

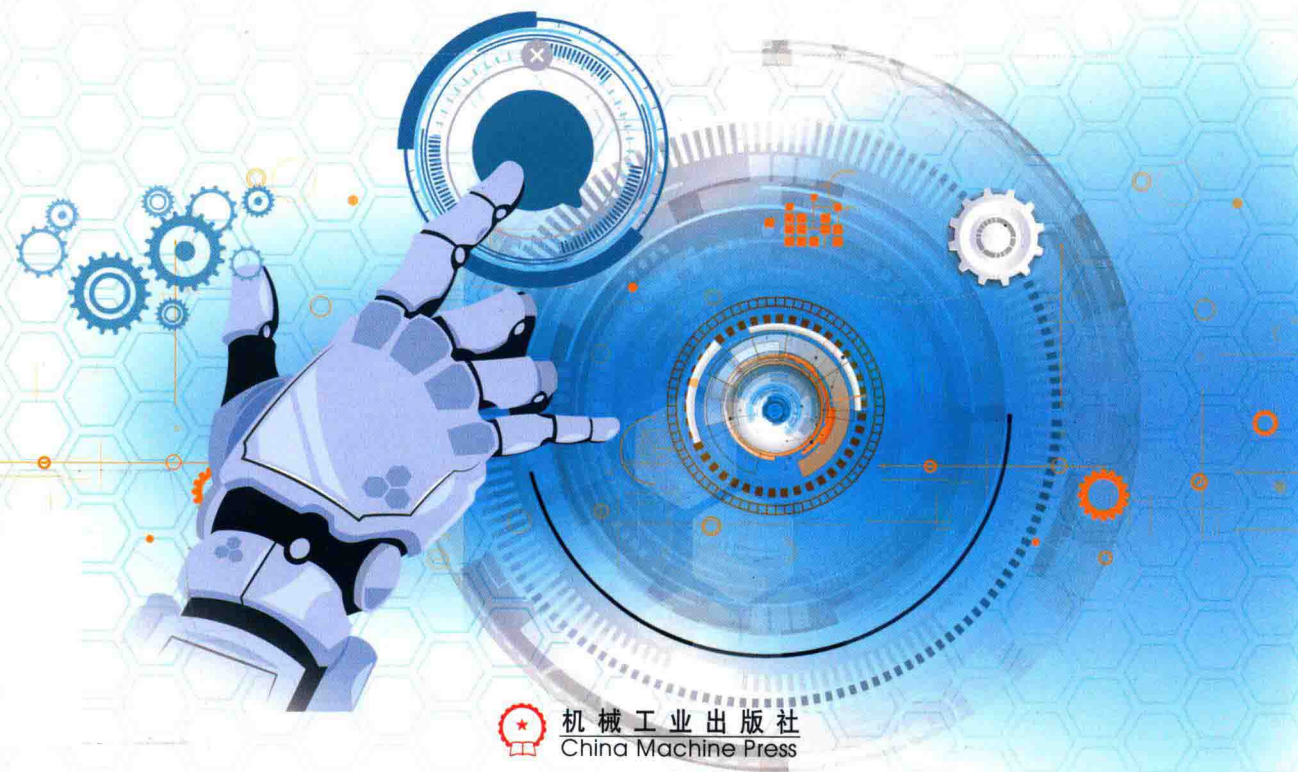
Learn OpenCV 4 by Building Projects  
Second Edition

# OpenCV 4

## 计算机视觉项目实战

(原书第2版)

[西班牙] 大卫·米兰·埃斯科里瓦 (David Millán Escrivá)  
维尼休斯·G. 门东萨 (Vinicius G. Mendonça) 著  
[美] 普拉蒂克·乔希 (Prateek Joshi)  
冀臻 译



Learn OpenCV 4 by Building Projects  
Second Edition

# OpenCV 4

## 计算机视觉项目实战

(原书第2版)

[西班牙] 大卫·米兰·埃斯克里瓦 (David Millán Escrivá)  
维尼休斯·G. 门东萨 (Vinicius G. Mendonça)  
[美] 普拉蒂克·乔希 (Prateek Joshi)  
冀臻 译



