

高等院校计算机专业教材

数字图像处理基础 及OpenCV实现

张广渊 王爱侠 王超 主编



知识产权出版社

全国百佳图书出版单位

高等院校计算机专业教材

数字图像处理基础 及OpenCV实现

张广渊 王爱侠 王超 主编



知识产权出版社

全国百佳图书出版单位

图书在版编目 (CIP) 数据

数字图像处理基础及 OpenCV 实现 / 张广渊, 王爱侠, 王超主编.

—北京: 知识产权出版社, 2014.12

ISBN 978-7-5130-3166-0

I. ①数… II. ①张… ②王… ③王… III. ①数字图像处理 IV. ①TP391.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 269306 号

内容提要

本书全面系统地介绍了数字图像处理的基本概念和原理, 详细介绍了 VS2005 的基本用法及 OpenCV 在 VS2005 上的配置流程, 给出了利用 VS2005 和 OpenCV 进行数字图像处理常见算法的 C++ 代码。本书将数字图像处理的基本原理与具体实践相结合, 不仅让读者能够对数字图像处理的原理有深刻的理解, 也为读者迅速掌握当下最流行的数字图像处理工具 OpenCV 打下良好的基础。本书可作为高等院校计算机相关专业本科生和研究生的教材, 也可作为其他从事数字图像处理行业人员的参考资料。

本书内容丰富、讲解详尽、可读性强, 所设计的示例程序均为经典的数字图像处理算法, 程序编写规范, 并附有详细的程序注释, 能够满足读者在掌握理论的同时进行手动训练的需要。

责任编辑: 许 波

高等院校计算机专业教材

数字图像处理基础及 OpenCV 实现

SHUZI TUXIANG CHULI JICHU JI OpenCV SHIXIAN

张广渊 王爱侠 王超 主编

出版发行: 知识产权出版社有限责任公司

电 话: 010-82004826

社 址: 北京市海淀区马甸南村 1 号

责编电话: 010-82000860 转 8363

发行电话: 010-82000860 转 8101 / 8029

印 刷: 北京中献拓方科技发展有限公司

开 本: 787mm×1000mm 1/16

版 次: 2014 年 12 月第 1 版

字 数: 300 千字

网 址: <http://www.ipph.cn>

<http://www.laichushu.com>

邮 编: 100088

责编邮箱: xbsun@163.com

发行传真: 010-82000893 / 82003279

经 销: 各大网上书店、新华书店及相关专业书店

印 张: 19.5

印 次: 2014 年 12 月第 1 次印刷

定 价: 48.00 元

ISBN 978-7-5130-3166-0

出版权专有 侵权必究

如有印装质量问题, 本社负责调换。

前 言

图像是人类获取和交换信息的主要工具，数字图像处理就是利用计算机对图像进行各种处理的技术和方法。20世纪20年代，图像处理首次得到应用，60年代末，图像处理技术经过不断完善，已逐渐成为一个新兴的学科。利用数字图像处理技术能够有效改善图像的质量，或者从图像中提取有用的信息。目前，数字图像处理技术已经在很多领域有着广泛的应用，如通信技术、遥感技术、生物学、工业生产、计算机科学等。

基于这一现状，本书着重介绍了常见的数字图像处理方法，以便读者能够对数字图像处理有更加深入的理解。本书主要适用于具备数字图像理论基础和基本计算机软件编程能力的读者。

有感于部分教材仅注重理论介绍，缺乏示例程序的现状，本书力图在介绍数字图像处理基础理论的同时，结合具体实际，详细阐述以 Visual Studio 2005 (VS2005) 和 OpenCV 为主要工具的软件实践方法，做到理论和实际相结合，使读者不仅能够掌握数字图像处理理论，同时也能够掌握基本的数字图像处理软件开发技术，真正做到学以致用。

