

基于机器视觉的 数字图像处理与识别 研究

代小红○著

JIYU JIQI SHIJUE DE SHUZI TUXIANG
CHULI YU SHIBIE
YANJIU

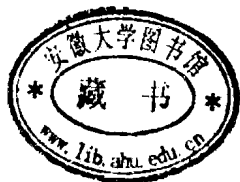


西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

基于机器视觉的数字图像 处理与识别研究

代小红 著

单 位 电子商务及供应链系统重庆市重点实验室
(重庆工商大学)
重庆工商大学学术期刊社



西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

基于机器视觉的数字图像处理与识别研究 / 代小红
著. —成都: 西南交通大学出版社, 2012.3
ISBN 978-7-5643-1643-3

I. ①基… II. ①代… III. ①数字图像处理—研究
②数字图像—模式识别—研究 IV. ①TN911.73

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 010079 号

基于机器视觉的数字图像处理与识别研究

代小红 著

*

责任编辑 李芳芳

特邀编辑 黄庆斌 顾 飞

封面设计 墨创文化

西南交通大学出版社出版发行

成都二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031

发行部电话: 028-87600564

<http://press.swjtu.edu.cn>

成都蓉军广告印务有限责任公司印刷

*

成品尺寸: 148 mm × 210 mm 印张: 7.625

字数: 268 千字

2012 年 3 月第 1 版 2012 年 3 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5643-1643-3

定价: 20.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

本专著结合作者对图像处理与模式识别进行的研究和工作，对图像处理与模式识别方面的几个关键问题进行了论述与探讨。全书共分为八章，内容涉及图像采集、图像变换、图像增强、图像编码、图像识别与跟踪、图像特征提取等技术，结合具体的科研项目开发，介绍了基于混合高斯模型的视频目标识别算法、图像平滑处理的频域分析法、基于支持向量机的图像识别、基于改进的 GMM 与 SVM 结合的视频目标识别算法等方面的应用。本书内容全面、理论与实例分析相结合、阐述清晰、图文并茂，可供信息科学、数理科学、生命科学和遥感科学的科研人员和工程技术人员阅读，还可作为计算机科学与技术、自动化、电子工程、模式识别、仿真与虚拟现实、信号与信号处理、图形图像处理工作的专业技术人员和科研工作者的参考书目。

本专著得到了以下科研项目：重庆市教委重点研究项目（112081）；重庆市教委科技项目（基于智能控制的多功能输液系统设计与研究）的资助。

感谢重庆邮电大学生物信息学院王光利老师对本著作的统稿和校审，重庆工商大学计算机科学与信息工程学院杨永斌老师对本著作的校阅与指导！

作 者

2012 年 1 月

目 录

绪 论	1
第 1 章 计算机图形概述	3
1.1 引 言	3
1.2 图像分割	6
1.3 图像对象描述概述	9
1.4 图像特征分析	12
第 2 章 数字图像处理与图像分割	25
2.1 数字图像处理的基础知识	26
2.2 图像增强	28
2.3 SVM 图像分割	30
2.4 基于 Renyi 熵和高斯混合模型的图像分割	39
2.5 指纹方向滤波	53
2.6 实验结果	71
2.7 结 论	74
第 3 章 图像质量分析	75
3.1 引 言	75
3.2 算法概述	77
3.3 全局质量分析	79
3.4 局部质量分析	81
3.5 实验结果	82
3.6 本章小结	86
第 4 章 图像特征提取	87
4.1 引 言	87

4.2	轮廓特征提取	90
4.3	形状识别相关经典理论	93
4.4	图像形状特征	99
4.5	图像统计特征	102
4.6	图像识别中的邻接轮廓线段组特征	102
4.7	基于模板的对象检测中局部形状和边界特征	106
4.8	对象边缘的相对方向特征	110
第 5 章	图像平滑处理的频域分析法	134
5.1	时域、频域、时频分析与数学分支简介	135
5.2	数字图像处理	137
5.3	指纹图像的频域分析	146
5.4	指纹图像奇异点块检测	153
5.5	仿真结果与分析	157
5.6	结 论	159
第 6 章	基于支持向量机的图像识别	160
6.1	基于统计学习理论	160
6.2	支持向量机模型	164
6.3	支持向量机的模型参数选择	170
6.4	SVM 图像目标识别算法	172
6.5	试验结果与分析	176
6.6	本章小结	179
第 7 章	运动视频特征图像的识别	
	——基于 GMM 与 SVM 的识别算法	180
7.1	基于混合高斯模型的视频目标识别算法	181
7.2	基于改进的 GMM 与 SVM 结合的 视频目标识别算法	185
7.3	试验结果与分析	187
7.4	本章小结	190

