

华东交通大学教材（专著）基金资助
国家自然科学基金项目（61262031）资助



数字图像模式识别 工程项目研究

SHUZI TUXIANG MOSHI SHIBIE
GONGCHENG XIANGMU YANJIU

蒋先刚 著



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

华东交通大学教材（专著）基金资助
国家自然科学基金项目（61262031）资助

数字图像模式识别 工程项目研究

蒋先刚 著

西南交通大学出版社
· 成 都 ·

内容简介

本书从工程应用的角度,系统地介绍了数字图像模式识别工程项目研究所涉及的软件包框架设计、数字图像处理、特征定义、分类器训练和组合的理论方法和源码设计技术,以讲解实例设计的方式介绍图像模式识别的程序设计技巧,注重理论、突出实用。书中 20 多个软件包的设计例子全部通过 Delphi 7 验证实现,随书所附光盘提供书中所介绍的所有数字图像模式识别项目研究的软件包的完整源程序及编程和运行所需资源、素材及控件。

本书可作为大学生、研究生和工程软件人员在数字图像模式识别的算法研究及相关应用课程方面的参考教材。

图书在版编目(CIP)数据

数字图像模式识别工程项目研究 / 蒋先刚著. —成都:西南交通大学出版社, 2014.3
ISBN 978-7-5643-2962-4

I. ①数… II. ①蒋… III. ①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 (2014) 第 041153 号



责任编辑	黄淑文
封面设计	墨创文化
出版发行	西南交通大学出版社 (四川省成都市金牛区交大路 146 号)
发行部电话	028-87600564 028-87600533
邮政编码	610031
网 址	http://press.swjtu.edu.cn
印 刷	成都蜀通印务有限责任公司
成品尺寸	185 mm × 260 mm
印 张	24
字 数	601 千字
版 次	2014 年 3 月第 1 版
印 次	2014 年 3 月第 1 次
书 号	ISBN 978-7-5643-2962-4
定价(含光盘)	68.00 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

数字图像模式识别技术在工业、农业、国防、科学研究和医学等各个领域得到了全面的应用,掌握数字图像模式识别系统开发的方法和技术,应该着手于具体研究项目涉及的基础理论的掌握和程序源码的实现。

本书主要介绍数字图像模式识别的基础理论和程序实现技术,以具体的模式识别工程项目的研究为展开点,介绍数字图像模式识别项目工程软件包设计的基本方法和实用技术,介绍和实现了许多模式识别涉及的新算法和新技术。全书分为 10 章,每章都以多个具体的模式识别软件包开发的实例来叙述其相关的理论和编程技术。

第 1 章介绍图像模式识别的一些基本理论和概念,通过基于图像分析的黄豆质量评估系统和细小颗粒计数系统软件包的设计技术介绍,使读者对图像模式识别的一般工程软件设计的知识和技术有一个基本的了解。

第 2 章介绍模板分类器的基本理论和程序设计方法,该章介绍基于模板的手写数字识别系统的软件设计技术、基于模板的肝脏 B 超图像自动诊断系统的软件设计技术和基于模板分类的轴承表面缺陷识别系统的软件设计技术,重点讲述这些系统的样板库的建立和维护的程序设计技术。

第 3 章介绍统计模式分类器,主要介绍基于概率统计的贝叶斯分类器的基本理论和程序设计方法,同时介绍了决策树分类技术和 K 近邻分类方法,该章介绍了基于贝叶斯分类器的手写数字识别系统、基于决策树的地理图片纹理分类系统、基于 KNN 的肝脏纹理分类系统和基于类条件概率密度估计的视频移动目标跟踪系统的软件设计技术。

第 4 章介绍几何分类器的基本理论和程序设计方法,该章介绍了基于最小错误、最小均值平方误差等几何分类器理论的手写数字识别系统的软件设计技术和肝脏 B 超图像纹理分类识别系统的软件设计技术。

第 5 章介绍神经网络分类器,主要介绍神经网络分类器的基本理论和程序设计方法,该章介绍了基于神经网络的手写数字识别系统的设计技术和基于神经网络的肝脏 B 超图像自动诊断与识别系统的软件设计,重点介绍这些识别系统的各种特征选择的合理性及神经网络调试中的软件设计方法。

第 6 章介绍图像分割和特征生成的基本技术和程序设计方法,该章介绍了图形形状分析软件包、链码运算与细胞分割软件包和基于局部不变性特征的物体识别软件包和基于 Haar 和 HOG 特征的火星撞击坑识别系统的软件设计技术,并介绍了各种特征与 AdaBoost 和 SVM 分类方法的结合技术和应用。

第 7 章介绍特征数据的变换与降维,主要介绍主元分析(PCA)的理论分析及应用,该章介绍了基于 PCA 的人脸识别系统的软件设计技术。

第 8 章介绍聚类分析的基本理论和程序设计方法,该章介绍了基于均值聚类的车牌定位和识别系统、车牌字符各种特征提取实验系统和血液红细胞分析系统的软件设计技术。

第9章介绍遗传算法分类的基本概念和程序设计方法,着重研究与遗传算法实现中的适应度函数有关的参数控制优化技术,该章介绍了基于遗传算法的森林火灾自动识别系统软件设计技术。

第10章介绍分类器组合的基本概念,主要介绍自适应提升分类器(AdaBoost)和支持向量机(SVM)分类器设计及各种分类器集成的主要技术和方法,该章介绍了基于AdaBoost的森林火灾监测系统和基于SVM的票据自动识别系统的软件设计技术。

