

站在一线开发人员的角度详细解释OpenCV的应用
理论与实际案例相结合，提供多个更具实用性和前沿性的实例

Broadview
www.broadview.com.cn

OpenCV

图像处理编程实例

朱伟 赵春光 欧乐庆 王寿峰 等编著

OpenCV

图像处理编程实例

朱伟 赵春光 欧乐庆 王寿峰 马浩 白俊奇 付乾良 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京•BEIJING

内 容 简 介

本书以 OpenCV 开源库为基础实现图像处理领域的很多通用算法,并结合当今图像处理领域前沿技术,对多个典型工程实例进行讲解及实现。全书内容覆盖面广,由基础到进阶,各个技术点均提供详细的代码实现,以帮助读者快速上手和深入学习。

本书内容共三个部分,其中 1~2 章为基础篇,3~6 章为进阶篇,7~9 章为高级篇。第一部分基础篇主要介绍 OpenCV 开发基础的相关知识,让读者熟悉图像处理开发环境以及简单的图像处理操作;第二部分进阶篇主要介绍图像处理技术,包括灰度变换技术、平滑技术、边缘检测及形态学技术;第三部分高级篇主要介绍图像应用技术,包括图像分割技术、特征分析和复杂视频处理技术。进阶篇与高级篇的每章末节均提供了与本章内容相关的应用实例,意在让读者更好理解知识点,进而有效地进行图像处理开发。

本书适合图像处理、计算机视觉及模式识别等相关领域学习和工作的人士阅读,也可作为其他相关领域研究工作者的参考资料。

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

OpenCV 图像处理编程实例 / 朱伟等编著. —北京:电子工业出版社,2016.5
ISBN 978-7-121-28573-8

I. ①O… II. ①朱… 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(2016)第 074747 号

责任编辑:陈晓猛

印 刷:北京京师印务有限公司

装 订:北京京师印务有限公司

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:787×1092 1/16 印张:24.75 字数:633 千字

版 次:2016 年 5 月第 1 版

印 次:2016 年 5 月第 1 次印刷

印 数:3000 册 定价:89.00 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)88254888,88258888。

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。

本书咨询联系方式:【博文专业开发读者交流 QQ 群】465398813。

前言

随着计算机与图像处理技术的快速发展，应用计算机解决现实场景下图像分析的需求日趋增多。计算机处理图像技术正在用全新的用户体验方式影响着人们的生活，微软开发 Xbox360，功能包括人脸检测、人脸识别与跟踪、表情判断、动作识别；Google 开发的无人驾驶汽车；腾讯 QQ 开发手势达人 PPT 翻页；Google 街景实现城市街道全景显示，等等。

为高效解决计算机处理图像问题，英特尔公司发起并参与开发了一个基于 BSD 开源发行的跨平台计算机视觉库 OpenCV。随着 OpenCV 版本的不断更新，提供的相关算法库也越来越完善，大大提高了图像处理开发的效率。为了使您尽快能够入门图像处理开发，本书作者根据自己的项目实践经验，从零基础讲起，让您在思索中领略实用的 OpenCV 开发技术，实例化的讲解让您在使用本书后能得到无限启发。

本书特色

本书将理论与实际案例相结合，始终秉承“学以致用”的理念，提供多个颇具实用性和前沿性的实例，用详细的代码验证实现，通过大量的例子让读者边学边练，注重给予读者一定的启发和引导。本书的编写是站在一线开发人员的角度，用通俗易懂的语言详细解释了 OpenCV 的应用，更像一个 OpenCV 的工作人员在解说 OpenCV 的方方面面，严谨的逻辑结构和清晰的脉络为读者入门及深入了解和掌握 OpenCV 图像处理开发技术奠定了扎实的基础。

如何使用本书

本书需要读者具有 C/C++ 方面的基础，在阅读本书之前至少要对 C/C++ 基本的语法和概念有初步了解，若您对相关知识内容存在疑惑，可参考《C++ Primer》(Stanley B.Lipman) 或《C++编程思想》(Bruce Eckel) 等书籍。