全书共分为11章。第1章阐述了数字图像处理的相关概念和研究内容，简要介绍了VC++和OpenCV开发工具；第2章介绍了在VS2005中如何创建项目与解决方案，以及基本控件的用法；第3章介绍了OpenCV的安装与配置；第4章介绍了颜色的描述和度量，着重阐述了图像信息的数字化，以及常见的图像格式和视频格式；第5章从图像的形状、位置等角度阐述了图像的几何变换，以及图像的基本运算；第6章介绍了图像增强的目的和意义，以及常见的图像增强方法；第7章针对图像获取和传输过程中产生的噪声，介绍了常用的去噪滤波方法；第8章介绍了图像锐化方法，以便增强图像中物体的边缘，着重介绍了一阶微分法和二阶微分法；第9章介绍了三种常用的图像分割方法；第10章介绍了二值图像特征分析中的基础概念，并着重阐述了二值图像的形状特征提取与分析问题；第

11 章在介绍色度学基础和颜色模型的基础上, 详细介绍了常见的彩色图像处理方法。

此外, 针对本书中介绍的数字图像处理方法, 在理论介绍的同时, 给出了相应的 C++ 代码实现, 读者可以参考这些代码, 实际动手查看各种方法的处理效果, 从而激发读者的学习兴趣。

本书第 1 章到第 3 章由黑龙江大学信息与网络建设管理中心王超编写, 第 4 章、第 5 章由东北大学王爱侠编写, 第 11 章由王爱侠和王超共同编写, 第 6 章、第 9 章由山东交通学院王朋编写, 第 7 章、第 8 章由山东交通学院倪翠编写, 第 10 章由山东交通学院李克峰编写, 山东交通学院肖海荣、朱振方、司冠南、武华、倪燃、杨光和刘洋也参与了编写工作, 并测试了各章的程序代码。全书由山东交通学院张广渊统稿。

由于作者水平有限, 在本书编写过程中难免出现错误和疏漏, 恳请广大读者予以批评指正。

编 者

2014 年 11 月

目 录

第1章 引 言	1
1.1 数字图像处理概述	3
1.2 VC++概述	8
1.3 OpenCV 概述	9
第2章 VC++基础知识	11
2.1 项目与解决方案	14
2.2 消息与响应	21
2.3 对话框	30
2.4 常用控件	39
2.5 菜单栏与工具栏	54
第3章 OpenCV的安装及配置	65
3.1 概述	67
3.2 安装及配置	68
第4章 数字图像的基本概念	79
4.1 颜色的属性和三基色原理	81
4.2 图像信号的数字化	83
4.3 图像格式	95
4.4 视频格式	116
4.5 OpenCV 实现	123
第5章 图像的几何变换	129
5.1 形状变换	131
5.2 位置变换	136
5.3 仿射变换	141

5.4 图像的基本运算	142
5.5 OpenCV 实现	148
第 6 章 图像增强	155
6.1 图像增强的目的和意义	157
6.2 对比度线性展宽及非线性动态范围调整	158
6.3 直方图均衡化	162
6.4 伪彩色增强	166
6.5 OpenCV 实现	171
第 7 章 图像去噪	183
7.1 噪声的概念	185
7.2 均值滤波	188
7.3 中值滤波	190
7.4 边界保持滤波	191
7.5 其他去噪滤波	193
7.6 OpenCV 实现	198
第 8 章 图像锐化	201
8.1 图像锐化的目的和意义	203
8.2 一阶微分法	204
8.3 二阶微分法	209
8.4 OpenCV 实现	210
第 9 章 图像分割	215
9.1 基于边缘检测的图像分割	218
9.2 基于阈值的图像分割	226
9.3 基于区域的图像分割	230
9.4 OpenCV 实现	234
第 10 章 二值图像处理	237
10.1 二值图像的连接性和距离	239