机械工业出版社  
China Machine Press

## 图书在版编目 (CIP) 数据

OpenCV 4 计算机视觉项目实战 (原书第 2 版) / (西) 大卫·米兰·埃斯科里瓦等著; 冀臻译. —北京: 机械工业出版社, 2019.7

(智能系统与技术丛书)

书名原文: Learn OpenCV 4 By Building Projects, Second Edition

ISBN 978-7-111-63164-4

I. O… II. ①大… ②冀… III. 图像处理软件 - 程序设计 IV. TP391.413

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 140165 号

---

本书版权登记号: 图字 01-2019-2827

David Millán Escrivá, Vinicius G. Mendonça, Prateek Joshi: *Learn OpenCV 4 By Building Projects, Second Edition* (ISBN: 978-1-78934-122-5).

Copyright © 2018 Packt Publishing. First published in the English language under the title “Learn OpenCV 4 By Building Projects, Second Edition”.

All rights reserved.

Chinese simplified language edition published by China Machine Press.

Copyright © 2019 by China Machine Press.

本书中文简体字版由 Packt Publishing 授权机械工业出版社独家出版。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。

## OpenCV 4 计算机视觉项目实战 (原书第 2 版)

---

出版发行: 机械工业出版社 (北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码: 100037)

责任编辑: 杨宴蕾

责任校对: 殷虹

印刷: 大厂回族自治县益利印刷有限公司

版次: 2019 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

开本: 186mm×240mm 1/16

印张: 13.75

书号: ISBN 978-7-111-63164-4

定价: 79.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

客服热线: (010) 88379426 88361066

投稿热线: (010) 88379604

购书热线: (010) 68326294

读者信箱: hzit@hzbook.com

版权所有·侵权必究

封底无防伪标均为盗版

本书法律顾问: 北京大成律师事务所 韩光 / 邹晓东



OpenCV 是用于开发计算机视觉应用程序的最流行的库之一，它使我们能够实时运行许多不同的计算机视觉算法。它已存在很多年了，并且已经成为该领域的标准库。OpenCV 的主要优势之一是它经过高度优化，几乎可以在所有平台上使用。

本书首先简要介绍计算机视觉的各个领域以及相关的 OpenCV 函数，这些函数均用 C++ 编写。每章都包含实际的例子和代码示例，用于演示用例。这有助于你轻松掌握主题并了解如何在现实生活中应用它们。综上所述，这是一本实用的指导书，你将从中学会如何在 C++ 中使用 OpenCV 并使用这个库构建各种应用程序。

## 本书目标读者

本书面向不熟悉 OpenCV 并希望在 C++ 中使用 OpenCV 开发计算机视觉应用程序的开发人员。了解 C++ 的基本知识将有助于理解本书。本书对于想要学习计算机视觉入门知识并理解基本概念的人也很有用。他们应该了解基本的数学概念，例如向量、矩阵和矩阵乘法，以便充分利用本书。在阅读本书的过程中，你将学会如何使用 OpenCV 从零开始构建各种计算机视觉应用程序。

## 本书涵盖内容

第 1 章介绍在各种操作系统上的安装步骤，并介绍人类视觉系统以及计算机视觉中的各种主题。

第 2 章讨论如何在 OpenCV 中读 / 写图像和视频，并解释如何使用 CMake 构建项目。

第 3 章介绍如何构建图形用户界面和鼠标事件检测器，以构建交互式应用程序。

第 4 章探讨直方图和滤波器，并展示如何对图像进行卡通化处理。

第 5 章描述各种图像预处理技术，如噪声消除、阈值处理和轮廓分析。

第 6 章处理目标识别和机器学习，以及如何使用支持向量机来构建目标分类系统。

第 7 章讨论人脸检测和 Haar 级联，然后解释这些方法如何用于检测人脸的各个部位。

第 8 章探讨背景减除、视频监控和形态图像处理，并且描述它们如何相互连接。

第 9 章介绍如何使用不同技术跟踪实时视频中的目标，例如，基于颜色和基于特征进行跟踪。

第 10 章讨论光学字符识别、文本分割，并介绍 Tesseract OCR 引擎。

第 11 章深入探究 Tesseract OCR 引擎，解释如何将其用于文本检测、提取和识别。

第 12 章探讨如何使用两种常用的深度学习架构在 OpenCV 中应用深度学习，在这两种架构中，YOLO v3 用于目标检测，而单发探测器 (Single Shot Detector) 用于人脸检测。

