

Broadview[®]
www.broadview.com.cn



OpenCV

李立宗 / 著

编程案例详解

 中国工信出版集团

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

OpenCV

李立宗 / 著

编程案例详解

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

OpenCV 是英特尔 (Intel) 公司发起的一个开源应用平台, 借助该平台能够开发高效的计算机视觉应用项目。本书以实例介绍了如何使用 OpenCV 构建计算机视觉系统, 本文的系统主要包括常用函数介绍类系统和应用类系统两类。常用函数介绍类系统以介绍函数的使用为主。在这类系统中主要介绍了常用 OpenCV 函数的使用方法, 并对这些函数进行了不同形式的参数调用。应用类系统尝试解决一些实际问题, 用最简单的方法实现一个学习系统, 让读者能够了解该类系统的主要算法、解决问题的基本思路, 同时能够更深入地了解如何更好地使用 OpenCV 处理实际问题。本书各章的内容相对独立, 因此不需要按照顺序从第 1 章开始阅读, 读者可以自由选择自己感兴趣的内容来学习。本书中的全部系统均以当前的最新版本 OpenCV 3.0 版本进行介绍。本书在处理问题时, 尽量屏蔽了无关的细节, 即将 OpenCV 作为一个黑盒来使用。

本书提供的教学系统能够让读者快速掌握计算机视觉的相关知识, 尽快掌握图像处理的相关算法和系统构建, 让图像处理的零基础入门开发者能够尽快成为一名从业人员。本书提供的学习系统均含有详细的注释, 读者能够在具有一定 C++ 开发基础、图像处理零基础的情况下完全自主地进行自学。本书能够为在校学生、教师、入门者、专业人员、爱好者等不同身份的读者提供参考。

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 编程案例详解 / 李立宗著. —北京: 电子工业出版社, 2016.10

ISBN 978-7-121-29952-0

I. ①O… II. ①李… 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 228485 号

策划编辑: 符隆美

责任编辑: 付 睿

印 刷: 北京京科印刷有限公司

装 订: 北京京科印刷有限公司

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: 787×1 092 1/16 印张: 31.25 字数: 715 千字

版 次: 2016 年 10 月第 1 版

印 次: 2016 年 10 月第 1 次印刷

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: 010-51260888-819 faq@phei.com.cn。

前 言

计算机视觉技术是在图像处理技术上发展起来的一门学科，在很多领域发挥着非常关键的作用。随着硬件设备的不断升级及价格的不断下降，计算机视觉技术越来越成熟。OpenCV是英特尔（Intel）公司发起的一个开源应用平台，借助该工具能够开发高效的计算机视觉应用项目。

内容

本书的系统主要包括常用函数介绍类系统和应用类系统两类。

- 常用函数介绍类系统

这类系统以介绍函数的使用为主，包括图像处理系统（第1章）、医学图像处理系统（第2章）、图像边缘检测学习系统（第3章）。这些系统主要介绍了常用OpenCV函数的使用方法，并对这些函数进行了不同形式的参数调用。

- 应用类系统

这类系统尝试解决一些实际问题，包括数字图像加密学习系统（第4章）、手写数字识别学习系统（第5章）、骰子作画学习系统（第6章）、滤镜效果学习系统（第7章）、数字水印学习系统（第8章、第10章）和图像检索系统（第9章）。这类系统中，尝试用最简单的方法实现一个学习系统，让读者能够了解该类系统的主要算法、解决问题的基本思路，同时能够更深入地了解如何更好地使用OpenCV处理实际问题。

目的

从一接触OpenCV开始，我就感受到了它的强大魅力，并深深地被它所吸引。我也希望更多的人能够了解它、更好地使用它，本书的主要目的如下。

- 为OpenCV的学习提供一份更好的学习资料。
- 让图像处理零基础的入门者能够快速入门。
- 让学习者通过本书的学习，能够快速构建基于OpenCV的可视化交互系统。
- 通过具体的实例教程，让读者能够快速掌握图像处理的相关理论基础和算法。
- 能够快速构建基于Qt的视觉处理系统。