数字图像模式识别系统设计中涉及的数字图像的预处理技术、数字图像的获取以及系统软硬件配置、特征产生、分类器选择和综合等应用技术融合在本书各章的相关软件开发技术中。各章之间的理论分析和程序模块具有一定的相关性和独立性。本书在章节安排上考虑了一般教科书的层次性、连贯性、系统性,同时也考虑了每个软件包开发的各种技术的组合性、全面性和集成性。各章节中的许多技术是交叉引用的,书中各章既可以独立阅读和实验,也可相互贯通地理解和实践。本书着重于实践性、实用性和源码表现。通过源码理解图像模式识别的概念比通过模拟软件仿真实理解其概念更加透彻而深入,并且源码级上的理论修正和提升才是算法和应用提升的本源。本书以讲解实际工程项目设计实例的方式介绍图像模式识别的理论和相关的程序设计技巧。本书提倡在程序的字里行间理解的基础上去掌握图像模式识别的理论和概念。程序的实现是理论学习的目的,更是验证理论正误的唯一准则,只有在程序实现和调试的基础上,才能验证新旧算法、技术和方法的效率并产生新的具生产力的源码。

本书可作为高等学校学生和工程软件人员在数字图像处理与图像模式识别及相关应用课程方面的参考教材和自学用书,书中的例子全部通过Delphi 7验证实现,随书所附光盘提供介绍的所有图像处理工程软件包的完整源程序及编程和运行所需资源、素材、控件,这些软件包及其中的源程序段可不加修改和稍加修改而直接应用于非商业开发的图像处理和图像识别软件技术研究及相关工程软件包的设计中。

由于作者的水平有限和研究总结的时间限制,书中介绍的相关技术、软件包及源程序还有许多功能需要进一步完善和改进,如有错误和可商讨的地方,敬请读者提出宝贵意见和建议。作者的Email地址为:jxg_2@tom.com。

作 者

2013年12月

目 录

第 1 章 图像模式识别导论	1
1.1 图像模式识别的概述	1
1.2 图像模式识别的应用	4
1.3 基于图像分析的黄豆质量评估系统设计	5
1.4 基于连通域分析的微小颗粒计数系统的软件设计	9
第 2 章 模板分类器	15
2.1 模板匹配分类法	15
2.2 基于模板分类器的手写数字识别工程软件设计	16
2.3 基于模板分类器的肝脏 B 超图像自动诊断系统的工程软件设计	24
2.4 基于模板分类器的轴承表面缺陷识别系统的工程软件设计	44
第 3 章 统计模式分类器	60
3.1 统计模式分类方法概述	60
3.2 基于 Bayes 的手写数字识别系统的设计	69
3.3 基于决策树的地理图片纹理分类软件设计	77
3.4 基于 KNN 的纹理分类系统的软件设计	88
3.5 基于类条件概率密度的视频移动目标跟踪系统设计	91
第 4 章 几何分类器	94
4.1 几何分类器的基本概念	94
4.2 判断函数分类器	94
4.3 几何分类器的设计	97
第 5 章 神经网络分类器	112
5.1 神经网络的基本概念	112
5.2 神经网络的理论分析	112
5.3 基于 BP 神经网络的手写数字识别系统软件设计	117
5.4 基于神经网络的肝脏 B 超图像自动诊断与识别系统软件设计	126
第 6 章 图像分割与特征生成	129
6.1 图像分割的基本概念	129
6.2 特征生成及特征匹配	129
6.3 图形形状分类与计数系统的工程软件设计	136

6.4	基于链码运算的细胞分割和计数系统的工程软件设计	151
6.5	基于局部不变性特征的物体识别系统设计	181
6.6	基于 Haar 和 HOG 特征的火星撞击坑识别系统设计	202
第 7 章	特征数据的变换与降维	212
7.1	特征数据的变换与降维的基本原理	212
7.2	主元分析理论分析及应用	213
7.3	基于 PCA 的人脸识别系统设计	220
第 8 章	聚类分析	229
8.1	聚类分析的一般概念	229
8.2	基于均值聚类车牌定位和字符识别系统工程软件设计	232
第 9 章	遗传算法分类	271
9.1	遗传算法的基本概念	271
9.2	遗传算法的基本流程	274
9.3	遗传算法的基本构成	275
9.4	基于遗传算法的森林火灾自动识别系统软件设计	281
第 10 章	分类器组合	296
10.1	分类器组合的概念	296
10.2	AdaBoost 分类器的构成方法	296
10.3	支持向量机分类器	302
10.4	基于 AdaBoost 的森林火灾监控系统的软件设计	308
10.5	基于 SVM 的票据自动识别系统的软件设计	332
参考文献		373

第 1 章 图像模式识别导论

1.1 图像模式识别的概述

计算机图像模式识别是模仿人类的视觉思维过程，用计算机易于表述和理解的方式，对事物、物体进行辨别和分类的方法及技术的总称。图像模式是人们对欲识别的图像对象的定义和描述，图像模式类是具有某些几何、纹理和数学描述体的共同特性的样本客体的集合。图像模式识别是对表征事物或物理现象的各种形式的物理数据、图像信息进行处理和分析，以对图像进行描述、辨认、分类和解释的过程。图像模式识别的研究是综合应用图像处理、特征定义与变换、分类方法、数字计算等各种技术，自动地识别和分类物体图像中的几何目标、区域纹理和数学描述体的目标的过程。

图像模式识别系统通常主要由图像信息获取、图像预处理、图像特征抽取、分类器设计和分类决策这五个模块组成，如图 1.1 所示。各模块功能介绍如下。

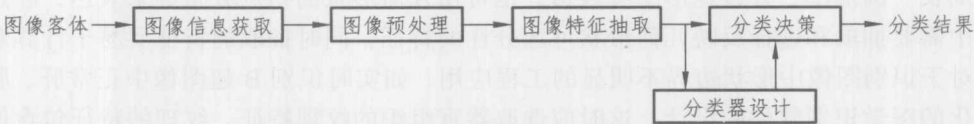


图 1.1 图像模式识别系统的模块构成

1. 图像信息获取

通过数据采集器、图像转换卡、数字摄像头，将光、模拟信号、物理数据等信息转化为数字图像信息。采集的物理数据可以以二维或三维的方式显示出来，不同格式的图像将转换成 24 位的 R、G、B 表达的图像格式，动态表达的影像序列被提取成单帧图像。

