

分类号\_\_\_\_\_

学号 M201070563

学校代码 10487

密级\_\_\_\_\_

华中科技大学

# 硕士学位论文

## 基于机器视觉的注塑过程检测 技术

学位申请人： 杨 威

学 科 专 业： 材料加工工程

指导教师： 周华民 教授

答辩日期： 2013 年 1 月 15 日

**A Thesis Submitted in Full Fulfillment of Requirements for the Degree of  
Master of Material Processing Engineering**

**Detection technology based on machine vision in the  
plastic injection molding process**

**Candidate : Yang Wei**

**Major : Material Processing Engineering**

**Supervisor : Prof. Zhou Huamin**

**Huazhong University of Science and Technology**

**Wuhan 430074, P.R.China**

**Jan., 2013**

## 独创性声明

本人声明所呈交的学位论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除文中已经标明引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的研究成果。对本文的研究做出贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本人完全意识到，本声明的法律结果由本人承担。

学位论文作者签名：

日期： 年 月 日

## 学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解学校有关保留、使用学位论文的规定，即：学校有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅和借阅。本人授权华中科技大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编本学位论文。

本论文属于 ☐ 保密，在\_\_\_\_\_年解密后适用本授权书。  
☐ 不保密。

（请在以上方框内打“√”）

学位论文作者签名：

日期： 年 月 日

指导教师签名：

日期： 年 月 日

## 摘 要

注射成型是塑料制品最常见的成型方式之一。在注塑生产过程中,制品会出现各种表面缺陷,而当前制品表面质量检测大多依靠人工离线抽样检测,自动化程度不高、检测效率低下;模具型腔有制品残留也是注塑生产中的常见问题,影响制品质量,而且损坏模具,当前的检测手段也主要依靠人工现场监控。机器视觉检测技术可代替人工检测,实现检测任务的高效化、智能化。本文研究了利用机器视觉技术在线对注塑过程中制品表面缺陷进行检测与识别以及对型腔异常现象进行检测。

本文分析了机器视觉系统的构成及工作原理,结合注塑生产的实际情况,设计了基于机器视觉的注塑过程检测系统,并设计了系统的检测流程。在此基础上,完成了系统的硬件和软件的整体架构设计,研究了关键的硬件选型,对软件处理流程和主要软件模块进行了详细设计,利用 Qt 平台开发了图形用户界面。

为降低非目标区域的干扰,采用手动进行 ROI 设置,且支持多个 ROI;本文以制品表面缺陷检测的图像处理流程为主线,研究了图像增强、模板匹配、图像分割、形态学处理、轮廓提取等图像处理的关键算法,在实验的基础上选择了对本文图像处理效果较好的算法,准确获取了缺陷区域;基于这些算法的原理,本文利用图像滤波、模板匹配算法实现了型腔异常的自动检测功能,实验验证了检测的准确率。

针对当前注塑制品表面缺陷识别的研究大多采用 BP 神经网络、SVM 支持向量机等算法,均需要大量制品图像进行样本训练,算法适应性差等缺点,本文针对短射、飞边、裂纹三种常见缺陷,实验提取了缺陷区域的图像特征数据并分析,选取了对三种缺陷区分度较高的图像特征,提出了缺陷识别算法,实验验证了算法的可行性,有效克服了传统缺陷识别算法的不足。

本文开发的软件系统基本实现了在线对注塑过程中制品表面缺陷检测和型腔异常检测的自动化、智能化,具有较高的实际应用价值。

**关键词:** 注射成型; 机器视觉; 过程检测; 缺陷检测; 自动识别

## Abstract

Injection molding is one of the most common forming methods of plastic products. In the plastic injection molding process, products will appear kinds of defects. Now the surface qualities of products mainly rely on manual sampling detection, which is of low automation degree and efficiency. It is a common phenomenon that products ejection incomplete, which has bad effects on products quality and the mold. Machine vision is a new technology which can take place of manual detection, providing accurate and efficient automation solutions for the detection task. This paper aims to use machine vision technology to realize the products online surface defects detection and automatic identification, as well as the detection of cavity abnormal situation.

This paper analyzes the composition and principle of machine vision system and designs a injection molding process detection system based on machine vision combining with the actual situation, for online surface defects automatic detection and identification, as well as automatic detection of cavity abnormal situation. Based on these, this paper designs the overall structures of hardware and software system, studies on the key hardware selection, and designs the software processes and main software modules, and develops the graphics user interface with Qt.

To reduce the interference of the non-target area and improve the detection accuracy, the paper sets ROI manually, and supports many ROIS; according to the software process of products surface defects detection, this paper firstly studies the key algorithms such as the image enhancement, template matching, image segmentation, morphology processing, contour extraction, and chooses the appropriate algorithms on the basis of experiment to get areas of surfaces defects; based on principles of these algorithms, this paper realizes automatic detection of cavity abnormal situation by using image filtering, template matching algorithms, and experiments prove the accuracy of detection.

In order to overcome the shortcomings of traditional defects recognition such as the BP neural network and SVM support vector machine (SVM) algorithm, which all need training product images samples and bad adaptability, experiments are finished to obtain the data of image features in view of a short shot, flash, crack these three defects, and selects some

image features that are useful for defects recognition, then this paper puts forward a defects classification algorithm for these three defects, experiments prove this defects identification algorithm is feasible.

The software system developed in this paper basically achieves automatic and intelligent detections of products surface defects and cavity abnormal situation in the process of injection molding, which is of high practical value.

**Key words:** Plastic injection molding; Machine vision; Process detection; Defects detection; Automatic recognition.

## 目 录

摘 要.....	I
Abstract.....	II
<b>1 绪论</b>	
1.1 研究背景与意义.....	(1)
1.2 机器视觉技术概述.....	(2)
1.3 注塑过程检测及控制的研究现状.....	(6)
1.4 本文主要工作.....	(9)
<b>2 系统的设计与实现</b>	
2.1 系统的总体结构.....	(11)
2.2 关键硬件设备选型.....	(13)
2.3 软件设计与实现.....	(16)
2.4 本章小结.....	(21)
<b>3 模腔图像处理关键算法</b>	
3.1 图像处理的主要流程.....	(23)
3.2 制品图像增强.....	(24)
3.3 模板匹配.....	(30)
3.4 图像分割.....	(33)
3.5 形态学处理.....	(35)
3.6 区域轮廓提取.....	(38)
3.7 本章小结.....	(43)
<b>4 制品表面缺陷特征提取与识别</b>	
4.1 注塑制品常见缺陷.....	(45)
4.2 缺陷区域常见特征.....	(47)
4.3 缺陷特征提取与识别.....	(51)

4.4 本章小结.....	(60)
<b>5 型腔异常的视觉检测</b>	
5.1 型腔异常检测的流程.....	(61)
5.2 型腔图像处理.....	(63)
5.3 型腔异常检测实验与分析.....	(65)
5.4 本章小结.....	(68)
<b>6 全文工作总结与展望</b> .....	(69)
<b>致 谢</b> .....	(71)
<b>参考文献</b> .....	(72)
<b>附录 1 攻读硕士阶段发表论文目录</b> .....	(76)



## 1 绪论

### 1.1 研究背景与意义

注射成型是工业生产塑料制品的最为常见的方法，它能够用于加工结构复杂、几何尺寸精度高的塑料制品，且具有生产周期短、适应性强、生产效率高且易于自动化等优点。目前塑料制品广泛用于农业、建材、国防、机电、汽车、交通运输、医药、食品包装等日常生活的各个方面。

表面质量是注塑制品质量评估的一项重要指标，受到企业和用户越来越多的关注。在连续的注塑制品生产过程中，由于原料的物性参数发生变化、注塑机设备的运行状态和控制精度等发生变化、生产环境的变化等这些复杂多变的因素共同影响了注塑产品的质量，并不可避免的在生产的过程当中产生各种各样的缺陷，如常见的短射、飞边、裂纹、翘曲、气泡等缺陷，这些缺陷不仅影响产品的外观，且严重影响制品的使用性能，因此对注塑生产中制品的质量进行检测从而保证产品质量是非常重要的一个环节。当前注塑制品表面质量检测大多依靠人工离线抽样检测、自动化程度不高、检测效率低下，不符合现代工业检测中的实时、在线、非接触的要求，且容易受到检测人员主观意志的影响，导致检测结果的因人而异、因时而异，无法保证人眼视觉检测持续、稳定的进行，且在检测的过程中，人为的疏漏不可避免的造成产品的漏检、错检。当前企业对生产效率的要求越来越严格，生产自动化是一个必然的趋势。

注塑生产并不是一个十分稳定的过程，由于材料性能、注塑机性能的波动以及生产环境等因素的影响，时常会出现在脱模后制品部分残留甚至制品顶出失败等型腔异常现象，若在型腔异常的情况下合模继续进行下一个生产周期，不仅会严重影响注塑产品的质量，而且会损坏模具，增加了生产成本。当前这些模具型腔异常现象的防止大多是依靠工人在现场不间断监控，需要人员时刻在注塑生产现场，增大了工人的劳动量，自动化程度低，且当生产环境恶劣时，会对工人的身体健康、人生安全带来一定的隐患，因此一个自动化、智能化的模具型腔异常检测系统是很有必要的。

机器视觉是伴随着计算机技术快速发展的一门新兴技术，可替代效率低下的人工检

# 华中科技大学硕士学位论文

---

测，实现检测任务的自动化、智能化、高效率，且可以在人工不易于检测或对检测人员构成人身安全威胁的恶劣环境下工作，具有人工检测无法比拟的优点。目前，越来越多的机器视觉系统在工业、农业等各个行业的生产中得到了广泛的应用，成为未来工业检测的一个重要发展方向。

基于此，本文对基于机器视觉的注塑过程检测技术进行了研究，以解决注塑生产中的注塑制品表面缺陷在线检测与识别难题以及注塑过程中的模具型腔异常检测难题，并利用 Qt 开发平台和 OpenCV 算法库开发了软件系统的主要功能模块和人机交互界面，该系统不仅实现了在线对注塑制品表面缺陷进行检测和识别，实现了注塑制品表面质量检测的自动化和智能化，利用检测结果还可为生产工艺优化提供支持，而且利用系统中关键的图像处理技术，可实现对注塑生产中的制品顶出失败等模具型腔异常情况进行自动化检测，保证了型腔在模具合模动作进行前是正常的，为注塑生产过程平稳、安全的进行提供了良好的基础。注塑制品和某些工业产品具有相似的外观缺陷，本文研究的注塑制品表面缺陷在线检测与识别方法也可为其它工业产品的表面检测提供了一条非常具有参考和借鉴意义的思路，促进了机器视觉检测技术在工业或其它行业上更加广泛的应用。。

## 1.2 机器视觉技术概述

机器视觉<sup>[1-2]</sup>是一个涉及多个领域的热门技术，主要涉及领域包括计算机技术、图像处理、模式识别、自动化控制等领域。“机器视觉”从字面上可简单理解为利用机器装置或设备模拟人的视觉功能，但它不仅是实现人眼的视觉功能，更重要的是具有人脑的部分功能——对采集的图像进行处理、提取信息并加以理解，最终用于实际检测、测量和控制<sup>[3]</sup>。

### 1.2.1 机器视觉系统的组成和原理

一个典型的工业机器视觉系统包括光源照明模块、图像采集模块、图像处理模块、智能判断决策模块和机械控制执行模块<sup>[4]</sup>，如下图 1-1 所示。机器视觉系统的基本原理是：照明装置为需要检测的目标区域提供稳定、良好的照明环境，图像采集模块调用工业相机采集图像，图像处理系统对采集的目标图像进行处理，提取图像中特定区域

的某些特征参数，对特征进行分析，实现系统的检测、识别等功能，最后，系统的决策中枢对机械装置等设备进行控制完成相应的动作。

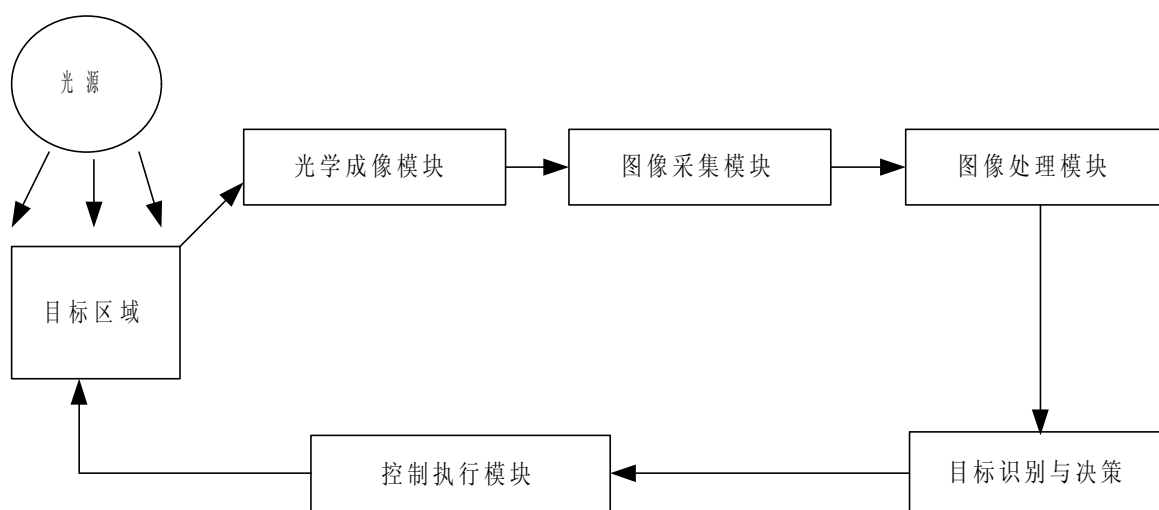


图 1-1 机器视觉系统结构示意图

## 1.2.2 机器视觉技术的特点

相比于传统的人工操作，机器视觉技术主要有以下优点<sup>[5-6]</sup>：

### (1) 工作效率高

机器视觉系统的处理和决策中枢是计算机，利用计算机高效的特点能够大大地提高效率，在实时性要求很高的场合，这点显得尤为重要。

### (2) 精度高

人眼的视觉能力限制了检测的精度，精确度不如机器视觉，例如机器视觉系统的测量精度可达到千分之一英寸，远远超过人眼视觉。

### (3) 客观

人眼检测不可避免受到检测人员主观意识、情绪的影响，而机器视觉不存在主观意识、情绪的影响，对所有的判断、决策均采用同样的判断方法，检测结果客观、可靠。

### (4) 综合成本低

机器视觉系统的高效使之能够承担相当于多个工人的任务，且不需要休息、可长时间连续作业。

## 1.2.3 机器视觉技术的发展及应用

有关机器视觉的研究始于上个世纪 50 年代,研究的内容相对来说较为基础,主要是简单地对图形进行处理和分析。第一个完整的机器视觉理论于在 20 世纪 70 年代由麻省理工学院的 Marr<sup>[7]</sup>提出来,为机器视觉的发展与应用奠定了良好的基础,成为后来机器视觉领域的重要理论框架。日本也在同期展开了研究,并将其应用于 PCB 表面质量检测。20 世纪 80 年代机器视觉系统发展进入正轨,20 世纪 90 年代发展趋于成熟,20 世纪 90 年代后高速发展,目前在各个领域等到广泛的应用<sup>[8-9]</sup>。

国内关于机器视觉技术的研究受到我国科技基础差、底子薄、计算机技术发展落后等因素的影响,发展较为缓慢。我国从 20 世纪 80 年代开始了对固体成像器件和图像处理技术应用的研究。机器视觉技术的应用开始于 90 年代,由于属于新兴的技术领域,再加之科技实力落后及对机器视觉的研发投入力度不够,当前我国机器视觉技术的研究进展与发达国家相比存在着很大的差距,关于机器视觉的研究大多停留在实验室阶段,真正用于工业生产应用的很少见。目前国内大部分机器视觉公司依靠代理国外各种机器视觉产品起家,随着机器视觉的不断应用,公司规模慢慢做大,技术上已经逐渐成熟。目前机器视觉的重要性受到越来越多的关注,部分企业、高校、科研机构也在研发机器视觉产品,但技术上跟国外品牌差距还较大。随着中国制造业生产水平越来越高,对产品的质量要求越来越严格,自动化要求越来越迫切,生产效率的标准越来越高,对于机器视觉系统的需求将不断增加,为机器视觉行业的快速发展提供了强大的推动力。

当前机器视觉技术已广泛应用于日常生活、工农业生产的各个领域,根据机器视觉的应用领域的类型,主要分为以下几个方面<sup>[10-12]</sup>:

### (1) 参数测量

利用机器视觉技术进行相关参数的自动化测量工作,最常见的应用主要是几何尺寸、温度、平行度和垂直度等参数测量。

李宁等人<sup>[13]</sup>研究了基于机器视觉技术的温度自动测量系统,提出了一种基于温度像素标定值,通过简单有效的图像处理算法,自动读取温度计的示数,测量精度达到 0.01 摄氏度,满足工业应用的要求; Hongru Du 等人<sup>[14]</sup>对采集的齿轮图像进行灰度处

## 华中科技大学硕士学位论文

---

理、阈值分割、中值滤波、轮廓提取等算法获取齿轮边缘，通过对轮廓的分析和处理，对齿轮的关键参数，如齿轮的内外直径、齿数等进行自动化检测和测量，文中也研究了利用图像处理技术对键槽的深度和宽度的测量方法，获得了理想的检测效果。

### （2）产品质量检测

产品质量检测是机器视觉检测技术应用的最为广泛的领域，包括工业、医药、农业等产品。工业中主要检测的内容包括产品或零件表面的毛刺、划痕、磨损等缺陷；医药上是对医药包装的检测；农业上主要是各类农产品的表面质量检测和分类<sup>[15]</sup>。

Aleixos 等人<sup>[16-17]</sup>用多光谱技术进行了柑橘的表面品质的检测研究，对水果的大小、颜色和表面质量进行检测，检测效率达到 0.2 个/s，实时性较好，尺寸检测误差控制在 2mm，颜色检测和表面缺陷检测的准确率分别达到 94%、93%；Der-Baau Perng 等人<sup>[18]</sup>利用机器视觉技术自动检测两种类型的 SMD LEDS 的表面缺陷，实验证明检测的准确率达到 95%，在线检测的速率达到 0.3s/次，实时性和准确性均较好。

### （3）视觉引导与定位

工业上主要用于检测产品组件是否被放置到组装生产线上的正确位置，或对装配过程的零部件进行定位和引导；也有学者研究了基于机器视觉技术的盲人导航系统。

查英<sup>[19]</sup>为了满足装配生产线对零件装配的自动化、智能化需求，利用机器视觉的工作原理，开发了相应的视觉识别软件，系统对工业相机采集的图像进行分析和处理，对目标进行识别并获取位置信息，文中进行了实验实现了简单零件目标的识别并利用机械手对零件进行抓取；英国剑桥大学的 ASMONC (Autonomous System for Mobility, Orientation, Navigation and Communication)<sup>[20-21]</sup>研究了为盲人提供导航支持的路面障碍物检测系统，提出了一种基于机器视觉技术的障碍物检测算法。系统使用立体三维机器视觉，结合针对标定后的 AGV 相机设计的障碍物检测系统和盲人行走的 Kalman 模型，通过对场景视差的分析获得障碍物的位置等信息。系统使用地平面障碍物检测算法(Ground Plane Obstacle Detection, GPOD)较准确地提取了现实环境中的障碍物，检测到的障碍物信息通过振动模拟传递给盲人。

### （4）目标分类与识别

目标分类与识别是当前机器视觉技术中研究的热点与难点。目前常见的应用包括字

符识别、条形码识别、二维码识别、指纹识别、车牌识别、智能交通导航、人脸识别、缺陷种类识别、军事目标搜索等。

J. Paliwal 等人<sup>[22]</sup>研究了不同品种小麦的识别技术，基于彩色参数和傅立叶描述算子，利用最小距离分类器，对五种加拿大小麦进行识别，其准确率分别为 100%, 94%, 93%, 99% 和 95%。韩英莉等人<sup>[23]</sup>基于机器视觉技术的原理，结合 BP 神经网络算法，对带钢表面的缺陷进行了分类与识别研究并编制了带钢表面缺陷的识别与分类软件，实验验证了缺陷分类与识别的效果；叶晨洲等人<sup>[24]</sup>对车辆牌照的自动识别技术进行了研究，设计了一个牌照字符识别系统，重点研究了字符串提取与字符串识别模块，系统采用多个简单识别器融合方法对牌照汉字、数字和字母的识别率均大于 96%，总的牌照识别率为 82%。

利用机器视觉技术可以实现任务检测与识别任务的自动化、智能化，随着机器视觉技术自身的成熟和发展，毫无疑问它将在生产生活的各个领域中得到越来越广泛的应用。

## 1.3 注塑过程检测及控制的研究现状

注射成型过程是一个复杂的过程，受到工艺参数、机器性能、人为操作、生产环境、材料参数等多个因素的影响，注塑生产的成本、生产效率和产品质量是企业最为关注的几个因素。当前企业迫切需要对注塑生产的过程进行检测和监控，获取注塑机的工艺参数设定、运行状况、生产任务执行情况、产品质量等重要信息，对注射成型过程进行管理和控制，而当前对注塑生产过程的管理和监控仍然以人工现场操作为主，不能满足企业管理智能化、自动化、高效、低成本的要求。一个智能化的注塑过程检测与监控系统已经成为许多企业的迫切需求，研究开发注塑过程检测与监控系统是完全有必要的，是降低企业生产和管理成本、提高生产效率、监测和控制产品质量的有效途径。

部分学者对注塑过程的检测和控制进行了研究，按对注塑过程检测和监控的内容的不同可大体分为如下三个方面：

### （1）注塑机生产信息的监控

## 华中科技大学硕士学位论文

---

注塑机在注射成型过程中具有工作参数多、一个注塑加工厂的注塑机台数多且分散式布置,因此有必要对注塑机的生产状态进行监控,监控的内容主要指注塑机设备的参数设定、用户信息、运行信息、生产任务信息等。

