCV 数据结构与基本绘图	85
4.1 基础图像容器 Mat	86
4.1.1 数字图像存储概述	86
4.1.2 Mat 结构的使用	86
4.1.3 像素值的存储方法	88
4.1.4 显式创建 Mat 对象的七种方法	89
4.1.5 OpenCV 中的格式化输出方法	91
4.1.6 输出其他常用数据结构	94
4.1.7 示例程序：基础图像容器 Mat 类的使用	95
4.2 常用数据结构和函数	95
4.2.1 点的表示：Point 类	96
4.2.2 颜色的表示：Scalar 类	96
4.2.3 尺寸的表示：Size 类	96
4.2.4 矩形的表示：Rect 类	97
4.2.5 颜色空间转换：cvtColor()函数	98
4.2.6 其他常用的知识点	100
4.3 基本图形的绘制	100
4.3.1 DrawEllipse()函数的写法	101
4.3.2 DrawFilledCircle()函数的写法	102
4.3.3 DrawPolygon()函数的写法	102
4.3.4 DrawLine()函数的写法	103
4.3.5 main 函数的写法	104
4.4 本章小结	106
第 5 章 core 组件进阶	107
5.1 访问图像中的像素	108
5.1.1 图像在内存之中的存储方式	108
5.1.2 颜色空间缩减	108
5.1.3 LUT 函数：Look up table 操作	109
5.1.4 计时函数	110
5.1.5 访问图像中像素的三类方法	110
5.1.6 示例程序	114
5.2 ROI 区域图像叠加&图像混合	114
5.2.1 感兴趣区域：ROI	115
5.2.2 线性混合操作	116
5.2.3 计算数组加权和：addWeighted()函数	117
5.2.4 综合示例：初级图像混合	120

5.3	分离颜色通道、多通道图像混合	125
5.3.1	通道分离: split()函数	125
5.3.2	通道合并: merge()函数	126
5.3.3	示例程序: 多通道图像混合	127
5.4	图像对比度、亮度值调整	131
5.4.1	理论依据	131
5.4.2	访问图片中的像素	131
5.4.3	示例程序: 图像对比度、亮度值调整	132
5.5	离散傅里叶变换	135
5.5.1	离散傅里叶变换的原理	135
5.5.2	dft()函数详解	136
5.5.3	返回 DFT 最优尺寸大小: getOptimalDFTSize()函数	137
5.5.4	扩充图像边界: copyMakeBorder()函数	137
5.5.5	计算二维矢量的幅值: magnitude()函数	138
5.5.6	计算自然对数: log()函数	138
5.5.7	矩阵归一化: normalize()函数	138
5.5.8	示例程序: 离散傅里叶变换	139
5.6	输入输出 XML 和 YAML 文件	144
5.6.1	XML 和 YAML 文件简介	144
5.6.2	FileStorage 类操作文件的使用引导	144
5.6.3	示例程序: XML 和 YAML 文件的写入	147
5.6.4	示例程序: XML 和 YAML 文件的读取	148
5.7	本章小结	150
第三部分 掌握 imgproc 组件		151
第 6 章 图像处理		153
6.1	线性滤波: 方框滤波、均值滤波、高斯滤波	154
6.1.1	平滑处理	154
6.1.2	图像滤波与滤波器	154
6.1.3	线性滤波器的简介	155
6.1.4	滤波和模糊	155
6.1.5	邻域算子与线性邻域滤波	155
6.1.6	方框滤波 (box Filter)	156
6.1.7	均值滤波	157
6.1.8	高斯滤波	159
6.1.9	线性滤波相关 OpenCV 源码剖析	160
6.1.10	OpenCV 中 GaussianBlur 函数源码剖析	164
6.1.11	线性滤波核心 API 函数	165
6.1.12	图像线性滤波综合示例	170