## 如何充分利用本书

了解 C++ 的基本知识将有助于理解本书内容。这些例子使用以下技术进行构建：OpenCV 4.0、CMake 3.3.x 或更新版本、Tesseract、Leptonica (依赖于 Tesseract)、Qt (可选) 和 OpenGL (可选)。

相关章节提供了详细的安装说明。

## 下载示例代码

本书的示例代码可以从 <http://www.packtpub.com> 通过个人账号下载，也可以访问华章图书官网 <http://www.hzbook.com>，通过注册并登录个人账号下载。

本书的代码包还托管在 GitHub 上，如果代码有更新，会在现有的 GitHub 库上更新：<https://github.com/PacktPublishing/Learn-OpenCV-4-By-Building-Projects-Second-Edition>。

## 下载彩色图像

本书提供了一个 PDF 文件，其中包含书中使用的屏幕截图 / 图表的彩色图像：[https://www.packtpub.com/sites/default/files/downloads/9781789341225\\_ColorImages.pdf](https://www.packtpub.com/sites/default/files/downloads/9781789341225_ColorImages.pdf)。

## About the authors 作者简介

大卫·米兰·埃斯克里瓦 (David Millán Escrivá) 8岁时用 BASIC 语言在 8086 PC 上编写了他的第一个程序。他在瓦伦西亚政治大学 (Universitat Politècnica de Valencia) 完成了他的 IT 学习, 并在由使用 OpenCV (v0.96) 的计算机视觉技术所支持的人机交互领域取得了优异的成绩。他拥有人工智能、计算机图形学和模式识别硕士学位, 专注于模式识别和计算机视觉。他还拥有超过 9 年的计算机视觉、计算机图形和模式识别经验。他是 Damiles Blog 的作者, 在上面发表关于 OpenCV、计算机视觉和光学字符识别算法的文章与教程。

我要感谢我的妻子 Izaskun、女儿 Eider 和儿子 Pau, 他们始终保持无限的耐心并坚定地支持我。他们改变了我的生活, 让我的每一天都变得很棒。我爱你们。

我要感谢 OpenCV 团队和社区给予我们这个精彩的库。我还要感谢我的合著者, 感谢 Packt 出版社支持并帮助我完成本书。

维尼休斯·G. 门东萨 (Vinícius G. Mendonça) 是巴拉那天主教大学 (PUCPR) 的计算机图形专业教授。他于 1998 年开始使用 C++ 进行编程, 并于 2006 年进入计算机游戏和计算机图形领域。他目前是巴西 Apple 开发者学院 (Apple Developer Academy) 的导师, 从事用于移动设备的金属、机器学习和计算机视觉方面的教学工作。他曾担任其他 Packt 图书的审校者, 包括《OpenNI Cookbook》和《Mastering OpenCV and Computer Vision with OpenCV 3 and Qt5》。在他的研究中, 使用了 Kinect、OpenNI 和 OpenCV 来识别巴西手语手势。他感兴趣的领域包括移动电话、OpenGL、图像处理、计算机视觉和项目管理。

我要感谢我的妻子 Thais A. L. Mendonça, 感谢她在我撰写本书时给予我的支持。我还要把这部作品献给我的四个女儿, Laura、Helena、Alice 和 Mariana, 以及我的继子 Bruno。

没有这个伟大的家庭，我的生活和工作就毫无意义。我还要感谢 Fabio Binder，他是我的老师、老板和导师，他把我带入计算机图形学和游戏领域，并且在我的职业生涯中给予了我很多帮助。