林海杰<sup>[25]</sup>针对注塑机监控的实际需求提出了基于.NET 技术的注塑机群远程监控系统,文中提出了一种拥有二层网络结构的注塑机群远程监控系统模型,该系统主要用于对注塑机的生产情况进行实时监控,并设计数据库保存用户信息、注塑机信息、历史记录等,利用网络技术,该系统可以实现同时对注塑机群的运行数据进行监控;徐元昌等人<sup>[26]</sup>设计了适用于注塑机控制的群控系统方案,PC 机为上位机,与下位机 8098 采用串行通讯的方式,实现了主机对从机的控制和管理,实地现场测试实现了对注塑机动作和温度、压力、速度等工艺参数的控制,证明了系统的可行性。目前注塑机监控系统受到生产厂商的重视,日本三菱公司和德国 Batterfold 公司均研制了对注塑机的集中监控系统。

### (2) 注射成型过程的监控

主要用于监控注塑机注射成型过程,包括实际的型腔压力、型腔温度等参数以及高分子材料在型腔的结晶过程等。

姜建平<sup>[27]</sup>为实现对温度这一关键的注射成型工艺参数的监控,设计了一种温度智能监控系统,该系统的温度控制算法是基于 Fuzzy 推理的参数自整定 PID 控制算法,系统采用分布式结构,前端机负责采集温度等关键的现场数据,可与上位机进行数据通信,并可根据指令做出响应实现对现场设备的控制,上位机是系统的分析和处理中心,负责发送指令和数据。王师华<sup>[28]</sup>针对在实际生产中对注塑机型腔压力的监控需求,利用虚拟仪器技术开发出型腔压力测试及在线监控系统的原始模型。系统利用 TCP/IP、HTTP 协议搭建 B/S、C/S 架构,对测试系统进行远程控制,通过型腔压力测试系统得到实际的数据和曲线;Marcia M. Favaro 等人<sup>[29]</sup>利用激光束对注塑过程中的结晶过程进行监测,通过研究、分析激光束穿过型腔前与穿过型腔后的强度信息,对制品的结晶过程进行监测和评估,并研究了注射成型过程中影响材料结晶过程的因素。

在注射成型过程中,制品部分残留在型腔甚至制品顶出失败等型腔异常现象的检测目前主要是依靠人眼视觉,部分企业针对注塑生产中的这些型腔异常现象研究了模具

保护器装置，如东莞市安祺电子有限公司、深圳市海任科技有限公司、深圳视觉龙科技有限公司等，但产品的主要功能仅限于对产品脱模不完全、镶块位置异常等情况进行检测，功能相对比较简单。

### （3）注塑产品质量的检测

用于对注射成型完成后的注塑制品进行质量检测和评估，可用于对制品进行分拣，也可对注塑工艺参数的优化提供反馈数据。注塑制品表面缺陷的检测与识别是本文的研究重点，也有部分学者进行了研究。

J. Jay Liu 等人<sup>[30]</sup>研究了利用机器视觉技术对注塑面板制品的表面质量进行评估、监测和控制的方法，主要的研究内容包括制品表面纹理特征的提取、根据纹理特征评估制品表面视觉质量、对制品表面质量评估结果和工艺参数之间的因果关系建立模型和利用该模型对工艺操作参数进行优化这四个方面，文中提出的方法有效解决了工业产品外观性质的不确定性对工业产品质量检测带来的困扰，但并没有对缺陷进行分类与识别；Bartleet 等人<sup>[31]</sup>设计了基于机器视觉的圆环形塑料瓶塞的在线检测系统，根据短射、飞边均在轮廓边缘的特点，采用两种边界跟踪算法提取制品边界轮廓，根据边界轮廓的圆形度及边界区域像素灰度的变化对缺陷进行检测和判定，该算法是针对特定的圆环形注塑件，对于轮廓较复杂、缺陷区域不在轮廓边缘的情况则适用性较差。传统的注塑制品表面缺陷识别多采用 BP 神经网络和 SVM 支持向量机算法。刘斌<sup>[32]</sup>利用机器视觉技术和图像处理算法获取注塑制品表面的缺陷区域后，采用 BP 神经网络算法对缺陷进行识别，提取了 3 维形状特征及 4 维 Hu 不变矩共 7 维输入向量，对点缺陷、压痕、划痕三种缺陷进行检测与识别的准确率为 84.44%，效果并不理想，且 BP 神经网络训练收敛速度慢、局部极值、难以确定隐含层节点数等难点；孙天瑜<sup>[33]</sup>也利用机器视觉技术对短射、飞边、银纹、波流痕四种缺陷进行了检测与识别研究，提取缺陷区域的 6 维形状特征和 28 维纹理特征，采用 SVM 支持向量机进行分类识别，该方法特征向量维数过多，计算量较大。上述算法均需要制品图像进行样本训练，一方面，实际生产中制品图像的噪声较大，训练样本的质量难以保证；另一方面，算法的精度需要大量训练样本保障，实际操作难度较大；此外，当制品改变时必须重新进行训练，算法适应性差。



## 1.4 本文主要工作

本文以实现注塑生产中在线对注塑制品表面缺陷进行检测与自动识别以及对型腔存在制品残留等异常情况进行自动检测为研究目标，设计了一个基于机器视觉的注塑过程检测系统，该系统不仅能在线对注塑制品表面缺陷进行检测，对短射、飞边、裂纹的三种缺陷进行自动识别，还可有效检测注塑过程中型腔存在制品残留等异常现象，确保了下一个注塑生产周期的安全进行，作者的主要工作如下：

(1) 深入研究了机器视觉技术的原理及关键技术，针对注塑过程中的注塑制品表面缺陷在线检测与识别难题以及对型腔存在制品残留等异常现象的自动检测难题，实地对注塑生产环境进行了考察，设计了注塑过程检测系统的整体框架，对系统的关键硬件光源、工业相机、相机镜头进行了选型，设计和搭建了系统的硬件架构，并且设计了系统的检测流程，对主要软件模块的功能进行了详细的设计，利用 Qt 平台，设计了人机交互界面，为系统检测功能的实现提供了基础。

(2) 图像处理技术是机器视觉检测系统的核心技术，本文以注塑制品表面缺陷检测的图像处理流程为主线，对图像增强、模板匹配、图像分割、形态学处理、轮廓提取等关键算法进行了详细的研究，在实验的基础上选取了对本文制品图像处理效果较好的算法，经过这些图像处理，准确获取了缺陷区域，提取了区域轮廓，为缺陷区域特征的提取与识别打下了良好的基础。

(3) 然后对注塑制品表面缺陷特征提取与识别进行了研究。首先研究了注塑生产中的常见的表面缺陷以及缺陷的主要表现特性，选取了注塑生产中最常见、对制品质量影响程度最大的短射、飞边、裂纹为缺陷识别的研究对象，研究了图像特征，并利用 OpenCV 算法库提供的部分函数对三种缺陷区域的形状特征、灰度特征、区域重心与制品轮廓的位置关系特征进行了提取，通过对实验数据的分析，选取了对这三种缺陷区分度较高的特征，设计了缺陷识别规则，最后实验验证了缺陷分类识别的准确率，分析了影响缺陷识别率的因素。

(4) 最后，利用制品表面缺陷检测中的部分图像处理算法对注塑过程中型腔存在制品残留等型腔异常现象进行了检测研究，设计了检测的软件流程，并实地进行实验，探讨了图像预处理对模板匹配的影响，并且实验确定了模板匹配的阈值，验证了型腔

## 华中科技大学硕士学位论文

---

检测的效果，对算法的时间复杂度进行了简单的测试。

2 系统的设计与实现

2.1 系统的总体结构

基于机器视觉的注塑过程检测系统主要分为硬件系统和软件系统，基本的组成如图 2-1 所示。硬件部分主要包括光源、工业相机、工控机、控制执行机构等；软件部分主要分为注塑制品表面缺陷检测与识别以及模具型腔异常检测两个大的功能模块。

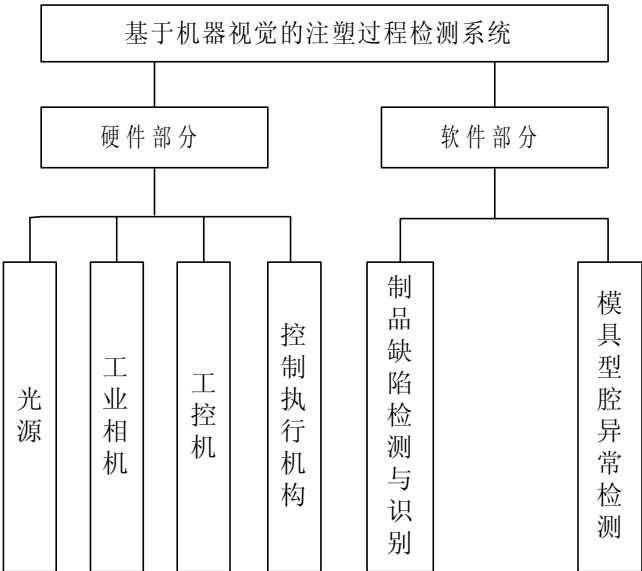


图 2-1 系统组成示意图

本文设计的注塑过程检测系统的框架示意图如图 2-2 所示。

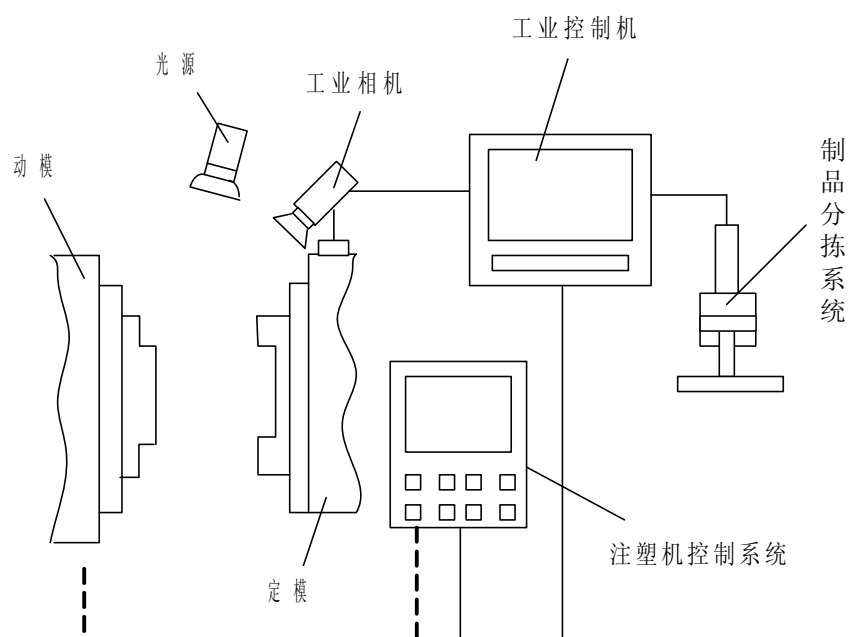


图 2-2 系统框架示意图

系统的基本原理是：在注塑生产过程中，工业相机采集待检测的型腔图像或制品图像，智能图像处理系统对采集的图像进行处理，检测型腔是否存在制品残留等型腔异常情况，或检测采集的制品图像是否存在表面缺陷，若有缺陷则进行缺陷类型的识别，最后，系统的控制和处理中枢，即工控机，根据检测结果对控制执行模块发出控制命令，执行机构进行相应的处理动作。

本文现场实地搭建的系统硬件框架平台如下图 2-3 所示。本文设计的检测系统没有破坏注塑生产的连续性，在对注塑过程进行检测的同时也可保证注射成型过程的正常进行，系统在模具开模后采集目标图像，工业相机固定在模具结构上，采集的图像对目标区域的定位精度非常高，但缺点是相机的采集角度为斜向下，部分区域的特征信息不能被完全捕捉到。

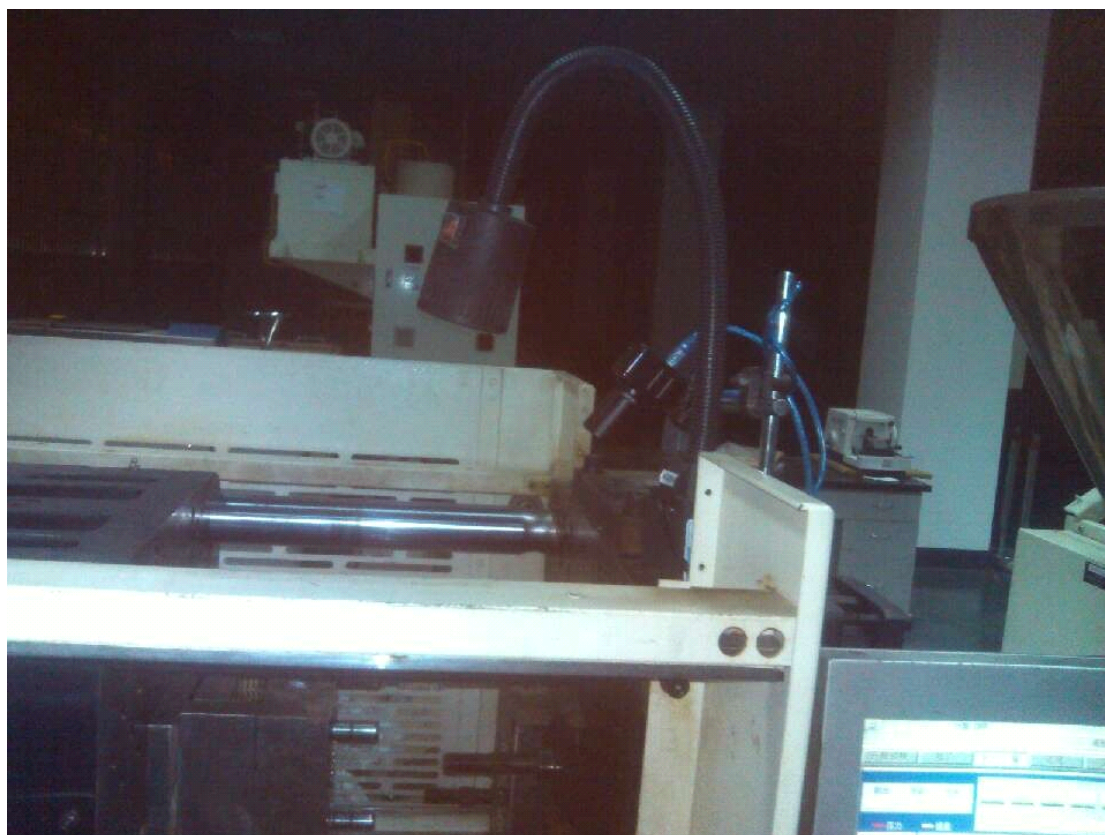


图 2-3 系统硬件平台搭建

## 2.2 关键硬件设备选型

机器视觉检测系统的硬件部分包括照明单元、图像采集单元、图像处理单元、机械控制单元。图像处理单元的硬件构成主要是高性能的工业控制机，机械控制单元主要完成现场设备的定位、制品传送、产品分拣、警报动作等。照明单元和图像采集单元是后续图像处理的基础，关系到整个系统检测的成败，是机器视觉系统的基础和关键部分，本文研究中主要研究照明单元和图像采集单元。

### 2.2.1 照明单元

良好的图像采集环境是采集高质量目标图像的关键因素，直接影响输入数据的质量和效果。照明单元的设计和每个应用的具体情况相关，并没有一种照明装置适合于所有情况，需根据实际需要选择相应的照明装置，以达到最佳效果<sup>[34]</sup>。

照明系统按其照射方法可分为背向照明、前向照明、结构光照明等。本文中的机器

## 华中科技大学硕士学位论文

---

视觉系统需要采集模具型腔图像和型腔中的制品图像，因受图像采集条件和硬件结构的影响采用前向照明，方便安装和调节，操作简单。

接下来需要确定采用的光源，好的光源应考虑以下因素进行选择<sup>[35]</sup>：

### (1) 对比度

使需要被观察的目标特征与需要被忽略的背景特征之间产生最大的视觉差异，从而易于特征的区分。

### (2) 亮度

光源不够亮时，自然光等随机光对照明环境的影响会增大，图像采集环境的稳定性和一致性降低，且易影响图像的对比度。

### (3) 鲁棒性

好的光源应对部件位置的敏感度小，当光源放置在摄像头视野的不同区域或不同角度时，采集的目标图像应该不会随之变化或变化微小。

### (4) 均匀性

光源照射到目标区域的光线强度应比较一致，使物体各个位置产生均匀的反射，减少因物体表面角度、距离的变化带来的亮度差异。

### (5) 寿命、费用等因素

光源的寿命越长，可提高系统的持续稳定运行的能力。另外光源的费用也是需要考虑的。

LED 光源是常见的工业照明光源，使用寿命达 10000-100000 小时，响应时间短，颜色多样，可根据实际需要选择白色、黄色等各种颜色，且发热少，耗电量少，综合成本低，且能长时间稳定的获得对比度高的图像<sup>[36]</sup>。本文选用 LED 光源作为机器视觉系统的光源，本文中的图像采集环境为注塑机生产现场，模具的主体色调为黑灰色，实验制品为白色，采用白色光源增强对比度，光源的固定采用磁力座固定在模具结构上，便于角度、位置的调节。为了减小自然光、环境光对照明环境的影响，从而影响图像的质量，可采用加防护屏提高照明环境的稳定性，提高了图像质量的一致性。

## 2.2.2 工业相机和镜头的选择

工业相机是机器视觉系统中的图像采集设备，选择合适的相机也是机器视觉系统设

计中的重要环节，相机的性能直接决定所采集到的图像分辨率、图像质量等。工业相机相比于普通的相机，它具有高的图像稳定性、高传输能力和高抗干扰能力等优点，按照芯片类型可分为 CCD(Charge Coupled Device)相机 CMOS(Complementary Metal Oxide Semiconductor)相机<sup>[37]</sup>。

CMOS 相机相比于 CCD 相机具有能耗低、处理速度快、信号读取简单、价格低、集成度高、体积小等优点，本文选取大面阵 CMOS 工业相机，型号为 SJM—200C，外形尺寸为 41\*50\*50mm，该相机采用 USB2.0 接口直接与计算机相连和通信，数据输出速率可高达 480M/s，曝光时间任意可调，不需要专门的驱动程序即可使用，操作较为简单，像素可选择为 30 万(640\*480)、130 万(1280\*1024)、200 万(1600\*1200)，数据传输速率可达 30 帧/s，可拍摄彩色图像和黑白图像，符合本文系统实验测试的需求。

镜头也是相机的重要部件，镜头的选择应考虑的关键参数有：焦距；目标高度；影像高度；放大倍数；影像至目标的距离等。本文中由于工业相机采集角度为斜向下，距离目标区域中心位置的距离约 80cm，测量距离会因模具的不同而有较大的变化范围，本文选用型号为 SV0612MC 的百万像素手动可变焦距 6-12mm 镜头，工作温度范围为-20—60 摄氏度，水平视场角为 53°—28°，其焦距和视角范围均满足实验要求。

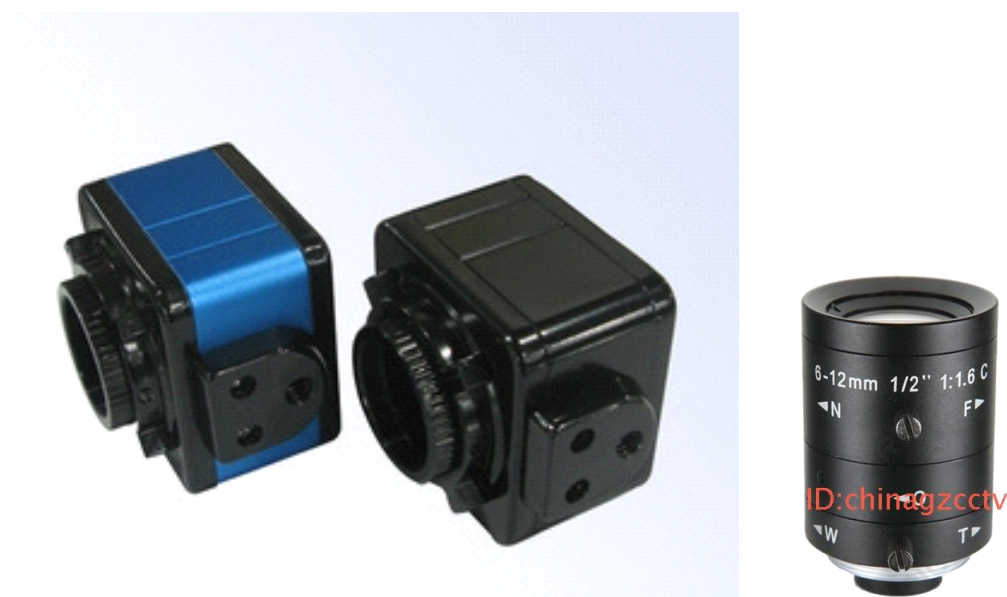


图 2-3 相机及镜头

## 2.3 软件设计与实现

### 2.3.1 软件系统整体结构

本文软件系统采用模块化的设计思想，将软件系统按主要的功能划分为不同的模块，每个功能对应一个软件模块，模块与模块之间的关系尽量满足高内聚、低耦合的软件模块设计思想，采用由上至下的软件设计流程。

本文软件系统的主要功能模块示意图如图 2-4 所示，系统设置模块用于设置图像匹配的相似度阈值、区域大小阈值、图像保存路径等；模板设置模块用于选择模板图像、预处理、ROI(Region Of Interest)区域选定等；图像采集模块负责图像采集和保存；图像处理模块是系统的核心模块，处理图像增强、模板匹配、阈值分割、边缘检测、特征提取等功能；系统通讯模块用于和注塑机控制器、分拣装置通讯等；辅助模块功能包括检测结果统计、异常图像保存、运行日志等。

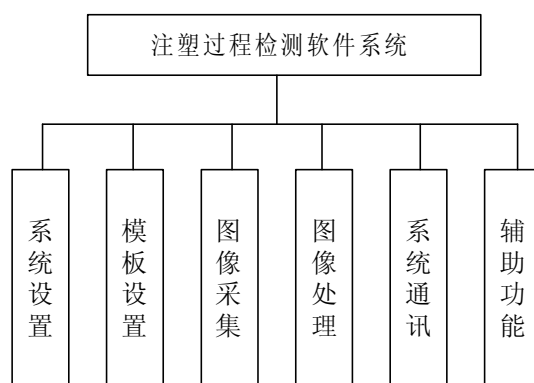


图 2-4 系统软件模块示意图

### 2.3.2 系统的检测原理

系统的检测流程如下图 2-5 所示，硬件平台搭建完成后，首先进行软件系统的设置，然后采集型腔模板图像和制品模板图像，对模板进行预处理和设置；在注塑生产过程中，模具合模前进行型腔的检测，判断型腔是否存在制品残留、制品顶出失败等异常情况，若型腔正常，则注塑机合模，否则发出警报，操作人员对异常情况进行处理；产品成型完成后，顶针顶出制品前，采集制品图像，然后即可顶出制品进行下一个生产周期，图像处理系统对制品图像进行表面缺陷检测，根据检测结果对产品进行分类。