2. 图像预处理

图像预处理主要包括图像平滑、变换、增强、恢复、滤波方法等功能，具体算法和技术包括灰度化、二值化、二值开运算、二值闭运算、灰度化开运算、灰度化闭运算、中值滤波、均值滤波、高斯滤波、各向异性扩散、Gabor 滤波和小波分析等，这些技术对图像的预处理结果各不相同，而图像预处理的目的是只有一个，即为特征量的获取提供充足、完整和紧凑的图像信息。

图像预处理的方法和过程的选择取决于特征选取和模式分类的特殊要求。通过图像获取设备获得的图像或者由其他渠道获得的图像的格式、内容、质量和数据信息各不相同，有些需将图像模拟 AV 信号变成数字图像，有些需将测量的数字数据表达变成数字图像。数字图像中包含非常丰富的信息内容，要识别复杂图像中具一定特征的目标，就要采用合适的数字图像预处理的方法和过程。例如在机械加工中，需要确定在加工面上已标记圆的中心钻孔，如果考虑用形状特征去识别图像中的目标，就需使包含这些形状特征的待处理图片中的数据

量和数据种类尽量小,通过灰度化处理使包含 1 600 万种颜色的彩色图像变成只包含 256 种灰度变化的图像,然后选择合适的二值化处理技术将灰度图像变成只包含黑白两种灰度变化的图像,在黑白图像中,取背景为黑色像素,这时只需求取包含加工面上各图形形状的白色连通域的面域中心坐标、面积、周长、圆形率、周边粗糙度和矩形率等特征,并由这些特征确定圆形或者刀具加工痕迹区域,通过修正由光学镜头摄像产生的图形畸变而得到相对精确的圆的中心的图形坐标,选择与钻孔直径相对应的钻头,并将圆的中心坐标转变为数控钻床的平移指令,就可使数控钻床达到自动识别圆孔、自动选择刀具直径和自动走刀的加工目的。整个图像预处理各种方法的选择和顺序非常重要,前一预处理方法为后一预处理方法提供一个合适的输入信息,最后步骤的预处理方法得到的结果要最利于图像的特征抽取和选择。

3. 图像特征抽取和选择

在图像模式识别中,需要进行特征的抽取和选择。例如,一幅 320×320 的黑白图像可以得到 102 400 个点数据,每个点数据有两种变化的可能性,即该点为白色或黑色;一幅 320×320 的彩色图像同样得到 102 400 个点数据,每个点数据有 24 种变化的可能性。所以,只有考虑将测量空间的原始数据通过变换,才能获得在特征空间最能反映分类本质的特征,这种过程就称为图像特征抽取。具体来讲,对于识别三角形、四边形、多边形和圆等几何形状的扫描图形变为矢量图的工程应用,其特征一般可在二值图上得到,这时应将彩色图像变为灰色图像,然后变为黑白图像,如果背景为黑色,那几何形状就为白色。白色的几何形状可用诸如面积、周长、圆形率、外接矩形率等表达,也可用几何形状的拐点分布等来表达,在这些图像特征中需要抽取和选择反映几何形状可区分性的特征,同时抽取的特征要易于计算和程序实现。对于识别图像中形状边界不明显的工程应用,如实时识别 B 超图像中正常肝、脂肪肝和肝硬化的医学识别软件的设计,这时应选取器官组织的纹理特征。纹理的特征包含像素的均值、方差、峰度、熵、灰度行程、不变矩等,例如,在这些纹理特征中有些特征的可区分性很强,而有些特征的可区分性很弱,特征之间存在相互关联和相互独立的成分,这也需要抽取和选择合适和利于程序实现分类的特征量。已选择的特征量中,有些在分类时起非常重要的作用,这时就要用诸如 K-L 变换的方法得到更为重要和精练的特征量。

4. 分类器设计

按照一定的规则,通过分析和训练建立合理的样本库并将待识别样品进行正确分类的方法和技术就是分类器设计。分类方法主要有统计方式、结构方式及模糊方式。首先得到充分发展的是统计方式分类的理论和方法,这类方法又可进一步分为监督分类和非监督分类两种。监督分类是根据已经确切知道其归属类别的学习样本,确定各种类别在特征空间中的分布范围,在此基础上对被识别对象进行分类。在监督分类中,学习样本的归类是影响最终分类质量的关键因素之一,分类的结果很大程度取决于学习样本的归类的精确性。非监督分类是指在无法预先确定学习样本的归属的情况下,根据样本本身的相似程度,将比较相似的样本聚集在一类中,以此确定各种类型在特征空间中的分布范围,在此基础上对被识别对象进行分类。K 均值聚类 and 模糊聚类算法就是一种非监督的分类方法。

要达到良好的分类结果,必须进行分类训练及性能测量。根据学习样本来确定判别函数的过程称为分类的训练或学习。而学习样本是指已经被正确识别为某一确定类别的样本,选择的学习样本集合应该具备广泛的代表性,它的集合代表了这一类别的总体分布,以保证被