普拉蒂克·乔希 (Prateek Joshi) 是一位人工智能研究员、8本书的作者，还是一位 TEDx 演讲者。他的著作曾入选 Forbes 30 Under 30、CNBC、TechCrunch、Silicon Valley Business Journal 等多部出版物。他是 Pluto AI 的创始人，Pluto AI 是一家由风投资助的硅谷初创公司，为水利设施建立智能平台。他毕业于南加州大学，获得人工智能专业硕士学位。他之前曾就职于 NVIDIA 和 Microsoft Research。



## *Brief introduction of reviser* 审校者简介

Marc Amberg 是一位经验丰富的机器学习和计算机视觉工程师，拥有在 IT 和服务行业工作的成功经验。他擅长 Python、C/C++、OpenGL、3D 重建和 Java。他是一名优秀的工程专家，在里尔科学与技术大学（里尔一世）(Université des Sciences et Technologies de Lille (Lille I)) 获得了计算机科学（图像、视觉和交互）硕士学位。

Vincent Kok 目前是英特尔运输工业部门的一名软件平台应用工程师。他毕业于马来西亚理科大学 (USM)，获得了电子工程学位。目前，他正在 USM 攻读嵌入式系统工程硕士学位。Vincent 积极参与开发者社区，并定期参加在世界各地举办的 Maker Faire 活动。他喜欢设计电子硬件套件，并在业余时间为初学者提供焊接 /Arduino 课程。

# 目 录 Contents

前言	1.4.3 Linux	13
作者简介	1.5 总结	14
审校者简介		
<b>第 1 章 OpenCV 入门</b>	<b>第 2 章 OpenCV 基础知识导论</b>	15
1.1 了解人类视觉系统	2.1 技术要求	15
1.2 人类如何理解图像内容	2.2 基本 CMake 配置文件	16
1.3 你能用 OpenCV 做什么	2.3 创建一个库	16
1.3.1 内置数据结构和输入 / 输出	2.4 管理依赖项	17
1.3.2 图像处理操作	2.5 让脚本更复杂	18
1.3.3 GUI	2.6 图像和矩阵	20
1.3.4 视频分析	2.7 读 / 写图像	22
1.3.5 3D 重建	2.8 读取视频和摄像头	25
1.3.6 特征提取	2.9 其他基本对象类型	27
1.3.7 对象检测	2.9.1 Vec 对象类型	27
1.3.8 机器学习	2.9.2 Scalar 对象类型	28
1.3.9 计算摄影	2.9.3 Point 对象类型	28
1.3.10 形状分析	2.9.4 Size 对象类型	29
1.3.11 光流算法	2.9.5 Rect 对象类型	29
1.3.12 人脸和对象识别	2.9.6 RotatedRect 对象类型	29
1.3.13 表面匹配	2.10 基本矩阵运算	30
1.3.14 文本检测和识别	2.11 基本数据存储	32
1.3.15 深度学习	2.12 总结	34
1.4 安装 OpenCV	<b>第 3 章 学习图形用户界面</b>	35
1.4.1 Windows	3.1 技术要求	35
1.4.2 Mac OS X	3.2 OpenCV 用户界面介绍	36