控制装置利用机械机构对产品进行分拣处理。

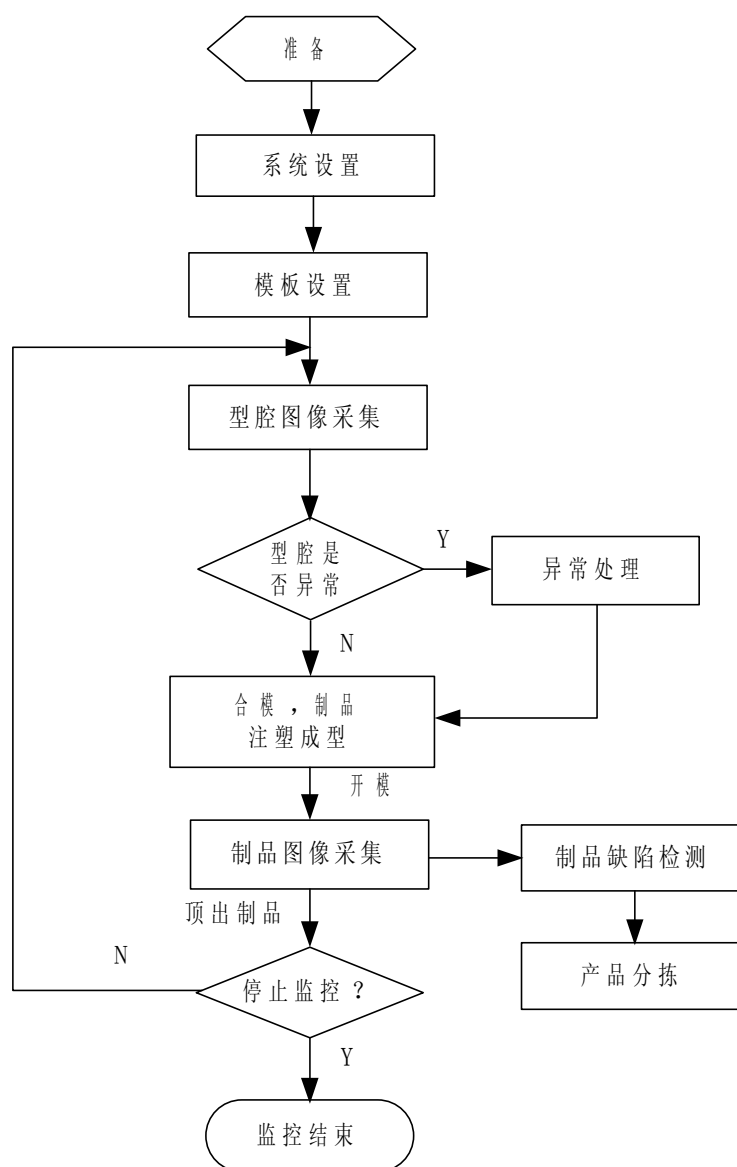


图 2-5 系统检测流程图

### 2.3.3 主要软件模块功能设计

系统的图形用户界面在 Qt 平台上开发，Qt 是一个跨平台的图形用户界面应用程序框架，提供了许多封装好的类可用于开发图形用户界面，且易于用户扩展，大大提高了开发的效率，主界面的设计是基于对话框的，界面如图 2-6 所示。



图 2-6 软件系统主界面

## (1) 系统设置模块

系统设置模块界面如图 2-7 所示，主要功能如下：

- ① 设定图像存放的位置。包括型腔图像和制品图像的位置。
- ② 设定区域大小的阈值，检测中对面积小于阈值的区域进行滤除。
- ③ 设定图像相似度阈值，当匹配阈值小于设定阈值时，则认为匹配失败，表明型腔异常或制品有缺陷。



图 2-7 系统设置界面

## (2) 模板设置模块

模板设置的界面如图 2-8 所示，主要功能如下：

- ① 选择模板、删除模板。本文中的模板可以选择多个，在进行模板匹配时，可以选择匹配相似度最高的值作为匹配值。
- ② 设置 ROI(Region Of Interest)区域，将不需要检测的区域排除，大大减小后续的图像处理量。由于模具背景区域的图像较为复杂，因此采用人工选定检测区域。由于在检测中，某些区域是用户不感兴趣的区域，这些区域分散但时常会干扰检测结果，本文中 ROI 区域可人工设置多个，对需要忽略的区域不进行处理。
- ③ 模板预处理，主要指图像增强处理，另外可以将检测过程中需要反复用到的模板图像参数保存起来，如在制品缺陷检测中，需要提取制品的轮廓，可先将制品的轮廓保存起来，减少后续的计算量。

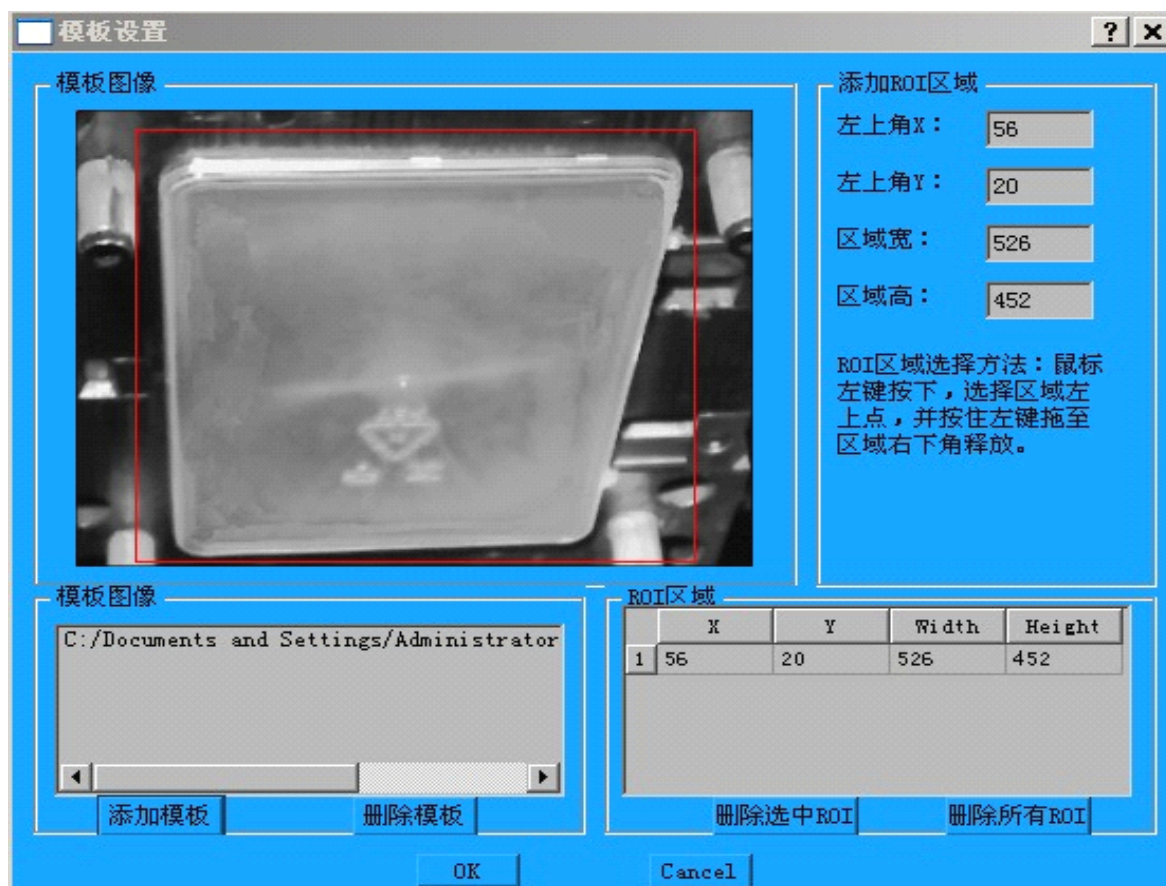


图 2-8 模板设置界面

## (3) 图像采集模块

模块的主要功能：

- ① 用于调用工业相机，采集图像。
- ② 图像格式转换。本文中的图像采用 256 色位图，是由称作像素（图片元素）的单个点组成的，256 色位图图像只能由 256 种颜色构成，每个像素的颜色值为 0-255 之间的其中一个整数。

- ③ 图像存储。将图像保存到指定的目录。

## (4) 图像处理模块

系统的核心处理模块，用于对型腔图像进行异常检测，对制品图像进行缺陷检测，包含了图像处理中常见算法，主要的算法构成如图 2-9 所示，部分关键的算法将在第三章中进行详细的介绍。

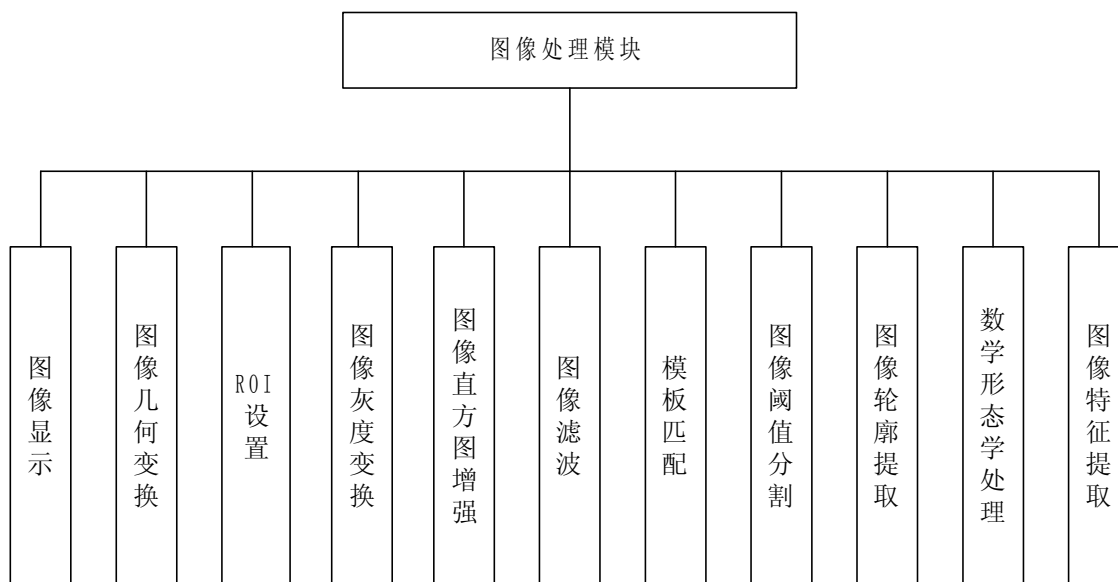


图 2-9 图像处理主要算法

## （5）系统通讯模块

模块的主要功能：

- ① 利用 I/O 信号线获取注塑机的开模、合模信号。
- ② 与注塑机控制器的通讯，可采用 TCP 通讯。
- ③ 与其它机械控制机构的通讯，可采用串行通讯。

## （6）辅助功能模块。

模块的主要功能：

- ① 保存异常图像，利于生产过程和产品质量追踪。
- ② 统计数量、合格率等。
- ③ 运行日志保存。
- ④ 警报、提示功能。当产品连续异常时，或型腔异常时，发出警报。

## 2.4 本章小结

本章针对注塑生产过程中面临的型腔存在制品残留等型腔异常检测问题以及注塑制品表面缺陷在线检测与自动识别难题，将机器视觉系统与注塑生产过程中的实际情

## 华中科技大学硕士学位论文

---

况相结合，设计了一套基于机器视觉的注塑过程检测系统，介绍了系统的基本结构和原理；本章搭建了系统的硬件整体框架，对系统的关键硬件如照明光源、工业相机、相机镜头进行了选型；设计了系统的检测流程，对软件系统进行了整体结构的设计，对主要软件模块进行了功能设计，并利用 Qt 开发了人机交互界面，为系统检测功能的实现打下良好基础。

## 3 模腔图像处理关键算法

### 3.1 图像处理的主要流程

本文系统中制品表面缺陷检测的图像处理流程较为复杂,其主要图像处理算法是软件系统的核心,且包含了型腔异常视觉检测的关键算法,本章以制品表面缺陷检测中的图像处理流程为主线,对涉及到的关键的图像处理算法进行研究。

注塑制品表面缺陷检测与识别的过程如下:在制品缺陷检测前首先需要采集正常制品的模板图像,采集模板图像的方法为:当制品注射成型完成,模具开模至最大位置,在制品顶出前,工业相机采集无缺陷的制品图像作为模板图像。采集完模板图像后进行模板图像增强预处理、制品区域边缘轮廓提取、ROI 设置等。在注塑生产过程中,当注射成型完成,制品顶出前采集制品图像,将制品图像与模板图像进行模板匹配,若两图像的相似度大于设定的阈值,则制品正常,否则表明制品存在缺陷,图像智能处理模块对两幅图像进行差影运算<sup>[38]</sup>(差影法是指将一幅图像各个像素点的灰度值与另一图像的各个像素点的灰度值相减,灰度差的绝对值即为该像素点的灰度值),对结果图像进行阈值分割获得两幅图像的差异区域,利用数学形态学对图像进行处理滤除孤立的噪声点、较小的区域或连接断裂区域,根据设定的缺陷区域大小的阈值滤除面积过小的区域,得到缺陷区域,并提取缺陷区域的轮廓,最后根据轮廓提取缺陷区域特征,并对缺陷进行分类。制品缺陷检测的软件处理流程如图3-1所示。

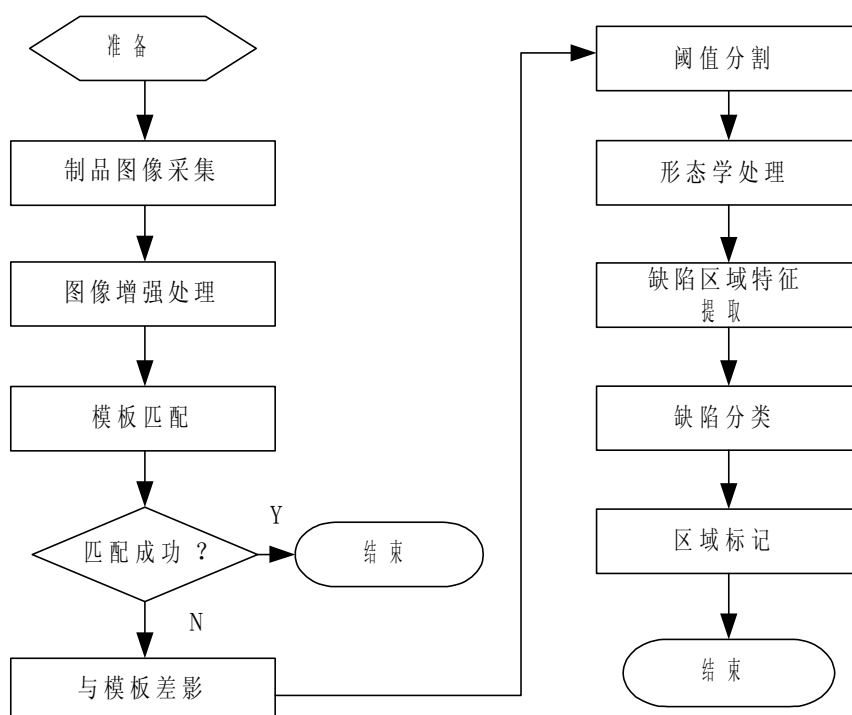


图3-1 制品缺陷检测流程图

在上述注塑制品表面缺陷检测与自动识别的检测流程中，模板的采集与预处理是在系统检测前进行的，预处理的主要算法包括图像增强、通过阈值分割和轮廓提取算法提取制品轮廓并保存；在制品表面缺陷的检测与识别中涉及的关键的图像处理算法主要有图像增强、模板匹配、图像分割、形态学处理、轮廓提取等，下面主要对这 5 种关键的图像处理算法进行研究。

## 3.2 制品图像增强

采集的原始制品图像包含了模具区域等复杂背景，模具的局部位置出现白亮区域，与白色制品的对比度不明显，在光源照射下制品的边缘易产生毛刺导致制品轮廓模糊，影响后面的图像处理的精度，且震动、灰尘、表面粗糙等会造成噪声干扰，另外由于不同制品图像的表面纹理存在差异，在光照下可能会导致制品区域的一致性较差，影响图像质量，原始图像如图 3-2 所示，因此需要进行图像增强处理以突出图像中的制品区域的信息，同时削弱或去除背景、噪音等信息。

图像增强主要可分为频域图像增强和空域图像增强方法两种。频域图像增强是一种



间接增强的算法，变换过程较为复杂，计算量较大，本文采用空域图像增强算法。空域图像增强直接对图像中像素灰度值进行运算处理，分为点运算算法和邻域去噪算法。

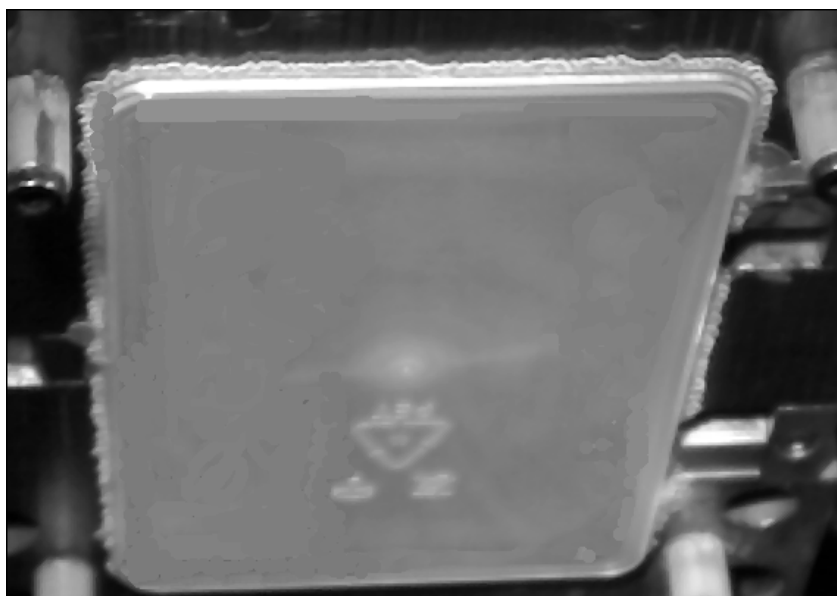


图 3-2 飞边制品原始图像

### 3.2.1 点运算增强

点运算算法常见的是灰度变换和直方图修正等，目的是使图像灰度均匀，或扩大图像灰度范围，增强对比度。

灰度变换的原理就是通过对像素灰度的修正，改变灰度的动态范围，增大对比度。一般的变换函数包括线性变换、非线性变换、分段线性变换。

线性变换的基本原理是设原图像  $f(x,y)$  的灰度范围为  $[a,b]$ ，变换后的图像  $g(x,y)$  的灰度范围线性的扩展至  $[c,d]$ 。则对于图像中的任一点的灰度值  $f(x,y)$ ，变换后为  $g(x,y)$ ，其数学表达式如下式所示。

$$g(x,y) = \frac{d-c}{b-a} \times [f(x,y) - a] + c \quad (3-1)$$

非线性变换原理与线性变换类似，区别是灰度变换函数为对数变换、指数变换、幂次变换等。分段线性变换则对不同灰度区间采取不同的灰度线性变换，突出目标区域，抑制背景区域。

灰度变换由于变换后的输出图像的像素点的灰度值仅仅依赖于原始图像对应位置的像素点的灰度值，因此当采集环境的微小变化或是制品表面因位置微小变化、表面纹理差异或其它偶然因素产生局部白亮区域或局部暗色区域时，这种差异会被放大，如图 3-3 所示，影响后面的图像处理效果，在与模板图像进行差影、阈值分割后，易当作缺陷区域检测出来，因此本文图像不适宜用灰度变换进行增强处理，而采用直方图修正进行增强，常用的方法是直方图均衡化和直方图规定化。

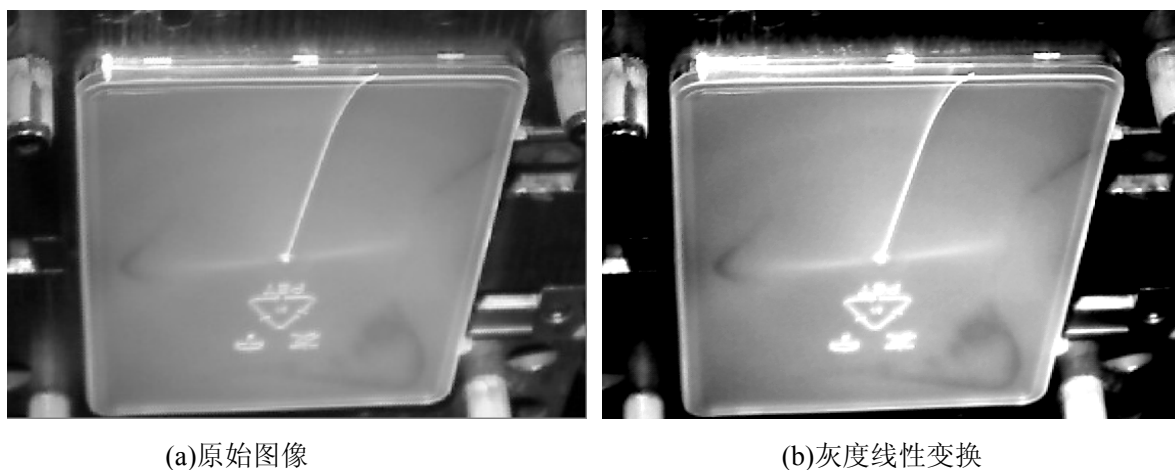


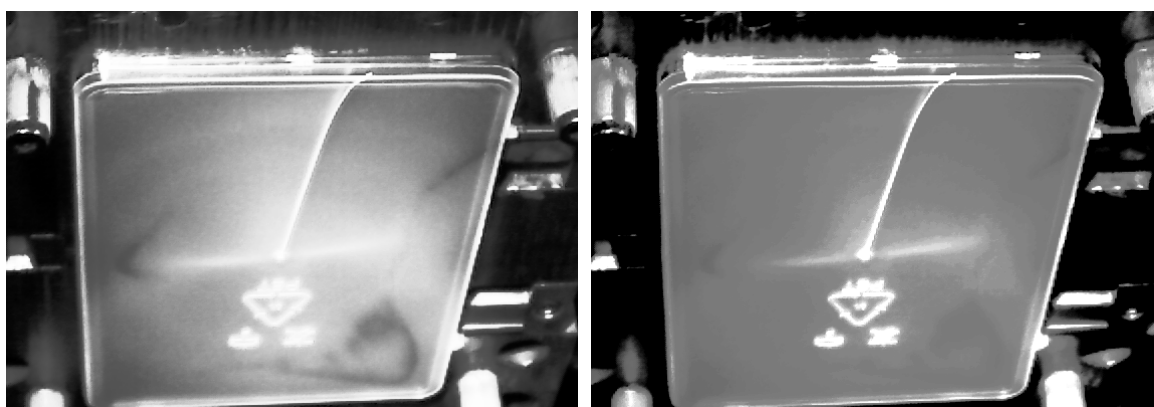
图 3-3 灰度线性变换增强

直方图均衡化的原理是将图像通过变换，使图像的灰度直方图近似为均匀分布。它的理论依据是数学中的概率统计，其变换过程是对各个像素点进行灰度运算，很明显该直方图均衡化处理的效果可以突出某些图像灰度信息，但灰度值的均匀分布可能并不是预期达到的效果，如图 3-5(a)所示，因此本文采用直方图规定化增强。