结 论	191
第 8 章 图像识别的应用实例分析	193
8.1 枪弹痕迹识别的技术概况	194
8.2 非制式枪枪痕图像识别	198
8.3 SIFT 特征的图像配准	211
8.4 结论与分析	220
8.5 总结与展望	221
参考文献	224

绪 论

视觉是人类认知世界的重要途径，由于人眼摄入景物时的整体性和人的神经系统处理信息的高度并行性，因此人的视觉系统识别图像是轻而易举的事情；而目前利用计算机处理图像数据是逐像素进行的，因此缺乏整体形象的指导，其自动识别图像的准确率以及效率还远不及人的视觉，虽然近年来计算视觉技术发展迅速，新的研究成果层出不穷，但仍存在诸多具有理论意义和实用价值的课题需要研究探索。

计算机视觉技术在工业、医疗、航空航天等领域具有广泛的应用前景，本书在分析总结国内外计算机视觉领域的研究现状和发展趋势的基础上，系统、深入地研究了图像分割、图像特征提取、图像平滑处理和图像识别等计算机视觉系统中的几个关键问题，并将理论研究成果应用于相应的计算机视觉任务中，验证了所提出的方法的可行性和有效性。

目前机器视觉系统基本上是在建立在计算机系统之上的，具有高速度、高精度、高度自动化的特点。但是由于机器视觉系统软硬件环境要求高、体积较大、成本较高，因而应用范围受到一定限制。随着新微处理器的推出，计算机上使用的通用新技术逐步移植到嵌入式系统中，使得嵌入式软硬件平台进一步完善。嵌入式系统具有功耗低、体积小、价格低、运用灵活等优点。嵌入式技术与机器视觉技术相结合的嵌入式机器视觉系统，不仅能拓展机器视觉的应用范围，而且也成为机器视觉研究、发展的一个新方向。

二维图像的分析 and 二维对象的识别是机器视觉的重要研究内容

之一。对图像进行分析的目的是要识别其中的对象，首先要分割出对象，然后提取描述对象的特征，并依据特征来识别对象。可见图像分割、对象特征提取、基于特征设计识别算法是图像对象识别的关键问题。针对图像对象识别中的关键问题，结合实际的科研工作，在此对指纹图像分割、对象形状特征描述、枪痕图像识别等问题进行了分析和研究，研究工作体现在如下几个方面：首先，提出并实现了基于支持向量机（SVM）的指纹图像分割方法。支持向量机是近年来备受推崇的机器学习方法，在分析所处理的指纹数据库的特点的基础上，提出并实现了一种用图像块方差和块对比度构成 SVM 特征的指纹分割算法，该算法在 FVC2002DB4 数据库上取得了较好的分割结果，正确分割率高于 95%。其次，提出了一种将局部分分析和全局分析相结合，综合评价识别图像质量的方法。该方法首先将识别图像划分成 32×32 的子块，对每块作 FFT 变换，计算块频谱分布图的最小转动惯量和偏心率，从这些参数得到块质量的局部分析结果；其次考察每块图像的频域特征参与其 8 近邻块相应参数的关系，从纹线流势的全局观点，聚类形成像的清晰区和模糊区；最后综合局部分分析和全局分析的结果，得出识别图像的质量评分。实验结果表明：这是一种合理的、有效的质量评价方法。在研究中提出了一种表示图像对象形状的边缘相对方向特征，将图像对象形状的边缘信息抽象成由特征点及边缘相对方向构成的特征图，可以设计出对平移、尺度、旋转变换具有不变性的图像对象形状识别算法。将边缘相对方向特征应用于手势图像识别，实验结果证明了该特征的有效性和高速性，识别率高于 98%，平均每幅图像的识别时间少于 0.45 ms。最后，以指纹图像和非制式枪枪痕图像为研究对象，提出并实现了指纹图像和非制式枪枪痕图像识别方法。非制式枪枪痕图像的计算机自动识别目前尚未见到比较成功的相关报道，此前非制枪枪痕识别工作是由专业人员在显微镜下进行人工比对来识别的，其效率非常低。在此提出并实现了非制式枪弹头枪痕图像的识别方法，该方法提取枪痕图像的 SIFT 特征来进行比对识别，取得了比较好的识别效果。