读者范围

本书提供的教学系统能够让读者快速掌握计算机视觉的相关知识，尽快掌握图像处理的相关算法和系统构建，让图像处理的零基础入门开发者能够尽快成为一名从业人员。本书提供的学习系统均含有详细的注释，读者能够在具有一定 C++ 开发基础、图像处理零基础的情况下完全自主地进行自学。

- 在校学生

本书所介绍的系统能够方便学生自学计算机视觉相关系统的开发，也能够方便学生进行课程设计、毕业设计的学习。

- 教师

本书能够作为计算机视觉相关课程的配套教材使用，也可以作为教师相关课程的教学参考书。

- 入门者

对于希望进入计算机视觉领域的从业人员，本书提供的实例教程能够让他们快速掌握图像处理的相关理论基础、算法、设计思路等内容。

- 专业人员

对计算机视觉处理领域的专业人员，本书大量的实例代码能够让他们快速上手相关项目，为他们提供切实有效的帮助。

- 爱好者

对计算机视觉处理有兴趣的爱好者，能够根据本书提供的系统完成相关项目的开发工作。由于本书屏蔽了很多内部细节，因此能够让爱好者更好地实现系统。

特点

本书不需要按照顺序从第 1 章开始阅读，读者可以选择自己感兴趣的内容，各章的内容相对独立。本书中的全部系统均以当前的最新版本 OpenCV 3.0 进行介绍。

- 用 Qt 构建可视化系统

目前，针对 OpenCV 的学习教程大部分局限在函数的使用上。本书将 OpenCV 的函数进行了整合，使用 Qt 构建了多种不同形式的图像处理系统来介绍函数的使用、图像处理常用算法、系统如何构建等。书中介绍的系统分成基础系统和实用性系统。基础系统主要介绍 OpenCV 常用函数的具体使用，给出了函数在调用不同参数时的实现效果。实用性系统尝试解决一些常见的问题，比如手写数字识别、图像检索、图像加密、数字水印、图像隐藏、滤镜效果等。

- 黑盒

本书在进行图像处理的过程中，把 OpenCV 函数作为一个黑盒来使用，尽可能使用通俗易懂的语言来描述图像处理算法要实现什么功能、需要使用什么参数，而尽量避免堆砌复杂的公式来描述实现细节信息，尽可能地屏蔽了其内部实现细节。同时，为了更好地了解函数的功能，本书中使用了大量的具体示例对函数的实际处理效果进行了展示。

- 简化问题处理

在处理问题时，本书尽可能地将问题进行了简化处理。例如在进行数字识别时，采用了最近邻算法。所使用的特征图像库中，针对每一个数字仅仅存储有一个特征图像。在数字识别时，将待识别的数字图像与图像库中的图像进行特征对比，将与其特征最接近的特征图像作为识别结果。这样，极大地简化了问题的处理。通过这一系统的学习，既掌握了处理问题的基本思路和方法，又掌握了 OpenCV 的使用。

- 问题处理尽量独立

在数字图像处理过程中，处理过程的各个处理步骤、流程之间往往存在着较强的相关性，还有一些处理过程之间存在着较大的相似性。因此，在实际处理过程中，往往需要构建多个自定义函数，也就存在着较多的函数调用。本书在实现的过程中，为了方便问题的理解，更多关注 OpenCV 的使用，尽量将一个处理作为一个独立的单元来实现，避免了由过于复杂的函数调用带来的学习干扰。

- 章节之间相互独立

在本书中，以数字图像处理系统的方式介绍了十几个不同的系统。各个系统之间是独立的，读者可以从任何一章开始阅读学习。为了节省篇幅，有部分函数的介绍没有在各个不同的章节之间进行重复介绍，但相关知识点均有简单介绍，并给出了具体介绍所在的章节。

感谢

首先，我要感谢我在硕士期间的导师，南开大学的高铁杠教授，高老师带我走进了计算机视觉这一领域，让我对计算机视觉产生了浓厚的兴趣。同时感谢高老师长期以来，尤其是在我毕业后，还保持对我的关心和指导。

感谢 CSDN 提供的博客服务，让我在学习时有坚持下去的动力。对于我来说，学习知识的过程是漫长的、枯燥的，自己一个人很难持续地坚持学习。但是当我学习了新知识在 CSDN 上面发表博文后，看到阅读量不断增多，我知道还有很多同学和我一样奋斗在同样的知识点上，就增加了坚持下去的信心。更应该感谢 CSDN 让我有缘和符隆美老师结识，才有了这本书的出版。