直方图规定化处理是根据期望输出的直方图，增强图像中的某些灰度级，避免了直方图均衡化产生的具有均匀直方图的图像，处理效果是使原图像灰度直方图变成特定的直方图，其理论基础是直方图均衡化，通过建立输入图像和期望输出图像之间的关系，对输出图像的直方图进行变换，其处理效果为可突出感兴趣的灰度范围。下图 3-4 为对原始图像进行直方图增强的效果图，其中直方图规定化增强以模板图像为期望输出图像。直方图规定化对图像的增强效果明显，有效的增强了制品区域与模具背景的对比度，且边缘部位变得清晰，符合预期的处理效果。



图 3-4 制品的模板图像



(a) 直方图均衡化

(b) 直方图规定化

图 3-5 图像增强效果图

## 3.2.1 邻域去噪增强

邻域去噪法是常见的滤波处理方式，均值滤波、中值滤波、高斯滤波是典型的滤波算法<sup>[39]</sup>，用于消除在相机进行图像采集过程中的噪声、灰尘等干扰因素。这些滤波算法的实质均是采用特定的滤波模板，分析中心点像素和其他邻近像素点的像素值的关系，中心位置的像素值采用邻近像素点的像素值或邻近像素点的像素值的函数关系来代替。在滤波处理中常用的几种邻域如下图所示 3-6 所示，邻域点的个数越多，计算量越大。

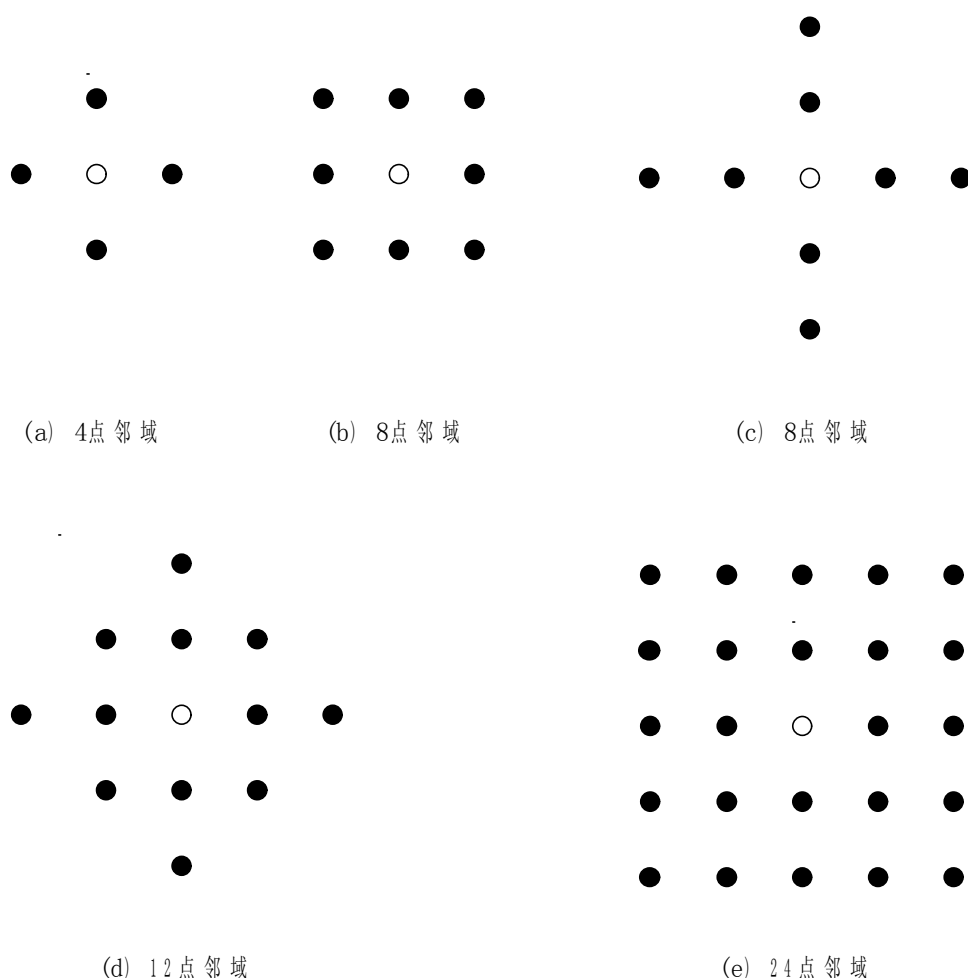


图 3-6 常见的滤波处理中的邻域

均值滤波的基本原理是利用卷积运算,对原图中的各个像素点逐一进行像素值的计算,采用像素点邻域的各个像素点的灰度均值替换原图中的像素点的灰度,实质上并没有消除噪声,而是把噪声点对图像较为明显的影响分担到邻域的各个像素中,在减少噪声对图像影响的同时也降低了对比度。

当滤波处理过程中,假定扫描到像素点坐标为 $(i, j)$ 的位置,该处位置的灰度值为  $f(i, j)$ ,利用选定的模板(通常为  $3 \times 3$  的模板),计算该像素的邻域内的灰度均值,该值即为滤波处理后该点的像素值,公式如下所示:

$$g(i, j) = \frac{1}{m} \sum f(i, j) \quad (3-2)$$

$m$  为模板像素点的总个数。

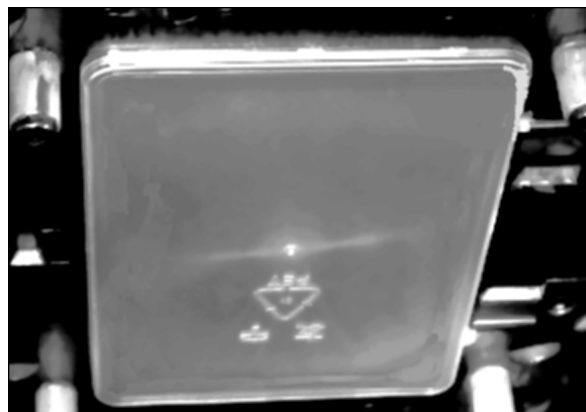
高斯滤波也是利用邻域平均的思想，但不同位置的像素具有不相同的加权值。中心位置的像素权值最大，离中心位置像素越远，权值越小。与简单平滑滤波相比，高斯滤波在模糊噪声点的同时更多的保留图像总体的灰度分布特征，但消除图像噪声的效果并不是很理想。

中值滤波是利用邻域内像素点灰度的中间值来替换模板中心位置像素点的灰度值，中值滤波忽略孤立像素点的属性，将其邻域内最有可能代表其像素灰度值作为中心位置像素点的灰度值，能有效消除离散型噪声。

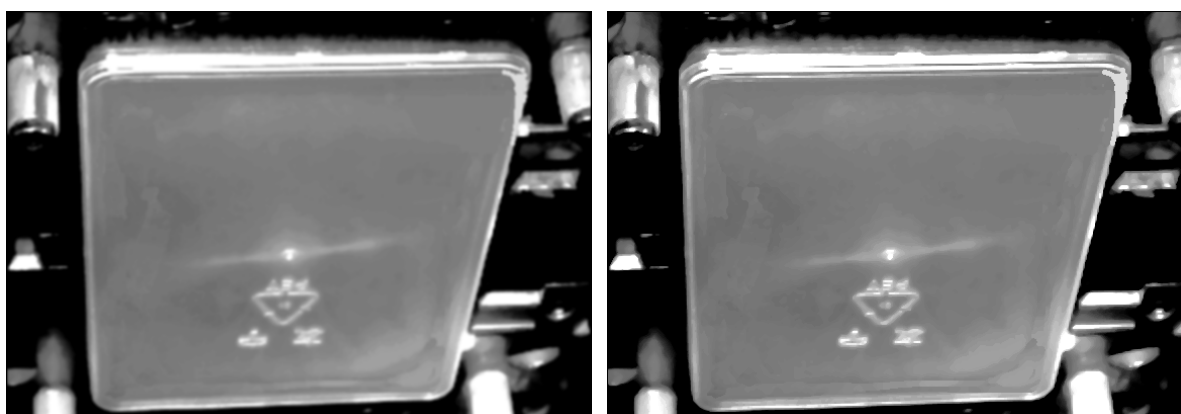
本文对直方图规定化后的制品图像进行滤波处理，处理结果的人眼视觉效果不太明显，各类滤波处理的效果图如图 3-7 所示。一方面，由于在制品缺陷区域特征提取之前需要进行形态学处理，各个孤立噪声点的影响会被消除，噪声点对缺陷特征提取和缺陷分类识别的影响很小，另一方面为了减小算法处理的时间消耗，本文只采用直方图规定化进行图像增强处理，不进行图像滤波处理。



(a)直方图规定化后的图像



(b)均值滤波



(c) 高斯滤波

(d) 中值滤波

图 3-7 图像滤波处理效果图

## 3.3 模板匹配

制品缺陷检测时需要进行模板匹配提取待检图像中的 ROI 区域，ROI 的提取可有效排除不需要检测的区域，减少后续图像处理的计算量，模板匹配的准确度关系到模板图像与匹配后的待检图像的差影法的效果，待检图像与模板图像模板匹配的相似度也是初步判断制品是否存在缺陷的依据。

模板匹配<sup>[40-42]</sup>的原理是用模板图像滑行依次与输入图像的重叠区域进行相似度比较，将相似度最大的区域作为匹配目标区域。模板匹配的示意图如图 3-8 所示， $w \times h$  的模板从  $W \times H$  的待匹配图像上划过，反复计算子图和模板的相似度。

模板匹配的具体过程如下：

设输入图像为  $100 \times 100$  像素，模板图像为  $10 \times 10$  像素，匹配的过程为：

- (1) 从输入图像的左上角(0, 0)开始，分割一块(0, 0)至(10, 10)的临时图像；
- (2) 用临时图像和模板图像进行相似度比较，结果记为  $c$ ， $c$  就是结果图像(0, 0)处的像素值；
- (3) 分割输入图像从(0, 1)至(10, 11)的临时图像，进行相似度计算，并记录到结果图像；
- (4) 重复 (1) - (3) 步直到输入图像的右下角。
- (5) 从结果图像中获取匹配程度最高的像素点，即为模板匹配的结果。

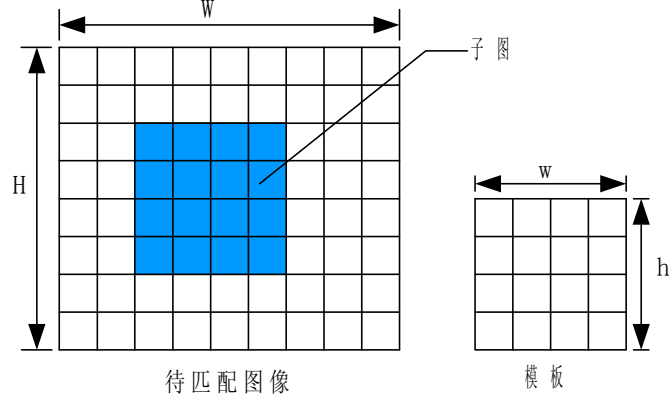


图 3-8 模板匹配示意图

模板匹配方法主要可分为基于灰度统计信息的模板匹配和基于特征的模板匹配。基于灰度的配准方法直接利用图像的灰度度量两幅图像之间的相似性，采用搜索方法寻找使相似性度量最大或最小值点。基于灰度的配准方法实现简单，只对图像的灰度进行处理，配准结果只依赖于配准方法本身，避免了主观因素的影响，同时可以实现全自动配准。互相关方法是常用的基于灰度信息的配准方法，也是一种最基本的统计匹配方法，它要求参考图像和浮动图像具有相似的尺度和灰度信息。

已知原始图像  $S(W, H)$ ，如图 3-8 所示，我们采用以下的算式来衡量模板  $T(m, n)$  与所覆盖的子图  $S_{ij}(i, j)$  的关系<sup>[43-44]</sup>：

$$D(i, j) = \sum_{h=1}^H \sum_{w=1}^W [S^{ij}(h, w) - T(h, w)]^2 \quad (3-3)$$

将上式展开可得

$$D(i, j) = \sum_{h=1}^H \sum_{w=1}^W [S^{ij}(h, w)]^2 - 2 \sum_{h=1}^H \sum_{w=1}^W [S^{ij}(h, w) \times T(h, w)] + \sum_{h=1}^H \sum_{w=1}^W [T(h, w)]^2 \quad (3-4)$$

上述公式中第一项为模板覆盖的子图的能量，第三项为模板图像的能量，都和模板匹配无关。第二项是模板和子图的互为相关，随  $(i, j)$  而改变。当模板和子图匹配时，该项有最大值。在将其归一化后，得到模板匹配的相关系数：

$$R(i,j)=\frac{\sum_{h=1}^H\sum_{w=1}^W[S^j(h,w)\times T(h,w)]}{\sqrt{\sum_{h=1}^H\sum_{w=1}^W[S^j(h,w)]^2}\sqrt{\sum_{h=1}^H\sum_{w=1}^W[T(h,w)]^2}} \quad (3-5)$$

R 的最大值  $R_{\max}(i_m, j_m)$  即为匹配的结果，该算法原理简单，易于理解，但匹配过程的计算量大、速度慢。通常可以使用另外一种更为简单的算法来衡量模板 T 和子图  $S_{ij}$  的误差，公式如下：

$$E(i,j)=\sum_{h=1}^H\sum_{w=1}^W[S^j(h,w)-T(h,w)] \quad (3-6)$$

公式可理解为两个图像对应位置的像素值的向量误差，根据不同的匹配方向选取一个误差阈值 E0，当  $E(i, j) > E0$  时就停止该点的计算，继续下一点的计算。

匹配的速度与模板的大小、待匹配图像的大小密切相关。为减小计算量，改进的模板匹配算法采用两次匹配，第一次匹配为粗略匹配，可采用取模板的隔行隔列数据，在被搜索图上进行隔行隔列匹配。第二次匹配是精确匹配，在第一次误差最小点的邻域内，进行搜索匹配，得到最后结果。

基于特征的图像模板匹配需要首先从模板图像和待匹配图像中提取一些共同特征构成特征空间，然后通过建立特征之间的对应关系求解变换参数。基于特征的配准方法与基于灰度的配准方法相比有其自身的优点，如计算量小、配准速度快、受噪声干扰小等，但它需要人工干预，特征点的提取比较困难，而且通过图像分割等技术来确定图像的特征也存在着较大的问题。本文中为提高图像匹配的自动化程度，减小人工干预，采用基于灰度特征的模板匹配，采用公式 3-5 所示的归一化相关系数法，相似度的范围为 0.0-1.0，相似度越接近 1.0，表示两幅图像的相似度越大。模板匹配的效果示意图如图 3-9 所示，3-9(b)中矩形边框区域为匹配的结果。



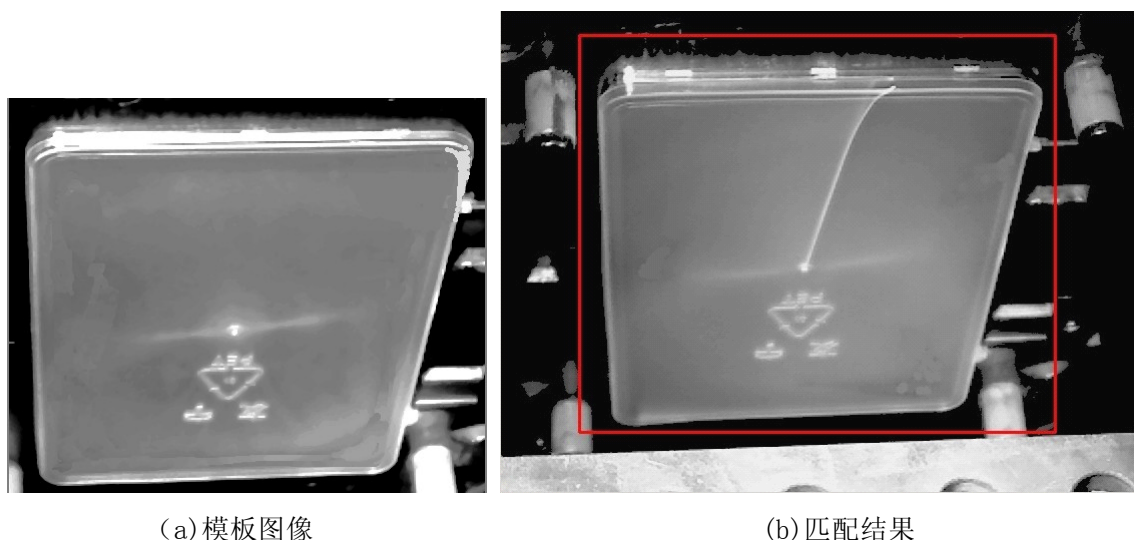


图 3-9 模板匹配示意图

### 3.4 图像分割

本文中在制品轮廓提取之前和缺陷区域的轮廓提取之前，均需要进行图像的分割处理，以提取区域准确、连续的轮廓。图像分割的目的是将目标区域或物体从背景中分割出来，以便于进一步处理。

阈值分割是常用的图像分割技术，其基本原理是设定一个灰度阈值，把灰度大于或者等于阈值的像素判决为目标区域保留下来，其它灰度值的像素认为是背景区域而放弃，为下面进行边缘轮廓提取做好准备。

设原始输入图像为  $f(x, y)$ ，按照一定的准则在  $f(x, y)$  中找到分割阈值  $T$ ，将图像分割为两个部分，分割后的输出图像为

$$g(x, y) = \begin{cases} b_0 & f(x, y) < t. \\ b_1 & f(x, y) \geq t. \end{cases} \quad (3-7)$$

令  $b_0=0$ ,  $b_1=255$ ，图像分割为灰度值为 0 的像素和灰度值为 255 的像素。

阈值法实现简单、计算量小、性能较稳定，分为全局阈值法和局部阈值法，后者计算量较大，为保证图像处理的实时性，下面主要对双峰法、自适应迭代法和最大类间分割法这三类全局阈值法进行研究。

双峰法的基本思想是对采集的图像进行灰度直方图分析，灰度直方图上有两个明显

的峰值，这表明图像中的目标区域与背景区域的灰度差异明显。取两个峰值之间的极小值点作为阈值来进行图像的阈值分割，将目标区域与背景分割。该算法简单易于实现，对于目标区域与背景灰度差异较大的情况分割效果很好。

自适应迭代法的基本思想是开始时选择一个初始的分割阈值，然后按照某种规则不断的修正这一分割阈值，直到满足设置的准则。阈值改进方法是算法准确、高效进行的关键，也是一个难点，另外该算法需要循环迭代处理，计算量较大，其处理效果和性能对阈值改进方法的依赖性较大。

OTSU<sup>[45]</sup>又称最大类间法，该算法是使类间方差最大的自动确定阈值的方法，是在判决分析最小二乘法原理的基础上推到得出的。其基本思想是首先采用某个灰度阈值，将图像分成两组，求取这两组像素点各自的方差，并求取它们之间的差值。同理选择其他的灰度值，将图像分为两组，再求取这两组像素点各自的方差，求取他们的差值，比较这些差值的大小。差值最大的那一组所对应的灰度值就是最佳阈值，分割出来的图像效果最为理想。类间方差最大的阈值分割表示错分概率最小，但它对噪音和目标大小十分敏感。

分析本文灰度图像的特点，可知灰度值较高的制品区域占绝大部分，灰度值低的模具背景区域则较小，经图像增强处理后，扩大了制品区域和模具背景区域的灰度差值，对比度得到很大程度的改善，灰度直方图如图 3-10 所示，完全适合双峰法进行图像分割的情况，本文采用双峰法具有良好的分割效果，分割效果如图 3-11 所示。

