
学校代码： 10255

学 号： 2121112

基于机器视觉的模具残留物检测系统研究

**Research of Residuum Detection System Based on
Industrial Machine Vision**

学 院： 信息科学与技术学院

专 业： 控制科学与工程

姓 名： 马 琳

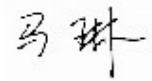
导 师： 王直杰 教授

2015 年 1 月

东华大学学位论文原创性声明

本人郑重声明：我恪守学术道德，崇尚严谨学风。所呈交的学位论文，是本人在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。除文中已明确注明和引用的内容外，本论文不包含任何其它个人或集体已经发表或撰写过的作品及成果的内容。论文为本人亲自撰写，我对所写的内容负责，并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：2015年 1 月 17 日

东华大学学位论文版权使用授权书

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，同意学校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，允许论文被查阅或借阅。本人授权东华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。

保密 ☐，在 年解密后适用本版权书。

本学位论文属于

不保密 ☒。

学位论文作者签名：

马琳

指导教师签名：

王迪

日期：2015年1月17日

日期：2015年1月17日

基于机器视觉的模具残留物检测系统研究

摘 要

近年来,随着现代工业的发展,注塑产业也有了广阔的发展空间,注塑机作为主要的生产机械设备,自动化水平也在不断的提高。然而在生产过程中,由于闭模时候冷却时间不够,因此经常会发生原料残留在模腔内的现象,若不能及时发现并处理,很容易造成模具的损坏,并且还会影响到后继的产品。因此,研究出一个可以实时检测模腔内是否存在残留物的系统有着十分重要的现实意义。

本文在参考了大量国内外相关文献的基础上,结合了对注塑车间的实际环境特点、功能需求的分析,总结得到了本课题所要设计的系统总体需求,然后根据需求分析找到相应的解决方案,设计了一种基于机器视觉的模具残留物检测系统。该系统主要分为硬件设计和软件设计两大部分。硬件设计上,本文针对模具大小以及视场范围,对摄像机以及 PC 机做了相应的选取,并且根据注塑车间光线环境,对照明系统进行了设计。在软件设计部分,主要分为图像预处理模块和实时检测模块。在图像预处理模块中,考虑到光线的影响,以及注塑机工作过程中机器振动给相机采集图像带来的影响,将预处理模块分为两个阶段,光线补偿以及位置偏差校正。首先用直方图规定化、中值滤波等算法对图像进行光线补偿处理,然后用模板匹配算法找出图像

ROI 区域, 截取区域作为新的检测图像。在实时检测部分, 通过对比了三种算法, 最后利用改进后的灰度共生矩阵算法分析图像纹理, 得出检测图像与模板图像的相似度, 根据相似度数判断图像是否存在残留物, 是的话则将残留物标记出来。

本文在 Visual Studio 平台上, 通过调用 OpenCV 库函数实现了模具残留物检测系统, 利用多幅缺陷图片进行了测试, 得出的实验结果表明, 该系统能够很好的实现注塑模具残留物检测的功能。

关键字: 模具, 残留物, 机器视觉, 图像检测, 灰度共生矩阵

RESEARCH OF RESIDUUM DETECTION SYSTEM BASED ON INDUSTRIAL MACHINE VISION

ABSTRACT

Nowadays, as the development of modern industry, injection molding industry also has a broad space for development. The level of the automation of injection molding machine is also improving since it is the main production equipment. However, in the working process, sometimes material remains in the mould chamber because of the time for cooling materials down is too short. This kind of phenomenon is likely to cause the damage to the mold, and more seriously, it may influence the quality of following products. Therefore, it is of a great significance to research and carry out a kind of residuum detection system.

We are in reference of a large number of relevant domestic and foreign literatures, and then analyze the function requirements according to the characteristics of the physical environment, finally we design a kind of system which consists of hardware module and software module to detect the residuum in injection mould based on machine vision after we summarize the demand of the system and find the effective solution. In hardware module, we select the proper industrial camera and computer according to the size of mould and the field of the view. Then we design the lighting system on the basis of the lighting environment. In the part of software module, the system can be divided into two parts, image preprocessing and real-time detection. In the part of image preprocessing, considering of the influence of the light and the position offset, we need to make light compensation and position compensation to the pictures. Firstly, we make light compensation with Histogram specification and median filter algorithm. Then we use Template matching algorithm to find the ROI field and intercept it as the detected picture. In the part of real-time detection, after comparing three kinds of methods, we choose to analyze the texture of the pictures with Spatial Gray Level Co-occurrence Matrix algorithm, so we can get the similarity

value through which we can judge whether the picture is defective.

