

TURING

图灵程序设计丛书

[PACKT]
PUBLISHING

OpenCV 3 Computer Vision
Application Programming Cookbook, Third Edition

OpenCV

计算机视觉编程攻略

(第3版)

[加] Robert Laganière 著
相银初 译

- 结合C++，从基础入门计算机视觉编程
- 掌握立体图像深度检测、三维重建、目标跟踪、人脸识别等图像和视频分析方法



中国工信出版集团



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

TURING

图灵程序设计丛书

OpenCV 3 Computer Vision
Application Programming Cookbook, Third Edition

OpenCV

计算机视觉编程攻略

(第3版)

[加] Robert Laganière 著
相银初 译

人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (C I P) 数据

OpenCV计算机视觉编程攻略：第3版 / (加) 罗伯特·拉戈尼尔著；相银初译. -- 北京：人民邮电出版社，2018.5

(图灵程序设计丛书)

ISBN 978-7-115-48093-4

I. ①0… II. ①罗… ②相… III. ①图象处理软件—程序设计 IV. ①TP391.413

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第052734号

内 容 提 要

本书结合 C++ 和 OpenCV 全面讲解计算机视觉编程，不仅涵盖计算机视觉和图像处理的基础知识，而且通过完整示例讲解 OpenCV 的重要类和函数。主要内容包括 OpenCV 库的安装和部署、图像增强、像素操作、图形分析等各种技术，并且详细介绍了如何处理来自文件或摄像机的视频，以及如何检测和跟踪移动对象。

第3版针对 OpenCV 最新版本进行了修改，调整了很多函数和算法说明，还增加了立体图像深度检测、运动目标跟踪、人脸识别、人脸定位、行人检测等内容，适合计算机视觉新手、专业软件开发人员、学生以及所有想要了解图像处理和计算机视觉技术的人员学习参考。

-
- ◆ 著 [加] Robert Laganière
 - 译 相银初
 - 责任编辑 朱 巍
 - 执行编辑 夏静文
 - 责任印制 周昇亮
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路11号
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
三河市潮河印业有限公司印刷
 - ◆ 开本：800×1000 1/16
印张：20.25
字数：479千字 2018年5月第1版
印数：1-3 500册 2018年5月河北第1次印刷
- 著作权合同登记号 图字：01-2017-2566号
-

定价：79.00元

读者服务热线：(010)51095186转600 印装质量热线：(010)81055316

反盗版热线：(010)81055315

广告经营许可证：京东工商广登字 20170147 号

版权声明

Copyright © 2017 Packt Publishing. First published in the English language under the title *OpenCV 3 Computer Vision Application Programming Cookbook, Third Edition*.

Simplified Chinese-language edition copyright © 2018 by Posts & Telecom Press. All rights reserved.

本书中文简体字版由 Packt Publishing 授权人民邮电出版社独家出版。未经出版者书面许可，不得以任何方式复制或抄袭本书内容。

版权所有，侵权必究。

译者序

计算机视觉：人工智能的眼睛

如今科技界最热门的词语，非人工智能莫属。人工智能就是要让机器跟人一样，能听懂，能看懂，会思考。在这些技能中，“看懂”是最重要的，因为不管是在现实世界还是网络空间中，大部分信息都是通过视觉获取的。“一图胜千言”说的就是这个道理。如果看不懂外部世界，不能感知外部场景的变化并做出反应，是很难称为“智能”的。

计算机视觉就是人工智能的眼睛，是机器认识世界、感知变化的窗口，让机器能真正看懂外部世界。在工商业领域，计算机视觉的应用越来越多，比如人们用它来识别图片或视频中有没有人，判断图中的人是谁，判断前方有没有车辆或行人、有什么交通标志，等等。

本书特色

本书全面而系统地介绍了计算机视觉领域最著名的开源程序库——OpenCV。本书不只是简单列出了各种函数和类，而是由浅入深地介绍了 OpenCV 及有关算法，并通过详细的实用案例，让读者从零开始学习计算机视觉和 OpenCV，真正掌握相关程序的开发方法。

通过阅读本书，你将了解计算机视觉的基础知识，知道有关算法的来龙去脉，掌握 OpenCV 的总体架构和常用功能，学会用 OpenCV 解决具体问题。本书将带你进入图像和视频分析的世界，揭开图像识别、三维重建、目标跟踪、人脸识别等技术的神秘面纱。