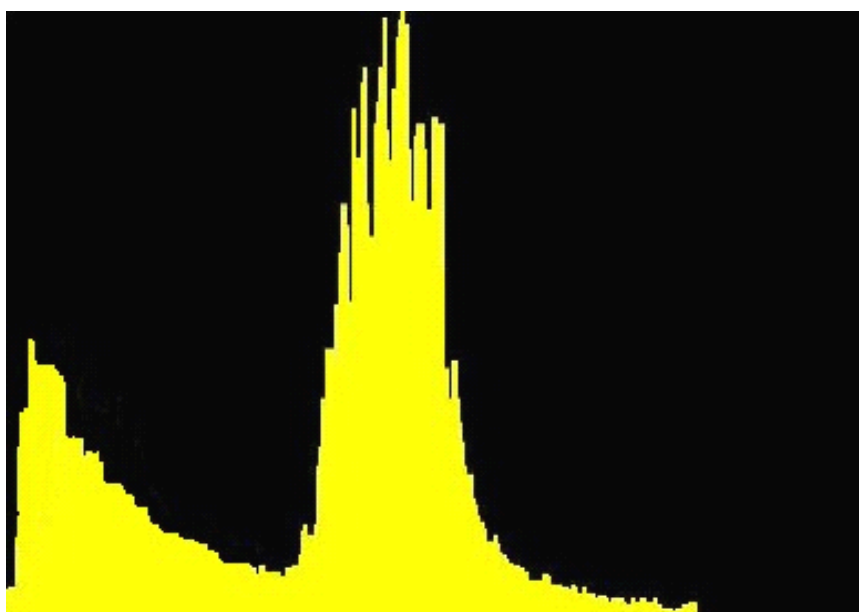


图 3-10 灰度直方图

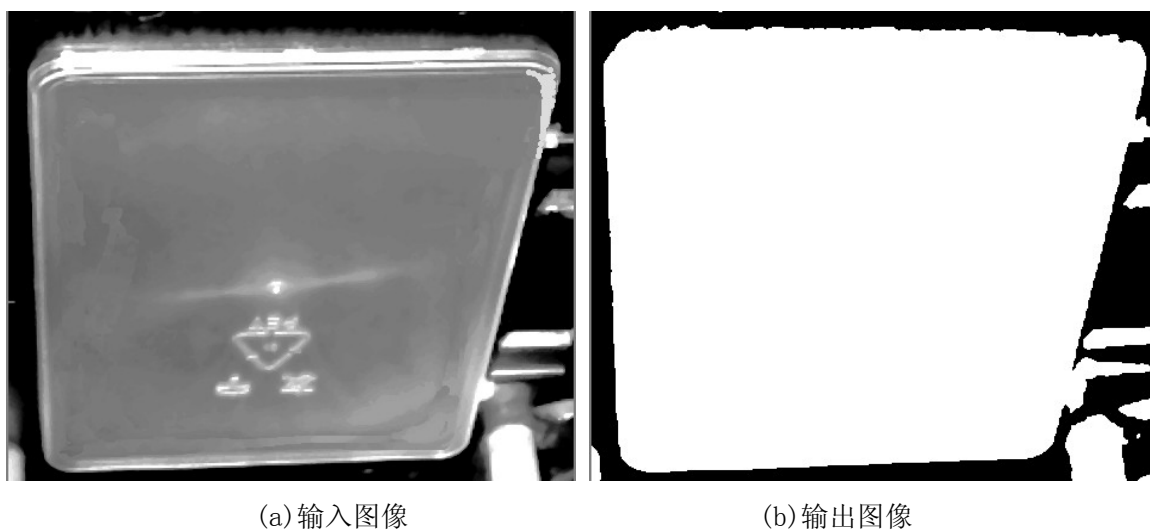


图 3-11 图像分割效果图

### 3.5 形态学处理

对待检制品图像与模板图像差影的结果图像进行阈值分割获取缺陷区域, 这里阈值分割的阈值是人工在系统设置模块中设定的, 其阈值分割效果如图 3-12(a) 所示, 会出现有许多不连续的小面积颗粒状的区域, 某些区域内部出现一些细小的空洞, 某些细

长的区域因这些空洞而分割为多个紧紧相邻的区域，干扰了区域的完整性，破坏了区域原始的形状，增大了特征提取的难度，降低了缺陷识别的准确率。为本文需要对这些颗粒、空洞进行数学形态学运算，以去除小颗粒和进行空洞填充，把这些颗粒进行数学形态化处理使图像中不连续的部分封闭，并在使目标边界平滑的同时并保持形状不变。

数学形态学<sup>[46]</sup>诞生于 1964 年，并发展为对图像几何特征进行分析的常见工具，其基本原理是利用特定的结构元素去扫描图像中的每一个像素点，其处理效果可达到改善图像中的形状结构，去除不相关结构，修复区域的基本形态的作用，以利于进一步的特征分析和处理。

它的基本运算<sup>[47]</sup>包括：二值腐蚀和膨胀、二值开闭运算、骨架抽取、极限腐蚀、击中不中变换、形态学梯度、Top-hat 变换、颗粒分析、流域变换、灰度腐蚀和膨胀、灰度开闭运算、灰度形态学梯度等。本文中主要的形态学处理为腐蚀、膨胀，这两种操作是形态学处理的基础，许多形态学算法都是以这两种运算为基础的。下面对这两种形态学处理进行细致的研究。

腐蚀的作用是消除物体的边界点。对于确定的结构元素，通过腐蚀运算可以消除小于结构元素的点。腐蚀运算的还可以是对目标区域中通过细小连接部分联通的单个区域分割为多个区域。

腐蚀定义：设  $A$  为  $(x, y)$  平面上一目标区域， $B$  为的结构元素，定义位于坐标  $(x, y)$  上的结构元素  $B$  所表示的区域为  $B(x, y)$ ，那么对于  $A$  的腐蚀结果可以表示如下：

$$\{(x, y) \mid (x, y) \in A, B(x, y)/A = \emptyset\} \quad (3-8)$$

具体的操作方法是：用结构元素（通常为  $3 \times 3$  的结构）扫描图像中的每一个像素，用结构元素中的每一个像素与其覆盖的二值图像的像素做“与”操作，如果两者均为 1，则该像素的值为 1，否则为 0。半径为 3 的结构元素的腐蚀操作的效果如图 3-12(b)所示。

膨胀的作用是扩展物体的边界点。对于确定的结构元素，通过膨胀可以使相邻距离较短的区域进行连接。但图像的膨胀处理是杂点敏感的，细小的杂点经过膨胀处理会变得很明显。

膨胀的原理：设  $A$  为  $(x, y)$  平面上一目标区域， $B$  为结构元素，定义位于坐标  $(x, y)$

上的结构元素  $B$  所表示的区域为  $B(x, y)$ ，那么对于  $A$  的腐蚀结果可以表示如下：

$$\{(x, y) \mid (x, y) \in A, B(x, y) \cap A \neq \emptyset\} \quad (3-9)$$

具体的操作方法是：用结构元素（通常为  $3 \times 3$  的结构）扫描图像中的每一个像素，用结构元素中的每一个像素与其覆盖二值图像的像素做“与”操作，若两者均为 0，则该像素的值为 0，否则为 1。半径为 3 的结构元素的膨胀操作的效果如图 3-12(c) 所示。

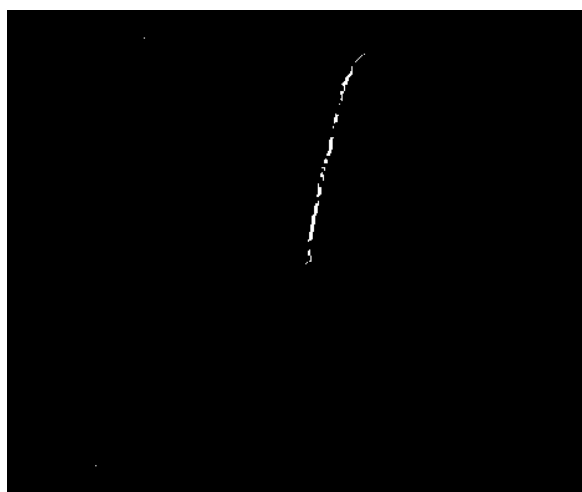
开运算：先腐蚀处理，再做膨胀处理。通常情况下，开运算用以去除孤立的点、毛刺和小桥（即连通两块区域的小点），同时保持总的位置和形状不变。半径为 3 的结构元素的膨胀操作的效果如图 3-12(d) 所示。

闭运算：先膨胀处理，再做腐蚀处理。通常情况下，闭运算用以填平小湖（即小孔），弥合小裂缝，同时保持总的位置和形状不变。半径为 3 的结构元素的膨胀操作的效果如图 3-12(e) 所示。

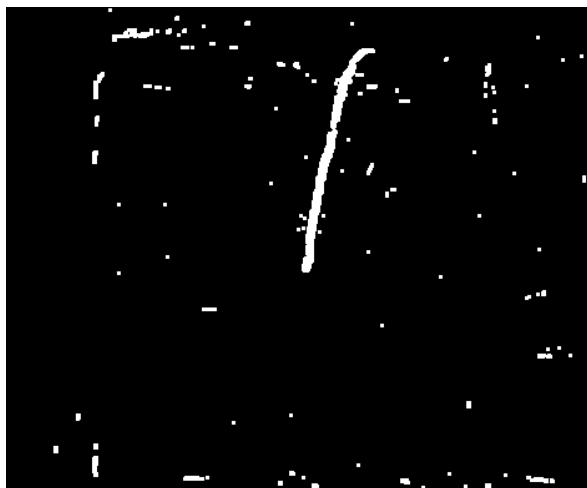
本文为了提高裂纹区域的连通性，在裂纹检测中防止裂纹因细小的空洞被分割为独立的相邻的缺陷区域对裂纹的本来形状特征造成干扰，提高裂纹缺陷检测的准确性，采取先进行开运算，去除孤立的颗粒区域，再进行两次的膨胀运算，增强裂纹区域的连通性。形态学处理的效果图如下图 3-12(f) 所示，该处理有效的滤除了孤立点和面积较小的区域，联通了间距很小的相邻区域，恢复了裂纹区域的原始形状，具有很好的处理效果。



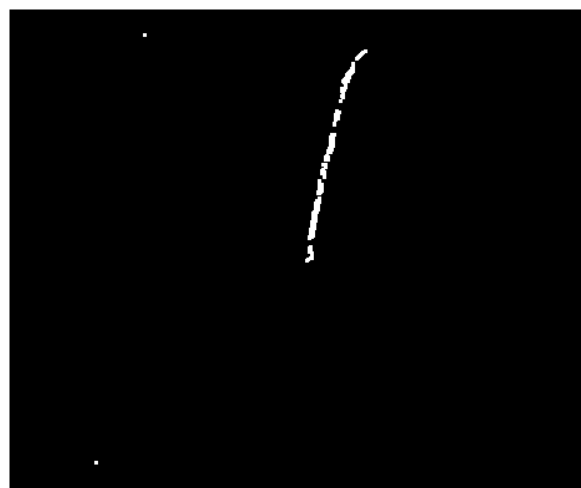
(a) 原图像



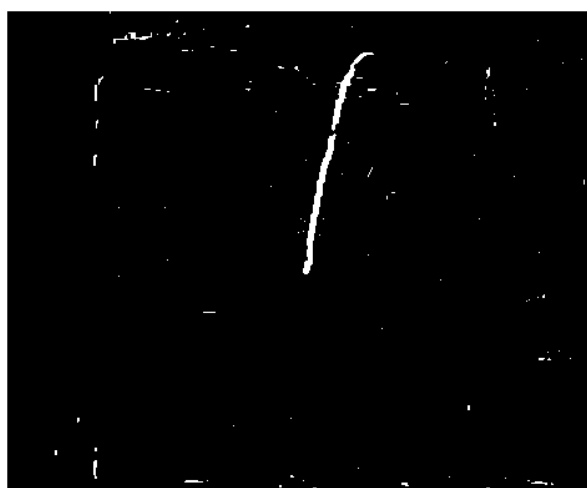
(b) 腐蚀结果



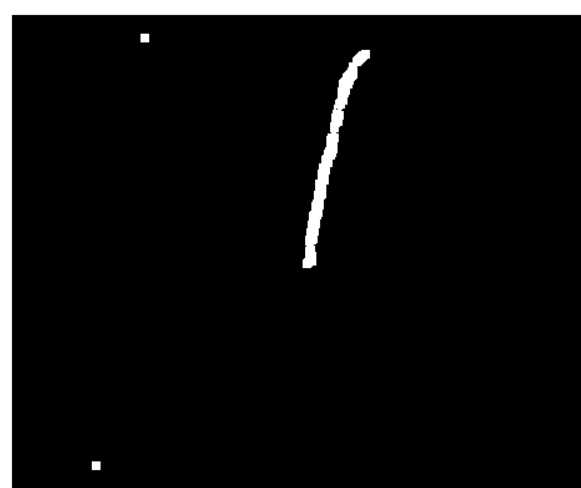
(c) 膨胀结果



(d) 开运算结果



(e) 闭运算结果



(f) 一次开运算、两次膨胀运算结果

图 3-12 形态学处理结果图

### 3.6 区域轮廓提取

对制品的缺陷区域进行形态学处理后, 获得了理想的区域形状, 即可进行区域轮廓的提取, 为后面的特征提取与识别打下良好的基础。另外, 在进行注塑缺陷识别时也需要进行制品轮廓的提取。

图像的边缘部分往往集中了目标物体的轮廓、结构等特征, 利用边缘部位通常会产

生很大的灰度突变的特点，用微分算子检测，通常用一阶或二阶导数来检测边缘。常用的边缘检测算子如 Roberts、Sobel、Prewitt、Laplacian、Canny 算子等，在算法实现过程中，通过  $2 \times 2$  或者  $3 \times 3$  模板作为核与图像中的每个像素点做卷积和运算，然后选取合适的阈值以提取边缘。

## (1) Roberts 算子

1	0
0	-1

0	1
-1	0

图 3-13 Roberts 算子

Roberts 算子采用的模板为像素的  $2 \times 2$  邻域，如图 3-13。设  $f(x, y)$  是图像灰度分布函数， $s(x, y)$  是图像边缘的梯度值； $\varphi(x, y)$  是梯度的方向。则有

$$s(x, y) = \left\{ [f(x+n, y) - f(x, y)]^2 + [f(x, y+n) - f(x, y)]^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (n=1, 2, \dots) \quad (3-10)$$

$$\varphi(x, y) = \tan^{-1} \left\{ [f(x, y+n) - f(x, y)] / [f(x+n, y) - f(x, y)] \right\} \quad (3-11)$$

两式分别为图像在  $(x, y)$  点处的梯度大小和梯度方向。

将式 (3-10) 改写为：

$$g(x, y) = \left\{ \left[ \sqrt{f(x, y)} - \sqrt{f(x+1, y+1)} \right]^2 + \left[ \sqrt{f(x+1, y)} - \sqrt{f(x, y+1)} \right]^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (3-12)$$

$g(x, y)$  即为 Roberts 边缘检测算子。Robert 梯度算子所采用的是对角方向相邻两像素值之差，可用差分代替一阶偏导，表示如下：

$$\begin{cases} \Delta_x f(x, y) = f(x, y) - f(x-1, y-1) \\ \Delta_y f(x, y) = f(x-1, y) - f(x, y-1) \end{cases} \quad (3-13)$$

## (2) Sobel 算子

-1	-2	-1	-1	0	1
0	0	0	-2	0	2
1	2	1	-1	0	1

图 3-14 Sobel 算子

Sobel 算子采用的模板如图 3-14 所示，分别用于检测水平方向和垂直方向。Sobel 边缘算子先进行加权平均，然后进行微分运算，我们可以用差分代替一阶偏导，算子的计算方法如下：

$$\begin{cases} \Delta_x f(x, y) = [f(x-1, y+1) + 2f(x, y+1) + f(x+1, y+1)] - [f(x-1, y-1) + 2f(x, y-1) + f(x+1, y-1)] \\ \Delta_y f(x, y) = [f(x-1, y-1) + 2f(x-1, y) + f(x-1, y+1)] - [f(x+1, y-1) + 2f(x+1, y) + f(x+1, y+1)] \end{cases} \quad (3-14)$$

### (3) Prewitt 算子

1	0	-1	-1	-1	-1
1	0	-1	0	0	0
1	0	-1	1	1	1

图 3-15 Prewitt 算子

像素点采用图 3-15 中的两个模板进行卷积运算，输出最大值，由于它没有对不同位置的像素做权值处理，因而会出现边缘模糊的情况，处理效果不够理想。其计算方法如下：

$$\begin{cases} \Delta_x f(x, y) = [f(x+1, y+1) + f(x, y+1) + f(x-1, y+1)] - [f(x+1, y-1) + f(x, y-1) + f(x-1, y-1)] \\ \Delta_y f(x, y) = [f(x-1, y-1) + f(x-1, y) + f(x-1, y+1)] - [f(x+1, y-1) + f(x+1, y) + f(x+1, y+1)] \end{cases} \quad (3-15)$$



## (4) 拉普拉斯算子

0	1	0
1	-4	1
0	1	0

1	1	1
1	-8	1
1	1	1

图 3-16 Laplacian 算子

如图 3-16 可知，拉普拉斯算子的传递函数在频域空间的原点为零，模板的特点是各向同性，对孤立点及线端的检测效果好，但边缘方向信息丢失，对噪声敏感，检测效果不如梯度算子，很少直接用于边缘检测。

## (5) Canny 边缘检测算子

以上边缘检测算子，当输入图像含有噪声时，易把噪声当成边缘检测出来，而抑制噪声则又容易引起边缘的模糊，Canny 边缘检测则可以较好的克服以上检测算子的不足，它是利用高斯函数的一阶微分，能在抑制噪声的同时，进行较高准确度的边缘定位，很多情况下其处理效果比较理想，基本步骤是<sup>[48]</sup>：

(1) 对图像进行高斯滤波，滤除噪声。

(2) 用一阶偏导的有限差分计算图像的梯度幅值和方向。

(3) 对梯度幅值进行非“极大值抑制”，梯度的方向可以被定义为如图 3-17 所示的，标示为 1, 2, 3, 4 的属于四个区之一，各个区用不同的邻近像素用来进行比较，以决定局部极大值。

4	3	2
1	X	1
2	3	4

图 3-17 像素邻近关系示意图

(4) 用双阈值算法检测和连接边缘。

在进行边缘检测算法前,已经对图像进行了阈值分割,因此边缘检测的联通性很好,出现间断轮廓的概率大大降低。对阈值分割后的制品图像图 3-11(b)进行边缘检测的效果图如图 3-18 所示,对形态学处理后的缺陷区域图像图 3-12(f)进行轮廓提取的效果如图 3-19 所示,对图像进行放大分析,发现 Canny 算子边缘检测的连通性最好,且边缘定位很准确,本文采用 Canny 算子进行轮廓提取。

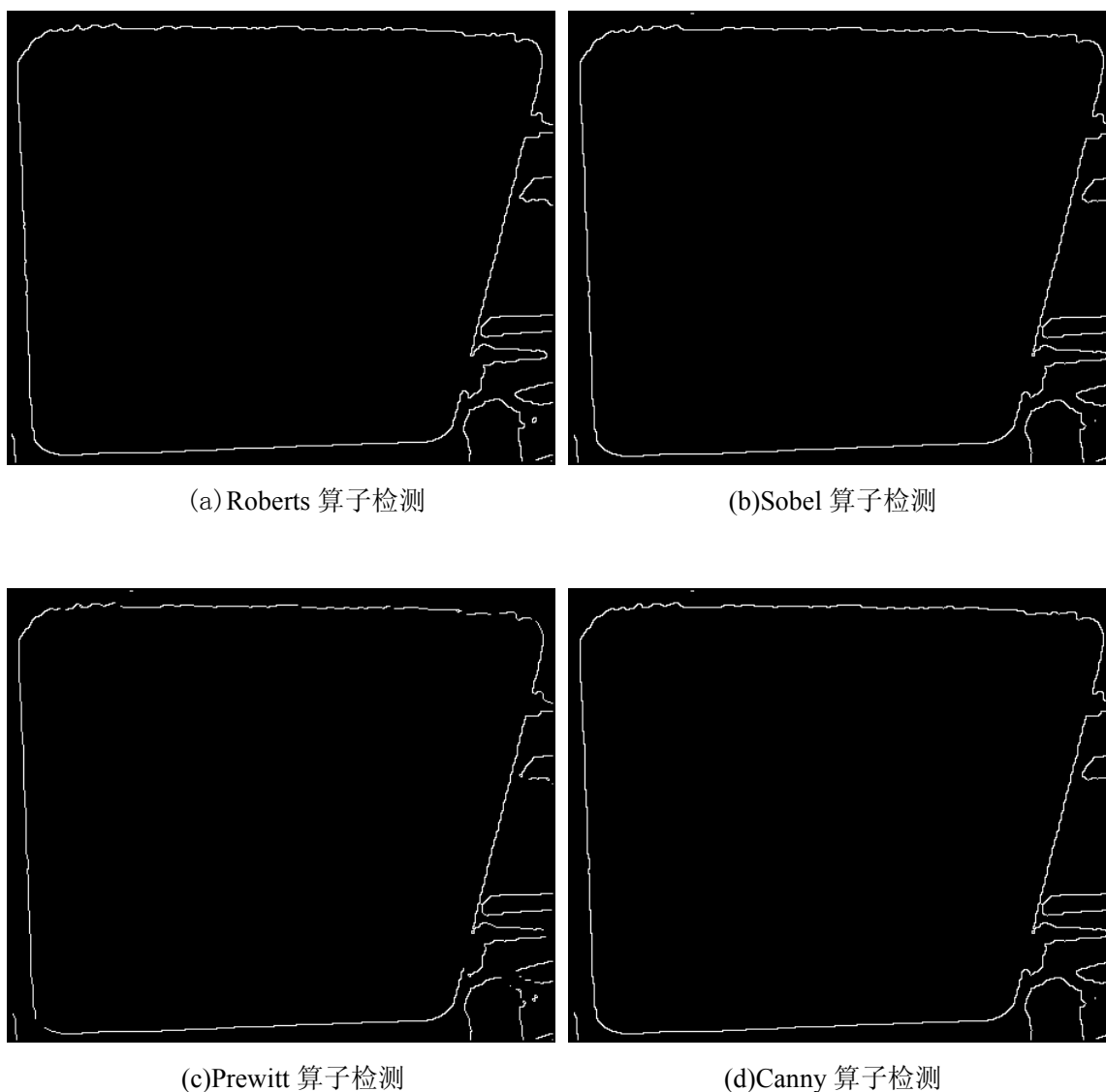
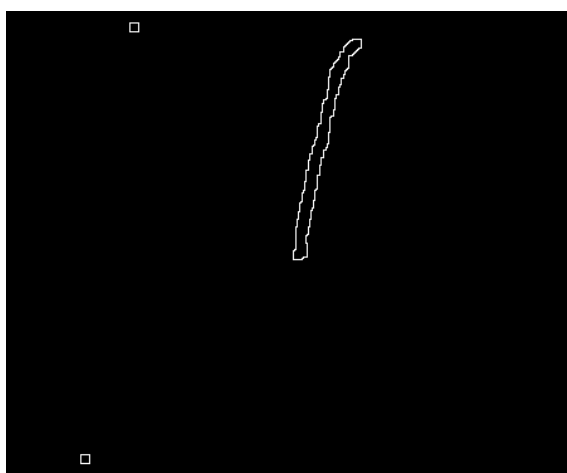
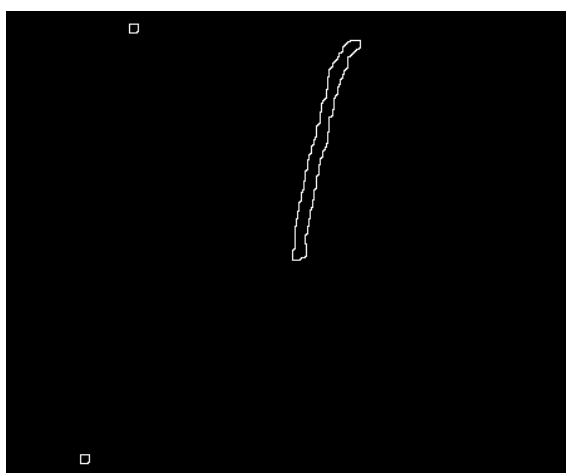