3.3	OpenCV 的基本图形用户界面	36	6.4	自动对象检查分类示例	100
3.4	Qt 图形用户界面	44	6.4.1	特征提取	102
3.5	OpenGL 支持	50	6.4.2	训练 SVM 模型	105
3.6	总结	54	6.4.3	输入图像预测	109
<b>第 4 章 深入研究直方图和滤波器</b>		55	6.5	总结	111
4.1	技术要求	56	<b>第 7 章 检测面部部位与覆盖面具</b>		112
4.2	生成 CMake 脚本文件	56	7.1	技术要求	112
4.3	创建图形用户界面	57	7.2	了解 Haar 级联	112
4.4	绘制直方图	59	7.3	什么是积分图像	114
4.5	图像颜色均衡	62	7.4	在实时视频中覆盖面具	115
4.6	Lomography 效果	64	7.5	戴上太阳镜	118
4.7	卡通效果	68	7.6	跟踪鼻子、嘴巴和耳朵	121
4.8	总结	72	7.7	总结	122
<b>第 5 章 自动光学检查、对象分割和检测</b>		73	<b>第 8 章 视频监控、背景建模和形态学操作</b>		123
5.1	技术要求	73	8.1	技术要求	123
5.2	隔离场景中的对象	74	8.2	理解背景减除	124
5.3	为 AOI 创建应用程序	76	8.3	直接的背景减除	124
5.4	预处理输入图像	78	8.4	帧差分	128
5.4.1	噪声消除	78	8.5	高斯混合方法	131
5.4.2	用光模式移除背景进行分割	79	8.6	形态学图像处理	133
5.4.3	阈值	84	8.7	使形状变细	134
5.5	分割输入图像	85	8.8	使形状变粗	135
5.5.1	连通组件算法	85	8.9	其他形态运算符	136
5.5.2	findContours 算法	90	8.9.1	形态开口	136
5.6	总结	92	8.9.2	形态闭合	137
<b>第 6 章 学习对象分类</b>		94	8.9.3	绘制边界	138
6.1	技术要求	94	8.9.4	礼帽变换	139
6.2	机器学习概念介绍	95	8.9.5	黑帽变换	140
6.3	计算机视觉和机器学习工作流程	98	8.10	总结	140

<b>第9章 学习对象跟踪</b> .....	141	11.2 文本 API 的工作原理.....	179
9.1 技术要求.....	141	11.2.1 场景检测问题.....	179
9.2 跟踪特定颜色的对象.....	141	11.2.2 极值区域.....	180
9.3 构建交互式对象跟踪器.....	143	11.2.3 极值区域过滤.....	181
9.4 用 Harris 角点检测器检测点.....	148	11.3 使用文本 API.....	182
9.5 用于跟踪的好特征.....	151	11.3.1 文本检测.....	182
9.6 基于特征的跟踪.....	153	11.3.2 文本提取.....	187
9.6.1 Lucas-Kanade 方法.....	153	11.3.3 文本识别.....	189
9.6.2 Farneback 算法.....	157	11.4 总结.....	193
9.7 总结.....	161	<b>第12章 使用 OpenCV 进行深度</b>	
<b>第10章 开发用于文本识别的分割</b>		<b>学习</b> .....	194
<b>算法</b> .....	162	12.1 技术要求.....	194
10.1 技术要求.....	162	12.2 深度学习简介.....	195
10.2 光学字符识别介绍.....	162	12.2.1 什么是神经网络, 我们如何	
10.3 预处理阶段.....	164	从数据中学习.....	195
10.3.1 对图像进行阈值处理.....	164	12.2.2 卷积神经网络.....	197
10.3.2 文本分割.....	165	12.3 OpenCV 中的深度学习.....	198
10.4 在你的操作系统上安装		12.4 YOLO 用于实时对象检测.....	199
Tesseract OCR.....	172	12.4.1 YOLO v3 深度学习模型	
10.4.1 在 Windows 上安装		架构.....	200
Tesseract.....	172	12.4.2 YOLO 数据集、词汇表和	
10.4.2 在 Mac 上安装 Tesseract.....	173	模型.....	200
10.5 使用 Tesseract OCR 库.....	173	12.4.3 将 YOLO 导入 OpenCV.....	201
10.6 总结.....	177	12.5 用 SSD 进行人脸检测.....	204
<b>第11章 用 Tesseract 进行文本</b>		12.5.1 SSD 模型架构.....	204
<b>识别</b> .....	178	12.5.2 将 SSD 人脸检测导入	
11.1 技术要求.....	178	OpenCV.....	204
		12.6 总结.....	208

# OpenCV 入门

计算机视觉应用程序很有趣，而且很有用，但是其底层算法是计算密集型的。随着云计算的出现，我们正在获得更强大的处理能力。

OpenCV 库使我们能够实时高效地运行计算机视觉算法。它已经存在很多年了，并成为该领域的标准库。OpenCV 的主要优势之一是它经过高度优化，几乎可以在所有平台上使用。