10.2 连接成分的变形处理	246
10.3 形状特征提取与分析	254
10.4 OpenCV 实现	266
第 11 章 彩色图像处理	273
11.1 色度学基础和颜色模型	276
11.2 颜色变换	285
11.3 彩色图像增强	288
11.4 彩色图像复原	292
11.5 彩色图像分析	294
11.6 OpenCV 实现	297
参考文献	303



第1章 引 言

1.1 数字图像处理概述

数字图像处理 (Digital Image Processing), 是指用计算机或其他数字技术将图像信号转换成数字信号并对其进行处理的过程。

数字图像处理最早出现于20世纪50年代, 当时的电子计算机已经发展到一定水平, 人们开始利用计算机来处理图形和图像信息。数字图像处理作为一门学科约形成于20世纪60年代初期。早期图像处理的目的是改善图像的质量, 它以人为对象, 以改善人的视觉效果为目的。图像处理中, 输入的是质量低的图像, 输出的是改善质量后的图像。常用的数字图像处理方法有图像增强、复原、编码、压缩等。数字图像处理早期应用是对航天探测器发回的图像进行各种处理。到了20世纪70年代, 数字图像处理技术的应用迅速从宇航领域扩展到生物医学工程、工业检测、机器人视觉、公安司法、军事制导、文化艺术等各个领域和行业, 成为一门引人注目、前景远大的新型学科, 对经济、军事、文化以及人们的日常生活产生了重大影响。

数字图像处理的重要性源于以下两个方面:

一是可以改善图像信息以便人们对图像进行解释,如图像增强、图像平滑和去噪、图像锐化等技术。这些技术针对给定的图像,有目的地强调图像的整体或局部特性,将原来不清晰的图像变得清晰或强调某些感兴趣的特征,扩大图像中不同物体特征之间的差别,抑制不感兴趣的特征,使之改善图像质量、丰富信息量,加强图像判读和识别效果。

二是为存储、传输和分析而对图像进行处理,如图像编码、图像分割、目标识别等技术。这些技术要么对图像数据进行压缩,在保证图像质量的情况下减少数据量,节省图像存储空间和在传输过程中所占用的网络资源;要么将图像分成若干个特定的、具有独特性质的区域,并提取出感兴趣的目标,这是由图像处理到图像分析的关键步骤。

数字图像处理技术是伴随着计算机信息功能的日益强大以及人们对高精度图像的需求而产生的,随着社会的发展,尤其是计算机信息技术的进步,数字图像处理技术和其他多门学科相互结合、相互渗透,已经应用于越来越多的领域,其重要性也变得日益突出。

1.1.1 数字图像的概念

一幅图像可以定义为一个二维函数 $f(x,y)$, 其中, x 和 y 是空间坐标, f 表示图像在 (x,y) 处的强度值或灰度值。当 x 、 y 和 $f(x,y)$ 的值都是有限的离散数值时,称该图像为数字图像。数字图像是由有限数量的元素组成的,每个元素都有一个特定的位置和幅值,称这些元素为像素。一幅数字图像就是由一系列的像素点组成的,如图 1-1 所示。

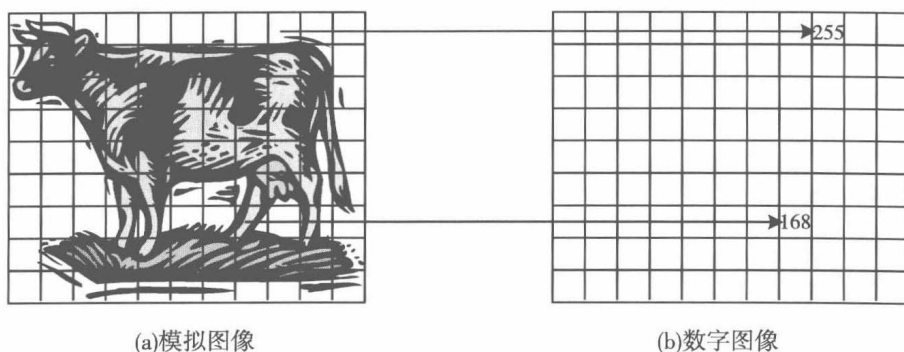


图 1-1 模拟图像及对应的数字图像

在图 1-1(b)中, 每个小方格就代表一个像素, 赋予该像素的值就反映了模拟图像上对应位置处的亮度值。

1.1.2 数字图像处理的研究范畴

数字图像处理的研究范畴主要有以下几个方面:

(1) 图像变换。由于图像阵列很大, 直接在空间域中进行处理, 涉及的计算量很大。因此, 往往采用各种图像变换的方法, 如傅里叶变换、沃尔什变换、离散余弦变换等间接处理技术, 将空间域的处理转换为变换域处理, 不仅可减少计算量, 而且可以获得更为有效的处理(如傅里叶变换可在频域中进行数字滤波处理)。目前新兴研究的小波变换在时域和频域中都具有良好的局部化特性, 它在图像处理中也有着广泛而有效的应用。

(2) 图像压缩。图像压缩技术可减少描述图像的数据量(即比特数), 从而节省图像传输、处理时间和所占用的存储器容量。图像压缩可以在不失真的前提下获得, 也可以在允许的失真条件下进行。图像编码是图像压缩技术中最为重要的方法, 它在图像处理技术中是发展最早且比较成熟的技术。

(3) 图像增强和复原。图像增强和复原的目的是为了提高图像的质量, 如去除噪声、提高图像的清晰度等。图像增强不考虑图像降质的原因, 突出图像中所感兴趣的部分。如强化图像高频分量, 可使图像中物体轮廓清晰, 细节明显; 而强化低频分量可减少图像中噪声影响。图像复原要求对图像降质的原因有一定的了解, 一般应根据降质过程建立“降质模型”, 再采用某种滤波方法, 恢复或重建原来的图像。

(4) 图像分割。图像分割是数字图像处理中的关键技术之一。图像分割是将图像中有意义的特征部分提取出来, 这些特征包括图像中的边缘、区域等, 这是进一步进行图像识别、分析和理解的基础。虽然目前已研究出不少边缘提取、区域分割的方法, 但还没有一种普遍适用于各种图像的有效方法。因此, 对图像分割的研究还在不断深入之中, 是目前图像处理中研究的热点之一。

(5) 图像描述。图像描述是图像识别和理解的必要前提。作为最简单的二值图像可采用几何特性描述物体的特性, 一般图像的描述方法采用二维形状描述, 它有边界描述和区域描述两类方法。对于特殊的纹理图像可采用二维纹理特征描

述。随着图像处理研究的深入发展,已经开始进行三维物体描述的研究,提出了体积描述、表面描述、广义圆柱体描述等方法。

(6) 图像识别。图像识别属于模式识别的范畴,主要内容是研究图像经过某些预处理(增强、复原、压缩)后,进行图像分割和特征提取,从而进行判决分类。图像识别常采用经典的模式识别方法,有统计模式分类和句法(结构)模式分类,近年来新发展起来的模糊模式识别和人工神经网络模式分类在图像识别中也越来越受到重视。

1.1.3 数字图像处理的特点

数字图像处理是利用计算机的计算功能,实现与光学系统模拟处理相同效果的过程。数字图像处理具有如下特点:

(1) 处理精度高,再现性好。利用计算机进行图像处理,其实质是对图像数据进行各种运算。由于计算机技术的飞速发展,计算精度和计算的正确性都毋庸置疑;另外,对同一图像用相同的方法处理多次,也可得到完全相同的效果,具有良好的再现性。