识别样本的分类性能和学习样本基本相同。因此,学习样本的选择和整理对分类训练和分类性能具有至关重要的影响。训练好的学习样本将被放入模板库中保留,依据不同的分类方法建立其相应的样板库。目前,主要应用的分类方法包括进行模板比对的模板分类器、基于概率统计的 Bayes 分类器、基于易于理解的几何分类器、基于神经网络的分类器和基于聚类分析的分类器。分类器设计的主要功能是通过训练确定判决规则,使按此类判决规则分类时,分类的错误率最小或风险最低。

5. 分类决策

在特征空间中对被识别图像对象进行分类的过程就是分类决策。设计判别函数是进行分类的重要步骤之一。通常,可根据最近距离原则、线性判别函数、统计决策理论和人工神经网络等决策规则设计判别函数。在有监督的统计分类中,事先已经确定了各个类别在特征空间中的区域,为了对被识别样本分类,可以为每一个类别设计一个判别函数。

平面和空间图像中的物体和区域常常具有相同性和特异性,依据经验和应用要求,需要把具有一定相似度的而并不完全一样的物体和区域归属为一类。例如,在血液红细胞识别和计数系统中,红细胞的大小、面积、区域颜色、外形复杂度、圆形度等参数基本一致但具体数据都不完全相同,需要将它们属于同一类别。对于每一个红细胞组织形态,不可能在模式库或者在训练学习阶段都由系统遇到和处理过,但由于它本身的特征属性的相似度和在合理的分类方法分析下,都会被认为是“红细胞”类别而不会被识别为其他细胞或者背景物。从数学的观点来看,模式与类别(集合)的概念是分不开的,在认识一个集合的有限数量的事物或样板的基础上,可以识别这个集合中的其他的具相似特征的事物或样板。在知道事物的先验概率的基础上推算出事物的后验概率。从具体的事物或样板中推断出总体概念,这些个别的事物或样板就称作“模式”,而它们的总体规律和属性的范畴被称作为类别。如手写数字“1”有一个确定的定义模式,这个模式的定义包括它只由一个连通的笔画组成,它在 8×8 的网格中主要占据中间部分,笔画点比 8×8 的网格点的总数小于 $1/3$,而向右斜 10° 或者向左斜 8° 的手写输入的字“1”只是这个模式中的一个样本,只要按合理的模式分类方法进行决策,它们一般都可被正确地分在模式“1”的分类中。

图像模式识别主要包括研究如何感知和定义客体对象,以及在经验样本和判断规则下,用计算机实现对这些客体对象的分类方法。如果对图像模式识别的过程从整体上都用图像处理的观点来分析,按照处理图像对象的目的和过程来分,图像模式识别涉及图像有关的所有技术分为三个步骤,即:图像预处理、图像分析和图像理解。

图像预处理:图像预处理是图像分析的前期准备,图像预处理的目的是使图像中描述客体特征的图像更加简练、独特性更强、信息量少而唯一。图像的预处理着眼于图像之间的变换。图像预处理的运算数据量一般较大,但所涉及的处理方法具体且有实际的效果。例如:对一幅受噪声污染的图像通过中值滤波等去除其噪声以提高其目标图像物的清晰度;通过对灰度 B 超图像进行伪彩色处理以提高人眼对细微明暗变化的识别效果;通过加强图像饱和度的对比,使红细胞图像与背景的区别得到加强等。图像预处理属于基础层次的操作,一般情况下,只涉及图像本身的性质,而不涉及图像内容的知识,其操作必须尽量减少对后续目标对象分析的特征量的损失,为图像分析提供简单而分明的分析客体。

图像分析:主要着眼于检测、测量和描述图像中感兴趣的目标对象,分析的对象是输入图像中特定目标的像素集合,它们可以以连通域或纹理来表现。图像分析是对特定目标的图

像区域的连通域或纹理进行特征提炼的过程。图像分析的目的主要是定义和获取图像目标的特征数据,并在此基础上对图像进行特征描述。例如,在对轴承表面质量分析时,对划痕、点蚀、压痕等连通域的圆形度、长短半轴比率、不变矩进行描述,用纵横向黑点分布直方图作为手写数字特征描述图像的统计特征等。图像分析属于中间层次的操作,为图像理解提供更高层次的特征物的数学和逻辑的客体描述。

图像理解:图像理解建立在图像分析的基础上,它主要研究图像中各目标的性质及它们之间的相互关系,并在此基础上得出对图像内容含义的理解和分类对比方法。图像理解主要是对经图像分析抽象出来的数据进行定义、计算和分类,其结果一般是得到更有组织的描述规律的信息。图像理解过程涉及的运算数据量较小,而运算和提炼的抽象程度高,与人类的思维逻辑及推理过程相类似。例如,根据显微细胞图像的颜色分布特性和细胞区域的周边复杂度而确定正常细胞或病细胞,肝脏B超图像有限区域的纹理特征与基于经验的肝脏B超图像模板库内已知分类的图像进行相似性检测和匹配,并根据相似程度确定待检图像的类别,其归类方法有模板对比法、Bayes分类、几何分类和神经网络分类等。图像理解属于高级层次的操作,它依赖于关于图像内容的知识,参照行业专家对图像内容所含信息的认知和决策。如对于肝脏B超图像,其纹理描述包括能量、熵、相关度等,而具体的正常肝、肝硬化、不同分级脂肪肝和对应的B超图像需要按临床检验医生的指导而定义。

在图像预处理和图像分析两个环节之间,一般要进行图像分割,将感兴趣的目标从原图像中提取出来,在实际程序设计过程中,图像预处理、图像分析和图像理解在三个处理环节上具有一定的层次性、关联性,它们相互影响、相互渗透,其过程间没有严格的界限,低层操作是高层操作的基础,前一操作是后一操作的前提,后一操作是前一操作的目的,有时一个图像模式识别系统需要三个环节的相互交叉实施,有时只需实施一个环节就可达到整个系统设计的目的。

