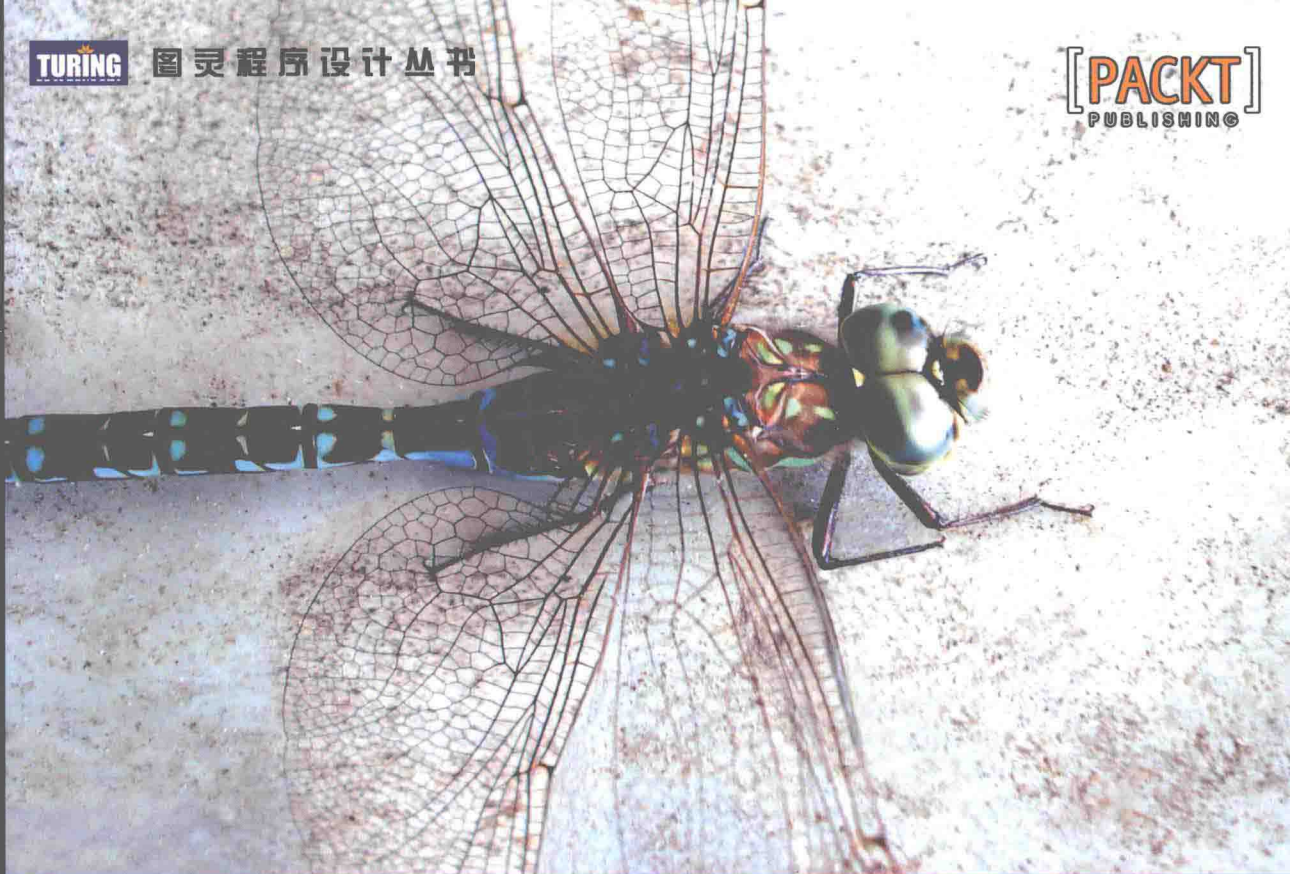


TURING

图灵程序设计丛书

[PACKT]  
PUBLISHING



[加] Robert Laganière 著 相银初 译

# OpenCV

# 计算机视觉编程攻略

(第2版)