若您刚开始从事图像处理领域开发，请您先掌握图像处理相关知识，具体资料可参考《数字图像处理》(Rafael.C.Gonzalez) 或《图像工程》(章毓晋) 等书籍。

若您刚接触应用 OpenCV 进行图像处理开发，请您先熟悉 OpenCV 开源库架构，然后总览全书，了解本书的框架与结构并对基础篇部分进行详细阅读。基础篇提供的相关知识点能让您能快速上手编程，实践出真知，希望您能独立实现这部分知识点的代码。

若您已经接触过 OpenCV, 想进一步提高图像处理开发技术, 请您关注本书中应用操作与实例讲解。作者独立实现了 OpenCV 提供的部分算法库, 如 OTSU 二值化、Sobel 算子及 Harris 角点等, 授之以渔, 让您在实际算法库开发中体验编程乐趣。

关于本书

本书由几位多年从事图像处理领域的科研工作者编写, 书中的内容安排经过项目课题组的讨论与审定, 理论与工程实用相结合。全书由朱伟、赵春光、欧乐庆与王寿峰等共同编著, 其中赵春光、欧乐庆与马浩负责第 1、2、5 章, 王寿峰、付乾良负责第 3、4 章, 朱伟、白俊奇负责第 6、7、8、9 章, 全书由朱伟统稿和整理。特别感谢百忙之中为本书主审并提出宝贵意见的研究员级高级工程师翟尚礼。

致谢

感谢领导与同事在本书写作中帮助与指导, 他们分别是郑坚、成伟明、章林、汪洋、孙宜斌、朱栋、郝金双、张奔、杜瀚宇、司晓云、邵华、龙超、苗锋、文杰、潘望、孙超、童建文、李嘉琦及李泮麟。

在本书的编写过程中参阅了国内外大量文献, 在此对书中所引用资料的作者表示由衷感谢。

感谢空中交通管理系统与技术国家重点实验室对本书理论研究方面提供的支持。

感谢电子工业出版社的陈晓猛编辑的辛勤付出, 他们对出版物追求完美、细致入微的专业态度给我留下了颇为深刻的印象。

勘误与支持

由于作者水平有限, 书中一定有些纰漏与谬误之处, 恳请读者及专家批评指正。若您有好的意见和建议请发邮件到 zw301289@163.com, 关于本书的勘误和补遗将会在 CSDN 博客 (http://blog.csdn.net/kingsley_zhuwei) 上发布。

朱 伟

2016 年 3 月于南京

目 录

Part I 基础篇 OpenCV 开发基础	1
第 1 章 初识 OpenCV	3
1.1 OpenCV 初识	4
1.1.1 OpenCV 简介	4
1.1.2 OpenCV 组件及架构	5
1.1.3 OpenCV 资源	9
1.2 VS2012 安装 OpenCV2.4.x	9
1.3 VS2013 安装 OpenCV3.0	14
1.4 Sublime 下配置 OpenCV	16
1.5 小结	19
第 2 章 图像及视频基本操作	20
2.1 图像初级操作	21
2.1.1 Mat 类	21
2.1.2 Mat 基本操作	23
2.1.3 Mat 类型转换	24
2.1.4 图像读取显示保存	24
2.1.5 图像存储	26
2.2 图像几何变换	28
2.2.1 坐标映射	28
2.2.2 平移	29
2.2.3 缩放	33
2.2.4 旋转	36
2.2.5 仿射变换	40
2.3 视频操作	43
2.3.1 VideoCapture 类	43
2.3.2 视频写操作	45
2.3.3 视频质量评价	48
2.4 图像基础应用操作	50
2.4.1 界面事件	50