1.2 图像模式识别的应用

图像模式识别在气象分析、工业生产、交通信息管理、农业生产、医学分析、生物信息检测、文字信息处理等方面得到广泛的应用。

(1) 图像模式识别已经在天气气象预报分析、卫星遥感图片分析、火星撞击坑的分析和自然灾害预测等方面得到广泛的应用。

(2) 图像模式识别在工业生产和质量检验等方面得到了实际的应用。图纸扫描识别系统可将手绘图纸和蓝图转换为矢量图形输入到诸如AutoCAD绘图系统中。加工工作面表面质量的图像化检测使工作效率大大提高,基于图像分析的流水线上啤酒质量检测系统极大地提高了工作效率。

(3) 图像模式识别在交通信息管理方面得到了积极的应用。车辆智能化、信息化的管理在很大程度上都得益于模式识别技术的进步,车牌自动定位和识别系统、车辆流量分析系统、驾驶员面部状态分析系统、交通标记自动识别和分析系统、车轮轴承红外图像分析系统都为交通信息智能化、交通安全运行提供了技术支持。

(4) 图像模式识别在农业生产中得到广泛的应用。基于卫星图像的土壤分析、水利资源利用、农业灾害预测得到广泛的应用,基于图像的流水线上的葡萄干的分级择选系统大大提

高了产品质量和生产效率。

(5) 图像模式识别在医学图像分析统计方面得到了成功的应用。红细胞、白细胞识别和计数系统大大减轻了医疗检测人员的工作负担, B 超图像病理组织自动分析系统提高了诊断效率, 红外乳腺检测系统为预防妇科疾病发挥了巨大作用。

(6) 图像模式识别在生物信息处理方面取得了非常大的进展。语音识别、指纹识别、字迹鉴别、虹纹分析、掌纹识别系统为特种金融行业和安全系统提供了非常重要的辨别工具。

(7) 图像模式识别在信息处理方面取得了实际意义上的应用。印刷体识别录入系统、手写数字输入系统、以画草图方式的工程图纸输入系统使信息交流跨越了媒体间的距离。

1.3 基于图像分析的黄豆质量评估系统设计

1.3.1 黄豆识别与统计系统的构架及软件实现技术

系统硬件包括 TOTA-500 摄像头、图像采集卡 SDK 3000、高性能计算机等。将装在盘中的黄豆放在摄像机下, 通过摄像采集模块进行图像采集。

系统软件技术主要包括阈值分割、图像细化运算、孔洞填充、记数统计等。本系统软件包的工程项目名为“BeanCountAndAnalysis.dpr”。在子目录“/程序/第 1 章/基于图像分析的黄豆质量评估系统/”中, 摄制和实验的图片在子目录“/程序/第 1 章/基于图像分析的黄豆质量评估系统/BeanImages”中, 实验用文件名为“bean.jpg”。基于图像分析的黄豆质量评估系统主界面如图 1.2 所示。

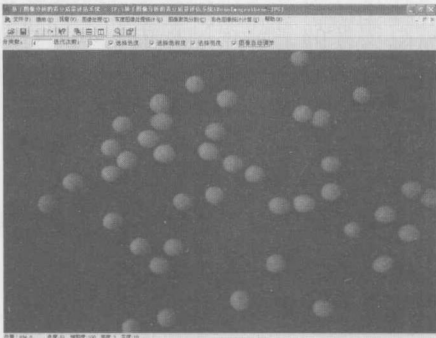


图 1.2 基于图像分析的黄豆质量评估系统主界面

1.3.1.1 基于均值聚类的黄豆区域分割

对样本 X 及样本的 K 个聚类中心, 通过计算样本点与聚类中心的距离并且进行比较, 将样本点归类于距离最小的那个群中, 重新计算每一个群的中心点, 如果该中心点与前一值的差小于一个很小的数, 则结束运算, 如果不满足, 则继续迭代。均值聚类分割的具体步骤如下:

选取 K 个聚类中心: $Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_K$ (重复次数为 N), 对于样本 X (设迭算到了 K 次), 如果 $|X - Z_j^K| < |X - Z_l^K|$, 则 $X \in S_j^K$, 其中 S_j^K 是以 Z_j^K 为聚类中心的样本集, 在得出每个样本集的样本之后, 重新计算聚类中心的新向量: $Z_j^{K+1} = \frac{1}{n_j} \sum_{X \in S_j^K} X$ ($j=1, 2, 3, \dots, K$), 式中 n_j 为 S_j 所包含的样本数。如果 $|Z_j^{K+1} - Z_j^K| < \varepsilon$, 则运算结束, 相反, 就回到第二步重复运算。

该算法本身是迭代进行的, 且不能确保它收敛于最优解。 K 均值算法的性能依赖于聚类中心的初始位置。而得到较好的分割一般用一些前端方法求好的初始聚类中心; 或者每次用不同的初始聚类中心而运行多次得到较优解。上述算法仅仅是一种常规性的方法, 我们还可