第1章 计算机图形概述

1.1 引言

计算机视觉是运用计算机及相关设备来对生物视觉的一种模拟。其主要任务就是通过对采集的图片或视频进行处理以获得相应场景的三维信息，就像人类和许多其他类生物每天所做的那样。

计算机视觉是工程领域和科学领域中的一个富有挑战性的重要研究领域。计算机视觉是一门综合性的学科，它已经吸引了来自各个学科的研究者参加到对它的研究之中，其中包括计算机科学和工程、信号处理、物理学、应用数学和统计学，神经生理学和认知科学等。视觉是人类认知世界的重要途径，视觉过程可理解为由感觉到知觉的复杂过程，尽管如此，由于人眼摄入景物时的整体性和人的神经系统处理信息的高度并行性，因此人的视觉系统识别图像是简单易行的事情；而计算机处理图像数据是逐像素进行的，是从局部开始的，所以计算机识别图像的准确率和效率目前还远不及人的视觉。为使计算机能够具有人的视觉能力，计算机的对象识别就构成了具有挑战性的技术领域——计算机视觉。计算机视觉是研究利用计算机对数字图像的结构和内容进行自动分析、提取图像的特征信息并加以理解和识别的技术。计算机视觉是计算机科学和人工智能领域的一个快速发展的重要分支，具有极其重要的研究价值，在图像检索、遥感图像分析、字符识别、人脸识别、指纹识别、医学图像分析、动植物种类识别等众多方面都得到广泛应用。尽管前人

已在此领域取得了众多研究成果，但此领域仍然具有技术研究和市场发展的巨大潜力。

计算机视觉的原理：计算机视觉就是用各种成像系统来代替视觉器官作为输入图像的工具和手段，由计算机来代替大脑完成处理和解释。计算机视觉的最终研究目标就是使计算机能像人那样通过视觉观察和理解世界，具有自适应环境的能力。这一目标要经过长期的努力才能达到。因此，在实现最终目标之前，人们努力的中期目标是建立一种视觉系统，这个系统能依据视觉敏感和反馈的某种程度智能完成一定的任务。例如，计算机视觉的一个重要应用领域就是自主车辆的视觉导航，目前还没有条件实现像人那样能识别和理解任何环境，完成自主导航的系统。因此，目前人们努力的研究目标是实现在高速公路上具有道路跟踪能力，可避免与前方车辆碰撞的视觉辅助驾驶系统。这里要指出的一点是在计算机视觉系统中，计算机起代替人脑的作用，但并不意味着计算机必须按人类视觉的方法来完成视觉信息的处理。计算机视觉可以而且应该根据计算机系统的特点来进行视觉信息的处理。但是，人类视觉系统是迄今为止，人们所知道的功能最强大和完善的视觉系统。如在以下的章节中看到的那样，对人类视觉处理机制的研究将会给计算机视觉的研究提供启发和指导。因此，用计算机信息处理的方法研究人类视觉的机理，建立人类视觉的计算理论，也是一个非常重要和让人感兴趣的研究领域。这方面的研究被称为计算视觉（Computational Vision）。计算视觉可被认为是计算机视觉中的一个研究领域。