感谢于仕琪、刘瑞祯两位老师出版的 OpenCV 的教程，领我进入了 OpenCV 这一技术领域。

感谢英特尔公司 OpenCV 团队提供了如此优秀的工具、非常优秀的官网。感谢官网提供的大量优质学习资源，本书中所介绍的函数语法参考了官网上的大量资料。

非常感谢本书的编辑付睿老师对稿件做出的修改，将我许多本来晦涩不通的语句变得能够达到出版的要求，并对存在的技术问题进行了修正，同时感谢为本书出版而付出辛勤工作的各位同仁。更要特别感谢符隆美老师，感谢符老师为出版本书所付出的辛勤工作，感谢符老师在写作过程中给予我的关心和帮助。

感谢我的工作单位天津职业技术师范大学，感谢单位对我开发 OpenCV 相关系统所给予的支持和资助。本书受到天津职业技术师范大学科研发展基金(编号：KJ12-12)的资助。

感谢合作单位天津远目科技有限公司对本书编写工作所提供的帮助和支持。

最后，我要感谢家人的支持。在完成本书期间，我经常独自一人闷在书房里而忽略了你们的感受，也逃避了很多责任。我要感谢你们一直以来对我的理解、支持、付出，你们是我不断前行的动力，我爱你们！

互动方式

由于本人水平有限，虽然本书经过了多次校验，但是肯定仍旧存在很多大大小小的问题，希望读者朋友在使用本书时，能够海涵。在出版后，我会针对读者朋友提供的反馈信息进行整理、归纳，给出统一的勘误表。本书中所介绍的全部系统目前均已经能够在 Windows 10 系统下正常稳定地运行，需要书中系统的读者请与我联系，以获取书中的教学案例系统。我也在准备本书所介绍系统的配套视频教程，完成后会通过多种渠道发布，欢迎大家关注。也非常欢迎大家跟我交流关于 OpenCV 的各种问题。

我的联系方式如下。

qq 群：303230397

邮箱：lilizong@gmail.com

如果读者需要案例源代码、勘误等资料，请发送邮件至上述邮箱，来信时请在邮件标题中写明书名《OpenCV 编程案例详解》。

李立宗

2016年5月23日

目 录

第 1 章 图像处理系统	1
1.1 系统介绍	2
1.1.1 功能描述	2
1.1.2 总体结构	2
1.1.3 界面效果	2
1.2 系统原理	3
1.2.1 翻转	3
1.2.2 形态学处理	4
1.2.3 滤波处理	7
1.2.4 缩放	12
1.2.5 旋转	14
1.3 编程实现	15
1.3.1 文件	15
1.3.2 翻转的实现	16
1.3.3 形态学处理的实现	18
1.3.4 滤波处理的实现	24
1.3.5 缩放的实现	30
1.3.6 旋转的实现	32
1.3.7 帮助	37
第 2 章 医学图像处理算法学习系统	38
2.1 系统介绍	39
2.1.1 功能描述	39
2.1.2 系统结构	39
2.1.3 界面效果	39
2.2 系统原理	40
2.2.1 增强	40

2.2.2	卷积	41
2.2.3	模板匹配	43
2.2.4	仿射变换	45
2.2.5	重映射	46
2.2.6	分割	47
2.3	编程实现	51
2.3.1	文件	51
2.3.2	增强的实现	51
2.3.3	卷积的实现	55
2.3.4	模板匹配的实现	60
2.3.5	仿射变换的实现	67
2.3.6	重映射的实现	70
2.3.7	分割的实现	76
2.3.8	帮助	97
第 3 章	图像边缘检测学习系统	98
3.1	系统介绍	99
3.1.1	功能描述	99
3.1.2	总体结构	99
3.1.3	界面效果	99
3.2	系统原理	99
3.2.1	Sobel 算子	100
3.2.2	Canny 算子	102
3.2.3	Laplacian 算子	104
3.2.4	Scharr 滤波器	105
3.3	编程实现	106
3.3.1	文件	106
3.3.2	边缘特征	106
3.3.3	Sobel 算子的实现	110
3.3.4	Canny 算子的实现	119
3.3.5	Laplacian 算子的实现	126
3.3.6	Scharr 滤波器的实现	134
3.3.7	帮助	140
第 4 章	数字图像加密学习系统	141
4.1	系统介绍	142