以先初始化一个任意的隶属矩阵，然后再执行迭代过程。本程序的运行的颜色分类数取 4，经均值聚类分割后的图像如图 1.3 所示。

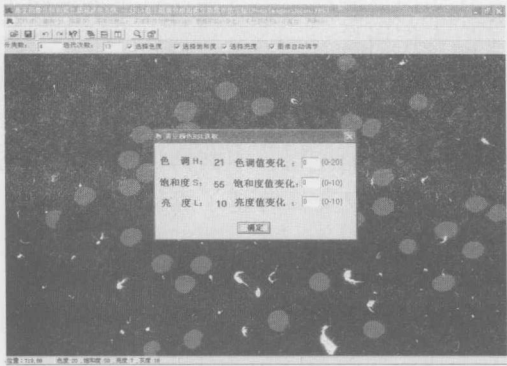


图 1.3 经均值聚类分割后的图像

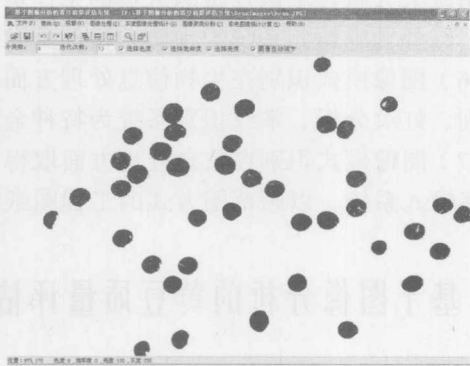


图 1.4 黄豆彩色图像经二值化处理后的图像

为了得到黄豆的二值化图像，只要在经均值聚类分割后的图像上选取黄豆的区域颜色，其操作过程对应于系统菜单“选取黄豆颜色-HSL 选取 (&B)”，黄豆的颜色由 HSL 的值定义，在黄豆图像的二值化过程中，取四种颜色，黄豆区域的颜色为黑色，其他三种颜色的物体为白色，就可变换出图 1.4 所示的黄豆的二值化图像。其操作过程对应于系统菜单“显示黄豆区域 (&T)”。

1.3.1.2 黄豆区域的标记

图像分割是对于特征不连续的边缘检测，把图像分割成特征相同的不重叠区域的处理方法。这些区域都满足其特定的一致性。区域是像素的连通集，也就是一个所有像素都有相邻或相接像素的集合。

连通域的定义如下：在一个连通中的任意两个像素之间，都存在一条完全由这个集合的元素构成的连通路程。连通路程是一条可在相邻像素间移动的路径。因此，在一个连通集中，你可以跟踪在任意两个像素间的连通路程而不离开这个集合。

有两种可供选择的连通性准则，如果只依据旁侧相邻的像素（上、下、左、右）确定连通，就称为 4 连通（Four-connectivity），物体也就是被称为是 4 连通的。如果再加上 4 个对角相邻的像素也被认为是连通的，物体也就是被称为 8 连通（Eight-connectivity），这时的任意像素都有 8 个邻点可以与它相连通。通常 8 连通区域的算法更适应各种实际情况。

区域标记是指给连在一起的像素赋上相同的标记，不同细胞的连接部分赋上不同的标记或者底色。在二维图像中，假设目标像素的灰度为 0，背景像素灰度为 255，它周围有 $m(m \leq 4)$ 个相邻的像素，如果这 m 个像素中的某一个点 A 灰度也为 0，则称该像素与点 A 具有连通性，给 A 点赋一个与给定像素相同的像素值。为了能更好地区分不同的黄豆体，也可以采用颜色差值区域标记法，给不同的连通体赋上不同的像素值，而且其颜色差值比较大，这样我们就可以很清楚地区分每个黄豆颗粒了。连通域标记和计数是黄豆记数统计和特征分析的基础。

像素标记法是一种比较简单的方法，其原理是搜索整幅二值化图像，当搜索到灰度值为 0 的像素时开始标记并搜索与其连通的点，赋上相同的像素值，如取背景色；当遇到非同一

连通域目标像素时，连通域标记结束，程序返回。以黑色像素为连通域色值为例，其标记算法步骤如下：

(1) 从左到右、从上到下进行扫描，遇到没有加标记的目标像素 P 时，给这个点的像素赋一新值，以免重复计数。BMP.Canvas.Pixels[x, y]:clWhite，其中 x, y 为目标像素在图像中对应的坐标，clWhite 是背景色。

(2) 给与 P 连接在一起（即相同连接成分）的像素添加相同的标记。

(3) 直到连接在一起的像素全部被添加标记。这样，一个连接区域就被添加了相同的标记，即赋了相同的像素值。利用 Connect 函数过程，通过 8 连通区域判断来实现以上功能，并返回每个连接区域的像素总点数，这为特征判断时的面积计算等提供数据。

(4) 返回到第 (1) 步，继续查找新的没加标记的像素，重复以上各个步骤。

四连通区域面积的计算由下列程序得到，BMP 是处理的图像对象，ConnectBodyNum 是第 i 个连通区域编号，x, y 是连通区域的左边搜索开始点，连通区域用黑色表示，每个点计数后将被设为背景白色。

```
function ConnectRegionArea ( BMP: TBitmap; ConnectBodyNum, x, y: integer ): integer;
begin
    //四连通物体的面积计数程序段，并设置其为白颜色（背景色）
    PixelCount := PixelCount + 1; //连通物体的像素总数
    Bmp.Canvas.Pixels[x,y]:=clWhite;    //给不同连通物赋上白色值
    if ( BMP.Canvas.Pixels[x + 1,y] = clBlack ) then    //判断 (x+1,y) 方向点像素
        ConnectRegionArea ( BMP, ConnectBodyNum, x + 1, y );
    if ( BMP.Canvas.Pixels[x, y - 1] = clBlack ) then    //判断 (x,y-1) 方向点像素
        ConnectRegionArea ( BMP, ConnectBodyNum, x, y - 1 );
    if ( BMP.Canvas.Pixels[x, y + 1] = clBlack ) then    //判断 (x,y+1) 方向点像素
        ConnectRegionArea ( BMP, ConnectBodyNum, x, y + 1 );
    if ( BMP.Canvas.Pixels[x-1,y] = clBlack ) then    //判断 (x-1,y) 方向点像素
        ConnectRegionArea ( BMP, ConnectBodyNum, x-1, y );
    Result := PixelCount;
end;
```