The system is implemented based on the platform of Visual Studio calling OpenCV library function. We test the system with many defective pictures and the result indicates that the system can realize the function effectively.

Lin Ma (Control Science and Control Engineering)

Supervised by Professor Zhijie Wang

KEY WORDS mould, residue, machine vision, detection, GLCM

目 录

摘 要.....	I
ABSTRACT.....	III
目 录.....	V
第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景及意义.....	1
1.2 注塑机简介.....	2
1.2.1 注塑工业的发展现状.....	3
1.2.2 注塑机的工作原理及发展现状.....	4
1.2.3 注塑模具残留物检测方法.....	5
1.3 机器视觉在工业检测中的研究现状.....	5
1.3.1 机器视觉的发展现状.....	5
1.3.2 机器视觉在模具监控中的研究现状.....	6
1.4 论文的研究内容及章节安排.....	7
第 2 章 模具残留物检测系统的需求分析和总体设计.....	9
2.1 注塑模具残留物检测系统的需求分析.....	9
2.2 注塑模具残留物检测系统的硬件选型设计.....	9
2.2.1 摄像机的选取.....	10
2.2.2 镜头的选取.....	12
2.2.3 照明装置.....	13
2.3 注塑模具残留物检测系统的软件算法设计.....	15
2.3.1 算法实现平台选型.....	15
2.3.2 系统软件框图设计.....	16
2.4 本章小结.....	19
第 3 章 模具残留物检测系统的预处理算法.....	21
3.1 图像的光线补偿.....	21
3.1.1 直方图方法.....	21
3.1.2 平滑处理.....	27
3.1.3 图像的锐化.....	31
3.2 位置偏差矫正.....	33
3.2.1 ROI区域模板匹配.....	34



3.2.2 ROI区域截取.....	36
3.3 本章小结.....	37
第4章 模具残留物检测系统的实时检测算法.....	39
4.1 基于直方图相似度比较的检测算法.....	39
4.2 基于图像 HU 矩阵的检测算法.....	42
4.2.1 矩的定义和 HU 矩.....	42
4.2.2 HU矩阵相似度比较.....	43
4.3 基于灰度共生矩阵的残留物检测方法.....	44
4.3.1 灰度共生矩阵的定义及特点.....	45
4.3.2 灰度共生矩阵的特征参数选取.....	47
4.3.3 图像的残留物检测分析.....	50
4.3.4 改进的图像的残留物检测分析.....	51
4.4 本章小结.....	52
第五章 注塑模具检测系统实现与测试.....	53
5.1 注塑模具检测界面设计.....	53
5.2 实验结果分析.....	55
5.3 本章小结.....	56
第六章 总结与展望.....	57
6.1 研究工作总结.....	57
6.2 不足与展望.....	57
参考文献.....	59
攻读硕士学位期间研究成果.....	63
致谢.....	65

第1章 绪论

这一章首先根据研究的课题介绍了研究背景及意义,介绍了注塑机的工作原理以及注塑工业的发展状况。然后阐述了机器视觉的发展现状,以及机器视觉在工业检测中的应用研究,进而讨论了机器视觉在注塑机的残留物检测领域的应用。最后,概述了本文的研究内容和各个章节安排。

1.1 研究背景及意义

社会的不断发展使得塑料作为新型的合成材料越来越流行,已经成为四大工业材料之一,另外三种分别是木材、钢铁、混凝土^[1]。自 21 世纪以来,塑料制作应用越来越广泛,已大量应用到国家重要产业中,并且在老百姓的生活中也有广泛应用,例如国防、航天、汽车、加电等方面^[1]。在塑料制件中,三成以上属于注塑制件,在国民经济等各个领域都有所应用。近几年来,随着注塑产业的发展,注塑产品的质量也相应的得到了快速的提高,特别是在精度和强度上,进一步扩大了其在工程领域的运用范围,在国家经济发展中不可或缺。