第3版简介

这几年计算机视觉领域发展迅猛，OpenCV 也在持续升级。本书第3版针对 OpenCV 最新版本进行了修改，调整了很多函数和算法说明，还增加了立体图像深度检测、运动目标跟踪、人脸识别、人脸定位、行人检测等内容。

致谢

本书的翻译得到了朱巍老师的支持和帮助，在此表示感谢。由于本人水平有限，书中难免有疏忽和错误，恳请读者朋友们批评指正。

2018年1月于深圳

前 言

如今，计算机视觉和图像分析技术的应用越来越广泛，例如增强现实、辅助驾驶、视频监控等，但是要让计算机真正看懂现实世界，还有大量的工作要做。随着高性能又廉价的计算设备和视觉传感器的出现，创建复杂的图像处理程序比以往任何时候都要容易。虽然在图像和视频处理领域有很多软件工具和库可以选用，但如果想开发出智能的计算机视觉程序，OpenCV 是很好的选择。

OpenCV (Open source Computer Vision) 是一个开源程序库，包含了 500 多个用于图像和视频分析的优化算法。该程序库建立于 1999 年，目前在计算机视觉领域的研发人员社区中非常流行，被用作主要开发工具。OpenCV 最初由英特尔公司的 Gary Bradski 带领一个小组开发，其目的是推动计算机视觉的研究，促进基于大量视觉处理、CPU 密集型应用程序的开发。在一系列 beta 版本后，1.0 版于 2006 年发布。第二个重要版本是 2009 年发布的 OpenCV 2，它做了一些重要改动，特别是本书所用的新 C++ 接口。OpenCV 于 2012 年改组为一个非营利基金会 (<http://opencv.org/>)，依靠众筹进行后续开发。

OpenCV 在 2013 年升级到 OpenCV 3，主要的变化是提升了易用性。此外，OpenCV 的结构也有所调整，去掉了一些不必要的依赖项，一些较大的模块被分割成多个小模块，还简化了 API。本书为《OpenCV 计算机视觉编程攻略》的第 3 版，首次引入了 OpenCV 3 的内容，并且对旧版本中的所有编程方法进行了审核和更新，还增加了很多新内容以更全面地覆盖程序库的主要功能点。本书介绍了程序库的很多功能，并且讲述了如何使用这些功能完成特定的任务，这样做并不是为了详细罗列 OpenCV 中的所有函数和类，而是为读者提供从零起步开发应用的方法。本书还探讨了图像分析的基本概念，介绍了计算机视觉的一些重要算法。

本书将带你走进图像和视频分析的世界，但这只是个开始，因为 OpenCV 还在不断地演变和扩展。你可以访问 OpenCV 的在线文档 (<http://opencv.org/>) 获取最新资讯，也可以访问本书作者的个人网站 www.laganiere.name 了解有关本书的最新信息。

内容速览

第 1 章将介绍 OpenCV 库，演示如何构建一个可以读取并显示图像的简单应用，并介绍基本

的 OpenCV 数据结构。

第 2 章将解释读取图像的过程,描述扫描图像的不同方法,让你能在每一个像素上执行操作。

第 3 章涵盖各种面向对象设计模式的使用案例,这些设计模式能帮助你更好地构建计算机视觉程序。这一章也将讨论图像中有关颜色的概念。

第 4 章将解释如何计算图像的直方图,以及如何用直方图修改图像。这一章还将介绍基于直方图的各种应用,包括图像分割、目标检测和图像检索。

第 5 章将探讨数学形态学的概念,展示不同的算子,并解释如何用这些算子检测图像中的边界、角点和区段。

第 6 章将讲解频率分析和图像滤波的原理,介绍低通滤波器和高通滤波器在图像处理中的应用,并介绍导数算子的概念。

第 7 章将重点介绍几何图像特征的检测方法,解释如何提取图像中的轮廓、直线和连续区域。

第 8 章将介绍图像的几种特征点检测器。

第 9 章将解释如何计算兴趣点描述子,并用其在图像之间匹配兴趣点。

第 10 章将探讨同一场景中两个图像之间的投影关系,以及如何从图像中检测出特定的目标。

第 11 章将介绍如何重构三维场景,即利用多个图像重构某个场景的三维元素,并还原出相机的姿态。本章还将讲解相机标定的过程。

第 12 章将提出一个读写视频序列和处理帧的框架,并且展示如何提取在摄像机前移动的前景物体。

第 13 章将介绍跟踪运动目标的方法,包括如何计算视频中的表观运动,如何跟踪图像序列中的运动物体。

第 14 章将介绍机器学习的基本概念,并利用图像样本构建物体分类器。

阅读须知

本书基于 OpenCV 库的 C++ API 展开介绍,因此你需要有使用 C++ 语言的经验。另外,你还需要一个良好的 C++ 开发环境以便运行和试用书中的例子,常用的开发环境有 Microsoft Visual Studio 和 Qt。