OpenCV Computer Vision Application Programming Cookbook, Second Edition



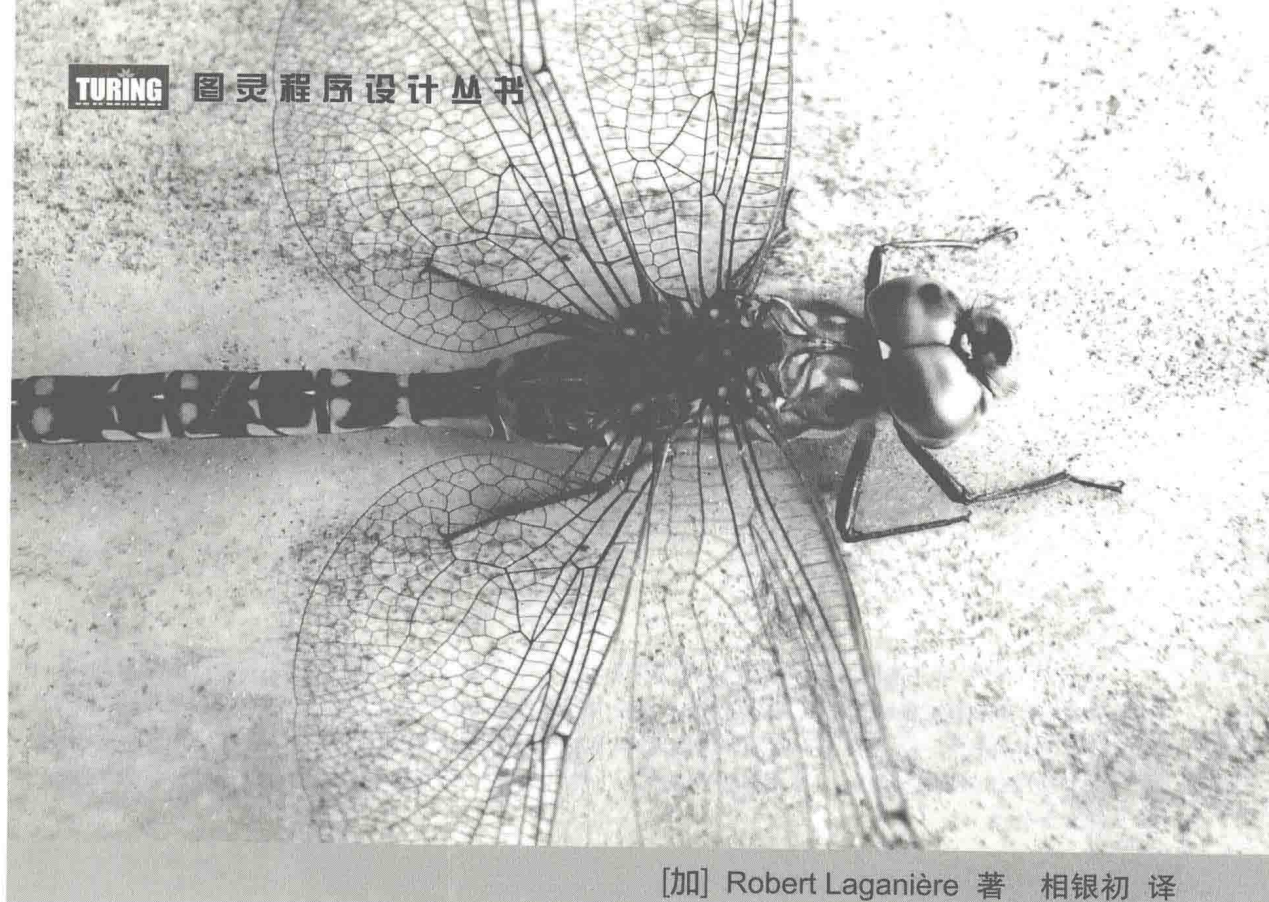
中国工信出版集团



人民邮电出版社  
POSTS & TELECOM PRESS

TURING

图灵程序设计丛书



[加] Robert Laganière 著 相银初 译

# OpenCV

# 计算机视觉编程攻略

(第2版)

OpenCV Computer Vision Application Programming Cookbook, Second Edition

人民邮电出版社  
北京

## 图书在版编目 (CIP) 数据

OpenCV计算机视觉编程攻略：第2版 / (加) 拉戈尼  
尔著；相银初译. -- 北京：人民邮电出版社，2015.9  
(图灵程序设计丛书)  
ISBN 978-7-115-39850-5

I. ①O… II. ①拉… ②相… 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(2015)第156374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。