4.1.1	功能描述	142
4.1.2	界面效果	142
4.2	系统原理	142
4.2.1	混沌系统	143
4.2.2	异或加密	146
4.2.3	置乱加密	151
4.3	系统结构与流程	153
4.3.1	总体结构	153
4.3.2	生成混沌图像	153
4.3.3	异或加密流程	156
4.3.4	置乱加密流程	157
4.4	编程实现	160
4.4.1	混沌图像的实现	160
4.4.2	异或加密的实现	165
4.4.3	置乱加密的实现	173
4.4.4	帮助	183
第 5 章	手写数字识别学习系统	184
5.1	系统介绍	185
5.1.1	功能描述	185
5.1.2	界面效果	185
5.2	系统原理	185
5.2.1	图像特征提取	186
5.2.2	距离计算	188
5.2.3	颜色处理	189
5.2.4	颜色通道处理	201
5.3	系统结构与流程	205
5.3.1	总体结构	205
5.3.2	主要流程	205
5.4	编程实现	206
5.4.1	文件处理	206
5.4.2	数字识别	206
5.4.3	颜色处理	210
5.4.4	通道处理	214
5.4.5	帮助	221

第 6 章 骰子作画学习系统	223
6.1 系统介绍	224
6.1.1 功能描述	224
6.1.2 界面效果	224
6.2 系统原理	224
6.2.1 骰子状子块	225
6.2.2 原始图像特征值计算	226
6.2.3 映射	227
6.2.4 阈值处理	227
6.3 系统结构与流程	229
6.3.1 总体结构	230
6.3.2 主要流程	230
6.4 编程实现	231
6.4.1 文件	231
6.4.2 骰子画	231
6.4.3 骰子原型	238
6.4.4 点图	245
6.4.5 帮助	253
第 7 章 滤镜效果学习系统	254
7.1 系统介绍	255
7.1.1 功能描述	255
7.1.2 界面效果	255
7.2 系统结构	255
7.3 系统实现	256
7.3.1 文件处理	256
7.3.2 颜色效果	257
7.3.3 手工画效果	267
7.3.4 艺术效果	272
7.3.5 光线效果	285
7.3.6 雕刻效果	288
7.3.7 帮助	298
第 8 章 盲数字水印学习系统	299
8.1 系统介绍	300

8.1.1	功能描述	300
8.1.2	界面效果	300
8.2	系统原理	300
8.2.1	通道分解	301
8.2.2	位平面分解	303
8.2.3	最低有效位盲水印	304
8.2.4	位置矩阵	307
8.2.5	随机位盲水印	309
8.3	系统结构与流程	312
8.3.1	总体结构	312
8.3.2	通道分解	312
8.3.3	位平面分解	314
8.3.4	最低有效位盲水印	318
8.3.5	随机位盲水印	325
8.4	编程实现	334
8.4.1	通道分解	334
8.4.2	位平面分解	343
8.4.3	最低有效位盲水印	361
8.4.4	随机位盲水印	367
8.4.5	帮助	375
第 9 章	图像检索系统	376
9.1	系统介绍	377
9.1.1	功能描述	377
9.1.2	运行效果	377
9.2	系统原理	381
9.2.1	灰度化	381
9.2.2	缩小尺寸	382
9.2.3	简化色彩	385
9.2.4	计算特征矩阵	386
9.2.5	获取哈希值	387
9.2.6	计算距离	387
9.3	系统结构与流程	388
9.3.1	总体结构	388
9.3.2	主要流程	388