读者对象

本书适合准备用 OpenCV 库开发计算机视觉应用的 C++ 初学者, 也适合想了解计算机视觉编程概念的专业软件开发人员。本书可作为大学计算机视觉课程的教材, 也是一本非常优秀的参考书, 可供图像处理和计算机视觉方面的研究生和科研人员使用。

小标题

本书将经常用到一些小标题(准备工作、如何实现、实现原理、扩展阅读、参阅)。为便于理解, 对小标题的使用做出以下约定。

准备工作

这部分将对准备实现的功能做简要介绍, 建立所需的软件环境并进行初步设置。

如何实现

这部分将讲解实现该功能的具体步骤。

实现原理

这部分将详细解释该功能的内部原理。

扩展阅读

这部分是补充知识, 以便读者深入理解相关知识点。

参阅

这部分将列出一些相关的网址。

排版规范

本书使用不同的文本样式区分不同类型的内容, 下面是一些样式示例和相关说明。

程序代码、数据库的表、用户输入等内容以这种格式显示: “可以用 `include` 指令包含额外的内容。”

代码块的格式为：

```
// 用LaplacianZC类计算拉普拉斯值
LaplacianZC laplacian;
laplacian.setAperture(7); // 7×7 拉普拉斯算子
cv::Mat flap= laplacian.computeLaplacian(image);
laplace= laplacian.getLaplacianImage();
```

需要特别注意的代码行，用加粗字体表示：

```
// 用LaplacianZC类计算拉普拉斯值
LaplacianZC laplacian;
laplacian.setAperture(7); // 7×7 拉普拉斯算子
cv::Mat flap= laplacian.computeLaplacian(image);
laplace= laplacian.getLaplacianImage();
```

新名词和重要内容会用**黑体字**表示。屏幕上菜单或对话框的显示形式为：“**点击下一步进入**下一个页面。”

读者反馈

我们一贯欢迎读者的反馈意见。请告诉我们你对本书的看法，喜欢或不喜欢哪些内容。这些反馈能帮助我们创作出真正对读者有所裨益的内容。

一般性的反馈意见，请直接发邮件到 feedback@packtpub.com，并在邮件标题中注明书名。

如果你是某一方面的专家并愿意参与写作或合作著书，请访问 www.packtpub.com/authors 查看作者指南。

客户支持

现在你已经拥有了一本由 Packt 出版的书，为了让你的付出得到最大的回报，我们还为你提供了其他许多方面的服务，请注意以下信息。

下载代码

你可以用 <http://www.packtpub.com> 的账号下载本书代码^①。如果你是从其他地方购买的本书英文版，那么可以访问 <http://www.packtpub.com/support> 并注册，然后会通过邮件接收到文件。

下载代码文件的步骤如下所示。

^① 本书中文版的读者可免费注册 iTuring.cn，至本书页面（<http://www.ituring.com.cn/book/1962>）下载。——编者注

- (1) 使用 E-mail 和密码登录网站。
- (2) 鼠标移动到 SUPPORT 标签。
- (3) 点击 Code Downloads & Errata。
- (4) 根据书名搜索。
- (5) 选择需要下载代码的图书。
- (6) 在下拉列表中选择图书的购买方式。
- (7) 点击 Code Download。

也可以在 Packt Publishing 网站搜索本书，进入本书页面后点击 Code Files 下载代码。注意，登录后才能进行有关操作。

可以用以下工具解压代码：

- WinRAR / 7-Zip (Windows);
- Zipeg / iZip / UnRarX (Mac);
- 7-Zip / PeaZip (Linux)。

此外还可以在 <https://github.com/PacktPublishing/OpenCV3-Computer-Vision-Application-Programming-Cookbook-Third-Edition> 下载代码。<https://github.com/PacktPublishing/>上还有其他图书的代码，欢迎下载。