本书将介绍我们要用到的各种算法和使用它们的原因，以及如何在 OpenCV 中实现它们。

在本章中，我们将学习如何在各种操作系统上安装 OpenCV。我们将讨论 OpenCV 提供的开箱即用的服务，以及使用内置函数可以做的各种事情。

本章介绍以下主题：

- 人类如何处理视觉数据，如何理解图像内容？
- 我们能用 OpenCV 做什么，OpenCV 中可以用于实现这些目标的各种模块是什么？
- 我们如何在 Windows、Linux 和 Mac OS X 上安装 OpenCV ？

## 1.1 了解人类视觉系统

在进入 OpenCV 的功能之前，首先需要了解为什么要构建这些功能。了解人类视觉系统的工作原理是非常重要的，这样你就可以开发出正确的算法。

计算机视觉算法的目标是理解图像和视频的内容，对此，人类似乎毫不费力！那么，我们如何才能让机器以相同的精度做到这一点呢？

请看图 1-1。

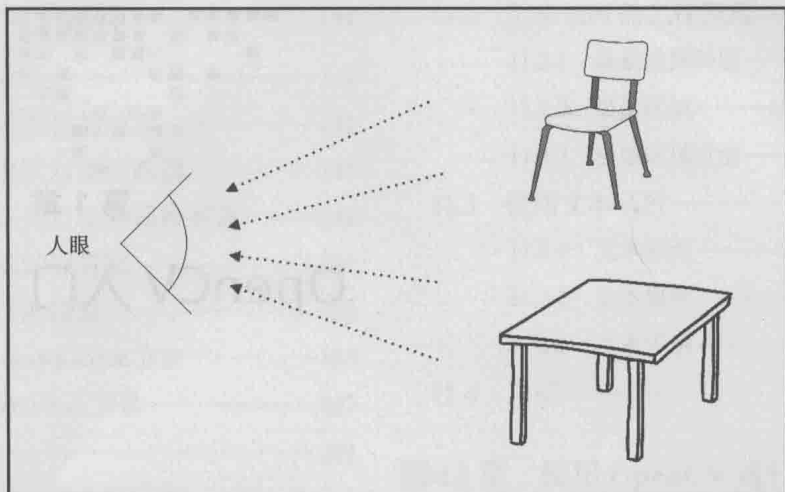


图 1-1

人眼可以捕获视野内的所有信息，例如颜色、形状、亮度等。如图 1-1 所示，人眼捕获到关于两个主要对象的所有信息，并以某种方式将其存储起来。如果能知道人眼系统是如何工作的，我们就可以利用它来实现我们的目的。

例如，以下是我们需要知道的一些事情：

- 我们的视觉系统对低频内容比高频内容更敏感。低频内容是指像素值不会快速变化的平面区域，高频内容是指具有角和边缘的区域，其像素值波动很大。我们可以很容易地看到平面上是否有斑点，但很难在高度纹理化的表面发现类似的东西。
- 人眼对亮度的变化比对颜色的变化更敏感。
- 我们的视觉系统对运动很敏感。即使没有直接看到，我们也能很快识别出视野中是否有某些东西正在移动。
- 我们倾向于在脑海中记下视野中的特征点。假设你看到一张白色的桌子，它有四条黑色的桌腿，桌面的一角有一个红点。当你看着这张桌子时，你会立刻记下表面和桌腿有相反的颜色，并且其中一个角上有一个红点。我们的大脑非常聪明！我们自动执行此操作，这样，当再次遇到该对象时，就能够立即识别出它。