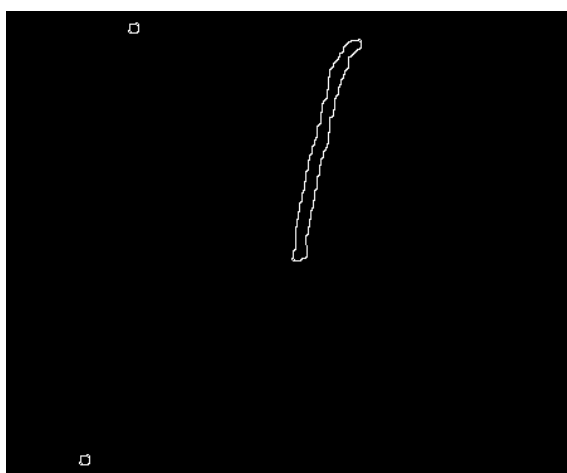
图 3-18 制品轮廓提取效果图



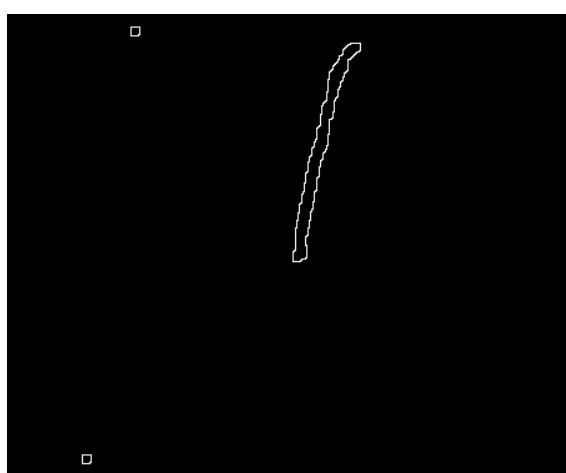
(a) Roberts 算子检测



(b) Sobel 算子检测



(c) Prewitt 算子检测



(d) Canny 算子检测

图 3-19 缺陷区域轮廓提取示意图

### 3.7 本章小结

本章主要研究了系统检测中模腔图像处理的关键算法，首先介绍了制品缺陷检测中图像处理的基本流程，然后对其中图像处理的关键算法进行了研究，首先研究了图像增强处理算法，采用直方图规定化增强处理，有效克服了原始图像存在边缘模糊、对比度低等干扰因素，为后面的图像处理打下良好的基础；然后采用基于灰度特征的模板匹配算法，实现图像匹配的自动化；根据制品图像灰度直方图的双峰特性，采用双峰法进行背景与制品区域的分割；然后研究了图像形态学处理，采用一次开运算和两

次膨胀运算，有效的滤除了孤立点和面积较小的区域，联通了相邻区域，恢复了缺陷区域的原始形状；最后研究了常见的边缘检测算子，采用 canny 算子提取缺陷区域的轮廓，为下面章节缺陷区域特征提取与识别提供了良好的基础。

## 4 制品表面缺陷特征提取与识别

### 4.1 注塑制品常见缺陷

在进行注塑制品的表面缺陷特征提取与分类识别前,有必要对注塑成型工艺及注塑制品常见的表面缺陷的进行一下介绍。了解注塑工艺的相关知识和注塑制品表面缺陷的表观特征,然后可以针对性的提取出最能反映缺陷特点的特征,为缺陷识别提供可靠的依据,提高缺陷识别的正确率。

在连续的塑料注塑成型过程中,由于原料的物性参数发生变化,如温度、湿度、杂质等,注塑机设备的运行状态、控制精度等发生变化,生产环境的变化,如温度、湿度、震动等,这些复杂多变的因素共同影响了注塑产品的质量,并不可避免的在生产的过程当中产生各种各样的缺陷<sup>[49]</sup>。注塑制品常见的缺陷有短射、飞边、翘曲、裂纹、气泡、熔接痕、银纹、波浪纹、麻点、油污、烧焦等<sup>[50]</sup>,下面简单介绍几种常见的注塑制品表面缺陷的外观表征特点。

#### (1) 短射

主要外观表征为模具型腔没有完全填充,塑件不饱满,出现空隙、缺位等,产生的位置一般在距浇口较远、塑料熔体最后充填的部位或者塑件壁相对较厚的部位。

#### (2) 飞边

主要外观表征为在模具分型面或顶杆等部位出现多余的塑料,沿分型面或模具密封面出现薄薄的飞边。

#### (3) 翘曲

主要外观表征为制件的形状在模具开模后或制件脱模后一段时间内产生旋转或扭曲。

#### (4) 裂纹

主要外观表征为制品表面开裂形成细长的裂缝。

#### (5) 气泡

主要外观表征为制件中存在气泡,形成孔隙,体积一般较小,且通常成串分布。

### (6) 熔接痕

主要外观表征为细长的熔合线，多数情况下并不太明显，在多浇口注塑件必然有熔接痕产生，某些注塑厚壁部位也会产生。

### (7) 银纹

主要外观表征为在制品表面呈现发射状分布纹理，通常从浇口处以扇形方式向外辐射分布。

### (8) 波流痕

主要外观表现为注塑件表面出现以浇口为中心的年轮状、螺旋状或云雾状的波形凹凸不平的纹理。

### (9) 麻点

主要外观表征为注塑制品表面有突起粒状斑点。

### (10) 油污

主要外观表征为注塑制品表面发暗、没有光泽，一般由模具型腔的油渍、脱模剂或手工操作导致的。

### (11) 烧焦

主要外观表征为注塑制品变色。

本文的注塑制品表面缺陷检测实验采用的是平板类盖子注塑件，基本尺寸为 200mm\*150mm，厚度为 2.5mm，材料为 PP，在中心点采用单浇口注射成型。为了研究以上常见的注塑制品缺陷产生的频率与种类，总共进行了 6 个批次的实验，每个批次相对独立，每批次实验均生产制品 80 个以上，采取以理想的注塑生产工艺参数为标准，对各个工艺参数进行随机的不同程度的调整，人为对注塑生产环境和工艺参数的稳定性进行干扰，从这些实验结果中发现，短射、飞边、翘曲、裂纹这四种缺陷在该制品生产中是最为常见的，特别是短射、飞边两类缺陷，另外这四种缺陷对注塑制品的外观质量与使用性能的影响也最为显著。由于本文系统只有一个工业相机，且工业相机采集角度为斜角度向下，采集的二维图像并不能完整地反应翘曲特性。因此本文主要针对短射、飞边、裂纹三种缺陷进行检测和识别。几类常见的制品图像如图 4-1 所示。

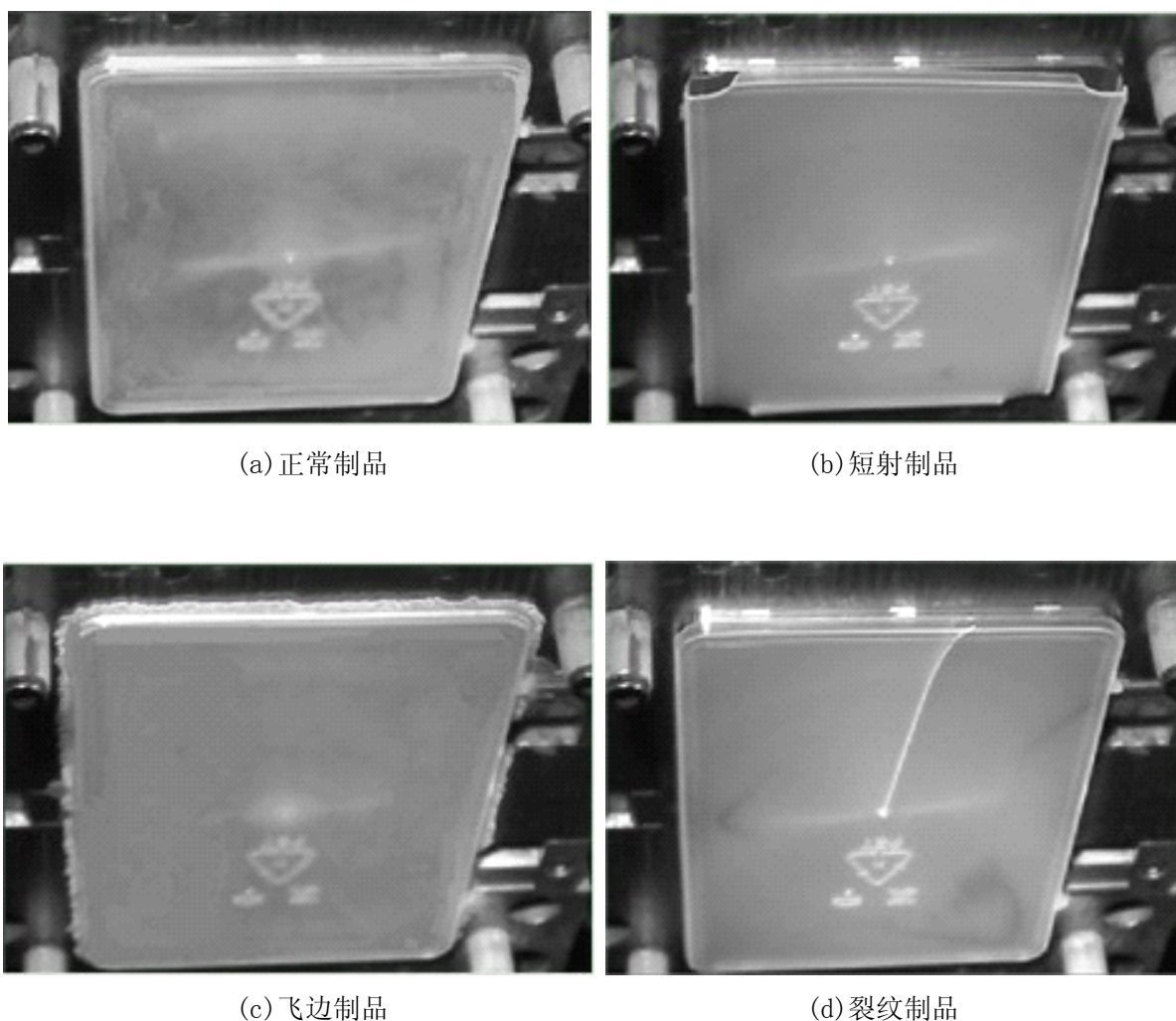


图 4-1 制品图像

## 4.2 缺陷区域常见特征

上一章中的图像处理均是为了准确获取制品的缺陷区域。在获得了缺陷区域后，需要提取这些缺陷区域的特性，以便根据这些特征参数对缺陷的种类进行识别。

特征是图像处理中的一个概念，没有精确的定义，特征的精确定义往往由问题或者应用类型决定。特征是一个数字图像中能体现目标区域特点、与众不同的部分。选择和提取特征应该尽可能遵循以下几点原则<sup>[51]</sup>：可区别性；可靠性；独立性；数量少。特征选择和特征提取的目的就是选出一组对目标分类识别最有效、准确率最高而且特征提取尽可能简单，计算量尽可能小。

下面主要研究区域的形状特征、颜色特征、空间关系特征这三种常见的图像特征<sup>[52]</sup>，这些特征是对人眼视觉感受的直观描述，符合人眼视觉认知事物的特点。

### 4.2.1 形状特征

形状特征<sup>[53]</sup>是图像的核心特征之一，形状特征描述方法包括边界特征法、傅里叶形状描述符法、几何参数法、形状不变矩法等。采用几何参数法进行形状的表达采用更为简单、直观，且提取方便，因此在特征提取中较为常见，下面介绍几种常用的几何参数。

#### ① 面积

面积是区域大小的衡量参数，面积可以简单地定义为区域轮廓包围的所有像素点的数量。

#### ② 周长

即区域的轮廓的长度。采用不同的周长计算公式，周长的值会不一样。较为简单的方法是把组成轮廓的边界像素点的数目作为周长的值，但此法存在较大的误差。如下图所示，像素点 A、B，近似距离为  $2\sqrt{2}$  倍的单位长度，若按像素点个数，则为 2 倍的单位长度，显然  $2\sqrt{2}$  倍的单位长度更符合实际情况，但计算相对复杂，本文采用像素点的个数来近似替代实际的周长。

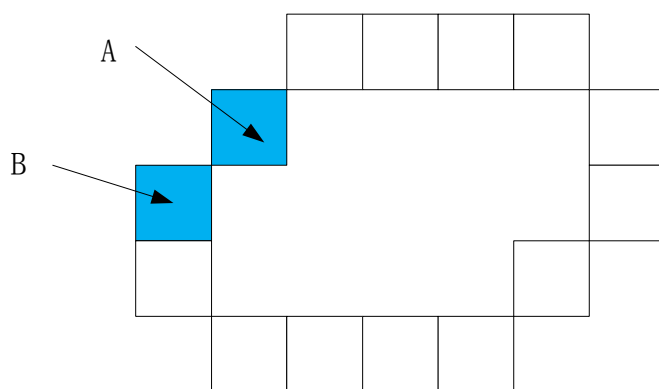


图 4-2 区域周长示意图

#### ③ 矩形度

计算轮廓外接矩形最简单的方法是获取轮廓所有点的坐标的最小横、纵坐标，最大



横、纵坐标，就可得到物体的水平和垂直跨度， $(X_{\min}, Y_{\min})$ 、 $(X_{\max}, Y_{\max})$ 即分别为坐标轴方向的外接矩形的两个对角点，该矩形的4条边均平行于坐标轴，但该矩形很显然不是轮廓的最小外接矩形，而最小外接矩形(MER-Minimum Enclosing Rectangle)可很好反应区域的整体分布和方位、倾斜角度，计算最小外接矩形的常用方法是将轮廓在四分之一圆周内旋转，面积最小的外接矩形即为最小外接矩形，而旋转的角度即为最小外接矩形相对坐标轴的倾斜角度。两种外接矩形示意图如图 5-3 所示。

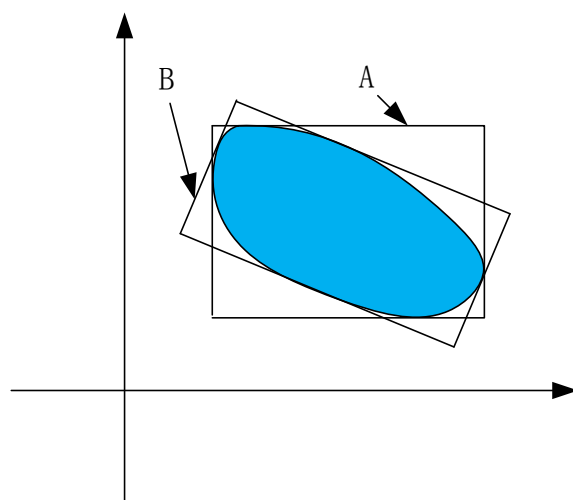


图 4-3 区域外接矩形示意图

文中采用以下公式来表示区域的矩形度：

$$F_c = \frac{A}{W \cdot H} \quad (4-1)$$

分子 A 代表区域的面积，分母为区域最小外接矩形的面积，W 和 H 为矩形的宽和高。

## ④ 细长度

此特征反映了区域的长轴方向跨距与短轴方向跨距的比值，公式如下：

$$F_E = \frac{W}{H} \quad (4-2)$$

其中，W 为区域最小外接矩形的长边，H 为区域最小外接矩形的短边。

## ⑤ 圆形度

可采用区域周长的平方与面积的比值来衡量圆形成度。计算的公式如下：

$$F_H = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} \quad (4-3)$$

其中，P 为区域周长，A 为区域面积。圆形成度越接近 1，则表示区域的边缘越光滑。

### 4.2.2 颜色特征

颜色是人眼视觉的主要感受之一，颜色特征描述了图像区域的色彩、明暗等特点。文中处理的图像为 256 色灰度图，下面主要研究灰度直方图、灰度均值、灰度矩等。

#### ① 灰度直方图

灰度直方图是用来描述图像中每一种灰度对应的像素数量，反映了一幅图像中像素灰度的全局分布，一般用于图像分割、直方图增强、模板匹配等领域，不适用于模式识别领域。

#### ② 灰度均值

指区域内像素灰度的平均值，表达了图像的整体明暗程度。对于本文中的缺陷识别而言，不同的缺陷可能会在制品图像上体现出灰度的差异，比如裂纹区域通常灰度值较大，而油污区域灰度值通常偏低。

#### ③ 灰度矩

对于连续图像的二值函数  $f(x, y)$ ，其  $(p+q)$  阶二维原点矩为：

$$M_{pq} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} x^p y^q f(x, y) dx dy$$
$$p, q = 0, 1, 2, \dots \quad (4-4)$$

$(p+q)$  中心矩公式：

$$\mu_{pq} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q f(x, y) dx dy$$
$$p, q = 0, 1, 2, \dots \quad (4-5)$$

其中  $\bar{x} = \frac{M_{10}}{M_{00}}, \bar{y} = \frac{M_{01}}{M_{00}}$ ，为区域的重心

灰度矩<sup>[54-55]</sup>是对区域内所有像素点的灰度值进行统计分析得到的，可用来描述区域的总体特征。通常图像中的色彩信息主要分布在低阶矩中，且高阶矩计算量大，一般

采用低阶矩表达图像的灰度分布。由于原点矩或中心矩不能保证同时具有平移、旋转和伸缩不变性，Hu<sup>[56]</sup>提出了“基于区域的矩不变法”，该方法采用低阶矩和三阶矩进行广义线性组合而成，并证明了这组矩为不变矩<sup>[57]</sup>。尽管矩的幅值在一定程度上体现了区域的形状特征，但噪声等因素的影响使得高阶不变矩可能不稳定，用它来进行模式识别的准确性和稳定性难以保证。

### 4.2.3 空间位置特征

该特征反映了区域之间的空间距离或相对方位、角度等关系，可简单的分为包含、重叠、相邻、相离等，可细分为区域中心距离、相对方位、相对角度等更为详细的信息，利用该特征可描述区域之间详细的空间关系。

## 4.3 缺陷特征提取与识别

下面对缺陷区域的特征参数进行提取与研究，选取对不同缺陷具有较好区分度的特征参数，把对区域的描述用相对简单的数字、符号、大小关系等进行描述。

### 4.3.1 形状特征提取

本文的形状特征的提取主要参考 OpenCV 算法库提供的部分算法。对短射、飞边、裂纹制品的缺陷区域进行形状特征的提取，每种缺陷类型选择典型的 5 个样本图像，结果如下表 4-1 所示。对表格数据进行分析可知，面积对三种缺陷没有区分效果，三种缺陷的面积大部分集中在 800-1300，也均有超出此范围之外的情况出现；周长的区分效果也不明显，从总体的实验数据上看，裂纹与飞边缺陷区域的周长大于短射区域的周长，短射区域的周长主要集中在 140-200 之间，裂纹和飞边区域的周长主要集中在 200-500 之间，但也会出现飞边和裂纹缺陷区域的周长与短射缺陷区域的周长接近的情况；矩形度对缺陷的区分效果也不太明显，总体来说飞边与裂纹区域的矩形度高于短射区域的矩形度，飞边与裂纹的矩形度主要集中在 0.84-0.92 之间，而短射区域的矩形度集中在 0.83-0.88 之间，矩形度区间的重合度较高；细长度对于短射和其他两种缺陷的区分度较高，裂纹区域的细长度普遍较大，集中分布在 6.0-10.0，飞边区域的细长度也较大，集中分布在 5.0-9.0，飞边区域细长度也存在细长度较高的可能性（飞边严重时出现），通常情况下在 4.0 左右，而短射区域的细长度较小，主要分布在 1.2-2.0，

## 华中科技大学硕士学位论文

细长度明显大于其它两类缺陷区域的细长度，区分效果理想；圆形度的区分效果也不够显著，裂纹区域的圆形度普遍较大，分布在 2.0-4.0，飞边区域的圆形度也主要分布在 2.0-4.0，但也会出现圆形度与短射区域的圆形度非常接近的情况。综合以上分析，本文在注塑制品缺陷区域形状特征提取中仅提取细长度特征，该特征可以将短射缺陷与其他两类缺陷初步分开。

表 4-1 形状特征提取结果

类别	面积	周长	矩形度	细长度	圆形度
短射	827	125	0.853	1.223	1.228
	1340	177	0.784	1.821	1.357
	785	146	0.833	1.374	1.474
	986	144	0.867	1.642	1.294
	1601	184	0.842	1.554	1.295
飞边	3526	841	0.865	8.465	3.994
	1215	328	0.824	5.865	2.657
	1328	352	0.895	6.972	2.724
	764	147	0.886	5.194	1.497
	1083	260	0.904	5.646	2.228
裂纹	1260	250	0.798	9.507	1.984
	1637	556	0.857	6.045	3.875
	798	313	0.924	8.457	3.127
	981	236	0.848	6.232	2.128
	1085	334	0.905	7.264	2.863