(2) 易于控制处理效果。在图像处理程序中,可以任意设定或变动各种参数,能有效控制处理过程,达到预期处理效果。这一特点在改善图像质量的处理中表现更为突出。

(3) 处理的多样性。由于图像处理是通过运行程序进行的,因此,设计不同的图像处理程序,可以实现各种不同的处理目的。

(4) 图像数据量庞大。图像中包含有丰富的信息,可以通过图像处理技术获取图像中包含的有用信息,但是,数字图像的数据量巨大,一幅数字图像是由图像矩阵中的像素组成的。通常每个像素用红、绿、蓝三种颜色表示,每种颜色用 8bit 表示灰度级,则一幅 1024×1024 不经压缩的真彩色图像,数据量达 3MB (即 $1024 \times 1024 \times 8\text{bit} \times 3 = 24\text{Mb}$)。如此庞大的数据量给存储、传输和处理都带来巨大的困难。如果精度及分辨率再提高,所需处理时间将大幅度增加。

(5) 处理费时。由于图像数据量大,因此处理比较费时。特别是处理结果与中心像素邻域有关的处理过程花费时间更多。

(6) 图像处理技术综合性强。数字图像处理涉及的技术领域相当广泛，如通信技术、计算机技术、电子技术、电视技术等，当然，数学、物理学等领域更是数字图像处理的基础。

1.1.4 数字图像处理系统的组成

数字图像处理系统一般由数字化器、存储器、图像处理器和输出设备四部分组成，如图 1-2 所示。

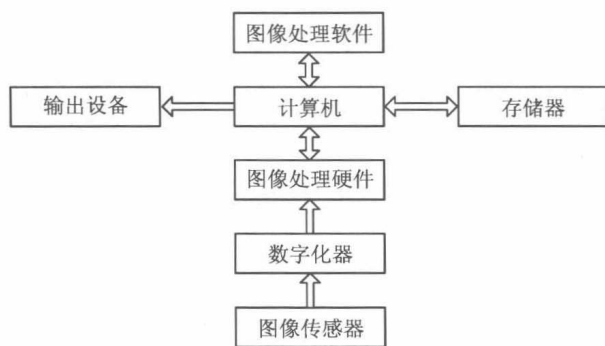


图 1-2 数字图像处理系统组成

数字化器是一种把连续明暗（彩色）图像转变为计算机可以接收的数字图像的设备。最常见的数字化器有数字摄像机、数码相机、扫描仪等。模拟图像经数字化器处理后，转变成一幅数字图像输入计算机，也可以事先经过硬件处理后再输入计算机。计算机根据用户需要，调用不同的图像处理软件，对输入的数字图像进行处理，处理结果存储在存储器中，并可以在显示器上显示该图像。

存储器可以存储数字化后的图像，也可以存储经过处理之后的图像。由于图像本身数据量很大，加之需要处理的图像往往又很多（如三维图像、视频等），因此，通常的数字图像处理系统都有一个容量巨大的存储器。

图像处理器包括图像处理软件和图像处理硬件。图像处理软件对于一个数字图像处理系统来说是必不可少的。现有的图像处理软件大多是使用高级语言，如 C++、C# 等编写的。对于一些应用较多、计算量较大的程序，可以固化成专用的图像处理硬件，以进一步提高图像处理的速度。

输出设备包括显示器、打印机等。

1.2 VC++概述

Microsoft Visual C++, 简称 Visual C++、MSVC、VC++或 VC, 是 Microsoft 公司开发的基于 C/C++ 语言的辅助开发工具, 集代码编辑、编译、连接、调试等功能于一体, 并整合了便利的除错工具, 特别是整合了微软视窗程序设计 (Windows API)、三维动画 DirectX API、Microsoft .NET 框架, 它不但大大提高了应用程序的开发效率, 而且给编程人员提供了一个完整又方便的集成开发环境。VC++ 语言的集成开发环境为用户提供了一个快速编程的框架, 大大提高了编程的效率。但是, 要真正掌握 VC++ 语言, 还必须对 C/C++ 语言有深入的了解。

C++ 语言是在 C 语言的基础上发展而来的, 对语言本身而言, C 语言是 C++ 语言的子集。C 语言实现了 C++ 语言中过程化控制及其他相关功能, 而 C++ 语言中的 C 语言, 相对于原来的 C 语言还有所加强, 引入了重载、内联函数、异常处理等技术。C++ 语言更是扩展了面向对象设计的内容, 如类、继承和派生、虚函数、模板等。