塑料制品有着很多的优良特性,它质地轻,防水,易于塑造,可以加工成多种多样的产品,具有优异的电气特性及化学稳定性,并且有着优良的抗震和消声性能,还很容易与木材、金属、玻璃等材料相胶结,正是具备这些优良特性,塑料制品才会被广泛应用于人们的日常生活中^[2]。随着塑料在材料结构中的比例不断的上升,相关专家做出估计,以重量计算的塑料产量或将超过钢的产量。另外,根据多年的实践,证明若是继续加大塑料在材料结构中所占的比重,并且推崇高分子合成材料,那么不仅节约了资源,还降低了能耗,这样下去,自然资源得到了合理利用的同时,社会资金也会得到合理利用,社会总体的经济效益将会得到提高。随着人们日常生活和企业生产对塑料制品的需求不断增长,加上塑料制品的原材料成本低,来源丰富,塑料工业得到快速发展,而且塑料加工技术也不断进步,工艺更加完善。

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,并且具有适应性强、生产效率高、生产周期短且自动化性能高等优点^[3]。

注射成型是加工塑料制品比较常用的一种方法,是融合了包括聚合物加工流

变学、计算机力学以及液体力学等多种学科的一门综合学科。注塑成型可以制作外形复杂的产品,制成的产品尺寸精确,此工艺对各种聚合物加工的适应性较强,全自动化很容易实现,因此在塑料机械中占的比重很大,目前百分之八十的工程塑料产品都是采用的注塑成型技术生产的。可以看出,注塑成型在塑料工业中有着举足轻重的地位。而注塑成型的主要设备便是注塑机,从注塑机角度研究生产控制系统以及注塑监控系统,可以提高产品质量,改进加工方法,甚至推动注塑产业的发展。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,因此注塑机塑成产品后,在开模并且机械手将成型的产品抓取出来的时候,经常会有材料残留在模腔内部,如果残留的物料没有被及时发现,那么在闭模的时候,注塑机的模腔将会受到损坏,影响了生产效率^[4]。

所以说在注塑成型生产过程中,对注塑机模具中残留产品的检测是非常有必要的,目前,注塑模具中的残留物检测主要还是借助于人的视觉和主观判断,一方面占用了大量的人力,增加了公司的成本。另一方面,工人们长时间劳动容易造成视觉疲劳,造成误检或者漏检,误检会耽误生产进程,造成不必要的时间浪费;漏检会造成产品不合格,而物料残留在模腔内会造成顶针的损坏,给生产线造成的损失更大。目前国内外出现了很多高度自动化的注塑机残留物监控系统,但是这些设备主要面向的大型企业的自动化生产线,设备价格昂贵,缺乏普遍的适用性,一些中小型企业无法承受。并且,很多检测设备只是单纯的提高相机质量,保证拍摄图像的质量,从而忽略了从算法上提高效率。

在现代化工业的自动化生产过程中,还有很多像注塑模具残留物检测这样的监控系统,例如零部件的尺寸检查,组件的自动定位,或者 IC 上的字符识别等^[4]。这些监控系统的工作过程大致都是首先利用光电成像系统采集被测物体图像,然后将图像传输到 PC 机进行数字图像处理,对图像进行分析、识别,判断出被测物体是否合格。这样将计算机的快速可重复性,与人眼视觉的高度智能化和抽象能力相结合,由此产生了机器视觉的概念^[4]。