### 4.3.2 颜色特征和位置关系特征的提取

基于上一小节对形状特征提取的分析，大部分形状特征对三类缺陷并没有很好的区

分效果，因此下面对缺陷区域的颜色特征和区域位置关系特征进行提取。本文选取灰度均值和区域重心与制品轮廓的位置关系两类特征进行提取。

区域灰度均值包括待检图像的缺陷区域的灰度均值和缺陷区域对应的模板图像位置的灰度均值，由于轮廓形状不规则，灰度均值的求取较为复杂，因此本文采用求取轮廓的外接矩形区域的灰度均值，模板图像上也求取对应矩形区域的灰度均值，这两个灰度均值的大小关系即确定了待检制品图像和模板图像在缺陷区域的灰度均值的大小关系，本文中矩形区域的灰度均值采用 OpenCV 算法库提供的函数 `cvAvg` 则很容易求得。

区域重心位置的求取根据区域的轮廓点的坐标由以下公式求得：

$$x_c = \frac{\sum A_i x_i}{A}, \quad y_c = \frac{\sum A_i y_i}{A}, \quad (4-7)$$

其中  $A_i$  为像素的面积，这里为单位 1， $x_i$ 、 $y_i$  为像素的横、纵坐标， $A$  为区域的总面积。

模板中制品的轮廓（包括外轮廓和内轮廓，本文制品只有外轮廓）可以在预处理中保存起来，在缺陷特征提取时，避免了反复对制品轮廓的提取，减少了计算量。利用 OpenCV 提供的函数 `cvPointPolygonTest` 即可判断点在轮廓里面或外面，且可以获得点与轮廓上的点的近似最小距离。

本文针对短射、飞边、裂纹三种缺陷区域提取了灰度均值特征以及与制品轮廓的位置关系，各类缺陷选取了 5 幅典型的制品图像，实验结果如下表 4-2 所示。对实验数据结果进行分析发现，根据缺陷区域的重心位置与制品轮廓的位置关系，即可将飞边缺陷与其它两种缺陷初步分开，飞边区域的重心位置通常在制品外轮廓的外面，且与制品轮廓的最近距离较小，而裂纹和短射区域的重心位置在外轮廓里面；而根据待检制品图像中缺陷区域的灰度均值和制品模板图像对应区域的灰度均值的大小关系也可初步将短射缺陷和其它两种缺陷分开。

表 4-2 灰度均值特征与位置关系特征提取结果

类别	待检图像中缺陷区域的灰度均值	模板图像中对应区域的灰度均值	两灰度均值的大小关系	区域重心与制品轮廓的距离（像素）	区域重心在制品轮廓里或外
短射	45	102	小于	8	里面
	74	105	小于	10	里面
	57	110	小于	6	里面
	64	104	小于	15	里面
	67	118	小于	9	里面
飞边	78	17	大于	6	外面
	95	19	大于	7	外面
	79	13	大于	5	外面
	87	9	大于	9	外面
	85	11	大于	6	外面
裂纹	145	124	大于	88	里面
	138	127	大于	59	里面
	151	125	大于	67	里面
	126	147	大于	112	里面
	159	124	大于	94	里面

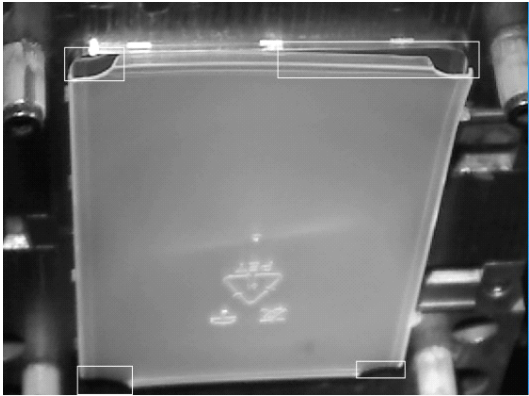
### 4.3.3 特征选取与实验分析

通过前面两小节的分析可知，缺陷区域细长度、缺陷区域灰度均值与模板图像对应区域灰度均值的大小关系、缺陷区域重心与模板制品轮廓间的位置关系对三种缺陷具有较高的区分度，因此本文提出了以这三种缺陷区域特征为基础的针对短射、飞边、裂纹三种缺陷的分类识别规则，如下表4-3所示。

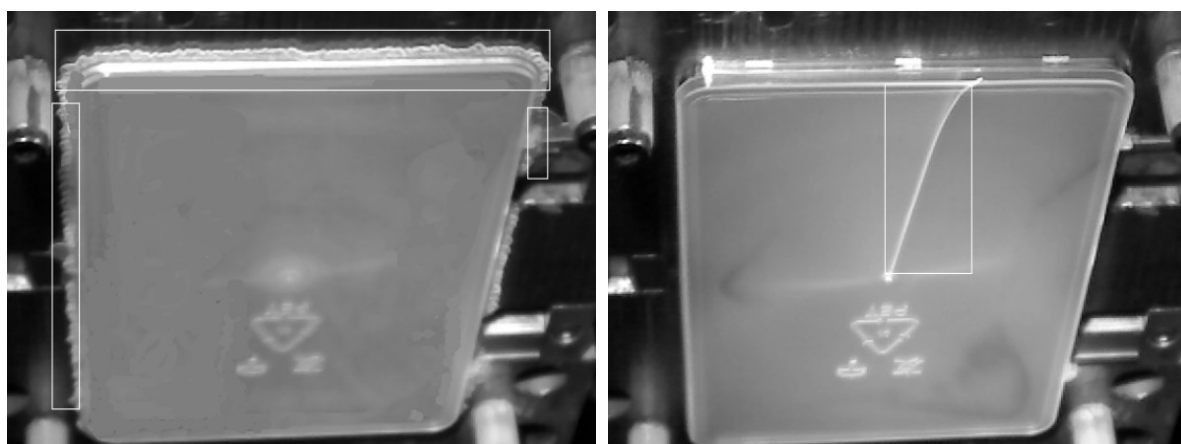
表4-3 缺陷分类判定规则

缺陷区域重心与模板制品 图像轮廓的位置关系	细长度	区域灰度均值与模板同 一区域的灰度均值的大 小关系	缺陷种类识别
外轮廓外面或内轮廓里面 (不在正常的制品区域上)	——	大于	飞边
		小于或等于	其它缺陷
外轮廓里面且在轮廓外 面 (在正常的制品区域上)	小于阈值	大于或等于	其它缺陷
		小于	短射
	大于或等于阈 值	大于	裂纹
		小于或等于	其它缺陷

本文进行了制品表面缺陷检测与识别的实验，验证了以上识别规则的可行性。根据表4-1中的细长度数据，本文实验中将缺陷区域细长度的阈值设定为3.0，缺陷检测示意图如图4-4所示，实验数据结果统计如下表4-4所示。



(a) 短射检测



(c) 飞边检测

(c) 裂纹检测

图 4-4 缺陷检测与识别示意图

表4-4 制品缺陷检测数据统计

制品	总数	正确检测数	准确率
正常	80	76	95%
短射	80	71	88.75%
飞边	80	74	92.5%
裂纹	15	13	86.7%
总计	255	234	91.8%

实验数据如表 4-4 所示，裂纹制品产生的偶然性较强，故只采集了 15 个样品图像。由实验数据可知，制品表面缺陷检测及识别的准确率达到 91.8%，识别准确率较高，实时性满足要求。分析发现影响缺陷检测分类准确性的主要因素有：部分注塑制品在模具开模后产生翘曲变形，如图 4-1(b)中短射制品的边缘均产生翘曲变形，脱离模具，在光源照射下易导致区域灰度异常，干扰检测结果；图像中的制品边缘有毛刺，如图 4-1 所示，部分边界轮廓模糊，对飞边较小的情况易产生漏检；模具镜面反射造成白色亮斑，如图 4-1 中制品上边缘均有因模具结构产生的局部白亮区域，干扰了检测结果；相机采集图像的角度是斜角度，部分制品信息丢失，如图 4-1(c)所示在下边缘区域的飞



边缺陷则无法检测出来；另外受相机角度及光照条件影响，裂纹缺陷的灰度与正常区域的灰度差异不够明显，在与模板图像差影并进行阈值分割后会丢失部分缺陷信息造成错检。

以上在对缺陷特征进行提取与分析均是把缺陷区域当作孤立的区域，忽略了这些区域与制品其它区域之间的联系，只是单独对这些区域进行分析，局限于只研究这些缺陷区域的特征。在本文进行的注塑生产实验中，没有出现飞边和短射同时存在的情况（实际上，只有在模具损坏的情况下，才可能同时出现短射和飞边现象），作者提出了另外一种针对短射、飞边的较为简单的检测算法，该算法是将待检制品图像当作一个整体，分析发现在对制品图像进行阈值分割后，图像大体被分为灰度值为 255 的白色制品区域（少数区域为高亮的模具背景区域）和灰度值为 0 的黑色背景区，对于短射制品，灰度值为 255 的像素的数量少于制品模板图像阈值分割后灰度值为 255 的像素数量；类似的，对于飞边制品，灰度值为 255 的像素的数量大于正常的制品图像阈值分割后灰度值为 255 的像素的数量。该算法的简单步骤如下：

- ① 存储模板图像阈值分割后的灰度值为 255 的像素点的个数，记为  $N$ ；
- ② 注塑制品缺陷检测时获取待检图像阈值分割后灰度值为 255 的像素个数，记为  $M$ ；
- ③ 判定若  $M$  和  $N$  的差值在阈值  $T$  范围内，则表示制品无短射和飞边缺陷；若  $M-N$  大于设定阈值  $T$ ，则有飞边缺陷；若  $N-M$  大于设定阈值  $T$ ，则有短射缺陷。

实验求取了正常制品、短射制品、飞边制品图像二值化后的灰度值为 255 的像素总面积，数据如表 4-5 所示。

# 华中科技大学硕士学位论文

表4-5 制品面积数据统计

组别	正常制品	短射制品	飞边制品
1	150683	149513	155529
2	150935	148719	164119
3	150802	148344	164422
4	150920	148005	164770
5	150620	148250	160121
6	151311	148432	160058
7	150850	148152	164453
8	151467	148050	156855
9	150704	148194	155690
10	150692	147521	159657
均值	150898	148318	160567

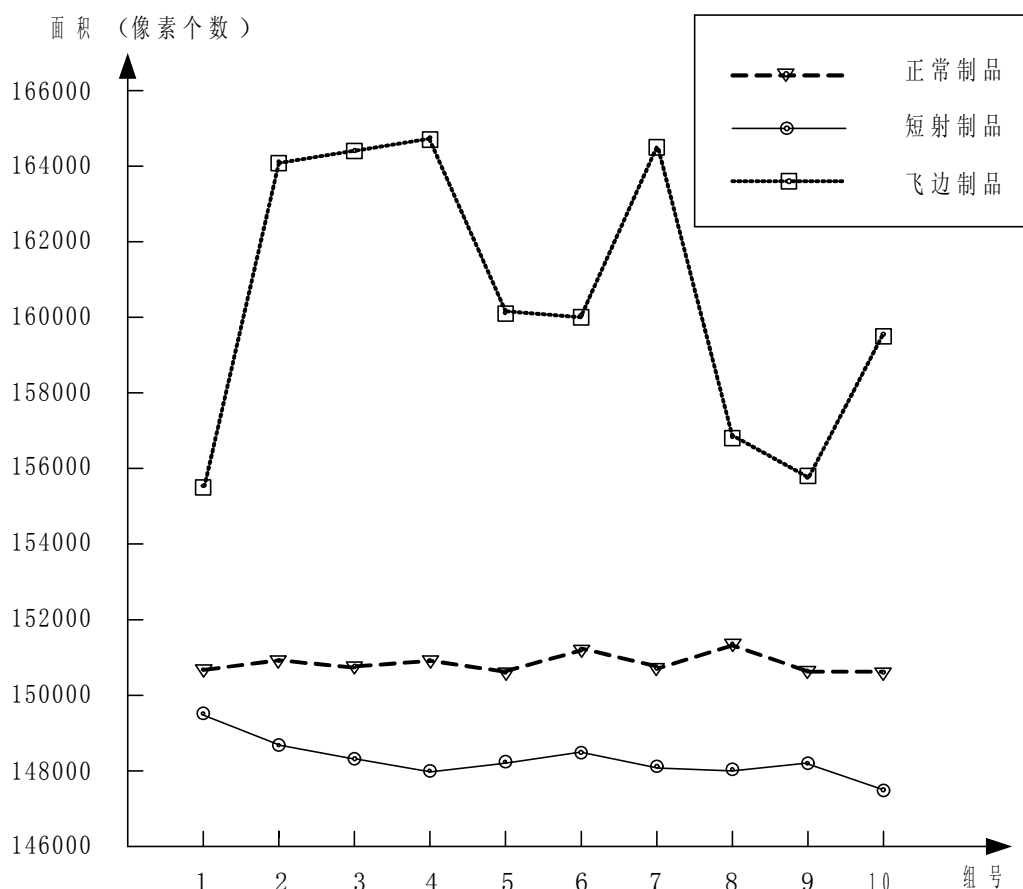


图 4-5 不同制品区域的面积

根据以上图 4-5、表 4-5 中正常制品、短射制品、飞边制品的面积信息，设定正常制品的面积为 150898 像素，即  $M=150898$ ，正常制品的面积波动范围为  $(150898-148318)/2=1290$ ，即阈值为  $T=1290$ ，制品缺陷检测时，在阈值分割后获取制品的面积，记为  $N$ 。若  $M-N$  的绝对值小于  $T$ ，则表示制品正常；若  $(M-N) \geq T$ ，则为短射制品；若  $(N-M) \geq T$ ，则为飞边制品。对正常、短射、飞边三种注塑制品的表面缺陷检测结果如下表 4-6 所示。

# 华中科技大学硕士学位论文

表 4-6 短射飞边检测结果统计

制品	总数	正确检测数	准确率
正常	80	80	100%
短射	80	78	97.5%
飞边	80	80	100%
总计	240	238	99.17%

以上实验结果证明,针对平板类盖子的注塑件的短射、飞边检测的准确率大于 99%,具有较高的准确率,影响检测结果的主要原因是边缘部位的高亮区域易对检测结果造成干扰,而制品的微小的翘曲则对短射、飞边的检测效果的影响较低。

该算法在本文实验中对于飞边、短射两种缺陷的检测率很高,但仅仅凭借制品阈值分割后的面积进行短射、飞边缺陷识别可靠性难以得到保证,可以将制品区域的面积与上面的缺陷识别规则结合起来,提高缺陷识别的准确率。

## 4.4 本章小结

本章主要对注塑制品表面缺陷特征提取与识别进行了研究,首先介绍几种常见的注塑制品表面缺陷的表观特征,选取了短射、飞边、裂纹三种缺陷为缺陷识别对象,接着研究了目标识别中常用的图像特征,然后实验提取了缺陷区域的特征参数,选取了区域轮廓形状、区域位置关系、灰度均值等对三种缺陷区分度较高的特征,提出了缺陷识别算法,实验验证了识别的准确率并分析了影响准确率的因素。

## 5 型腔异常的视觉检测

### 5.1 型腔异常检测的流程

本文第三章探讨了注塑制品表面缺陷检测的流程和关键的图像处理算法，其部分图像处理算法也可直接应用于型腔异常检测，基于此，本文中针对制品残留在型腔等型腔异常视觉检测的原理如下：首先是进行型腔模板的设置，采集模具开模后的正常型腔图像作为模板，进行模板图像预处理、参数设置、ROI 设置等。在注塑生产过程中，模具合模动作前，系统采集待检测的型腔图像，然后图像处理模块对待检型腔图像和型腔模板图像进行模板匹配，若两图像的相似度大于设定的阈值，则表示型腔正常，可以进行合模动作；若两幅图像的相似度值小于设定的阈值，则表明型腔异常，系统发出警报信号，禁止合模操作人员对异常情况人工进行处理。型腔异常检测的流程如图5-1所示。

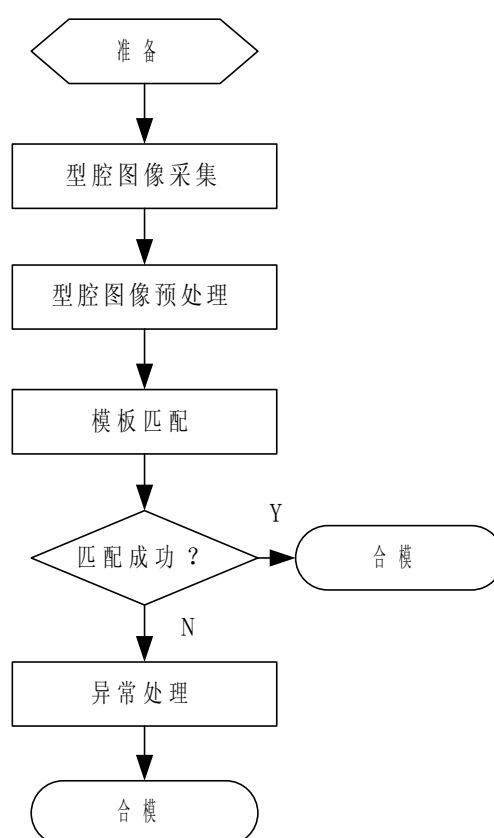


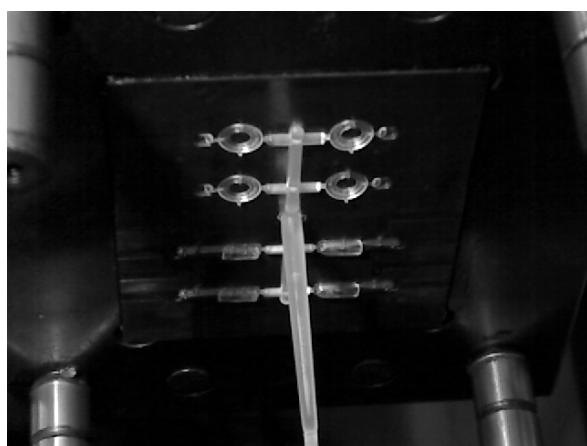
图 5-1 型腔异常检测流程图

## 华中科技大学硕士学位论文

本文在注塑机生产现场采集的型腔图像如下图所示。图 5-2(a)为制品完全脱模的正常型腔图像，图 5-2(b)为制品脱模失败的型腔图像，图 5-2(c)为制品少量残留在型腔的图像。型腔异常检测中主要的图像处理算法为型腔图像预处理和图像的模板匹配，预处理是为了提高型腔图像与模板图像相似度匹配的可靠性，而模板匹配则是型腔异常检测算法的关键，这两种算法均在第三章进行了详细的介绍，本章下面针对这两种算法在型腔异常检测中的具体应用作简要介绍。



(a) 正常型腔图像



(b) 脱模失败的型腔图像



(c) 制品少量残留的型腔图像

图5-2 型腔图像

## 5.2 型腔图像处理

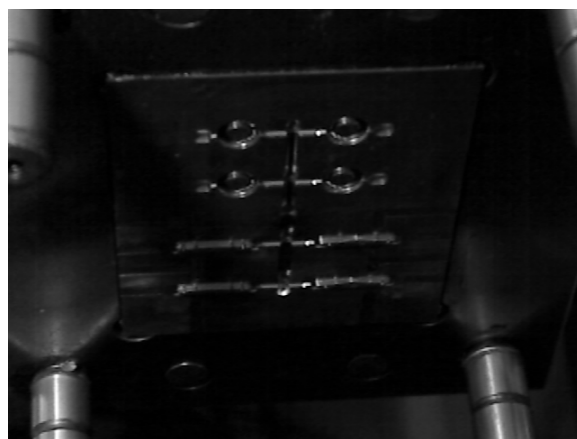
### 5.2.1 图像预处理

在注塑机实际生产环境中采集的型腔图像如图 5-2 所示。对不同注塑周期的型腔图像进行分析，发现在照明环境稳定的环境下，连续的注塑生产周期的型腔图像一致性较好，但由于注塑机在生产过程中不可避免的产生震动，而工业相机采用的是磁力座固定在注塑模具结构上，相机的图像采集过程会受到机器震动的影响，干扰图像的采集质量；另一方面，工业相机在图像采集过程中会存在噪声干扰、灰层等影响因素，对型腔图像的一致性和稳定性造成干扰，因此有必要对待检测模具型腔图像进行预处理操作，降低这些干扰因素的影响，本文型腔图像的预处理主要指滤波处理。

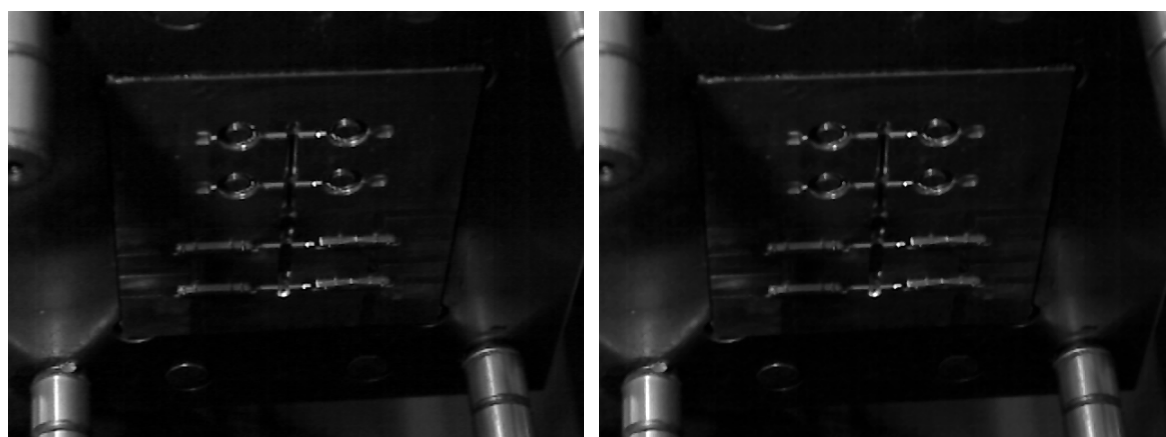
第三章中已对均值滤波、高斯滤波、中值滤波这三种滤波进行了详细的研究，本文对采集的型腔图像进行以上三种滤波处理，以研究滤波处理对原始型腔图像的改善程度。从人眼视觉上看，处理效果并不太明显，对图像的整体灰度或对比度的影响效果并不大，对图像进行放大处理后，可以看得到这几类滤波算法对图像信息的改变，各类滤波处理的效果如图 5-4 所示。本章的第四小节将通过实验探讨滤波处理对模板匹配及型腔检测效果的影响。



