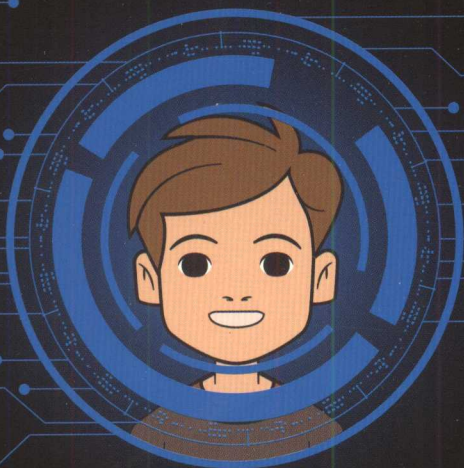


版权注意事项：

- 1、书籍版权归作者和出版社所有
- 2、本PDF仅限用于个人获取知识，进行私底下的知识交流
- 3、PDF获得者不得在互联网上以任何目的进行传播
- 4、如觉得书籍内容很赞，请购买正版实体书，支持作者
- 5、请于下载PDF后24小时内删除本PDF。

· 机器视觉与类脑智能丛书 ·

Broadview®
www.broadview.com.cn



人脸·识别

原理与实战

— 以MATLAB为工具 —

主 编：王文峰 李大湘 王栋

副主编：王庆香 郭裕兰 DLG

 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



王文峰，中国科学院西部之光学者、哈工大机器人（合肥）国际创新研究院类脑智能研究中心学术主任、中国自动化学会认知计算与系统专委会委员、中国人工智能学会认知系统与信息处理专委会委员、IEEE

及Springer旗下多个国际会议委员及分会场主席、多个SCI期刊审稿专家、国家自然科学基金项目评审专家、DLG联合发起人。



李大湘，西安邮电大学通信与信息工程学院信号与信息处理专业硕士生导师，主要研究领域为机器学习、计算机视觉与视频图像语义分析，并且在电子信息现场勘验应用技术公安部重点实验室从事刑侦视频图

像处理与分析的算法研究，以及监控视频中的人脸检测、识别算法研究与系统开发。



王栋，毕业于清华大学物理电子学专业，现为硕士研究生导师、中国科学院研究员、物联网产学研国际联盟主席、移动谷物联网实验室主任、美国斯坦福大学访问学者和特聘研究员，专注于脑机交互与类脑智能研究。

· 机器视觉与类脑智能丛书 ·

人脸识别 原理与实战

——以MATLAB为工具——

主 编：王文峰 李大湘 王栋

副主编：王庆香 郭裕兰 DLG

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

人脸识别是当前科技领域的高精尖技术。本书作为人脸识别技术的入门指南，在内容上尽可能涵盖了人脸识别的各个技术模块，并立足于作者在中国科学院、985 工程大学国家重点实验室从事视频识别与智能监控项目开发的研究积累及实战体验，分享了作者对人脸识别算法设计的一些亲身感触和认识。本书以问题为导向，将对人脸识别技术的研究与应用划分为入门、进阶和实战这三个阶段，层层拔高，完整再现了作者在人脸识别技术摸索阶段的一些简单尝试和心得体会，同时讲解了一些比较前沿的识别算法，并分享了作者对其算法思想的理解和体验，以及作者在技术开发实战阶段的感触和认识，涉及人脸识别系统设计、图像用户界面设计等内容。本书包含的所有案例均配有详细的代码注释，有助于读者深入理解人脸识别算法的设计思想，以具备大规模编程所需的技术模块设计和集成开发能力。

本书内容通俗易懂，适用于对人脸识别感兴趣但缺少专业基础和编程基础的读者。无论是对人脸识别技术感兴趣的技术人员，还是正在相关领域进行学习的大学生，都可以通过本书，轻松实现从零到进阶再到实战的技术成长，并体验阅读的乐趣！

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

人脸识别原理与实战：以 MATLAB 为工具 / 王文峰，李大湘，王栋主编. —北京：电子工业出版社，2018.3
（机器视觉与类脑智能）

ISBN 978-7-121-33573-0

I. ①人… II. ①王… ②李… ③王… III. ①人脸识别—研究 IV. ①TP391.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2018）第 018434 号

策划编辑：张国霞

责任编辑：徐津平

印 刷：三河市双峰印刷装订有限公司

装 订：三河市双峰印刷装订有限公司

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：787×980 1/16 印张：17.5 字数：310 千字