本书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。

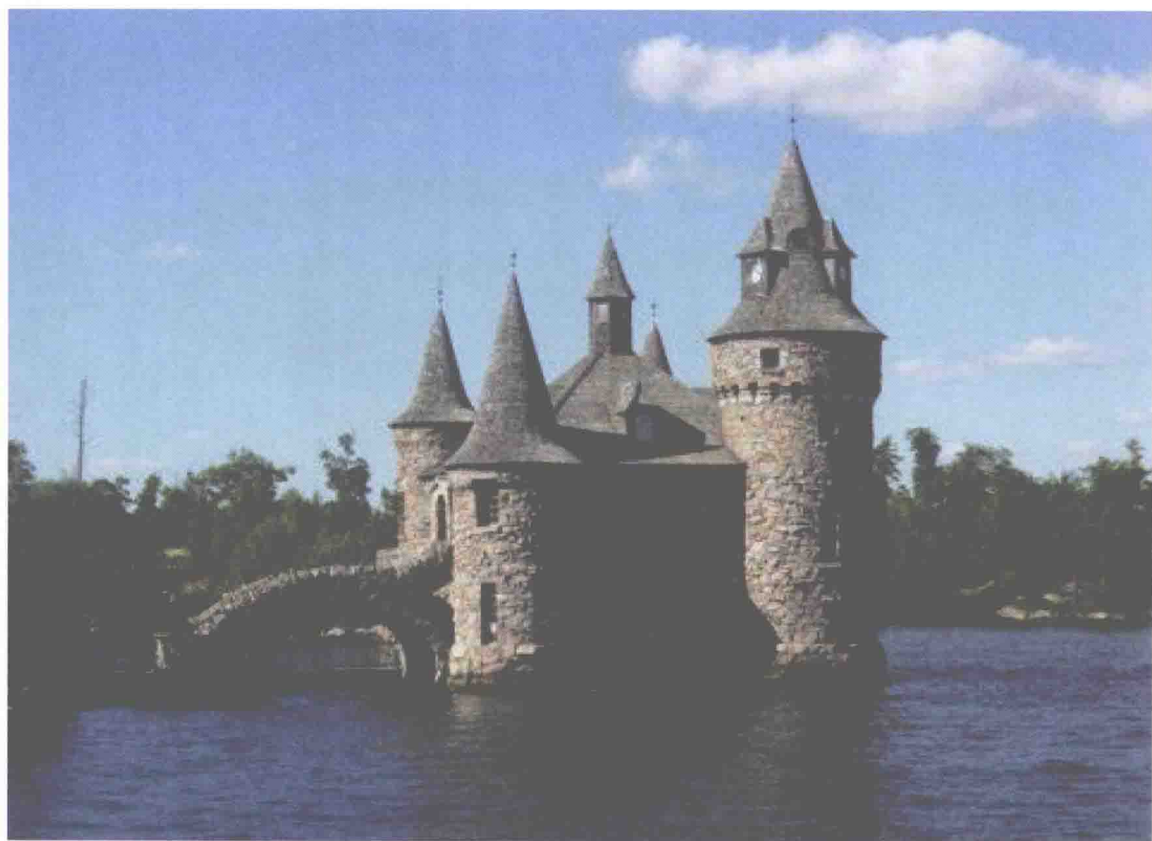
- 
- ◆ 著 [加] Robert Laganière  
译 相银初  
责任编辑 李松峰 毛倩倩  
执行编辑 夏长青  
责任印制 杨林杰
  - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路11号  
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn  
网址 <http://www.ptpress.com.cn>  
北京鑫正大印刷有限公司印刷
  - ◆ 开本：800×1000 1/16  
印张：17 彩插：2  
字数：429千字 2015年9月第1版  
印数：1-4 000册 2015年9月北京第1次印刷
- 著作权合同登记号 图字：01-2014-7059号
- 

定价：59.00元

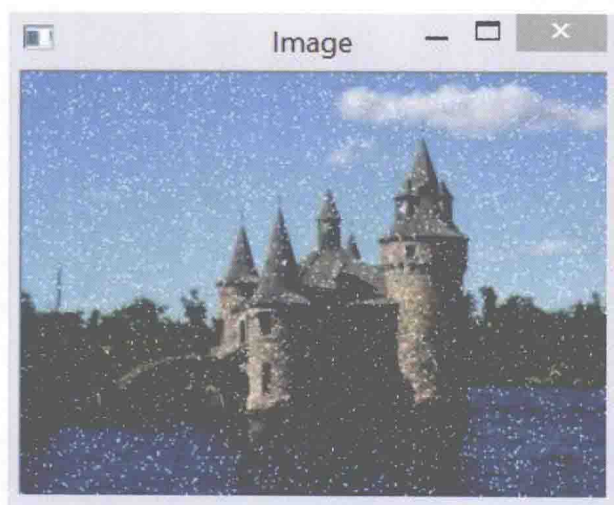
读者服务热线：(010)51095186转600 印装质量热线：(010)81055316