（1）二维计算机图形（2D Computer Graphics, 2DCG）。

二维计算机图形是基于计算机的数字图像产生——主要是从二维模型（例如，二维几何模型，文本和数字图像）产生，并且其使用只适用这些模型的技术。该词也用于指代这些模型本身。采用该技术的计算机科学分支称为二维计算机图形学。二维计算机图形主要应用于本来采用传统印刷和绘制技术的那些场合。例如，字体、地图、工程制图、广告等。在这些应用中，二维图像不仅仅是现实世界物体的一个表示，它本身也是有附加含义的独立个体。二维模型

在这些应用中更为实用，因为它们给出了比三维计算机图形更为直接的控制（三维图形更像摄影而非打印）。在诸如桌面发布、工程和商务这样的领域，基于二维计算机图形的文档的表述比相应的数字图像可能会小得多——经常只有 1/1 000 或者更小。该表示法也更灵活，因为它可以在不同的图像分辨率进行绘制以适应不同的输出设备。因此，文档和插图采用二维图形文件存储和传输。

上世纪五十年代，人们开始研究基于矢量图形设备的二维计算机图形。但是在接下来的数十年间被光栅设备大量替代。PostScript 语言和 X Window System 协议是该领域里程碑式的发展。二维图像的分析 and 二维对象的识别是计算机视觉的主要研究内容之一。分析和识别图像的目的是要识别其中的图像对象，而图像对象识别的关键问题为图像对象分割、对象的描述、利用对象描述特征设计识别算法。

（2）二维图形技术。

二维图形模型可以是如下这些组件的组合：几何模型（也称为矢量图形），数字图像（也称为光栅图形），需要排版的文本（由内容、字体、大小、颜色和方向定义），数学函数和方程等。这些组件可以通过像平移、旋转、缩放这样的二维几何变换来修改和操作。在面向对象图形中，一个用任意的算法来赋予图像像素色彩值的过程的对象来描述。复杂的模型可以通过将更简单的对象组合得到，可以采用面向对象编程的方式进行处理。

（3）直接绘制。

创建一个复杂图像的一个简易办法是从一块空白画布开始，填满单一背景色的光栅图（像素数组，也称为位图），然后通过正确的次序“画”，“漆”或者“贴”上简单的色块。画布也可以是计算机显示器的帧缓存。有些程序会直接设置像素色彩值，但多数会依赖一些二维图形库以及（或者）机器的图形卡，它们通常会实现下列操作：

- 将一个给定的数字图像以一个给定的偏移贴到画布上；
- 在给定的位置和角度将一个字符串以给定的字体写入帧缓存；

- 绘制一个简单的几何形体；例如用三个定点定义三角形，或者用给定圆心和半径定义圆；

- 绘制一条线段、圆弧或者用给定粗细的虚拟笔绘制简单曲线。

(4) 扩充色彩模型。

文本、形状和线条使用用户指定的色彩绘制。很多库和卡提供色彩梯度，这对于产生平滑变化的背景、阴影效果等都很实用（参见 Gouraud 明暗图）。像素色彩也可以从纹理中取得。例如，从一个数字图像中，用给定色彩绘制一个像素通常会取代其原先的色彩。但是，很多系统支持用透明和透过色彩绘制，这种方法只会修改原先的像素值。两个色彩也可以用更多的方法组合。这种技术被称为反色或者色彩翻转，并经常在图形用户界面中采用。

1.2 图像分割

图像分割是指将数字图像细分为多个图像子区域的过程。在 OpenCv 中实现了三种与图像分割相关的算法，它们分别是：分水岭分割算法、金字塔分割算法以及均值漂移分割算法。它们的使用过程都很简单，并使该系统保持完整。图像分割是计算机视觉领域中极为重要的内容之一，是实现自动图像分析首先需要完成的操作。其方法为：根据图像的某些特征或特征集合的相似性准则，对图像像素进行分组聚类，把图像平面划分为一系列“有意义”的区域，使其后的图像分析、识别等高级处理阶段所要处理的数据量大大减少，同时又保留着有关图像结构特征信息。由于分割中出现的误差会传播至高层次处理阶段，因此分割的精确程度是至关重要的。

图像分割是一种重要的图像技术，在理论研究和实际应用中都得到了人们的广泛重视。图像分割的方法和种类有很多，有些分割运算可直接应用于任何图像，而另一些分割运算只能适用于特殊类别的图像。有些算法需要先对图像进行粗分割，因为需要从图像中