2.4.2 区域提取	54
2.4.3 图像元素遍历——反色	58
2.4.4 单窗口显示多幅图像	63
2.4.5 图像颜色空间转换	66
2.4.6 图像批量读取——规则	69
2.4.7 图像批量读取——无规则	70
2.5 小结	71
Part II 进阶篇 图像处理技术	73
第3章 进阶篇——图像灰度变换技术	75
3.1 阈值化处理	76
3.1.1 OTSU 阈值化	76
3.1.2 固定阈值化	79
3.1.3 自适应阈值化	81
3.1.4 双阈值化	83
3.1.5 半阈值化	84
3.2 直方图处理	85
3.2.1 灰度直方图	85
3.2.2 H-S 直方图	88
3.2.3 BGR 直方图	89
3.2.4 自定义直方图	91
3.2.5 灰度直方图均衡	93
3.2.6 彩色直方图均衡	94
3.2.7 直方图变换——查找	95
3.2.8 直方图变换——累计	97
3.2.9 直方图匹配	99
3.2.10 直方图对比	101
3.2.11 直方图的反向投影	105
3.3 距离变换	108
3.3.1 距离	108
3.3.2 邻接性	109
3.3.3 区域	110
3.3.4 距离变换——扫描	110
3.3.5 距离变换——distanceTransform	113
3.4 Gamma 校正	115
3.5 其他常见的灰度变换技术	117
3.5.1 线性变换	117
3.5.2 对数变换	119

3.5.3 对比度拉伸	121
3.5.4 灰度级分层	124
3.5.5 灰度比特平面	125
3.6 实例应用	128
3.6.1 最大熵阈值分割	128
3.6.2 投影峰谷查找	131
3.7 小结	134
第 4 章 进阶篇——图像平滑技术	135
4.1 图像采样	136
4.1.1 最近邻插值	136
4.1.2 双线性插值	138
4.1.3 插值操作性能对比	140
4.1.4 图像金字塔	143
4.2 傅里叶变换	146
4.2.1 图像掩码操作	146
4.2.2 离散傅里叶	149
4.2.3 图像卷积	151
4.3 图像噪声	153
4.3.1 椒盐噪声	153
4.3.2 高斯噪声	155
4.4 空间平滑	157
4.4.1 盒滤波	157
4.4.2 均值滤波	159
4.4.3 中值滤波	159
4.4.4 高斯滤波	161
4.4.5 双边滤波	163
4.5 实例应用	166
4.5.1 导向滤波	166
4.5.2 图像污点修复	169
4.5.3 旋转文本图像矫正	172
4.6 小结	178
第 5 章 进阶篇——边缘检测技术	179
5.1 边缘检测基础	180
5.1.1 边缘检测概念	180
5.1.2 梯度算子	180
5.1.3 一阶微分算子	180
5.1.4 二阶微分算子	181

5.1.5	图像差分运算	182
5.1.6	非极大值抑制	184
5.2	基本边缘检测算子——Sobel	184
5.2.1	非极大值抑制 Sobel 检测	185
5.2.2	图像直接卷积实现 Sobel	186
5.2.3	图像卷积下非极大值抑制 Sobel	187
5.2.4	Sobel 库函数实现	190
5.3	基本边缘检测算子——Laplace	192
5.4	基本边缘检测算子——Roberts	194
5.5	基本边缘检测算子——Prewitt	195
5.6	改进边缘检测算子——Canny	198
5.6.1	Canny 算子	198
5.6.2	Canny 原理及实现	198
5.6.3	Canny 库函数实现	203
5.7	改进边缘检测算子——Marr-Hildreth	204
5.8	几何检测	207
5.8.1	霍夫变换	207
5.8.2	线检测技术	208
5.8.3	LSD 快速直线检测	210
5.8.4	圆检测技术	214
5.9	形状检测	215
5.9.1	轮廓检测	215
5.9.2	凸包检测	217
5.9.3	轮廓边界框	221
5.9.4	轮廓矩	226
5.9.5	点多边形测试	229
5.10	角点检测	232
5.10.1	moravec 角点	232
5.10.2	harris 角点	235
5.10.3	Shi-Tomasi 角点	238
5.11	实例应用	240
5.11.1	颜色圆检测	240
5.11.2	车牌区域检测	243
5.12	小结	249
第 6 章 进阶篇——形态学技术		250
6.1	腐蚀膨胀操作	251
6.2	开闭运算操作	253
6.3	形态学梯度	255