反盗版热线：(010)81055315

广告经营许可证：京崇工商广字第 0021 号



彩图 1



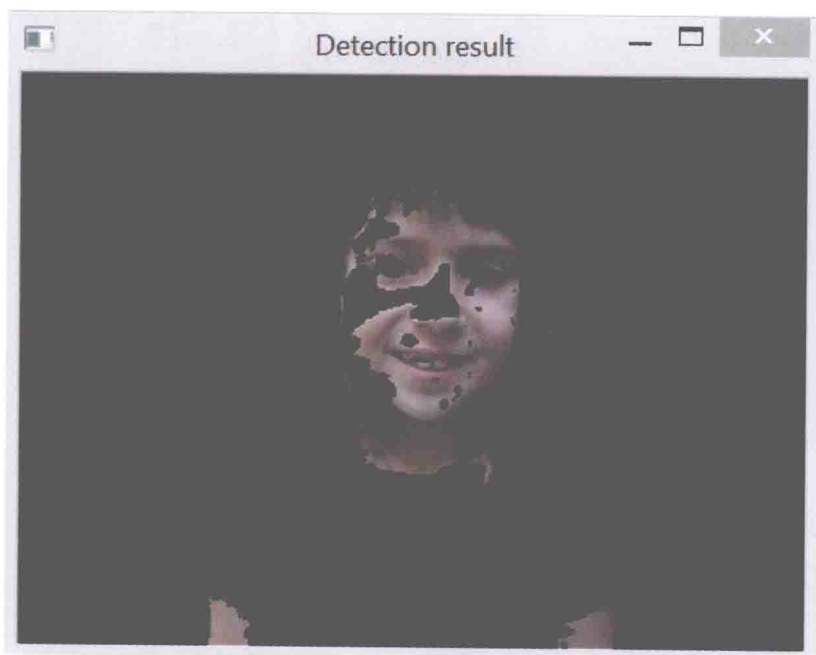
彩图 2



彩图 3



彩图 4



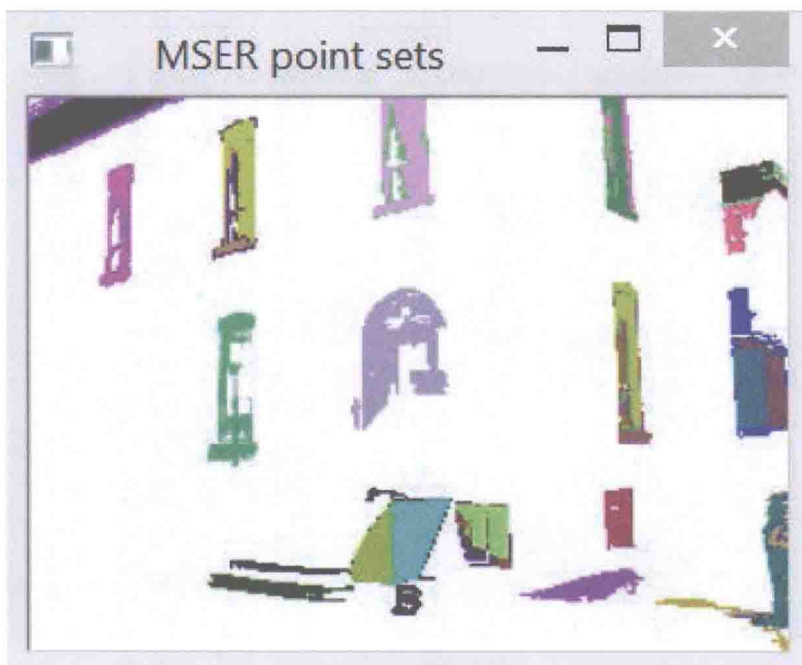
彩图 5



彩图 6



彩图 7



彩图 8

# 译者序

## 计算机视觉：电脑和智能手机的眼睛

人们经常将电脑与人脑作对比。电脑能够处理信息，并且速度非常快，但是电脑和人脑仍有很多本质上的差别，其中之一就是获取信息的方式。人类的信息超过80%是通过视觉获得的，而电脑的信息几乎全部是通过键盘鼠标录入的。你也许会说电脑中有很多多媒体信息，如图像、视频等，但严格来说这些还不能算是“信息”，因为电脑只是存储了它们，并不“认识”它们。电脑存储了大量的照片和视频，但不认识照片上的人是谁，不知道照片中的风景是在哪里拍摄的。