1.3.1.3 黄豆图像特征量的数理统计分析

黄豆图像的粘连现象可以通过设计不同颜色的塑料网格、每格只能容下一颗黄豆等物理方法解决，也可通过链表定义连通域和有序腐蚀图像等软件方法解决。在对黄豆的几何与形态特征量的运算中，通过数理统计中期望和方差的公式，我们可以计算出细胞特征中周长、面积、圆度、长短半轴等量的数学期望以及它们的方差。这将有助于我们对图像的进一步分析，从而得出更加符合实际情况的结论。统计量期望的计算公式为：

$$E = \frac{1}{n} \sum x_n \quad (1-1)$$

特征值统计量方差的计算公式为：

$$S^2 = \frac{1}{n} \sum (x_n - E)^2 \quad (1-2)$$

其中, n 为黄豆图像中细胞的个数, x_n 为第 n 个细胞的特征量 (如周长、面积等)。

在程序设计时, 我们可以用图像中物体像素的统计值来判断此物体是否为杂质。一般说, 杂物的连通区域面积通常很小, 不会超过 20 个像素点, 而正常黄豆区域有几百个像素点。如果物体的像素点小于 20, 就认为它为杂质或者图像干扰噪声。计算黄豆图像面积特征和均方差等的程序如下。

```
procedure TMDIChild.BeanGeometryPropertyClick(Sender: TObject);
var //计算黄豆图像特征和均方差等程序段
    w,h,x,y,i,j,t1,
    ObjectPixelNum,EraseEdgeNum,GravityNum: Integer;
    ConnectObjectArray:array[1..3000] of Integer;
    Bmp1,Bmp2,Bmp3,Bmp4: Tbitmap;
    p: PByteArray;
begin
    CloseObjectNum:=0; withdrawBmp.Assign(BeaImage.Picture.Bitmap);
    withdraw.Enabled:=true;Bmp1:=Tbitmap.Create;Bmp1.Assign( BeaImage.Picture.Bitmap);
    for i:=0 to 3000 do ConnectObjectArray[i]:=0;
    CloseObjectNum:=0 ; //连通区域个数开始记数
    for y:=0 to Bmp1.Height-1 do
        begin
            p := Bmp1.ScanLine[y];
            for x := 0 to Bmp1.Width-1 do
                begin //连通区域为黑色
                    if ((p[x*3]=0) and(p[x*3+1]=0) and(p[x*3+2]=0)) then
                        begin PixelCount:=0; //每个连通区域面积开始记数为 0
                            ObjectPixelNum:=ConnectRegionArea(Bmp1,CloseObjectNum, x, y);
                            if ObjectPixelNum> 20 then CloseObjectNum := CloseObjectNum+1; //连通区域太小就不计
                                ConnectObjectArray[CloseObjectNum] :=ObjectPixelNum;
                        end;
                    end;
                end;
            end;
        AreaExpectedValue:=0;AreaSquareErrorValue:=0;
        for i:=1 to CloseObjectNum do//计算面积统计期望值和均方差等
            begin //计算面积均值
                AreaExpectedValue:=AreaExpectedValue+ConnectObjectArray[i];
            end;
            AreaExpectedValue:=AreaExpectedValue/(CloseObjectNum-1);
            AreaExpectedValue:=AreaExpectedValue;
            for i:=1 to CloseObjectNum do
                begin //计算面积均方差
                    AreaSquareErrorValue:=AreaSquareErrorValue+(ConnectObjectArray[i]
                        -AreaExpectedValue)*(ConnectObjectArray[i]-AreaExpectedValue);
                end;
            AreaSquareErrorValue:=AreaSquareErrorValue/(CloseObjectNum-1);
            AreaSquareErrorValue:=Sqrt(AreaSquareErrorValue/(CloseObjectNum-1));
            BeanPropertyStatisticClick(Sender);//显示检验报告
            Bmp1.free;
        end;
end;
```

1.3.1.4 黄豆评估报告输出模块的设计

黄豆评估报告的输出是黄豆质量评估的一个结论，包含黄豆基本信息与黄豆检验图片的报告单，是有效的黄豆质量评定文件。报表的生成在数据库开发过程中占有较多的设计时间，因而寻找一种快捷的报表设计工具是程序员所希望的。Delphi 7 提供新的功能强大的 Rave 报表生成控件，而一般用户习惯用 QuickReport 报表生成器。在 Delphi 7 中，它并不是系统的缺省安装，在 Delphi 7 的开发环境中，选择 Component/Install Packages../Add..，在这个对话框中选择 Delphi 的 bin 子目录的 dclqr70.bpl 就可安装 QuickReport 报表生成器，它提供的所有构件都集中在 QReport 构件页。例如，要产生如图 1.5 所示的黄豆检验报告单的打印表单，只需在编辑过程中用手工将这些直线、矩形、表格、图像、字符串等的位置定义好。对于黄豆参数中一些直接与数据库关联的字符串，用 TQRDBText 构件将之直接与数据集连接起来，在表单被预览和打印时，只要使数据库处于打开状态，数据库表字段中的字符就会自动显示在打印表单中。而对于打印表单中一些可变的因素，应在 TQuickRep 的 BeforePrint 事件中用程序加以调整。例如下列黄豆图像报告单打印程序中，需由程序设计达到灵活分布和显示的目的。程序员通过修改这些源码，还可以设计出动态安排报告单上图片和字符在合适的位置的程序来。