尽管 C++ 语言与 C 语言相比, 增加了许多新的功能, 但并不是说 C++ 语言比 C 语言高级, 两者的编程思想并不一样。具体来说, C 语言是面向过程的 (procedure-oriented), 它的重点在于算法和数据结构, C 程序设计首先要考虑的是如何通过一个过程, 对输入进行运算处理, 从而得到输出; C++ 语言是面向对象的 (object-oriented), 主要特点是类、封装和继承, C++ 程序设计首先要考虑的是如何构造一个对象模型, 让这个模型能够契合与之对应的问题域, 这样就可以通过获取对象的状态信息得到输出或实现过程控制。在各自的领域, C 语言和 C++ 语言, 谁也不能替代谁。

在 Windows 操作系统出现以后, 开发基于 Windows 平台的图形界面程序成为一大难题。用 C 语言虽然也能开发, 但是程序员要花费很大的精力去处理图形界面, 而 Windows 平台图形界面的程序又有很多相似点, 因此, 为了解放程序员, 让他们把精力主要放在程序功能上, 而不是放在图形界面上, 微软公司推出了 Visual 系列软件开发环境, 包括为 C++ 程序员提供的 VC++ 语言, 程序员能用 C++ 语言在其上进行图形界面的开发。与此同时, VC++ 语言提供了很多用于显示 Windows 界面的库函数以供程序员调用, 可以说 VC++ 语言就是 C++ 语言加上

Windows 图形界面。

VC++拥有两种编程方式：一种是基于 Windows API 的 C 编程方式，API (Application Programming Interface, 应用程序编程接口) 是指一些预先定义的函数，目的是提供应用程序与开发人员基于某软件或硬件的以访问一组例程的能力，而又无须访问源代码或理解内部工作机制的细节，这种编程方式代码运行效率较高，但开发难度和工作量较大；另一种是基于 MFC 的 C++ 编程方式，MFC (Microsoft Foundation Classes, 微软基础类库) 是微软公司提供的的一个类库，以 C++ 类的形式封装了 Windows 的 API，并且包含一个应用程序框架，以减少应用程序开发人员的工作量，这种编程方式代码运行效率相对较低，但开发难度小，开发工作量小，源代码效率高。如今使用 C 编程方式的用户已经很少，C++ 编程的方式已成为 VC++ 开发 Windows 应用程序的主流。

1.3 OpenCV 概述

随着数字图像处理技术和计算机视觉技术的迅速发展及其应用市场规模的不断扩大，迫切需要像计算机图形学的 OpenGL 和 DirectX 那样的标准 API，来给程序员的发展提供支持，加快开发速度。1999 年，Intel 推出了高性能的开源计算机视觉库 (Open Source Computer Vision Library, OpenCV)。2000 年，OpenCV 的第一个开源版本发布，之后经过不断的完善和发展，现在 OpenCV 已经成为包含 500 多个 C 函数的跨平台的 API。OpenCV 的出现，大大简化了数字图像处理与计算机视觉程序设计工作，提高了软件开发效率。

OpenCV 是一个用于图像处理、分析、机器视觉开发方面的、开源的跨平台计算机视觉库。无论是做科学研究，还是商业应用，OpenCV 都可以作为理想的工具库。它具有以下几个特点：

- (1) OpenCV 采用 C/C++ 语言编写，可以运行在 Linux、Windows、Mac OS 等操作系统之上。
- (2) OpenCV 提供了 Python、Ruby、MATLAB 以及其他语言的接口。
- (3) 采用优化的 C 代码编写，能够充分利用多核处理器的优势。
- (4) 具有良好的可移植性。

OpenCV 的设计目标是加快程序的执行速度，主要关注于实时应用。