经常看到这样的新闻：某地为了破案，组织几十位警察、花几十个小时查看各路口的监控录像，查找嫌疑人的行踪。为什么这么麻烦？就是因为电脑只是录下视频并存储起来，并没有“认出”视频中的人。否则，只要一条数据库查询语句就解决问题了：“select 时间, 视频监控点 from 监控记录 where 视频中的人脸 = 嫌疑人的脸 order by 时间。”

为解决这些问题，人们开始发展计算机视觉这门学科。计算机视觉相当于给电脑装上了真正的眼睛，使它能理解所看到的内容。它的应用非常广泛，从扫描二维码、指纹考勤，到人脸识别、车牌识别、基于内容的图像搜索、根据拍摄的景物自动定位、用手势控制游戏机、根据多幅平面图像还原3D现场、眼球活动操作电脑（科学家霍金）、无人驾驶汽车，等等。

## 本书特色

OpenCV是计算机视觉领域使用最广泛的开源程序库。本书并不是简单地列出各种函数和类，而是由浅入深地介绍OpenCV及有关算法，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，学会OpenCV的总体架构和常用功能，掌握用OpenCV解决具体问题的方法。本书将带你进入图像和视频分析的世界，揭开图像识别、图像配准、视觉跟踪、三维重建等技术的神秘面纱。



## 翻译过程中的一些体会

说实话,本书的翻译任务还是比较有挑战性的。这主要是因为和纯粹的软件开发类书籍相比,本书所包含的专业术语比较多,并且很多术语并没有统一和规范的中文译法。部分专业术语有多种中文译法,却没有某一种是权威的并且被大家接受的,有的甚至几乎还没有对应的中文术语。而作为一本正式的出版物,如果书中有太多的中英文混杂,不仅不够严谨,而且会让读者产生视觉疲劳,不利于阅读和沟通。因此我在翻译过程中查阅了大量的资料,尽可能在书中使用规范和权威的中文术语,如果确实没有,就选择较为常用的译法。

不过从另一个角度看,这也正好说明国内该领域的开发和应用还处于起步阶段,有相当大的发展前景。随着计算机视觉和OpenCV方面国内开发人员和中文技术资料的增加,该领域将逐步建成统一和规范的中文术语库,专业术语翻译问题很快会得到解决。

## 致谢

在本书的翻译过程中,我得到了图灵公司李松峰和毛倩倩老师的支持和帮助,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。

2014年12月于深圳

# 前 言

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, 现在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。

本书这一版对旧版本中的所有编程方法重新审核和更新, 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, 并且讲述如何使用这些功能完成特定的任务, 这样做的目的并不是详细罗列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。

本书将带你进入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/> ) 获得最新资料, 也可以访问本书作者的个人网站[www.laganiere.name](http://www.laganiere.name)了解有关本书的最新信息。

## 内容速览

第1章介绍OpenCV库, 并演示如何构建一个可以读取并显示图像的简单应用, 同时介绍基本的OpenCV数据结构。

第2章解释读取图像的过程, 描述了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章涵盖了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。这一章也讨论了图像中有关颜色的概念。

第4章展示如何计算图像的直方图, 以及如何用直方图修改图像。这一章介绍了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，而且介绍了导数算子的概念。

第7章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、直线和连通区域。

第8章介绍图像的几种特征点检测器。

第9章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章探讨同一场景中两个图像之间的投影关系，同时描述了摄像机校准的过程，且重新探讨匹配特征点的问题。

第11章提出一个读写视频序列和处理帧的框架，同时说明它怎样才能逐帧跟踪特征点，以及如何提取在摄像机前移动的前景物体。

## 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，你还需要有一个良好的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参考阅读。本书可作为大学计算机视觉课程的学生用书，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。

## 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。

正文中的代码、用户输入等以这种格式显示：“cv::Mat的create方法内部封装了这个检查过程，用起来很方便。”

代码块的格式如下：

```
// 用Mat_模板操作图像
cv::Mat_<uchar> im2(image);
im2(50,100)= 0; // 访问第50行、第100列处那个值
```

## 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。读者的反馈对于协助我们创作出真正对读者有所裨益的内容至关重要。

一般性的反馈意见，请直接发邮件到[feedback@packtpub.com](mailto: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](http://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

如果你是通过<http://www.packtpub.com>上的注册账户购买的图书，可以从该账户下载相应Packt图书的示例代码<sup>①</sup>。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，然后通过邮件接收到文件。

## 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，这可让其他读者免于困惑，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<sup>②</sup>）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。

## 举报盗版

网络盗版是个老问题了。在Packt，我们非常重视版权和许可。如果你在网上见到对我们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。