6.2	非线性滤波：中值滤波、双边滤波	175
6.2.1	非线性滤波概述	175
6.2.2	中值滤波	175
6.2.3	双边滤波	177
6.2.4	非线性滤波相关核心 API 函数	178
6.2.5	OpenCV 中的 5 种图像滤波综合示例	181
6.3	形态学滤波（1）：腐蚀与膨胀	187
6.3.1	形态学概述	187
6.3.2	膨胀	188
6.3.3	腐蚀	189
6.3.4	相关 OpenCV 源码分析溯源	190
6.3.5	相关核心 API 函数讲解	191
6.3.6	综合示例：腐蚀与膨胀	195
6.4	形态学滤波（2）：开运算、闭运算、形态学梯度、顶帽、黑帽	198
6.4.1	开运算	199
6.4.2	闭运算	200
6.4.3	形态学梯度	200
6.4.4	顶帽	201
6.4.5	黑帽	202
6.4.6	形态学滤波 OpenCV 源码分析溯源	203
6.4.7	核心 API 函数：morphologyEx()	205
6.4.8	各形态学操作使用范例一览	206
6.4.9	综合示例：形态学滤波	208
6.5	漫水填充	214
6.5.1	漫水填充的定义	214
6.5.2	漫水填充法的基本思想	214
6.5.3	实现漫水填充算法：floodFill 函数	214
6.5.4	综合示例：漫水填充	216
6.6	图像金字塔与图片尺寸缩放	223
6.6.1	引言	223
6.6.2	关于图像金字塔	223
6.6.3	高斯金字塔	225
6.6.4	拉普拉斯金字塔	226
6.6.5	尺寸调整：resize()函数	227
6.6.6	图像金字塔相关 API 函数	230
6.6.7	综合示例：图像金字塔与图片尺寸缩放	234
6.7	阈值化	237
6.7.1	固定阈值操作：Threshold()函数	238
6.7.2	自适应阈值操作：adaptiveThreshold()函数	239

6.7.3 示例程序：基本阈值操作	240
6.8 本章小结	244
第7章 图像变换	247
7.1 基于 OpenCV 的边缘检测	248
7.1.1 边缘检测的一般步骤	248
7.1.2 canny 算子	248
7.1.3 sobel 算子	253
7.1.4 Laplacian 算子	256
7.1.5 scharr 滤波器	259
7.1.6 综合示例：边缘检测	262
7.2 霍夫变换	267
7.2.1 霍夫变换概述	267
7.2.2 OpenCV 中的霍夫线变换	268
7.2.3 霍夫线变换的原理	268
7.2.4 标准霍夫变换：HoughLines()函数	270
7.2.5 累计概率霍夫变换：HoughLinesP()函数	272
7.2.6 霍夫圆变换	274
7.2.7 霍夫梯度法的原理	275
7.2.8 霍夫梯度法的缺点	276
7.2.9 霍夫圆变换：HoughCircles()函数	276
7.2.10 综合示例：霍夫变换	278
7.3 重映射	281
7.3.1 重映射的概念	281
7.3.2 实现重映射：remap()函数	282
7.3.3 基础示例程序：基本重映射	283
7.3.4 综合示例程序：实现多种重映射	285
7.4 仿射变换	289
7.4.1 认识仿射变换	289
7.4.2 仿射变换的求法	290
7.4.3 进行仿射变换：warpAffine()函数	291
7.4.4 计算二维旋转变换矩阵：getRotationMatrix2D()函数	292
7.4.5 示例程序：仿射变换	292
7.5 直方图均衡化	295
7.5.1 直方图均衡化的概念和特点	296
7.5.2 实现直方图均衡化：equalizeHist()函数	297
7.5.3 示例程序：直方图均衡化	298
7.6 本章小结	300

第 8 章 图像轮廓与图像分割修复	303
8.1 查找并绘制轮廓	304
8.1.1 寻找轮廓: findContours()函数	304
8.1.2 绘制轮廓: drawContours()函数	305
8.1.3 基础示例程序: 轮廓查找	306
8.1.4 综合示例程序: 查找并绘制轮廓	308
8.2 寻找物体的凸包	312
8.2.1 凸包	312
8.2.2 寻找凸包: convexHull()函数	313
8.2.3 基础示例程序: 凸包检测基础	313
8.2.4 综合示例程序: 寻找和绘制物体的凸包	315
8.3 使用多边形将轮廓包围	318
8.3.1 返回外部矩形边界: boundingRect()函数	318
8.3.2 寻找最小包围矩形: minAreaRect()函数	318
8.3.3 寻找最小包围圆形: minEnclosingCircle()函数	318
8.3.4 用椭圆拟合二维点集: fitEllipse()函数	319
8.3.5 逼近多边形曲线: approxPolyDP()函数	319
8.3.6 基础示例程序: 创建包围轮廓的矩形边界	319
8.3.7 基础示例程序: 创建包围轮廓的圆形边界	321
8.3.8 综合示例程序: 使用多边形包围轮廓	324
8.4 图像的矩	327
8.4.1 矩的计算: moments()函数	328
8.4.2 计算轮廓面积: contourArea()函数	328
8.4.3 计算轮廓长度: arcLength()函数	328
8.4.4 综合示例程序: 查找和绘制图像轮廓矩	329
8.5 分水岭算法	333
8.5.1 实现分水岭算法: watershed()函数	334
8.5.2 综合示例程序: 分水岭算法	334
8.6 图像修补	338
8.6.1 实现图像修补: inpaint()函数	340
8.6.2 综合示例程序: 图像修补	341
8.7 本章小结	343
第 9 章 直方图与匹配	345
9.1 图像直方图概述	346
9.2 直方图的计算与绘制	347
9.2.1 计算直方图: calcHist()函数	347
9.2.2 找寻最值: minMaxLoc()函数	348
9.2.3 示例程序: 绘制 H—S 直方图	348