版 次：2018 年 3 月第 1 版

印 次：2018 年 3 月第 1 次印刷

印 数：4000 册 定价：79.00 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

本书旨在介绍人脸识别应用中的关键技术问题，并与作者主持和参与的中国科学院西部之光项目（XBBS-2014-16）、国家自然科学基金项目（61602499）和国家千人计划项目（Y474161）等的研究积累相结合，深入浅出、循序渐进地解析 MATLAB 人脸识别中的算法思想、识别原理与高级编程技巧，力图使读者具备大规模编程所需的技术模块设计和集成开发能力，并能基于本书所讲解的 MATLAB 人脸识别算法设计思想、图形用户界面设计与调试等内容，更深刻地理解真实场景下的人脸识别技术体系。

本书特点

- 作者梯队完善，经验丰富

本书的主编、副主编大多在中国科学院、“985 工程”大学国家重点实验室负责机器学习、数字图像处理、智能安防、目标识别跟踪等项目的研发工作，还有部分专业基础过硬、实战经验丰富的优秀博士、硕士研究生也参与了本书主要章节的编写。

- 部分算法原创，研究价值较高

本书集成了中国科学院西部之光项目（XBBS-2014-16）、国家自然科学基金项目（61602499）和国家千人计划项目（Y474161）等研发项目的部分可公开的研究成果，部分原创算法已被实现并收录到国际标准源代码库中，具有较高的研究价值。

- 循序渐进，易上手，配备完整的程序，可拓展性强

本书从初等的函数用法讲起，逐步过渡到较高端的混合编程，并从经典的特征脸主成分分析方法逐步过渡到压缩感知和深度学习等人脸识别算法方面，其中，人脸建库、人脸检测跟踪识别和特定行为分析算法作为 MATLAB 混合编程的一个实例，本身就是一个完整、独立的机器学习与视觉感知技术模块，可拓展性强。本书还借助图形用户界面（GUI）提供了直观的界面演示，并且所有算法均配有完整的 MATLAB 程序，有助于读者系统且深入地理解算法设计思想，并延伸思考空间和拓展空间，达到触类旁通的效果。

内容架构

本书共分为 5 章，每章都分为 3 个阶段，以对人脸识别从入门到进阶再到实战这 3 个阶段的递进为主线，探讨了人脸识别的 5 个技术模块，引导读者对人脸识别算法的认知一步步变得成熟，也分享了作者在实战过程中的一些直观感受和认识。

【第 1 章】图像轮廓提取及人脸检测

第 1 阶段（入门）引导读者完成对图像轮廓提取的初步理解，并掌握 MATLAB 轮廓提取函数及与之关联的数字形态学运算函数的具体用法。第 2 阶段（进阶）引导读者进一步理解图像轮廓提取，并初步理解边缘检测算子，然后结合 haar-like 特征，让读者初步理解基于特征点的人脸检测思想。第 3 阶段（实战）涉及肤色概率建模和人脸检测实战，分享了作者在实战阶段对人脸检测算法设计思想、图形用户界面（GUI）系统设计及肤色参数设置等的一些感触和认识。实战本阶段的目标是通过以 GUI 方式显示人脸检测的用户操作界面，将基于肤色概率模型的人脸检测算法集成到图形用户接口，使读者可以方便地完成调试和应用。

【第 2 章】图像边界显示及人脸对齐

第 1 阶段（入门）引导读者完成对图像边界显示的初步理解，并掌握 MATLAB 的图像边界显示函数及其具体用法。第 2 阶段（进阶）引导读者进一步理解图像边界显示，并初步理解图像边界处理函数，然后结合 MATLAB 中的 regionprops 函数，初步尝试去度量图像区域的属性。第 3 阶段（实战）涉及空间几何变换、人脸对齐原理和人脸对齐实战等三部分，分享了作者在实战阶段对人脸对齐算法设计思想、建模思想及编程技巧等实战方面的一些感触和认识。实战阶段的目标是用 GUI 方式显示人脸对齐操作用户界面，将人脸对齐的经典算法集成到图形