---

① 本书中文版的读者可免费注册iTuring.cn，至本书页面下载。——编者注

② 中文版的勘误请注册iTuring.cn，至本书页面提交。——编者注

请将疑似盗版内容的链接发送到[copyright@packtpub.com](mailto: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](mailto:questions@packtpub.com)联系我们，我们会尽力解决。

# 目 录

|                  |    |                 |    |
|------------------|----|-----------------|----|
| 第 1 章 图像编程入门     | 1  | 2.2.3 实现原理      | 24 |
| 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        | 25 |
| 1.2.1 准备工作       | 1  | 2.3 用指针扫描图像     | 25 |
| 1.2.2 安装         | 2  | 2.3.1 准备工作      | 25 |
| 1.2.3 实现原理       | 3  | 2.3.2 如何实现      | 26 |
| 1.2.4 扩展阅读       | 4  | 2.3.3 实现原理      | 27 |
| 1.2.5 参阅         | 6  | 2.3.4 扩展阅读      | 28 |
| 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      | 32 |
| 1.3.3 实现原理       | 8  | 2.4.2 如何实现      | 32 |
| 1.3.4 扩展阅读       | 9  | 2.4.3 实现原理      | 32 |
| 1.3.5 参阅         | 12 | 2.4.4 扩展阅读      | 33 |
| 1.4 深入了解 cv::Mat | 12 | 2.4.5 参阅        | 34 |
| 1.4.1 如何实现       | 12 | 2.5 编写高效的图像扫描循环 | 34 |
| 1.4.2 实现原理       | 14 | 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 定义兴趣区域       | 18 | 2.5.4 参阅        | 36 |
| 1.5.1 准备工作       | 18 | 2.6 扫描图像并访问相邻像素 | 36 |
| 1.5.2 如何实现       | 18 | 2.6.1 准备工作      | 36 |
| 1.5.3 实现原理       | 19 | 2.6.2 如何实现      | 37 |
| 1.5.4 扩展阅读       | 19 | 2.6.3 实现原理      | 38 |
| 1.5.5 参阅         | 20 | 2.6.4 扩展阅读      | 39 |
| 第 2 章 操作像素       | 21 | 2.6.5 参阅        | 39 |
| 2.1 简介           | 21 | 2.7 实现简单的图像运算   | 40 |
| 2.2 访问像素值        | 22 | 2.7.1 准备工作      | 40 |
| 2.2.1 准备工作       | 22 | 2.7.2 如何实现      | 40 |
| 2.2.2 如何实现       | 22 | 2.7.3 实现原理      | 41 |
|                  |    | 2.7.4 扩展阅读      | 41 |

|                       |           |                       |            |
|-----------------------|-----------|-----------------------|------------|
| 2.8 图像重映射             | 42        | 4.3.3 扩展阅读            | 75         |
| 2.8.1 如何实现            | 43        | 4.3.4 参阅              | 77         |
| 2.8.2 实现原理            | 43        | 4.4 直方图均衡化            | 78         |
| 2.8.3 参阅              | 44        | 4.4.1 如何实现            | 78         |
| <b>第3章 用类处理彩色图像</b>   | <b>45</b> | 4.4.2 实现原理            | 79         |
| 3.1 简介                | 45        | 4.5 反向投影直方图检测特定图像内容   | 79         |
| 3.2 在算法设计中使用策略模式      | 45        | 4.5.1 如何实现            | 79         |
| 3.2.1 准备工作            | 46        | 4.5.2 实现原理            | 81         |
| 3.2.2 如何实现            | 46        | 4.5.3 扩展阅读            | 81         |
| 3.2.3 实现原理            | 47        | 4.5.4 参阅              | 84         |
| 3.2.4 扩展阅读            | 50        | 4.6 均值平移算法查找目标        | 84         |
| 3.2.5 参阅              | 52        | 4.6.1 如何实现            | 85         |
| 3.3 用控制器设计模式实现功能模块间通信 | 52        | 4.6.2 实现原理            | 87         |
| 3.3.1 准备工作            | 53        | 4.6.3 参阅              | 88         |
| 3.3.2 如何实现            | 53        | 4.7 比较直方图搜索相似图像       | 88         |
| 3.3.3 实现原理            | 55        | 4.7.1 如何实现            | 88         |
| 3.3.4 扩展阅读            | 56        | 4.7.2 实现原理            | 90         |
| 3.4 转换颜色表示法           | 57        | 4.7.3 参阅              | 90         |
| 3.4.1 准备工作            | 57        | 4.8 用积分图像统计像素         | 91         |
| 3.4.2 如何实现            | 57        | 4.8.1 如何实现            | 91         |
| 3.4.3 实现原理            | 58        | 4.8.2 实现原理            | 92         |
| 3.4.4 参阅              | 59        | 4.8.3 扩展阅读            | 93         |
| 3.5 用色调、饱和度、亮度表示颜色    | 59        | 4.8.4 参阅              | 99         |
| 3.5.1 如何实现            | 60        | <b>第5章 用形态学运算变换图像</b> | <b>100</b> |
| 3.5.2 实现原理            | 61        | 5.1 简介                | 100        |
| 3.5.3 扩展阅读            | 63        | 5.2 形态学滤波器腐蚀和膨胀图像     | 100        |
| <b>第4章 用直方图统计像素</b>   | <b>66</b> | 5.2.1 准备工作            | 101        |
| 4.1 简介                | 66        | 5.2.2 如何实现            | 101        |
| 4.2 计算图像直方图           | 66        | 5.2.3 实现原理            | 102        |
| 4.2.1 准备工作            | 67        | 5.2.4 扩展阅读            | 104        |
| 4.2.2 如何实现            | 67        | 5.2.5 参阅              | 104        |
| 4.2.3 实现原理            | 71        | 5.3 用形态学滤波器开启和闭合图像    | 104        |
| 4.2.4 扩展阅读            | 71        | 5.3.1 如何实现            | 104        |
| 4.2.5 参阅              | 73        | 5.3.2 实现原理            | 105        |
| 4.3 利用查找表修改图像外观       | 73        | 5.3.3 参阅              | 106        |
| 4.3.1 如何实现            | 74        | 5.4 用形态学滤波器检测边缘和角点    | 106        |
| 4.3.2 实现原理            | 74        | 5.4.1 准备工作            | 106        |
|                       |           | 5.4.2 如何实现            | 107        |
|                       |           | 5.4.3 实现原理            | 109        |