为了认识人类的视觉，让我们来看一张俯视图，以及我们看各种事物的角度，如图 1-2 所示。

我们的视觉系统实际上还可以提供更多功能，但这应该足够了。你可以通过在网上阅读人类视觉系统 (HVS) 模型来做进一步探索。

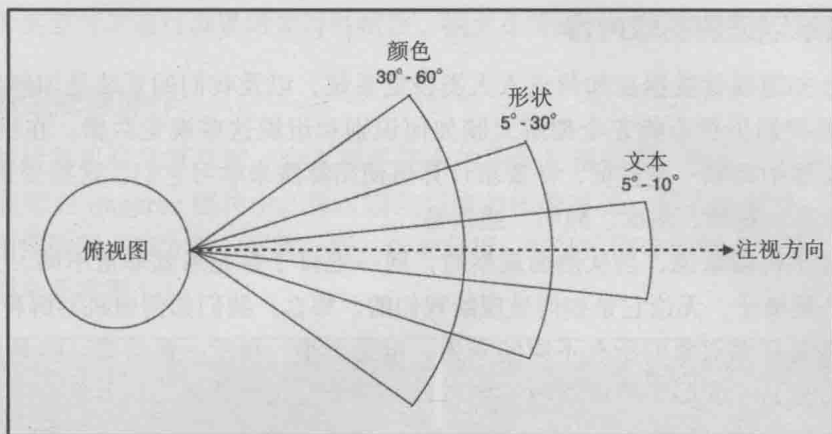


图 1-2

## 1.2 人类如何理解图像内容

如果环顾四周，你会看到很多对象。你每天都会遇到很多不同的对象，你几乎可以毫不费力地认出它们。当看到一把椅子，你不会等几分钟才意识到它实际上是一把椅子。你立即就会知道它是一把椅子。

另一方面，计算机执行这项任务却非常困难。研究人员多年来一直在研究为什么计算机在这方面没有我们做得好。

为了得到这个问题的答案，我们需要了解人类是如何做到的。视觉数据的处理发生在腹侧视觉流中。这个腹侧视觉流是指我们的视觉系统中与对象识别相关的路径。它基本上是我们大脑中的一个区域层次结构，可以帮助我们识别对象。

人类可以毫不费力地识别不同的对象，并且可以将类似的对象聚集在一起。我们之所以能够这样做，是因为我们已经对同一类对象产生了某种不变性。观察对象时，我们的大脑会以某种方式提取特征点，这种方式与方向、大小、视角和照明等因素无关。

一把比正常尺寸大一倍并且旋转 45 度的椅子仍然是一把椅子。正是由于这种处理方式，我们才能够轻松识别它。机器并不能这么容易地做到这一点。人类倾向于根据其形状和重要特征记住一个对象。无论对象如何放置，我们仍然能够识别它。

在我们的视觉系统中，建立起了关于位置、比例和视角等层次的不变性，这有助于我们变得非常强大。如果你深入了解我们的系统，就会发现人类的视觉皮层中有些细胞可以响应曲线和线条等形状。

如果沿着腹侧流进一步移动，我们将会看到更复杂的细胞，这些细胞经过训练，可以响应更复杂的对象，如树木、大门等。腹侧流中的神经元往往表现出接受区大小的增加，而神经元偏爱的刺激的复杂性也会同时增加。

## 为什么机器难以理解图像内容

我们已经知道视觉数据是如何进入人类视觉系统，以及我们的系统是如何处理这些数据的。问题是我们仍然不能完全理解大脑如何识别和组织这些视觉数据。在机器学习中，我们只是从图像中提取一些特征，并要求计算机使用算法来学习它们。这些变化仍然存在，例如形状、大小、视角、角度、照明、遮挡等。

例如，对于机器来说，当从侧面观察时，同一把椅子看起来就非常不同。人类很容易识别出它是一把椅子，无论它是如何呈现给我们的。那么，我们如何向机器解释这一点？

一种方法是存储对象的所有不同的变化，包括大小、角度、视角等。但是这个过程既麻烦又耗时。而且，实际上不可能收集到包含每一个变化的数据。机器将会消耗掉大量内存，并且需要大量时间来构建可以识别这些对象的模型。

即便如此，如果某个对象有一部分被遮挡，计算机仍然无法识别它。因为它们会认为这是一个新对象。因此，当我们构建计算机视觉库时，就需要构建底层功能块，这些功能块可以按多种不同方式组合以形成复杂的算法。

OpenCV 提供了很多这样的功能，并且它们经过了高度优化。因此，一旦了解了 OpenCV 的功能，就可以有效地使用它来构建有趣的应用程序。

让我们在下一节继续探讨这个问题。

## 1.3 你能用 OpenCV 做什么

使用 OpenCV，你几乎可以完成你能想到的每种计算机视觉任务。现实生活中的问题要求同时使用许多计算机视觉算法和模块来获得所需的结果。因此，你只需了解要用哪些 OpenCV 模块和函数来获得你想要的东西。