用户接口，生成读者可自如调试、编辑的图形用户界面（GUI）。

【第3章】图像采样编码及人脸重构

第1阶段（入门）引导读者完成对图像采样编码问题的初步理解，并掌握 MATLAB 图像采样编码函数及其具体用法。第2阶段（进阶）引导读者进一步理解图像采样编码，完成对人脸图像采样函数的理解与实现，并结合基于主成分分析方法的人脸模板生成技术，初步尝试理解 MATLAB 特征脸建库的基本流程。第3阶段（实战）涉及数据库初始化、遮挡区域验证和人脸重构实战等三部分，分享了作者对算法设计思想、建模思路的一些感触和认识，也分享了作者在 MATLAB 自定义函数设计、算法代码实现等方面的实战心得。实战阶段的目标是掌握可用于处理遮挡问题的人脸重构算法，会设计相关的 MATLAB 自定义函数并将其集成到图形用户界面（GUI），具备算法实现及相关 GUI 的编辑和开发能力。

【第4章】视频图像转换及人脸跟踪

第1阶段（入门）引导读者完成对视频图像转换问题的初步理解，并掌握 MATLAB 视频图像转换函数及其具体用法，并设计了一些自定义函数。第2阶段（进阶）引导读者进一步理解视频图像采样，理解视频压缩感知并初步实现视频压缩跟踪。第3阶段（实战）涉及混合编程接口、C++文件编译和人脸跟踪实战等三部分，分享了作者在实战阶段对人脸跟踪算法设计思想、实现过程及混编技巧等的一些感触和认识。实战阶段的目标是设计直观的人脸跟踪操作用户界面，并将视频压缩跟踪算法集成到人脸跟踪用户接口，生成可方便读者编辑的 GUI，并初步理解 MATLAB 混合编程思想和混编原理。

【第5章】类脑视觉认知及人脸识别

第1阶段（入门）引导读者完成对类脑视觉认知问题的初步理解，介绍与之关联的一些 MATLAB 函数及其具体用法，并初步介绍了一些自定义函数。第2阶段（进阶）引导读者进一步理解类脑视觉认知，并初步实现类脑视觉认知、类脑特征计算、类脑特征学习。第3阶段（实战）涉及深度学习实战、宽度学习实战和人脸识别实战等三部分，分别演示了深度学习、宽度学习在二维人脸识别中的效果，以及 RoPS 特征在三维人脸识别中的效果，分享了作者在实战阶段对人脸识别算法的设计思想、建模思想及编程技巧等的一些感触和认识。实战阶段的目标是用图形方式分别显示基于深度学习、宽度学习及 RoPS 的人脸识别操作用户界面，将人脸识别的经典算法集成到图形用户接口，生成读者可自如调试、编辑的图形用户界面（GUI）。

本书作者贡献

本书第 1 章主要由王文峰、刘庆昌、王经纬编写；第 2 章主要由王文峰、盛志强编写；第 3 章主要由王文峰、洪宇编写；第 4 章主要由王文峰、郭靓、杨波编写；第 5 章主要由王文峰、吴大刚、马亚坤编写。

在本书各章的实验设计、数据采集和代码整理的过程中，DLG 的部分参编人员（尤其是何姣姣、邵永胜）提供了一些基础支持；在各章的编写及审校过程中，郭裕兰、谢中华对算法思想、建模过程、程序代码进行了修改、补充与完善。各章节配套的 GUI 程序主要由王文峰设计，李大湘、王栋、王庆香也参与了部分章节 GUI 设计框架的探讨。何姣姣、刘帅奇、马海菲、邵永胜、王平、伍鹏、余维、曾凡玉、张锋、邹辉主要参与了文字撰写部分的讨论。

特别致谢

本书在人脸识别各技术模块的算法设计与实现方面，参考了一些重要的文献及其作者发布的开源代码，在这里，我们对他们的分享表示诚挚的谢意！他们提出的人脸检测、人脸对齐、人脸重构、人脸跟踪、人脸识别算法有很明显的创新性和借鉴意义，感谢他们对人脸识别技术的重大贡献！感谢南京信息工程大学信息与控制学院张开华教授，本书人脸跟踪部分的代码援引、整合了张教授论文中的部分开源代码，感谢他的帮助与指导！

感谢国际系统与控制科学院院士、中国自动化学会副理事长、SCI 期刊 *IEEE Systems, Man, and Cybernetics Society* (SMCS) 主编、系统人机及智能学会国际资深主席、澳门大学陈俊龙教授 (C. L. Philip Chen) 的大力支持与帮助！在本书的编写期间，陈教授创立了宽度学习算法 (Broad Learning)，并第一时间在 DLG 分享了其 MATLAB 开源代码，使我们有机会将宽度学习算法应用于人脸识别领域，并拓展了本书的核心模块。感谢香港理工大学张磊教授同意在本书第 3 章中援引和编译其论文中人脸重构的部分开源代码，感谢他的帮助！