提取出来的信息。例如，可以对图像的灰度级设置门限的方法分割。值得提出的是，没有唯一的标准分割方法。许多不同种类的图像或景物都可作为待分割的图像数据，不同类型的图像，已经有相对应的分割方法，同时，某些分割方法也只是适合某些特殊类型的图像分割。分割结果的好坏需要根据具体的场合及要求衡量。图像分割是从图像处理到图像分析的关键步骤，可以说，图像分割结果的好坏将直接影响对图像的理解。

早期的图像分割方法可以分为两大类。一类是边界方法。这种方法假设图像分割结果的某个子区域在原来图像中一定会有边缘存在；另一类是区域方法。这种方法假设图像分割结果的某个子区域一定会有相同的性质，而不同区域的像素则没有共同的性质。这两种方法各有优缺点，有的学者考虑把这两者结合起来进行研究。现在，随着计算机处理能力的提高，很多方法也不断涌现，如基于彩色分量分割、纹理图像分割。所使用的数学工具和分析手段也是不断地扩展，从时域信号到频域信号处理，小波变换等。目前，有许多的图像分割方法，从分割操作策略上来讲，可以分为基于区域生成的分割方法，基于边界检测的分割方法和区域生成与边界检测的混合方法。图像分割主要包括 4 种技术，分别为：并行边界分割技术、串行边界分割技术、并行区域分割技术和串行区域分割技术。

图像分割方法可分为结构分割方法和非结构分割方法两大类。结构分割方法是根据图像的局部区域像素的特征来实现图像分割，如灰度值、区域生长、纹理结构分析、基于边界信息的分割等。

应用统计模式识别、神经网络方法或利用景物的先验知识实现的图像分割方法属于非结构方法，这类方法根据图像的二维随机线性模型来构造分类的特征矢量。

(1) 基于边缘的分割方法。

图像分割的一种重要途径是通过边缘检测，即检测灰度级或者结构具有突变的地方，表明一个区域的终结，也是另一个区域开始的地方。而这种不连续性称为边缘。不同的图像其灰度不同，边界

处一般有明显的边缘，利用此特征可以分割图像。

图像中边缘处像素的灰度值不连续，这种不连续性可通过求导数来检测。对于阶跃状边缘，其位置对应一阶导数的极值点，对应二阶导数的过零点（零交叉点），因此常用微分算子进行边缘检测。常用的一阶微分算子有 Roberts 算子、Prewitt 算子和 Sobel 算子，二阶微分算子有 Laplace 算子和 Kirsh 算子等。在实际中各种微分算子常用小区域模板来表示，微分运算是利用模板和图像卷积来实现的。这些算子对噪声敏感，只适合于噪声较小不太复杂的图像。由于边缘和噪声都是灰度不连续点，在频域均为高频分量，直接采用微分运算难以克服噪声的影响，因此，用微分算子检测边缘前要对图像进行平滑滤波。LoG 算子和 Canny 算子是具有平滑功能的二阶和一阶微分算子，边缘检测效果较好。其中 LoG 算子是采用 Laplacian 算子求高斯函数的二阶导数，Canny 算子是高斯函数的一阶导数，它在噪声抑制和边缘检测之间取得了较好的平衡。

(2) 灰度阈值法。

灰度阈值法适合图像灰度分布具有较好的双峰值的情况。

(3) 区域生长法。

区域生长法所分割出的对象区域及边界分别满足封闭性和连续性，不需要进行边缘连接处理，但其算法复杂度一般高于边界操作，不易满足实时处理要求。

(4) 基于边界信息的分割方法。

基于边界信息的分割方法，边缘检测使用局部窗口操作，可以检测出通过给定点的边缘或边界，但不能体现全局的区域边界，而且边缘跟踪的顺序操作在很大程度上限制了分割的速度。