|                         |            |                    |            |
|-------------------------|------------|--------------------|------------|
| 5.4.4 参阅                | 110        | 7.2.2 实现原理         | 148        |
| 5.5 用分水岭算法实现图像分割        | 110        | 7.2.3 参阅           | 150        |
| 5.5.1 如何实现              | 111        | 7.3 用霍夫变换检测直线      | 150        |
| 5.5.2 实现原理              | 114        | 7.3.1 准备工作         | 150        |
| 5.5.3 扩展阅读              | 115        | 7.3.2 如何实现         | 150        |
| 5.5.4 参阅                | 116        | 7.3.3 实现原理         | 154        |
| 5.6 用 MSER 算法提取特征区域     | 116        | 7.3.4 扩展阅读         | 157        |
| 5.6.1 如何实现              | 117        | 7.3.5 参阅           | 158        |
| 5.6.2 实现原理              | 118        | 7.4 点集的直线拟合        | 158        |
| 5.6.3 参阅                | 121        | 7.4.1 如何实现         | 159        |
| 5.7 用 GrabCut 算法提取前景物体  | 121        | 7.4.2 实现原理         | 161        |
| 5.7.1 如何实现              | 121        | 7.4.3 扩展阅读         | 161        |
| 5.7.2 实现原理              | 123        | 7.5 提取区域的轮廓        | 161        |
| 5.7.3 参阅                | 124        | 7.5.1 如何实现         | 162        |
| <b>第 6 章 图像滤波</b>       | <b>125</b> | 7.5.2 实现原理         | 163        |
| 6.1 简介                  | 125        | 7.5.3 扩展阅读         | 164        |
| 6.2 低通滤波器               | 126        | 7.6 计算区域的形状描述子     | 164        |
| 6.2.1 如何实现              | 126        | 7.6.1 如何实现         | 165        |
| 6.2.2 实现原理              | 127        | 7.6.2 实现原理         | 166        |
| 6.2.3 扩展阅读              | 129        | 7.6.3 扩展阅读         | 167        |
| 6.2.4 参阅                | 132        | <b>第 8 章 检测兴趣点</b> | <b>169</b> |
| 6.3 中值滤波器               | 133        | 8.1 简介             | 169        |
| 6.3.1 如何实现              | 133        | 8.2 检测图像中的角点       | 169        |
| 6.3.2 实现原理              | 134        | 8.2.1 如何实现         | 170        |
| 6.4 用定向滤波器检测边缘          | 134        | 8.2.2 实现原理         | 174        |
| 6.4.1 如何实现              | 135        | 8.2.3 扩展阅读         | 176        |
| 6.4.2 实现原理              | 137        | 8.2.4 参阅           | 177        |
| 6.4.3 扩展阅读              | 139        | 8.3 快速检测特征         | 178        |
| 6.4.4 参阅                | 141        | 8.3.1 如何实现         | 178        |
| 6.5 计算拉普拉斯算子            | 141        | 8.3.2 实现原理         | 179        |
| 6.5.1 如何实现              | 141        | 8.3.3 扩展阅读         | 180        |
| 6.5.2 实现原理              | 143        | 8.3.4 参阅           | 182        |
| 6.5.3 扩展阅读              | 145        | 8.4 尺度不变特征的检测      | 182        |
| 6.5.4 参阅                | 146        | 8.4.1 如何实现         | 183        |
| <b>第 7 章 提取直线、轮廓和区域</b> | <b>147</b> | 8.4.2 实现原理         | 184        |
| 7.1 简介                  | 147        | 8.4.3 扩展阅读         | 185        |
| 7.2 用 Canny 算子检测图像轮廓    | 147        | 8.4.4 参阅           | 186        |
| 7.2.1 如何实现              | 147        | 8.5 多尺度 FAST 特征的检测 | 187        |
|                         |            | 8.5.1 如何实现         | 187        |