6.4	形态学 Top-Hat	256
6.5	实例应用	257
6.5.1	形态学滤波角点提取	257
6.5.2	车牌目标提取	260
6.6	小结	263
Part III	高级篇 图像应用技术	265
第 7 章	高级篇——图像分割技术	267
7.1	分水岭分割	268
7.1.1	分水岭的特征	268
7.1.2	实现分水岭分割	269
7.1.3	分水岭分割合并	270
7.2	FloodFill 分割	273
7.3	均值漂移 MeanShift	276
7.4	图割 Grabcut	279
7.5	实例实例	282
7.5.1	奇异区域检测	282
7.5.2	肤色检测	285
7.6	小结	288
第 8 章	高级篇——特征分析	289
8.1	尺度空间	290
8.1.1	尺度与旋转不变性	290
8.1.2	特征点尺度变换	290
8.2	特征描述子	291
8.2.1	SIFT 特征	292
8.2.2	SURF 特征	296
8.2.3	ORB 特征	300
8.3	方向梯度直方图 HOG	302
8.3.1	HOG 原理	302
8.3.2	HOG 特征提取步骤	303
8.3.3	HOGDescriptor 特征描述类	304
8.3.4	HOG 特征描述实现	305
8.4	局部二值模式 LBP	309
8.4.1	经典 LBP	309
8.4.2	圆形 LBP	311
8.5	Haar 特征描述	314
8.5.1	Haar 原理	314
8.5.2	Haar 特征提取	315

8.6 应用实例 317

8.6.1 最近邻特征点目标提取 317

8.6.2 最大极值稳定区域匹配 MSER 320

8.6.3 字符特征提取 324

8.6.4 车牌字符 SVM 训练 327

8.7 小结 331

第 9 章 高级篇——复杂视频处理技术 332

9.1 视频稳像技术 333

9.2 图像拼接 338

9.2.1 拼接原理及过程 338

9.2.2 图像拼接实现 339

9.3 高动态范围图像 HDR 342

9.3.1 HDR 合成技术 342

9.3.2 HDR 合成原理 342

9.3.3 OpenCV 实现 343

9.4 背景建模 344

9.4.1 背景差分 345

9.4.2 混合高斯背景建模 345

9.4.3 混合高斯背景建模实现 346

9.4.4 混合模型 MOG2 成员参数设定 348

9.4.5 KNN 模型背景建模实现 349

9.4.6 GMG 模型背景建模实现 351

9.5 级联分类器——人脸检测 353

9.5.1 级联分类器 353

9.5.2 CascadeClassifier 类 353

9.6 应用实例 355

9.6.1 运动目标提取 355

9.6.2 TLD 单目标跟踪 358

9.6.3 人眼检测与跟踪 361

9.7 小结 365

附录 A 366

1——代码清单 366

2——CMake 编译 OpenCV3.1 源码 372

3——OpenCV3.1 Extra 扩展库 375

参考文献 379

Part I

基础篇 OpenCV 开发基础

基础篇主要介绍 OpenCV 开发相关的基础知识，旨在让读者熟悉图像处理开发环境以及简单的图像处理操作。本篇共两章：第 1 章主要介绍最新 OpenCV 版本开发环境安装与配置；第 2 章主要介绍相关图像及视频基本操作，其中几何变换是后续开发中的常用技术，图像基础应用操作典型实例来自于工程实践和实际项目。初学者应认真熟读本篇，参考实现该部分程序。