(5) 自适应图像分割。

自适应图像分割是近年来提出的一种新方法，它将局部并行区域感知与全局随机统计最佳逼近相结合，实现了一种非监督的图像分割。

(6) 纹理分割。

应用 Gabor 滤波器来实现纹理分割是近年来发展的一种非结构

方法，Gabor 函数是唯一能够达到时频测不准关系下界的函数，它能很好地同时在时域和频域中兼顾对纹理分割的分辨率的要求。

1.3 图像对象描述概述

图像分割的目的是从图像中分出感兴趣的区域或对象，以便提取描述对象的特征，用于对象的分类、识别等目的。在图像分割之后，可采用一系列符号或某种规则来具体描述该图像特征，以便进一步识别、分析或分类区分不同性质的图像。同时，也可以减少图像区域中的原始数据量。图像对象的描述可以从颜色、纹理、形状、空间关系、统计特征等五个方面进行特征抽象，更有效的描述特征是以上各种特征的合理组合，全面反映对象独有的特征，以设计高性能的识别算法。

图像对象的颜色是一种重要的视觉特征，其特征的取值与颜色空间的选取密切相关，常用的颜色空间模型有 RGB 模型、Hsv 模型、YcrCb 模型、Luv 模型等。在用颜色表示对象时，最常用的方法是提取对象的颜色直方图特征，而经典的方法是统计对象区域的整体颜色直方图，表征对象整体颜色分布特征。近年来，在图像检索和图像识别算法中，分块颜色直方图更为常用，“分块”统计的颜色直方图是局部特征的取值，而各块间的邻接关系，又表征了对象整体空间上的颜色分布特征，恰从局部到整体都描述了对象特征。但块还是有一定大小的，所以分块颜色直方图不能表示对象更细节的特征。

一般来说，纹理由许多相互接近的、相互编织的元素组成，富有周期性。纹理可认为是灰度（颜色）在空间以一定的形式变化而产生的图案（模式）。图像中反复出现的局部模式和它们的规则排列形成了图像的纹理，此局部模式称为纹理基元。纹理是真实图像区域固有的特征之一，其标志有三要素：① 某种局部的序列性，在该序列更大的区域内不断重复；② 序列由基本部分非随机排列组成；

③ 各个部分大致都是均匀的统一体，纹理区域内任何地方都有大致相同的结构尺寸。

纹理特征如下：

(1) 排列规则。根据排列特点，纹理分成人工纹理和自然纹理。人工纹理排列规则，而自然纹理排列无规则。通过人的主观感觉和图像的自身结构判断规则与否，因此形成统计分析和结构分析两种纹理分析方法。

(2) 统计特征。描述纹理图像需要像素及其邻域的灰度分布情况。一个简单的灰度级变化统计指标有标准偏差、方差、倾斜度、峰度等。共生矩阵可以作为图像统计纹理特征。

(3) 结构特征。结构特征针对纹理基元及空间排列规律分析。图像纹理，通常被视为图像的某种局部性质，或是对局部区域中像素之间关系的一种度量。常用的纹理描述法有三种：统计法、频谱法、结构法。图像纹理的描述需要结合统计和结构两类方法进行。纹理特征描述符的计算可以在空间域、变换域，还可以借助随机模型进行。基于空间性质的纹理模型有自相关函数、灰度共生矩阵、随机分形模型、随机模型。基于频域性质的纹理模型有功率谱、小波变换。近年来，线性反投影算法（Linear Back Projection, LBP）又称累加法，是最早使用的一种简单（ECT 图像重建）成像算法。它将通过某点的所有投影射线进行累加，再反向估算出该点的密度值。从成像观点分析，它是不完全的雷登逆变换（完整的雷登逆变换包括微分、希尔伯特变换、反投影和归一化等步骤）。

图像对象的统计特征，非常适合用计算机提取，常用的统计特征有对象灰度最大值、最小值、中值、均值、方差、对比度、直方图及高阶矩等，在图像对象的分割和表征对象方面它们是不可或缺的特征。

图像对象的空间关系，表达了图像中对象内部各部分之间的空间关系，以及复杂背景中多对象之间的空间关系，在此主要涉及对象内部各部分之间的关系。几何关系是一种空间关系，指在参考目标的仿射变换（平移、旋转、尺度缩放）下不变的关系。指纹识别