访问本书作者的代码库 <https://github.com/laganiere> 也能下载到最新代码。

下载书中的彩色图片

为方便读者理解输出中的变化，我们已将书中用到的截图、图表等彩色图片做成了一个 PDF 文件。要下载该 PDF 文件，可以访问 <https://www.packtpub.com/sites/default/files/downloads/OpenCV3ComputerVisionApplicationProgrammingCookbookThirdEditionColorImages.pdf>。

勘误

我们已经尽最大努力确保内容准确，但错误仍在所难免。如果你发现书中有错（文字或代码错误），请告诉我们，这可免于让其他读者产生困惑，也可帮助我们在后续版本中加以改进。发现错误后，请访问 <http://www.packtpub.com/submit-errata>，选择对应的图书，点击链接 [errata submission form](#)（提交勘误表^①）登记错误详情。勘误通过核实后，你提交的错误信息会上传到网站或添加到该书已有的勘误表中。你可以在 <http://www.packtpub.com/support> 中通过书名查看已有的勘误表。

^① 中文版勘误请至本书页面（<http://www.it-ebooks.com.cn/book/1962>）查看和提交。——编者注

举报盗版

网络盗版是个老问题了。Packt 非常重视版权和许可。如果你在网上见到我们作品的任何形式的非法复制品，请将网址或网站名称及时告知我们，以便我们采取补救措施。

请将疑似盗版内容的链接发送到 copyright@packtpub.com。

非常感谢你的帮助，这不仅将保护作者权益，也让我们有能力为大家提供有价值的内容。

疑难解答

如果你有关于本书的任何疑问，请通过 questions@packtpub.com 联系我们，我们会尽力解决。

电子书

扫描如下二维码，即可购买本书电子版。



目 录

第 1 章 图像编程入门	1	2.2.3 实现原理	23
1.1 简介	1	2.2.4 扩展阅读	24
1.2 安装 OpenCV 库	1	2.2.5 参阅	24
1.2.1 准备工作	1	2.3 用指针扫描图像	24
1.2.2 如何实现	2	2.3.1 准备工作	25
1.2.3 实现原理	4	2.3.2 如何实现	25
1.2.4 扩展阅读	5	2.3.3 实现原理	26
1.2.5 参阅	6	2.3.4 扩展阅读	27
1.3 装载、显示和存储图像	6	2.3.5 参阅	31
1.3.1 准备工作	6	2.4 用迭代器扫描图像	31
1.3.2 如何实现	6	2.4.1 准备工作	31
1.3.3 实现原理	8	2.4.2 如何实现	31
1.3.4 扩展阅读	9	2.4.3 实现原理	32
1.3.5 参阅	11	2.4.4 扩展阅读	33
1.4 深入了解 cv::Mat	11	2.4.5 参阅	33
1.4.1 如何实现	11	2.5 编写高效的图像扫描循环	33
1.4.2 实现原理	13	2.5.1 如何实现	34
1.4.3 扩展阅读	16	2.5.2 实现原理	34
1.4.4 参阅	17	2.5.3 扩展阅读	36
1.5 定义感兴趣区域	17	2.5.4 参阅	36
1.5.1 准备工作	17	2.6 扫描图像并访问相邻像素	36
1.5.2 如何实现	17	2.6.1 准备工作	36
1.5.3 实现原理	18	2.6.2 如何实现	36
1.5.4 扩展阅读	18	2.6.3 实现原理	38
1.5.5 参阅	19	2.6.4 扩展阅读	38
第 2 章 操作像素	20	2.6.5 参阅	39
2.1 简介	20	2.7 实现简单的图像运算	39
2.2 访问像素值	21	2.7.1 准备工作	39
2.2.1 准备工作	21	2.7.2 如何实现	40
2.2.2 如何实现	21	2.7.3 实现原理	40
		2.7.4 扩展阅读	41