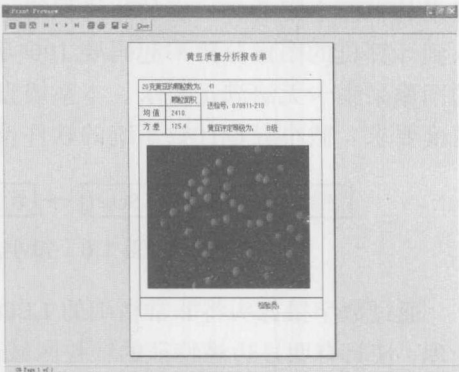


图 1.5 黄豆质量分析报告单预览界面

我们可以通过周长、面积、圆弧度、周边复杂度等特征值的期望与方差，区分或筛选出图像中有效的图形目标区域，或是区分图像中哪些图形对象是正常黄豆，哪些是植物杂草碎片。同时，在连通域面积符合黄豆对象定义要求的情况下，对其他的统计量进行分析，还可以得出更加准确的分析结果。

1.4 基于连通域分析的微小颗粒计数系统的软件设计

1.4.1 微小颗粒计数系统的构架及软件实现技术

本微小颗粒计数系统的软件主要用于 LED 发光材料颗粒的计数，能识别的 LED 发光材料的最大颗粒数为 80 000 颗。考虑到微小颗粒计数系统的特殊要求是用户在一般光学环境下，用手将包含遮尘片的 LED 发光材料颗粒塑料片放在摄像头下，通过按一下快捷键，LED 颗粒的数量就被记录在管理系统里，并且打印出来的结果将被贴在这个塑料片上。由于 LED 遮尘片是透明片，一般自然情况下都有皱折，但这个皱折非常平滑，采用 Sobel 等边缘加强的方法就可去掉这个皱折，而每一个颗粒的图像在边缘加强的图像处理方法的处理下将更加强。

考虑到计数颗粒特别多，因而在软件设计上计数数组必须设计得特别大，而在硬件上必

须采用更加精确的图像摄录方案。一般的图像摄录过程是首先由摄像头摄入 AV 信号，然后用数字图像采集卡将 AV 图像变为数字图像，一般的图像采集卡为 $640 \times 480=307\,200$ 的分辨率。而本系统对图像分辨率有非常高的要求。由于每个颗粒起码要用 4 个点表示，每个颗粒之间要有空隙分开，所以每个颗粒至少要用 8 个点的像素，加上颗粒分布的形状的多样性和摄录的平面空间要有一定的边缘保留，因而需要 $(80\,000 \text{ 颗} \times 8) \times 140\% = 896\,000$ 像素，即输入到计算机的图像分辨率起码要 100 万像素的图像质量，才能保证识别的正确性，所以一般的图像采集卡无法满足要求。本系统直接选择 300 万像素的数字摄像头，以满足系统设计的精度要求。微小颗粒计数系统的软件设计框架如图 1.6 所示。

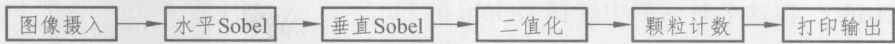
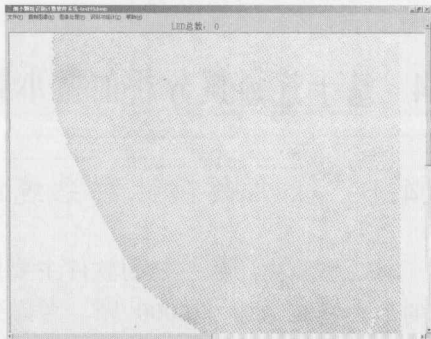


图 1.6 微小颗粒计数系统的软件设计框架

通过数字摄像头将非常精细的 LED 颗粒直接变成数字 BMP 图像，通过边缘加强的 Sobel 处理，使具有明显边缘特征的颗粒区域得到加强，然后用适应性比较强的大津法二值化技术得到二值化图形，然后用连通域计数程序将 LED 颗粒统计出来，还可以继续用聚类分析方法将零散的不能用于加工的颗粒数排除掉。LED 颗粒统计实验程序的工程名为“LedSum.dpr”，在子目录“/程序/第 1 章/LED 识别与统计系统/”中。微小颗粒计数系统的软件系统的主界面如图 1.7 所示。

系统采用的图像摄取硬件是基于 USB 接口的数字图像摄像头 MV-300UC，它的图像分辨率是 300 万像素。摄像头直接得到数字图像并可实时输出和显示在笔记本计算机及台式计算机上，而要使它能充分地发挥潜能并将摄取的图像按照设计的要求显示和保留在计算机上，还需安装相应的驱动软件，驱动软件在目录“/LED 识别与统计系统/MV-300UC/Driver /”下。为了开发的快捷性，可直接使用随摄像头附赠的用户二次开发的 ActiveX 控件 HVDevice.OCX，该控件具有强大的图像捕捉功能，不仅可以摄取动态图像 AVI 文件，而且可以摄取静态图像 BMP。在 HVDevice.OCX 控件中包含了图像摄像头 MV-300UC 进行图像摄取的相关函数和属性，利用它可简化图像摄取的程序设计。安装 HVDevice.OCX 可有多种方法，下面介绍在 Delphi 中的安装过程。在 Delphi 环境中，选择“/component/import Active control...”对话框，在“add..”对话框中选择“/MV-300UC/Control/HVDevice.OCX”，然后进行安装，这样就可可在 Delphi 控件板上看到这个控件，通过调用和设置 HVDevice.OCX 控件中的相关函数和属性就可以方便地得到分辨率很高的数字图像。摄取一幅图像并放入图像处理控件中的程序段如下。



```

procedure TImageProcessForm.GetVideoImageAndProcessClick(Sender: TObject);
begin//摄取一幅图像并放入图像处理控件中的程序段
    CurrentImageFileName:='CurrentImage.bmp';HVDevice.SaveImage(CurrentImageFileName);
    WillbeChangedBmp:=Tbitmap.create;WillbeChangedBmp.LoadFromFile(CurrentImageFileName);

```