第 1 章

初识 OpenCV

本章主要探讨以下内容：

- OpenCV 的发展历程
- OpenCV 架构及其资源
- VS 下 OpenCV 的安裝配置
- Sublime 下 OpenCV 的配置

1.1 OpenCV 初识

1.1.1 OpenCV 简介

OpenCV 全称是 Open Source Computer Vision Library。OpenCV 是由英特尔公司发起并参与开发的一个基于 BSD 开源发行的跨平台计算机视觉库。它有一系列的接口，包括 C、C++、Python、MATLAB 和 Java，可以运行在 Windows、Linux、Mac OS、iOS 和 Android 系统上。OpenCV 实现了多种实时且高效的算法，随着不断研发，C/C++ 接口函数库应用在大规模多核开发中，大大提升了软件算法的可应用性。OpenCV 应用 OpenCL 接口开发技术，可以充分利用计算硬件底层平台进行硬件加速。OpenCV 实现了图像处理和计算机视觉方面的很多通用算法，因此在当前很多前沿领域有较多应用，如人机交互、机器视觉、运动检测与跟踪及图像识别领域等。

OpenCV 历史发展进程如下：

2000 年 6 月，第一个开源版本 OpenCV alpha 3 发布。

2000 年 12 月，针对 Linux 平台的 OpenCV beta 1 发布。

2006 年 10 月，OpenCV 1.0 正式发布，Windows 安装包包含了支持 Python 的模块，基于 C 语言接口。

2008 年 10 月，OpenCV 1.1Pre1 发布，Windows 可支持 VS2005、Python2.6，并且支持 OpenCV 可独立编译 CMake。

2009 年 9 月，OpenCV beta2.0 发布，引进了 C++ 接口，自动管理内存释放，开源结构被重新组织规划，优化了许多函数及外部头文件。

2010 年 4 月，OpenCV 2.1 发布，支持 64 位系统，引入新的异常处理方法代替 C 风格处理方法，优化了新的测试函数。

2010 年 10 月，OpenCV 2.2 发布，重新组织了库文件架构，将原先的 cxcore、cv、cvaux、highgui 和 ml 划分为 15 个新的库文件。

2011 年 6 月，OpenCV 2.3 发布，修正了许多 bug，提供更多的 C++ 接口文件支持，重新编译生成新的 LIBS。

2012 年 3-11 月，发布 OpenCV 2.4.x (1、2、3)，优化了多个函数接口，提供更多系统的支持，支持 GPU 加速，修复多个 bug，版本库稳定。

2013 年 3-12 月，发布 OpenCV 2.4.x (4、5、6、7、8)，更多系统支持（Java 及 Android 接口），引进基于 OpenCL 的硬件加速模块。

2014 年 4-11 月，发布 OpenCV 2.4.x (9、10、11)，优化了 OpenCL 硬件加速模块及 CUDA，引入了 VTK 3D 模块，版本库更加稳定。

2015 年 4 月，发布 OpenCV 3.0 发布候选版本，引入了新的硬件加速层

OpenCV HAL 加速模块，引入独立 mpeg 解码器，库文件从多个合并为一个。

我们相信 OpenCV 的路会越来越远。

1.1.2 OpenCV 组件及架构

OpenCV 的快速发展更新，使得其系统架构不断完善。为了让读者快速上手 OpenCV 编程，以下将介绍目前开发常用的两个版本架构。

1. 基于 OpenCV2.4.x 组件及架构

对源文件 opencv-2.4.x.exe 进行解压缩后，OpenCV 文件下会出现以下子文件目录（见图 1-1），需要说明的是，opencv-2.4.8 解压后文件夹目录仅包含 build 和 sources 文件夹。其中常用文件夹 bulid 包含已编译好的头文件及库文件，doc 文件夹存放与开发相关的技术文档，samples 文件夹主要存放自带的实例程序。



图 1-1 OpenCV2.4.x 组件

再进入到子文件...\build\include 目录，存在两个文件夹 opencv 和 opencv2，opencv 文件夹支持 OpenCV 1.x 接口的头文件（C），opencv2 文件夹支持 OpenCV 2.x 接口的头文件（C++）。再次进入 opencv2 文件夹，将会出现以下文件夹及文件（见图 1-2），本书将着重叙述以 C++为接口基于 OpenCV 2.x 函数的功能及应用。