9.2.4	示例程序：计算并绘制图像一维直方图	350
9.2.5	示例程序：绘制 RGB 三色直方图	352
9.3	直方图对比	355
9.3.1	对比直方图：compareHist()函数	355
9.3.2	示例程序：直方图对比	356
9.4	反向投影	360
9.4.1	引言	360
9.4.2	反向投影的工作原理	360
9.4.3	反向投影的作用	361
9.4.4	反向投影的结果	361
9.4.5	计算反向投影：calcBackProject()函数	361
9.4.6	通道复制：mixChannels()函数	362
9.4.7	综合程序：反向投影	363
9.5	模板匹配	367
9.5.1	模板匹配的概念与原理	367
9.5.2	实现模板匹配：matchTemplate()函数	367
9.5.3	综合示例：模板匹配	369
9.6	本章小结	373
第四部分 深入 feature2d 组件		375
第 10 章 角点检测		377
10.1	Harris 角点检测	378
10.1.1	兴趣点与角点	378
10.1.2	角点检测	378
10.1.3	harris 角点检测	379
10.1.4	实现 Harris 角点检测：cornerHarris()函数	379
10.1.5	综合示例：harris 角点检测与绘制	381
10.2	Shi-Tomasi 角点检测	384
10.2.1	Shi-Tomasi 角点检测概述	384
10.2.2	确定图像强角点：goodFeaturesToTrack()函数	384
10.2.3	综合示例：Shi-Tomasi 角点检测	385
10.3	亚像素级角点检测	388
10.3.1	背景概述	388
10.3.2	寻找亚像素角点：cornerSubPix()函数	389
10.3.3	综合示例：亚像素级角点检测	389
10.4	本章小结	392
第 11 章 特征检测与匹配		395
11.1	SURF 特征点检测	396

11.1.1 SURF 算法概览	396
11.1.2 SURF 算法原理	396
11.1.3 SURF 类相关 OpenCV 源码剖析	400
11.1.4 绘制关键点: drawKeypoints()函数	401
11.1.5 KeyPoint 类	402
11.1.6 示例程序: SURF 特征点检测	402
11.2 SURF 特征提取	405
11.2.1 绘制匹配点: drawMatches()函数	405
11.2.2 BruteForceMatcher 类源码分析	407
11.2.3 示例程序: SURF 特征提取	408
11.3 使用 FLANN 进行特征点匹配	410
11.3.1 FlannBasedMatcher 类的简单分析	410
11.3.2 找到最佳匹配: DescriptorMatcher::match 方法	411
11.3.3 示例程序: 使用 FLANN 进行特征点匹配	411
11.3.4 综合示例程序: FLANN 结合 SURF 进行关键点的描述和匹配	413
11.3.5 综合示例程序: SIFT 配合暴力匹配进行关键点描述和提取	417
11.4 寻找已知物体	420
11.4.1 寻找透视变换: findHomography()函数	421
11.4.2 进行透视矩阵变换: perspectiveTransform()函数	421
11.4.3 示例程序: 寻找已知物体	422
11.5 ORB 特征提取	425
11.5.1 ORB 算法概述	425
11.5.2 相关概念认知	425
11.5.3 ORB 类相关源码简单分析	426
11.5.4 示例程序: ORB 算法描述与匹配	426
11.6 本章小结	430
附录	433
A1 配套示例程序清单	433
A2 随书额外附赠的程序一览	436
A3 书本核心函数清单	439
A4 Mat 类函数一览	442
A4.1 构造函数: Mat::Mat	442
A4.2 析构函数 Mat::~Mat	444
A4.3 Mat 类成员函数	444
主要参考文献	447