让我们来看看 OpenCV 中可以开箱即用的功能。

### 1.3.1 内置数据结构和输入 / 输出

OpenCV 的最大优点之一是它提供了许多内置基元来处理与图像处理和计算机视觉相关的操作。如果你必须从零开始编程，就必须定义 Image、Point、Rectangle 等。这些几乎是任何计算机视觉算法的基础。

OpenCV 自带所有这些基本结构，它们包含在核心模块中。另一个优点是这些结构已经针对速度和内存进行了优化，因此你不必担心其实现细节。

imgcodecs 模块可以处理图像文件的读取和写入。当你对输入图像进行操作并创建输出图像时，可以使用简单的命令将其另存为 .jpg 或 .png 文件。

使用摄像机时，你将会处理大量的视频文件。videoio 模块可以处理与视频文件的输入和输出相关的所有操作。你可以轻松地通过网络摄像头捕获视频，或以多种不同格式读取视



频文件。你甚至可以通过设置诸如每秒帧数、帧大小等属性来将很多帧保存为视频文件。

### 1.3.2 图像处理操作

在编写计算机视觉算法时，会有很多基本的图像处理操作，你将反复使用它们。大多数这些函数都在 `imgproc` 模块中。你可以执行诸如图像过滤、形态学操作、几何变换、颜色转换、图像绘制、直方图、形状分析、运动分析、特征检测等操作。

让我们来看看图 1-3。

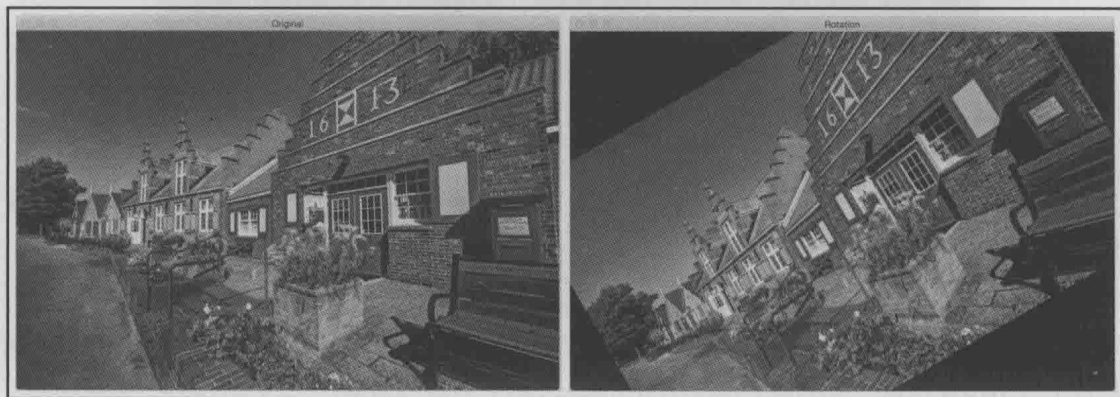


图 1-3

右图是左侧图像的旋转版本，我们在 OpenCV 中用一行代码就可以实现这种转换。

还有另一个名为 `ximgproc` 的模块，它包含高级图像处理算法，可以用于诸如结构化森林的边缘检测、域变换滤波器、自适应流形滤波器等处理。

### 1.3.3 GUI

OpenCV 提供了一个名为 `highgui` 的模块，可用于处理所有高级用户界面操作。假设你正在解决一个问题，并且想要在继续下一步之前检查图像的外观，则可利用该模块具有的创建窗口以显示图像和视频的功能。

它有一个等待功能，可以等你按下键盘上的一个键才进入下一步。还有一个可以检测鼠标事件的功能，在开发交互式应用程序时非常有用。

使用这些功能，你可以在那些输入窗口上绘制矩形，然后根据所选区域进行处理，以图 1-4 为例。

如你所见，我们在窗口上画了一个绿色矩形。一旦得到这个矩形的坐标，就可以单独操作该区域。