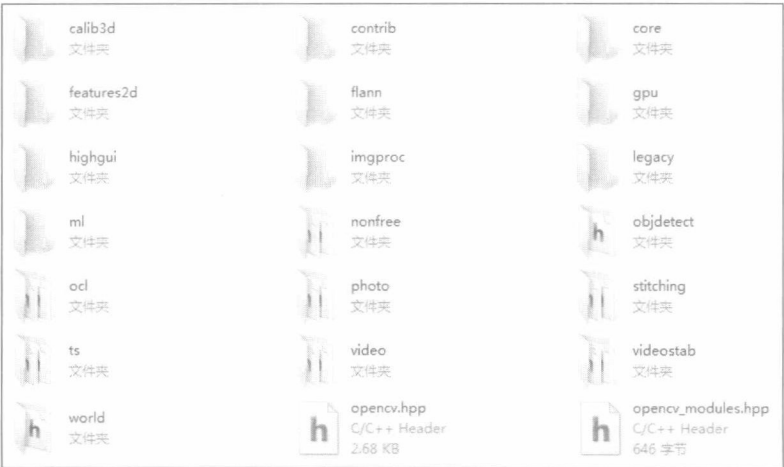


图 1-2 OpenCV2.4.x 中 opencv2 头文件目录

以记事本方式打开该目录下 `opencv.hpp` 及 `opencv_modules.hpp`，我们可以看到以下头文件（见代码 1-1、1-2）：

代码 1-1 `opencv.hpp` 头文件

```
1  #ifndef __OPENCV_ALL_HPP__
2  #define __OPENCV_ALL_HPP__
3  #include "opencv2/core/core_c.h"
4  #include "opencv2/core/core.hpp"
5  #include "opencv2/flann/miniflann.hpp"
6  #include "opencv2/imgproc/imgproc_c.h"
7  #include "opencv2/imgproc/imgproc.hpp"
8  #include "opencv2/photo/photo.hpp"
9  #include "opencv2/video/video.hpp"
10 #include "opencv2/features2d/features2d.hpp"
11 #include "opencv2/objdetect/objdetect.hpp"
12 #include "opencv2/calib3d/calib3d.hpp"
13 #include "opencv2/ml/ml.hpp"
14 #include "opencv2/highgui/highgui_c.h"
15 #include "opencv2/highgui/highgui.hpp"
16 #include "opencv2/contrib/contrib.hpp"
17 #endif
```

代码 1-2 `opencv_modules.hpp` 头文件

```
1  #define HAVE_OPENCV_CALIB3D
2  #define HAVE_OPENCV_CONTRIB
3  #define HAVE_OPENCV_CORE
4  #define HAVE_OPENCV_FEATURES2D
5  #define HAVE_OPENCV_FLANN
6  #define HAVE_OPENCV_GPU
7  #define HAVE_OPENCV_HIGHGUI
8  #define HAVE_OPENCV_IMGPROC
9  #define HAVE_OPENCV_LEGACY
10 #define HAVE_OPENCV_ML
11 #define HAVE_OPENCV_NONFREE
12 #define HAVE_OPENCV_OBJDETECT
13 #define HAVE_OPENCV_PHOTO
14 #define HAVE_OPENCV_STITCHING
15 #define HAVE_OPENCV_TS
16 #define HAVE_OPENCV_VIDEO
17 #define HAVE_OPENCV_VIDEOSTAB
```

进入到子文件`...build\x86\vc10\lib`目录，我们可以看到 OpenCV 2.4.x 中存在的所有 Libs 文件。如图 1-3 所示，我们看到有两类的 lib 文件，后缀后面加 d 的文件在应用开发的过程中应用于 debug 调试版本，另外一种 lib 文件应用于 release 发行版本。

从上面的两个头文件中我们就可以清楚看到 OpenCV 2.4.9 在开发应用中的主要头文件及模块，以下将根据上述头文件详细介绍 OpenCV 2.4.9 的主要模块及结构。