9.4 编程实现	389
9.4.1 打开文件夹的实现	389
9.4.2 提取特征的实现	390
9.4.3 打开文件的实现	394
9.4.4 检索的实现	394
9.4.5 清除功能的实现	396
9.4.6 帮助	397
9.5 运行效果	397
第 10 章 非盲数字水印学习系统	398
10.1 系统介绍	399
10.1.1 功能描述	399
10.1.2 界面效果	399
10.2 系统原理	400
10.2.1 最低有效位非盲水印	401
10.2.2 随机位非盲水印	405
10.3 系统结构与流程	412
10.3.1 总体结构	412
10.3.2 最低有效位非盲水印	412
10.3.3 随机位非盲水印	421
10.4 编程实现	432
10.4.1 最低有效位非盲水印	432
10.4.2 随机位非盲水印	439
10.4.3 帮助	448
附录 A 系统配置	449
附录 B 在 Qt 内使用 OpenCV	474
参考文献	487

第 1 章

图像处理系统

数字图像的典型处理有翻转、形态学处理、滤波、缩放、旋转等，是图像处理的基础。只有掌握这些图像处理方法，才能够进一步进行更为复杂的图像处理。本章主要实现了一个简单的图像处理系统，系统内主要实现数字图像的翻转、形态学处理、滤波处理、缩放、旋转等基本的图像处理功能。

1.1 系统介绍

系统采用 OpenCV 3.0 在 Qt Creator 内开发，为了让读者能够更好地掌握 OpenCV 3.0 的函数并了解 Qt 开发的基本原理，本系统在实现的过程中，尽量将每一个处理作为一个独立单元实现。

1.1.1 功能描述

本系统实现了数字图像处理中的翻转、形态学处理、滤波处理、缩放、旋转等功能。系统内各个功能的实现均采用了 OpenCV 3.0 的函数实现。

图像的翻转实现了图像在水平、垂直、垂直水平同步等不同形式的翻转。形态学实现了腐蚀、膨胀、开运算、闭运算、Morphological Gradient（形态学梯度）、顶帽、黑帽等多种形式的处理。滤波实现了均值、方框、高斯、中值、双边等不同形式的滤波。缩放部分分别采用 pyrUp、pyrDown、resize 实现了图像的放大和缩小显示。旋转部分实现了图像顺时针无缩放、顺时针缩放、逆时针、零旋转缩放等多种不同形式的变换。