感谢国际模式识别技术委员会主席 (IEEE SMC)、国际模式识别学会院士 (IAPR Fellow)、国际电机及电子工程师学会院士 (IEEE Fellow)、澳门大学唐远炎教授对本书的认可与支持！唐教授是我国模式识别领域的奠基人之一。在了解到我们正在编写一本完全面向初学者的人脸识别编程类书籍之后，唐教授欣然同意为本书写评论，非常感谢他。

本书还得到了 MATLAB 中文论坛、哈工大机器人(合肥)国际创新研究院、中国科学院新疆生态与地理研究所、新疆维吾尔自治区科技厅、中国人民解放军国防科技大学、西安邮电大学、广州中医药大学等单位领导和同事的大力支持,在此对他们表示衷心感谢。本书写作之初还得到了电子工业出版社博文视点张国霞编辑的鼓励和支持,在此深表谢意。感谢刘衍琦老师在 GUI 程序设计方面给予的协助和指导!

感谢所有家人的默默支持!感谢中国科学院西部之光项目(XBBS-2014-16)、国家自然科学基金项目(61602499)和国家千人计划项目(Y474161)等项目的支持。在本书的审校过程中还得到了中国自动化学会认知计算与系统专委会、中国人工智能学会认知系统与信息处理专委会、中国人工智能学会智能机器人专委会的支持,在此一并致谢!

由于时间仓促,加之作者水平和经验有限,书中难免出现疏漏甚至错误之处,希望广大读者批评指正,您的建议将是我们创作和研究的最大动力与源泉。

全体作者

2018年1月

轻松注册成为博文视点社区用户(www.broadview.com.cn),扫码直达本书页面。

- **下载资源:** 本书如提供示例代码及资源文件,均可在**下载资源**处下载。
- **提交勘误:** 您对书中内容的修改意见可在**提交勘误**处提交,若被采纳,将获赠博文视点社区积分(在您购买电子书时,积分可用来抵扣相应金额)。
- **交流互动:** 在页面下方**读者评论**处留下您的疑问或观点,与我们和其他读者一同学习交流。

页面入口: <http://www.broadview.com.cn/33573>



目 录

第 1 章 图像轮廓提取及人脸检测	1
1.1 第 1 阶段：入门	2
1.1.1 轮廓提取问题	2
1.1.2 轮廓提取函数	3
1.1.3 数学形态学运算	8
1.2 第 2 阶段：进阶	13
1.2.1 边缘检测算子	13
1.2.2 haar-like 特征	23
1.3 第 3 阶段：实战	27
1.3.1 肤色概率建模	27
1.3.2 人脸检测实战	32
第 2 章 图像边界显示及人脸对齐	41
2.1 第 1 阶段：入门	42
2.1.1 边界显示问题	42
2.1.2 边界显示函数	43
2.2 第 2 阶段：进阶	55
2.2.1 图像边界处理	55

2.2.2 区域属性度量.....	63
2.3 第3阶段：实战.....	68
2.3.1 空间几何变换.....	68
2.3.2 人脸对齐原理.....	70
2.3.3 人脸对齐实战.....	77

第3章 图像采样编码及人脸重构 85

3.1 第1阶段：入门.....	86
3.1.1 采样编码问题.....	86
3.1.2 采样编码函数.....	87
3.2 第2阶段：进阶.....	103
3.2.1 人脸图像采样.....	103
3.2.2 人脸模板生成.....	115
3.3 第3阶段：实战.....	119
3.3.1 数据库初始化.....	119
3.3.2 遮挡区域验证.....	125
3.3.3 人脸重构实战.....	132

第4章 视频图像转换及人脸跟踪 140

4.1 第1阶段：入门.....	141
4.1.1 视频转换问题.....	141
4.1.2 视频转换函数.....	142
4.2 第2阶段：进阶.....	155
4.2.1 视频压缩感知.....	155
4.2.2 视频压缩跟踪.....	165
4.3 第3阶段：实战.....	167
4.3.1 混编环境配置.....	167

4.3.2 C++文件编译.....	169
4.3.3 人脸跟踪实战.....	176

第 5 章 类脑视觉认知及人脸识别

197

5.1 第 1 阶段：入门.....	198
5.1.1 类脑认知问题.....	198
5.1.2 类脑认知函数.....	200
5.2 第 2 阶段：进阶.....	214
5.2.1 类脑视觉认知.....	214
5.2.2 类脑特征计算.....	217
5.2.3 类脑特征学习.....	224
5.3 第 3 阶段：实战.....	232
5.3.1 深度学习实战.....	232
5.3.2 宽度学习实战.....	246
5.3.3 人脸识别实战.....	255