(a) 原始型腔图像



(b) 均值滤波处理



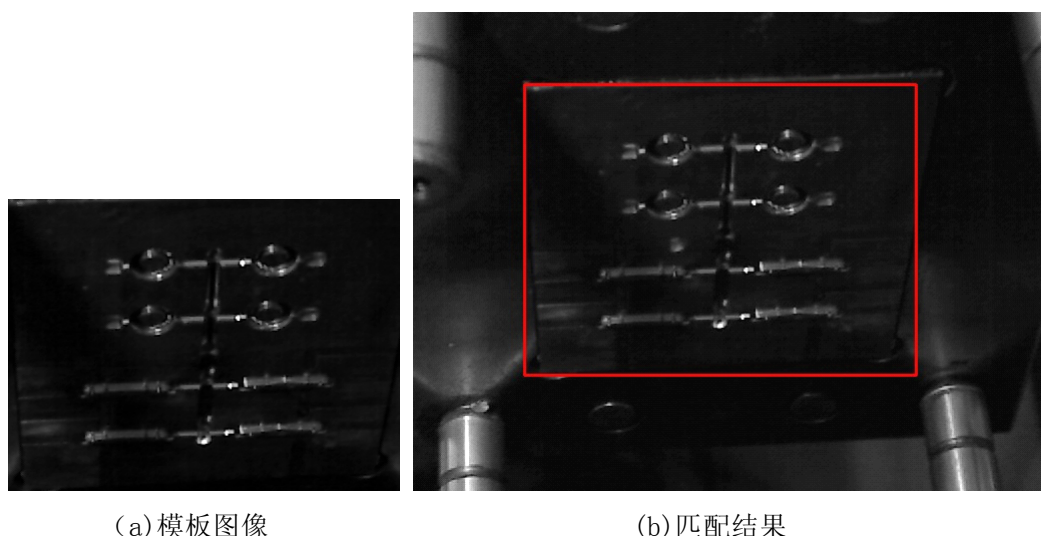
(c) 高斯滤波处理

(d) 中值滤波处理

图 5-4 滤波处理效果图

## 5.2.2 型腔图像模板匹配

本文中的模具型腔图像的灰度值均较低，黑灰色几乎占据整个模具型腔区域，像素灰度值的波动范围较小，图像区域的灰度差异不大，对比度不明显，若采用基于特征的模板匹配，选取的特征点对图像区域特征的代表性较弱，因此特征点的选取存在难度，另一方面，为提高图像匹配的自动化程度，减小人工干预，本文采用基于灰度特征的模板匹配，采用公式 3-5 所示的归一化相关系数法，相似度的范围为 0.0-1.0，相似度越接近 1.0，表示两幅图像的相似度越大。模板匹配的效果示意图如图 3-6 所示，这两幅图像的最大相似度匹配值为 0.99382。



(a) 模板图像

(b) 匹配结果

图 5-6 图像匹配效果图



### 5.3 型腔异常检测实验与分析

本节实验的主要内容包括图像预处理对模板匹配结果的影响、型腔异常检测中图像匹配相似度阈值的设定以及测试型腔异常检测的准确率。由于型腔异常检测在模具的合模动作前进行，型腔检测的结果将直接用于控制模具的合模或警报动作，因此算法的实时性也是需要考虑的一个因素。

本文对三类典型的型腔图像的9幅待检测型腔图像分别进行预处理和不进行预处理跟型腔模板图像进行模板匹配计算，实验中采取的图像预处理为中值滤波，实验数据如下表5-1所示。

表5-1 图像预处理对模板匹配结果的影响

类别	不进行预处理的模板	进行滤波预处理后的	相似度变化
	匹配相似度	模板匹配相似度	
正常型腔图像	0.99433	0.99798	+0.00365
	0.99502	0.99801	+0.00299
	0.99704	0.99982	+0.00278
脱模失败图像	0.74145	0.74374	+0.00229
	0.77235	0.79001	+0.01766
	0.85203	0.86301	+0.01098
少量残留图像	0.98748	0.99382	+0.00634
	0.96523	0.97102	+0.00579
	0.95247	0.95864	+0.00617

对以上实验数据分析可知，一方面，型腔图像的中值滤波预处理对模板匹配结果的影响程度不大，图像预处理总体来说对模板匹配的准确率有较小程度的提高，另一方面，模板图像的预处理会增加算法的时间复杂度，综合考虑，当图像像素个数较大，

## 华中科技大学硕士学位论文

工业控制机的处理性能较低，算法的时间复杂度对检测速度影响较大时，可以不进行型腔图像的预处理。

为了确定合适、准确的正常型腔图像和型腔模板图像匹配的相似度阈值，在保证检测准确率的同时提高型腔异常检测的灵敏度，本文实验中分别对10幅正常的型腔图像、脱模失败的型腔图像、制品少量残留的型腔图像和型腔模板图像进行模板匹配，实验数据如表5-2所示。

表5-2 型腔图像与模板图像匹配的相似度值

编号	正常型腔图像	制品脱模失败的型腔图像	制品少量残留的型腔图像
1	0.99798	0.74374	0.99382
2	0.99657	0.79001	0.97102
3	0.99801	0.71203	0.97864
4	0.99654	0.85232	0.99345
5	0.99506	0.75209	0.99521
6	0.99523	0.74325	0.98236
7	0.99709	0.72480	0.99407
8	0.99636	0.86306	0.98438
9	0.99982	0.84205	0.98703
10	0.99597	0.79864	0.99009

对以上图像匹配的相似度结果可知，正常型腔图像和型腔模板图像的相似度均在0.995以上，匹配的相似度程度很高；脱模失败的型腔图像与模板图像的相似度均低于0.900，普遍集中在0.710-0.860之间，明显低于其它两类型腔图像与模板的相似度；制品少量残留的型腔图像与模板图像的相似度大都集中在0.970-0.995之间，与正常型腔图像与模板的相似度比较接近，本文为了检测制品少量残留在型腔的异常情况，取图像匹配的相似度阈值为0.995。

## 华中科技大学硕士学位论文

针对型腔异常检测的实验结果统计如下表5-3所示。对型腔异常检测统计结果分析可知,对于型腔正常和制品脱模失败两种情况可达到100%的准确率,主要是在稳定的光照条件下,正常的型腔图像比较稳定,一致性较好,而制品脱模失败对图像匹配相似度的影响明显,因此检测准确率较高;而当制品少量残留时,特别是面积较小或区域灰度的偏离不明显时则会出现漏检,而错误地判定为型腔正常。

表5-3 型腔异常检测结果统计

组别	总数	正确检测数量	检测率
型腔正常	40	40	100%
制品脱模失败	40	40	100%
制品少量残留	40	38	95%
总计	120	118	98.33%

本文实验还测试了型腔异常检测算法的时间复杂度,处理的待检型腔图像的大小为640\*480像素,设定的ROI区域的大小为400\*300,软件测试运行的硬件平台为四核处理器,处理器型号Intel(R)Core(TM)2 Quad CPU Q6600 主频为2.4GHZ,内存2G,型腔检测算法的时间复杂度测试结果表明一次型腔检测算法总的时间消耗平均约为63ms,图像预处理与图像匹配算法的时间消耗分别约为16ms和47ms,占型腔异常检测算法总的时间消耗的25.4%和74.6%,算法总的时间消耗较少,符合实时性的要求。

### 5.4 本章小结

本章主要对型腔异常检测模块进行了研究,设计了型腔异常检测模块的算法处理流程,对关键的图像预处理和模板匹配算法进行了简单的介绍,最后对采集的注塑机型腔图像进行了检测实验,研究了图像预处理对模板匹配结果的影响,通过实验确定了正常型腔图像和型腔模板图像匹配的相似度阈值,并采取此相似度阈值,进行型腔异常检测实验,验证了算法的准确率,最后测试了型腔异常检测算法的时间复杂度,证

明了软件模块的实时性满足要求。

## 6 全文工作总结与展望

当前注塑制品表面质量检测大多依靠人工离线抽样检测、自动化程度不高、检测效率低；在注塑生产过程中出现型腔存在制品残留等异常现象，严重影响制品质量，并损坏模具，增加生产成本，而当前型腔存在制品残留的预防主要依靠人工现场监测，自动化程度低。针对以上难题，作者在查阅相关文献研究了国内外机器视觉在工业检测中的应用现状的基础上，结合注塑生产过程中实际的检测需求，设计了一套基于机器视觉的注塑过程检测系统，用于在线对注塑制品表面缺陷进行自动检测与识别以及对制品残留在型腔等型腔异常情况进行检测。对本文作者完成的工作总结如下：

(1) 深入研究了机器视觉检测系统的构成、工作原理及关键技术，设计了基于机器视觉技术的注塑过程检测系统。本文设计了系统的硬件整体框架，并对关键的硬件包括照明光源、工业相机、相机镜头等进行了选型，搭建了系统的硬件平台；利用软件模块化设计思想划分了系统软件模块，对各个主要软件模块进行了详细的功能设计，并在 Qt 平台上设计开发了人机交互界面，为系统检测功能的实现和完善奠定了良好的基础。

(2) 设计了系统的监控流程，阐述了系统监控的原理；设计了制品表面缺陷检测与识别的软件处理流程，对图像增强、模板匹配、图像分割、形态学处理、轮廓提取等关键算法进行了细致研究，并对采集的制品图像进行处理，选取了对本文制品图像处理效果较好的算法，准确获取了缺陷区域；设计了型腔异常检测的软件处理流程，选取了图像预处理和图像匹配算法，并进行实验，探讨了图像预处理对模板匹配的影响，确定了型腔异常检测时模板匹配相似度阈值，实验验证了型腔检测的效果，并对检测算法的实时性进行了测试；

(3) 在获取制品表面缺陷区域后，重点对缺陷区域特征提取与识别进行了细致的研究。首先研究了注塑生产中几种常见的表面缺陷以及其主要表现特性，选取了注塑生产中最为常见、对制品质量影响程度最大的短射、飞边、裂纹为缺陷识别的研究对象，在研究了常见图像特征的基础上，通过实验对缺陷区域的形状特征、灰度特征、区域重心与制品轮廓的位置关系等特征进行了提取，对实验数据进行分析，选取了对

## 华中科技大学硕士学位论文

---

这三种缺陷区分度较高的特征，设计了缺陷识别规则，最后实验验证了缺陷分类识别的准确率，分析了影响缺陷识别率的因素。

本文利用机器视觉、图像处理等关键技术实现了对注塑过程检测系统中模具型腔存在残留制品的检测和注塑制品表面缺陷在线检测与自动识别等功能，初步实现了检测的自动化和智能化，基本满足了系统的功能要求，但是还有很多需要进一步完善和改进的地方：

(1) 软件的功能需要进一步完善，如采集的图像应可以设置保存为 bmp、jpg 等多种形式，图像的放大缩小等基本变换功能需要实现，和注塑机控制器的 TCP 通讯模块需要完善，与注塑机 I/O 接口的通讯功能需要实现。

(2) 本文实现的注塑生产监控系统的检测准确率还有待提高，特别是注塑制品的表面缺陷自动检测和识别的准确率，一方面，在硬件选择和硬件平台的搭建方面需要结合实际生产环境进行更深入的研究，选择尽可能理想的光源、相机、镜头等硬件设备，另一方面，在软件算法处理方面，在考虑减少图像处理的计算量的同时，更重要的是需要进一步完善图像处理算法，如图像增强效果需要加强，边缘轮廓的连续性需要得到保证。

(3) 本文中注塑过程检测系统的功能应不仅仅局限于对模具型腔残留制品进行检测和对注塑制品表面缺陷进行检测与识别这两点上，同时还需要考虑进一步为注塑控制系统提供相关的检测结果特别是制品表面缺陷检测结果的详细信息，来指导控制系统进行相关工艺参数的优化和调整，因此需要进一步研究注塑制品表面缺陷的产生与系统工艺控制参数之间的关系。

(4) 本文主要针对短射、飞边、裂纹三种常见的注塑制品表面缺陷进行分类识别，还需要进一步研究其它常见的表面缺陷的检测与识别，比如翘曲、气泡等缺陷。

# 华中科技大学硕士学位论文

---

## 致 谢

作者的硕士毕业论文是在周华民教授的指导下完成的。在硕士研究生阶段，周华民教授给作者指明了课题研究方向并提供了课题相关的技术帮助和耐心教导。周华民教授雅儒温厚、谦德谨慎的治学作风，对相关技术前沿的认知和钻研精神，都给予作者极大的支持和鼓励，作者心中十分感激。

在两年的研究工作中，作者在科研、工作、思想、生活上的进步与成长离不开实验室这个温馨的大家庭。李德群教授和崔树标讲师等都为作者的学习和生活提供了关心和帮助。李德群教授学识渊博、和蔼可亲，聆听李老师的教导让我受益匪浅；崔树标讲师工作细致、关爱学生，为实验室营造了和谐融洽的工作氛围。

特别要感谢的是张云博士师兄，他不仅学识广博、工作认真负责、耐心细致，而且在科研工作和为人处事等方面均给予了作者细致入微的指导和帮助，是作者研究生阶段最感激的人之一。还有李国政师兄、徐凯师兄、梁俊杰师兄、刘美智师兄、刘赞师兄等在专业知识和工作生活等方面也都给予作者很多热情的帮助和耐心的指导。实验室气氛融洽，师弟师妹们也都虚心好学，并同时在学习和生活中给予作者诸多便利和关心。

还有同届的高煌、张龙、李荣荣、龙海、李赞、廖宇航等也都给予作者学习和生活上很大的帮助，大家在一起学习、工作和生活日子非常充实和开心，在此一并感谢他们。

最后，衷心感谢有养育之恩的父母，感谢爷爷奶奶，感谢弟弟，他们在我求学的过程中给予了我无私的关心和帮助。

杨 威

2013 年 1 月

## 参考文献

- [1] PH.Golnabi, A.Asadpour. Design and application of industrial machine vision systems [J]. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2007, 23(6): 630-637
- [2] 章炜. 机器视觉技术发展及其工业应用[J]. 红外, 2006, 27(2): 11-17
- [3] 刘金桥, 吴金强. 机器视觉系统发展及其应用[J]. 机械工程与自动化, 2010(1): 215-216
- [4] 段峰, 王耀南等. 机器视觉技术及其应用综述[J]. 自动化博览, 2002 (3): 59-62
- [5] 韩九强. 机器视觉技术及应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 2009
- [6] 彭向前. 产品表面缺陷在线检测方法研究及系统实现[D]. 武汉: 华中科技大学, 2008
- [7] Mary D, Hildreth E. Theory of edge detection [A]. In: Proceedings of Royal Society of London[C]. London, 1980, 187-217
- [8] Steger C, Ulrich M, Wiedemann C, Machine Vision Algorithms and Applications [M]. Germany: Wiley-Vch, 2007
- [9] J Alison Noble, From inspection to process understanding and monitoring: a view on computer vision in manufacturing [J]. Image and Vision Computing, 1995, 13(3): 197-214
- [10] 张广军. 机器视觉[M]. 北京: 科学出版社, 2005
- [11] Steger C, Ulrich M, Wiedemanm C. Machine vision algorithms and applications [M]. Germany, Miinchen: MVTec Software GmbH, 2009
- [12] Elias N. Malamas. A Survey on industrial vision systems, applications and tools [J]. Image and Vision Computing, 2003, 21: 171-188
- [13] 李宁, 汪仁煌等. 基于机器视觉的温度测量系统的设计与应用[J]. 计算机与现代化, 2012, (9): 57-60
- [14] Hongru Du, Wuyin Jin. A Method of Dimension Measurement for Spur Gear Based On Machine Vision [C]. 2011 International Conference on Multimedia and Signal Processing, 2011: 243-246
- [15] Patel, K.K. , Kar, A., Jha, S.N., Khan, M.A. Khan. Machine vision system: a tool for



- quality inspection of food and agricultural products [J]. Journal of Food Science and Technology, 2012, 49(2): 123-141
- [16] Aleixos N, Biasco J. Multispectral inspection of citrus in real-time using machine vision and digital signal processor [J]. Computer and Electronics in agriculture. 2002(33): 121-137
- [17] Aleixos N, Blasco J, Molto E. Design of a vision system for real-time inspection of oranges [J]. Pattern Recogn. Image Anal. 1999, 1: 387-394
- [18] Der-Baau Perng, Hsiao-Wei Liu, Ching-Ching Chang. Automated SMD LED inspection using machine vision [J]. Int J Adv Manuf Technol, 2011, 57: 1065-1077
- [19] 查英. 自动装配生产线的机器视觉识别系统[D]. 天津: 天津大学, 2004
- [20] MOLTON N, SE S, BRADY M, et al. Robotic sensing for the partially sighted [J]. Robotics and Autonomous Systems, 1999, 26(2-3): 185-201
- [21] 尚文勤. 基于机器视觉盲人户外支援系统关键技术研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2012
- [22] J Paliwal, N S Shashidhar, D S Jayas. Grain kernel identification using kernel signature [J], Trans of the ASAE, 1999, 42(6): 1921-1924
- [23] 韩英莉、颜云辉. 基于 BP 神经网络的带钢表面缺陷的识别与分类[J]. 仪器仪表学报, 2006, 27(12): 1692-1694
- [24] 叶晨洲, 杨杰, 宣国荣. 车辆牌照字符识别[J]. 上海交通大学学报, 2000, 34(5): 672-675
- [25] 林海杰. 基于.NET 技术的注塑机群远程监控系统的研究与实现[D]. 广州: 华南理工大学, 2011
- [26] 徐元昌, 祁广利, 黄华林. 塑料注塑机群控系统的研究[J]. 陕西科技大学学报, 2001, 21(3): 93-96
- [27] 姜建平. 注塑成型温度智能监控系统的研究与开发[D]. 南昌: 南昌大学, 2005.
- [28] 王师华. 注塑型腔压力远程监控系统的研究与实现[D]. 武汉: 华中科技大学, 2007
- [29] Marcia M. Favaro, Alessandra L. Marinelli, Marcelo Farah, Rosario E.S. Bretas. Optical Monitoring of Polypropylene Crystallization During Injection Molding [J]. POLYMER ENGINEERING AND SCIENCE, 2008, 48: 257-266
-

## 华中科技大学硕士学位论文

---

- [30] J. Jay Liu, John F. MacGregor. Modeling and optimization of product appearance: application to injection-molded plastic panels [J]. Industrial Engineering and Chemistry Research, 2005, 44(13): 4687-4696
- [31] Bartleet, Trevor C. Real time machine vision inspection of plastic bottle closures [J]. The International Society for Optical Engineering, 1995, 2598(35): 362-370
- [32] 刘斌, 孙佳伟. 注塑制品表面缺陷自动识别软件的构建[J]. 工程塑料应用, 2012, 40(2): 61-64
- [33] 孙天瑜. 基于机器视觉的注塑制品缺陷检测系统研究[D]. 沈阳: 东北大学, 2008
- [34] Kane, 贡树行. 光学设计是机器视觉系统的关键[J]. 红外, 1999(8): 37-39
- [35] 张五一, 赵强松, 王东云. 机器视觉的现状与发展趋势[J]. 中原工学院学报, 2008, 19(1): 9-15
- [36] 段峰, 王耀南, 雷晓峰等. 机器视觉技术及其应用综述[J]. 自动化博览, 2002(3): 59-62
- [37] 张秀彬, 应俊豪. 视感智能检测[M]. 北京: 科学出版社, 2009
- [38] 王杰林, 吴志芳. 集装箱检测系统的数字减影研究[J]. 核电子学与探测技术, 2005, 25(5): 555-558
- [39] 李朝晖. 数字图像处理及应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004, 70-72
- [40] 王红梅, 张科, 李言俊. 图像匹配研究进展[J]. 计算机工程与应用, 2004, (19): 42-44
- [41] Lisa Gottesfeld Brown. A survey of image registration techniques [J]. ACM Computing Surveys, 1992, 24(4): 325-373
- [42] 刘锦峰. 图像模板匹配快速算法研究[D]. 长沙: 中南大学, 2007
- [43] 雷良育, 周晓军, 潘明清等. 基于机器视觉的轴承内外径尺寸检测系统[J]. 农业机械学报, 2005, 36(3): 131-134
- [44] 莫之剑. 机器视觉检测技术在品质检测与控制中的应用[D]. 广州: 华南理工大学, 2006
- [45] SAHOO P K, SOLTANI S, WONG A K C, et al. A survey of thresholding techniques [J]. Computer Vision, Graphics and Image Processing, 1988, 41(2): 233-260
- [46] D. Sinha, C.R.Giaridna. Discrete Black and White Object Recognition via Morphological Functions [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine

## 华中科技大学硕士学位论文

---

Intelligence, 1990, 12(3):275-293

- [47] 阮秋琦. 数字图像处理学[M]. 北京: 电子工业出版社, 2007
- [48] 廖建勇. 尿沉渣显微图像中的管型分割与识别[D]. 长沙: 湖南大学, 2009
- [49] 李维. 注射成型过程可视化研究及缺陷分析[D]. 北京: 北京化工大学, 2008
- [50] 张伟国, 李世国. 注塑件缺陷分析及结构设计解决方案[J]. 工程塑料应用, 2007, 35(1): 73-77
- [51] 刘继敏, 史忠植. 一种基于形状的图像信息检索方法[J]. 软件学报, 2001, 11(1): 110-115
- [52] M Tuceryan, A K Jain. Texture Analysis [J]. Handbook of Pattern Recognition and Computer Vision, 1993: 235-276
- [53] Kimia B. Shape representation for image retrieval [J]. Image Databases\_Search and Retrieval of Digital Imagery, 2002, 13: 345-372
- [54] Anne H, Solberg S, Jain A K. Texture Fusion and Feature Selection Applied to SAR imagery[J]. IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing, 1997, 35(2): 475-478
- [55] Lee TS. Image representation using 2D Gabor wavelets [J]. IEEE Transaction on PAMI, 1996, 18(10)
- [56] Hu M K. Visual pattern recognition by moment invariant [J]. Transaction on Information Theory, 1962, 8(2): 179-187
- [57] 孙君顶, 赵珊. 图像低层特征提取与检索技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2009

**附录 1 攻读硕士阶段发表论文目录**

杨威, 毛霆, 张云, 周华民. 注塑制品表面缺陷在线检测与自动识别. 模具工业, 2012.  
(已录用)