2.8 图像重映射	42	4.4.1 如何实现	78
2.8.1 如何实现	42	4.4.2 实现原理	79
2.8.2 实现原理	43	4.5 反向投影直方图检测特定图像内容	79
2.8.3 参阅	44	4.5.1 如何实现	80
第3章 处理图像的颜色	45	4.5.2 实现原理	81
3.1 简介	45	4.5.3 扩展阅读	82
3.2 用策略设计模式比较颜色	45	4.5.4 参阅	84
3.2.1 如何实现	46	4.6 用均值平移算法查找目标	85
3.2.2 实现原理	47	4.6.1 如何实现	85
3.2.3 扩展阅读	50	4.6.2 实现原理	87
3.2.4 参阅	53	4.6.3 参阅	88
3.3 用 GrabCut 算法分割图像	53	4.7 比较直方图搜索相似图像	88
3.3.1 如何实现	54	4.7.1 如何实现	88
3.3.2 实现原理	56	4.7.2 实现原理	90
3.3.3 参阅	56	4.7.3 参阅	90
3.4 转换颜色表示法	56	4.8 用积分图像统计像素	91
3.4.1 如何实现	57	4.8.1 如何实现	91
3.4.2 实现原理	58	4.8.2 实现原理	92
3.4.3 参阅	59	4.8.3 扩展阅读	93
3.5 用色调、饱和度和亮度表示颜色	59	4.8.4 参阅	99
3.5.1 如何实现	59	第5章 用形态学运算变换图像	100
3.5.2 实现原理	61	5.1 简介	100
3.5.3 拓展阅读	64	5.2 用形态学滤波器腐蚀和膨胀图像	100
3.5.4 参阅	66	5.2.1 准备工作	101
第4章 用直方图统计像素	67	5.2.2 如何实现	101
4.1 简介	67	5.2.3 实现原理	102
4.2 计算图像直方图	67	5.2.4 扩展阅读	103
4.2.1 准备工作	68	5.2.5 参阅	104
4.2.2 如何实现	68	5.3 用形态学滤波器开启和闭合图像	104
4.2.3 实现原理	72	5.3.1 如何实现	104
4.2.4 扩展阅读	72	5.3.2 实现原理	105
4.2.5 参阅	74	5.3.3 参阅	106
4.3 利用查找表修改图像外观	74	5.4 在灰度图像中应用形态学运算	106
4.3.1 如何实现	74	5.4.1 如何实现	106
4.3.2 实现原理	75	5.4.2 实现原理	107
4.3.3 扩展阅读	76	5.4.3 参阅	108
4.3.4 参阅	78	5.5 用分水岭算法实现图像分割	108
4.4 直方图均衡化	78	5.5.1 如何实现	109
		5.5.2 实现原理	111

5.5.3 扩展阅读	112	7.3.2 如何实现	147
5.5.4 参阅	114	7.3.3 实现原理	151
5.6 用 MSER 算法提取特征区域	114	7.3.4 扩展阅读	153
5.6.1 如何实现	114	7.3.5 参阅	155
5.6.2 实现原理	116	7.4 点集的直线拟合	155
5.6.3 参阅	118	7.4.1 如何实现	155
第 6 章 图像滤波	119	7.4.2 实现原理	157
6.1 简介	119	7.4.3 扩展阅读	158
6.2 低通滤波器	120	7.5 提取连续区域	158
6.2.1 如何实现	120	7.5.1 如何实现	159
6.2.2 实现原理	121	7.5.2 实现原理	160
6.2.3 参阅	123	7.5.3 扩展阅读	161
6.3 用滤波器进行缩减像素采样	124	7.6 计算区域的形状描述子	161
6.3.1 如何实现	124	7.6.1 如何实现	162
6.3.2 实现原理	125	7.6.2 实现原理	163
6.3.3 扩展阅读	126	7.6.3 扩展阅读	164
6.3.4 参阅	127	第 8 章 检测兴趣点	166
6.4 中值滤波器	128	8.1 简介	166
6.4.1 如何实现	128	8.2 检测图像中的角点	166
6.4.2 实现原理	129	8.2.1 如何实现	167
6.5 用定向滤波器检测边缘	129	8.2.2 实现原理	171
6.5.1 如何实现	130	8.2.3 扩展阅读	172
6.5.2 实现原理	132	8.2.4 参阅	174
6.5.3 扩展阅读	135	8.3 快速检测特征	174
6.5.4 参阅	136	8.3.1 如何实现	174
6.6 计算拉普拉斯算子	136	8.3.2 实现原理	175
6.6.1 如何实现	137	8.3.3 扩展阅读	176
6.6.2 实现原理	138	8.3.4 参阅	178
6.6.3 扩展阅读	141	8.4 尺度不变特征的检测	178
6.6.4 参阅	142	8.4.1 如何实现	179
第 7 章 提取直线、轮廓和区域	143	8.4.2 实现原理	180
7.1 简介	143	8.4.3 扩展阅读	181
7.2 用 Canny 算子检测图像轮廓	143	8.4.4 参阅	183
7.2.1 如何实现	143	8.5 多尺度 FAST 特征的检测	183
7.2.2 实现原理	145	8.5.1 如何实现	183
7.2.3 参阅	146	8.5.2 实现原理	184
7.3 用霍夫变换检测直线	146	8.5.3 扩展阅读	185
7.3.1 准备工作	146	8.5.4 参阅	186