第 1 章

图像轮廓提取及人脸检测

大脑能准确地识别人脸，是因为大脑里存有人们熟悉的面部轮廓。因此，我们可以从图像轮廓提取开始摸索人脸识别算法，而眼睛、鼻子和嘴巴是人最主要的三个面部特征，我们一般采用 haar-like 特征进行人脸检测。在后续章节中我们还将看到，人脸识别一般是在人脸检测和面部轮廓提取的基础上，将这些关键部位的边缘特征、线性特征、中心特征和对角线特征进行组合，生成特征模板，进而借助主成分分析建立人的面部模型，用于构建机器学习的基础数据库。人脸一般都暴露在外，而其他皮肤的暴露程度则取决于着装的差异，所以最初的算法是通过检测皮肤来检测人脸的。考虑到初学者的特殊情况，本章从最简单的肤色概率模型入手和实战，循序渐进地理解人脸检测的算法思想。

1.1 第 1 阶段：入门

1.1.1 轮廓提取问题

特征脸建库与人脸检测的最终目标是人脸识别。常见的人脸识别算法主要可以归纳为三类：基于几何特征的识别算法、基于模板的识别算法和基于模型的识别算法。其中，基于几何特征的识别算法最容易被人们理解，也是传统算法，但是通常需要和其他算法结合才能有比较好的识别效果；基于模板的识别算法可以分为基于相关匹配的算法、特征脸算法、线性判别分析算法、奇异值分解算法、神经网络算法和动态连接匹配算法等；基于模型的识别算法则有基于隐马尔可夫模型、主动形状模型和主动外观模型的算法等。笔者认为人脸识别有特征脸建库、人脸检测、人脸识别等三个环节，每种算法都以人脸检测为前提，更将特征脸建库和人脸检测视为人脸识别入门阶段首要考虑的问题，并且对这一问题的初步解读是：机器视觉系统像大脑一样，记住了某个人或某些人，就会把他（她）或他们的面部特征存入脑海，构建特征脸的数据集，而在机器视觉系统的前端（用于图像或视频采集的监控摄像头）检测到外界的每一张人脸后，都会从视频或全景图像中提取这些人脸图像并传输到后端（集成了用于人脸识别的各类算法），完成人脸识别。

人脸可以用几何特征描述，是因为人脸由眼睛、鼻子、嘴巴、下巴等关键部位构成，正因为这些部位在形状、颜色、大小和结构上有各种差异，才使得我们看到世界上千差万别的面孔。因此笔者一开始将对人脸特征的描述理解为对这些关键部位的形状、结构关系及颜色特征的几何描述，之后在网络上搜索资料，发现大部分文档的作者在对面脸特征建库的理解上与笔者大致相同。事实上，在图像的视觉特征研究领域，形状特征因为更接近人的视觉特点，一直是人们的研究重点。那么如何实现这些几何特征的提取呢？笔者认为，首先要从完整的人脸图像中尝试检测这些关键部位的轮廓，这自然就引出了人脸图像轮廓提取的问题。

1.1.2 轮廓提取函数

眼睛、鼻子、嘴巴、下巴等关键部位的形状边缘可以反映很多信息，所以在研究人脸图像的特征时有必要提取这些关键部位的边缘轮廓，以便之后进一步深入分析。下面，我们先看看 MATLAB 是如何完成轮廓提取的。在 MATLAB 的视频图像处理工具箱中有很多集成的边缘函数，可以帮助我们方便地提取图像的轮廓。在 MATLAB 中有提取图形轮廓的函数 `bwperim`，但只针对二值图像 BW。借助 `bwperim` 函数提取图形轮廓时，需要先对灰度图像进行二值化。我们知道图像的各像素点的灰度值是连续变化的，需要选定合适的阈值 (threshold) 进行二值化 (例如，小于阈值时为黑色，大于阈值时为白色)。

`bwperim` 函数的主要功能是查找二值图像的边缘，主要有以下三种用法：

```
BW2 = bwperim(BW1)
BW2 = bwperim(BW1,conn)
BW2 = bwperim(BW1,conn)
%表示从输入图像 BW1 中返回只包括对象边缘像素点的图像
```