1.1.2 总体结构

系统的总体结构如图 1-1 所示。

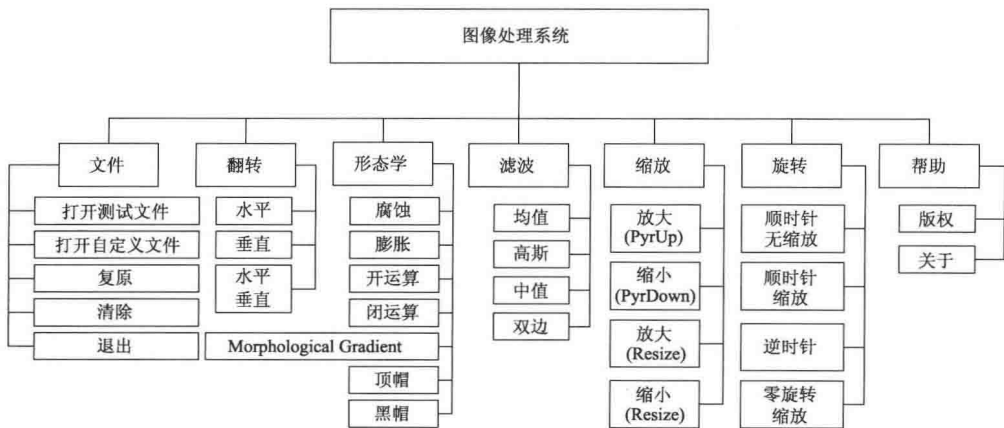


图 1-1 系统的总体结构

1.1.3 界面效果

界面效果如图 1-2 所示，左侧显示源图像，右侧显示处理后的目标图像。

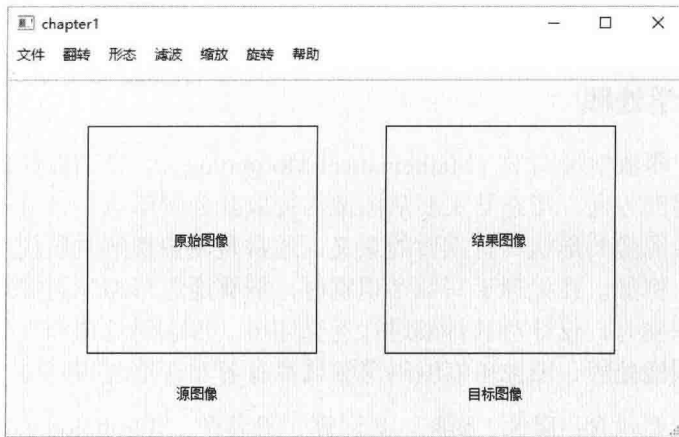


图 1-2 界面效果

1.2 系统原理

图像处理效果的实现主要采用 OpenCV 3.0 的函数实现，下面对使用到的函数做简单介绍。

1.2.1 翻转

图像的翻转采用 `flip` 函数实现，该函数能够实现图像在水平方向翻转、垂直方向翻转、两个方向同时翻转，其语法结构为：

```
void cv::flip (
    InputArray src,
    OutputArray dst,
    int flipCode)
```

其中，

- `src`：是要处理的原始图像。
- `dst`：是和原始图像具有同样大小、类型的目标图像。
- `flipCode`：是旋转类型。该参数的意义如表 1-1 所示。

表 1-1 flipCode 参数意义

参 数 值	说 明	意 义
0	只能是 0	x 轴方向翻转
正数	1/2/3 等任意正数	y 轴方向翻转
负数	-1/-2/-3 等任意负数	x 轴、y 轴同时翻转

该函数中，目标像素点与原始像素点的关系表述为：

$$dst_{ij} = \begin{cases} src_{src.rows-i-1,j} & \text{当 } flipCode = 0 \text{ 时} \\ src_{i,src.cols-j-1} & \text{当 } flipCode > 0 \text{ 时} \\ src_{src.rows-i-1,src.cols-j-1} & \text{当 } flipCode < 0 \text{ 时} \end{cases}$$

其中，dst 是目标像素点，src 是原始像素点。

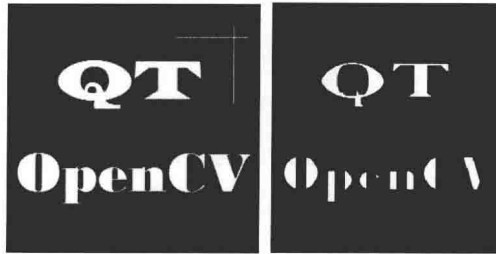
1.2.2 形态学处理

形态学，即数学形态学 (Mathematical Morphology)，是图像处理过程中非常重要的一个研究方向。形态学主要从图像内提取其分量信息，该分量信息通常对于表达和描绘图像的形状具有重要的意义，通常是图像理解时所使用的最为本质的形状特征。例如，在处理手写数字识别时，能够通过形态学运算得到其骨架信息，在具体识别时，仅针对其骨架进行运算即可。形态学处理在视觉检测、文字识别、医学图像处理、图像压缩编码等领域都有着非常重要的应用。

这部分主要包含：腐蚀、膨胀、开运算、闭运算、Morphological Gradient (形态学梯度)、顶帽、黑帽等操作。

1. 腐蚀

腐蚀是最基本的形态学操作之一，它能够将图像的边界点消除，使图像沿着边界向内收缩，也可以将小于指定结构体元素的部分去除。二值图像的腐蚀示例效果如图 1-3 所示。



(a) 源图像

(b) 目标图像

图 1-3 腐蚀效果

在 OpenCV 3.0 内采用 erode 函数实现对图像的腐蚀，该函数采用一个特定的结构来完成腐蚀操作。函数的语法结构为：

```
void cv::erode (
    InputArray src,
    OutputArray dst,
    InputArray kernel,
    Point anchor=Point(-1,-1),
    int iterations=1,
    int borderType=BORDER_CONSTANT,
    const Scalar& borderValue=morphologyDefaultBorderValue() )
```

其中，

- src: 需要进行腐蚀的原始输入图像，图像的通道数可以是任意的，但是要求图像的深度必须是 CV_8U、CV_16U、CV_16S、CV_32F、CV_64F 其中的一种。
- dst: 被腐蚀后所输出的目标图像，该图像和原始图像具有同样的类型和大小。