第 9 章 描述和匹配兴趣点	187	第 11 章 三维重建	225
9.1 简介	187	11.1 简介	225
9.2 局部模板匹配	187	11.2 相机标定	226
9.2.1 如何实现	188	11.2.1 如何实现	227
9.2.2 实现原理	190	11.2.2 实现原理	230
9.2.3 扩展阅读	191	11.2.3 扩展阅读	232
9.2.4 参阅	192	11.2.4 参阅	233
9.3 描述并匹配局部强度值模式	192	11.3 相机姿态还原	233
9.3.1 如何实现	193	11.3.1 如何实现	233
9.3.2 实现原理	195	11.3.2 实现原理	235
9.3.3 扩展阅读	196	11.3.3 扩展阅读	236
9.3.4 参阅	199	11.3.4 参阅	238
9.4 用二值描述子匹配关键点	199	11.4 用标定相机实现三维重建	238
9.4.1 如何实现	199	11.4.1 如何实现	238
9.4.2 实现原理	200	11.4.2 实现原理	241
9.4.3 扩展阅读	201	11.4.3 扩展阅读	243
9.4.4 参阅	202	11.4.4 参阅	244
第 10 章 估算图像之间的投影关系	203	11.5 计算立体图像的深度	244
10.1 简介	203	11.5.1 准备工作	244
10.2 计算图像对的基础矩阵	205	11.5.2 如何实现	245
10.2.1 准备工作	205	11.5.3 实现原理	247
10.2.2 如何实现	206	11.5.4 参阅	247
10.2.3 实现原理	208	第 12 章 处理视频序列	248
10.2.4 参阅	209	12.1 简介	248
10.3 用 RANSAC (随机抽样一致性)		12.2 读取视频序列	248
算法匹配图像	209	12.2.1 如何实现	248
10.3.1 如何实现	209	12.2.2 实现原理	250
10.3.2 实现原理	212	12.2.3 扩展阅读	251
10.3.3 扩展阅读	213	12.2.4 参阅	251
10.4 计算两幅图像之间的单应矩阵	214	12.3 处理视频帧	251
10.4.1 准备工作	214	12.3.1 如何实现	251
10.4.2 如何实现	215	12.3.2 实现原理	252
10.4.3 实现原理	217	12.3.3 扩展阅读	256
10.4.4 扩展阅读	218	12.3.4 参阅	258
10.4.5 参阅	219	12.4 写入视频帧	258
10.5 检测图像中的平面目标	219	12.4.1 如何实现	259
10.5.1 如何实现	219	12.4.2 实现原理	259
10.5.2 实现原理	221	12.4.3 扩展阅读	262
10.5.3 参阅	224	12.4.4 参阅	263

12.5 提取视频中的前景物体·····	263	13.4.3 参阅·····	284
12.5.1 如何实现·····	264	第 14 章 实用案例 ·····	285
12.5.2 实现原理·····	266	14.1 简介·····	285
12.5.3 扩展阅读·····	266	14.2 人脸识别·····	286
12.5.4 参阅·····	268	14.2.1 如何实现·····	286
第 13 章 跟踪运动目标 ·····	269	14.2.2 实现原理·····	288
13.1 简介·····	269	14.2.3 参阅·····	290
13.2 跟踪视频中的特征点·····	269	14.3 人脸定位·····	291
13.2.1 如何实现·····	269	14.3.1 准备工作·····	291
13.2.2 实现原理·····	274	14.3.2 如何实现·····	292
13.2.3 参阅·····	274	14.3.3 实现原理·····	295
13.3 估算光流·····	275	14.3.4 扩展阅读·····	297
13.3.1 准备工作·····	275	14.3.5 参阅·····	298
13.3.2 如何实现·····	276	14.4 行人检测·····	298
13.3.3 实现原理·····	278	14.4.1 准备工作·····	298
13.3.4 参阅·····	279	14.4.2 如何实现·····	299
13.4 跟踪视频中的物体·····	279	14.4.3 实现原理·····	302
13.4.1 如何实现·····	279	14.4.4 扩展阅读·····	304
13.4.2 实现原理·····	282	14.4.5 参阅·····	308