其中，`conn` 参数值可以是 4 (4 邻域)、6 (6 邻域)、8 (8 邻域)，对三维图像还可能是 18 (18 邻域)、26 (26 邻域)。常用的 MATLAB 代码示例如下：

```
I = imread('1.jpg');BW1=im2bw(I);%二值化
BW2 = bwperim(BW1,8);
imshow(BW1)
figure, imshow(BW2)
```

运行结果如图 1-1 所示。

还可以调用 `subplot` 函数，将两幅图合并显示：

```
I = imread('1.jpg');BW1=im2bw(I);%二值化
BW2 = bwperim(BW1,8);
subplot(1,2,1);imshow(BW1);title('binary image');
subplot(1,2,2), imshow(BW2);title('bwperim result');
```

运行结果如图 1-2 所示。

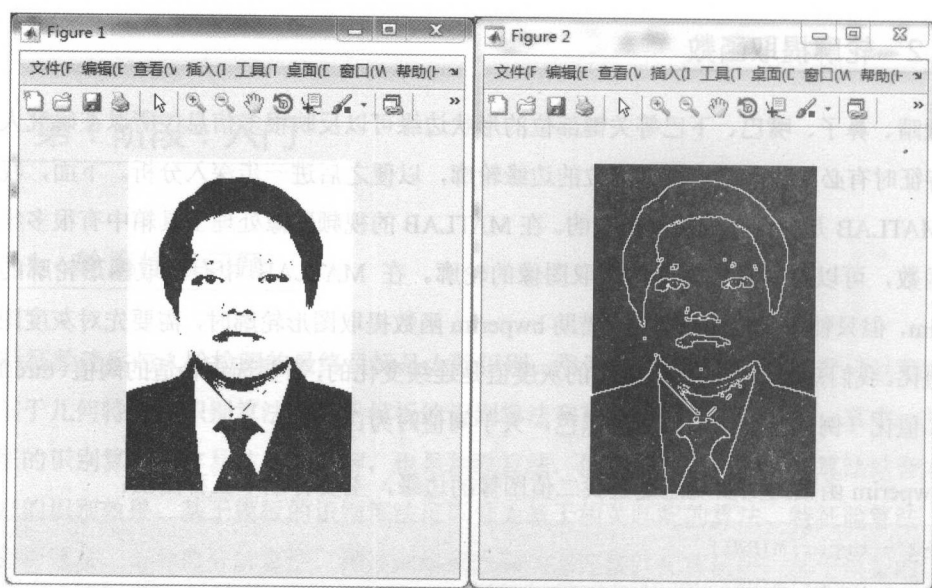


图 1-1 bwperim 函数的运行结果演示（独立显示）

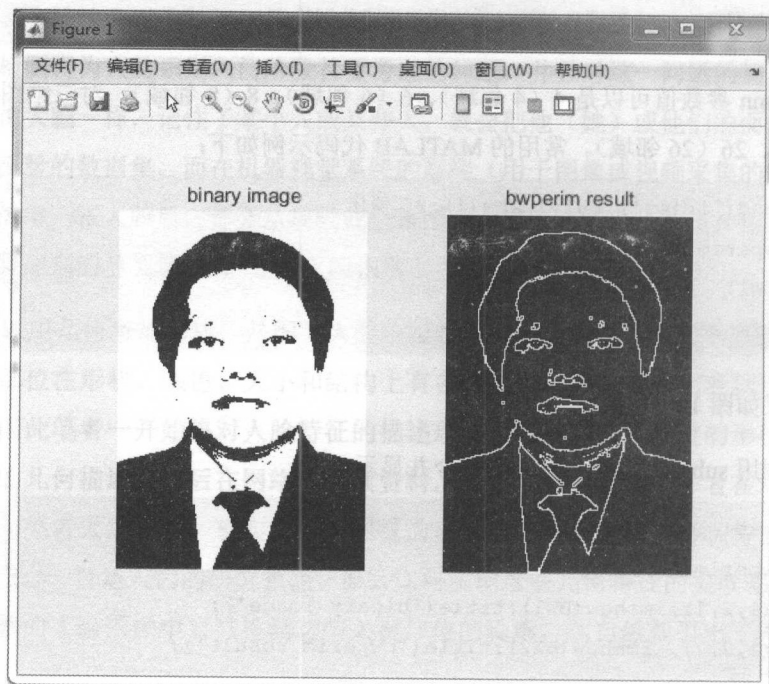


图 1-2 bwperim 函数的运行结果演示（合并显示）