|                           |     |                      |     |
|---------------------------|-----|----------------------|-----|
| 8.5.2 实现原理                | 188 | 10.4.2 实现原理          | 224 |
| 8.5.3 扩展阅读                | 188 | 10.4.3 扩展阅读          | 225 |
| 8.5.4 参阅                  | 190 | 10.5 计算两幅图像之间的单应矩阵   | 226 |
| <b>第 9 章 描述和匹配兴趣点</b>     | 191 | 10.5.1 准备工作          | 226 |
| 9.1 简介                    | 191 | 10.5.2 如何实现          | 227 |
| 9.2 局部模板匹配                | 191 | 10.5.3 实现原理          | 229 |
| 9.2.1 如何实现                | 192 | 10.5.4 扩展阅读          | 230 |
| 9.2.2 实现原理                | 194 | 10.5.5 参阅            | 232 |
| 9.2.3 扩展阅读                | 195 | <b>第 11 章 处理视频序列</b> | 233 |
| 9.2.4 参阅                  | 196 | 11.1 简介              | 233 |
| 9.3 描述局部强度值模式             | 196 | 11.2 读取视频序列          | 233 |
| 9.3.1 如何实现                | 197 | 11.2.1 如何实现          | 233 |
| 9.3.2 实现原理                | 198 | 11.2.2 实现原理          | 235 |
| 9.3.3 扩展阅读                | 200 | 11.2.3 扩展阅读          | 236 |
| 9.3.4 参阅                  | 203 | 11.2.4 参阅            | 236 |
| 9.4 用二值特征描述关键点            | 203 | 11.3 处理视频帧           | 236 |
| 9.4.1 如何实现                | 203 | 11.3.1 如何实现          | 236 |
| 9.4.2 实现原理                | 204 | 11.3.2 实现原理          | 237 |
| 9.4.3 扩展阅读                | 205 | 11.3.3 扩展阅读          | 241 |
| 9.4.4 参阅                  | 206 | 11.3.4 参阅            | 244 |
| <b>第 10 章 估算图像之间的投影关系</b> | 207 | 11.4 写入视频帧           | 244 |
| 10.1 简介                   | 207 | 11.4.1 如何实现          | 244 |
| 10.2 相机校准                 | 209 | 11.4.2 实现原理          | 245 |
| 10.2.1 如何实现               | 209 | 11.4.3 扩展阅读          | 247 |
| 10.2.2 实现原理               | 213 | 11.4.4 参阅            | 249 |
| 10.2.3 扩展阅读               | 216 | 11.5 跟踪视频中的特征点       | 249 |
| 10.2.4 参阅                 | 216 | 11.5.1 如何实现          | 249 |
| 10.3 计算图像对的基础矩阵           | 216 | 11.5.2 实现原理          | 253 |
| 10.3.1 准备工作               | 217 | 11.5.3 参阅            | 254 |
| 10.3.2 如何实现               | 218 | 11.6 提取视频中的前景物体      | 254 |
| 10.3.3 实现原理               | 219 | 11.6.1 如何实现          | 255 |
| 10.3.4 参阅                 | 220 | 11.6.2 实现原理          | 257 |
| 10.4 用 RANSAC ( 随机抽样一致性 ) |     | 11.6.3 扩展阅读          | 257 |
| 算法匹配图像                    | 220 | 11.6.4 参阅            | 259 |
| 10.4.1 如何实现               | 221 |                      |     |