在这里,我们就要将机器视觉运用到注塑模具残留物检测中,从而提高自动化水平和生产效率。能在推动科技发展的同时,给企业、社会带来巨大的经济利益,具有很大的市场价值。

1.2 注塑机简介

1.2.1 注塑工业的发展现状

自从上世纪 50 年代推出了螺杆式塑料注射成型机以来,工程塑料业有 80% 通过注塑成型技术所制成。特别是家用电器、建筑、汽车、医药、食品等产业对注射制品越来越大的需求,使得中国注塑机产业迅猛发展。注塑成型可以对目标产品的形状、尺寸、精度以及性能进行控制,涉及的行业及领域很广泛。因此注塑成型技术得到了不断的发展和提高,由此使得注塑企业也得到了快速发展。在塑料被作为所占比重比较大的工程结构材料后,注塑制品的应用范围也不断扩大,注塑制品小的有微电子元件,大的像汽车用塑料件、洗衣机外壳等;轻的只有几毫克,重的足有几千克,这些全部都可以通过注塑成型工艺来实现^[5]。塑料行业已经成为中国现代工业发展必不可少的重要组成部分,同时也代表着中国工业的整体发展水平。目前,中国每年的塑料产品生产总量一直处于世界领先水平,而注塑成型技术周期短、生产效率高、适应性强、制品尺寸精确、制作范围广、可操作性强、产品易更新的优点使得注塑成型技术成为塑料加工中最为常用的技术之一^[5]。近年来,注塑成型技术一直在提高,不断地在密度、精度、产量等方面突破技术壁垒。



(a) 预处理阶段

(b) 注塑阶段

(c) 模具取出阶段

图 1-1 注塑成型过程

注塑成型的过程如上图 1-1 所示,即是首先如图 1(a)将原材料吸入一个真空中,进行干燥处理,再如图 1(b)传入注塑机的机身中,将原料高温加热融化,融化后自动用螺杆搅拌,再由真空容器高压射入模腔,运用现代技术快速冷却固化,得到成型品,最后如图 1(c)用机械手快速取出成品。该方法在形状复杂部件的生产方面运用的比较多,是重要的加工方法之一^[5]。

(1) 预处理。注塑前，要检查物料的重量，吸水性以及收缩性，在材料进入注塑机机身之前，要保证物料的干燥性，并且要注重料筒的清洁干燥；

(3) 后处理。塑件脱模后, 要做退火和调湿处理, 保证塑件的性能和尺寸的稳定性。

1.2.2 注塑机的工作原理及发展现状

注塑成型过程的核心设备是注塑机。注塑机利用塑料的热加工特性，将塑料融化，然后再通过金属的熔融压铸，将塑料压铸成型。注塑机先后有过柱塞式和预塑化螺杆式注塑机，随着工业的发展，预塑化螺杆式注塑机已陆续出现了双螺杆、排气式等先进形式。随着注塑机的飞速发展，在 1980 年法国就制造除了注射容量一次能达到 170kg 的螺杆注塑机^[6]。纵观注塑机的发展历程，注塑机主要在以下四个方面集中发展：一是在自动化塑模方面，采用将精微自动化控制系统及各种辅助设备应用到自动化模塑中；二是机械与液压配合方面，将精密机械及高性能液压系统紧密配合；三是软件开发方面，对各种复杂形状的塑料进行分析，配合注塑机的开发和电脑辅助设计，将塑模的设计逐渐完善；四是各种节能技术在注塑机上的应用^[6]。

图 1-2 为注塑机的侧面剖析图，图 1-3 为注塑机工作流程图。注塑机的工作原理主要是，首先将物料经过真空吸入料筒中，进行烘干去除水分，再将物料输送到注塑机机身中，经过外部的加热圈加热使物料融化，待融化充分后由料筒内的旋转螺杆向前输送，将融化的物料注射到闭合好的模腔中，经过一系列的凝固措施后，模具开模，顶针将成型后的产品顶出，机械手随之取走产品^[6]。

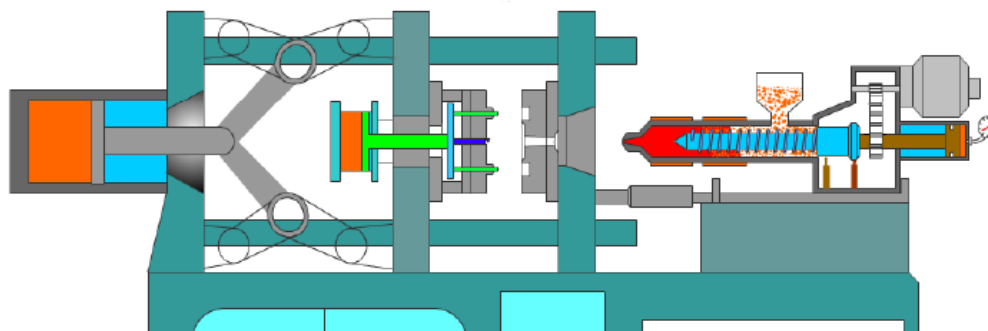


图 1-2 注塑机侧面剖析图

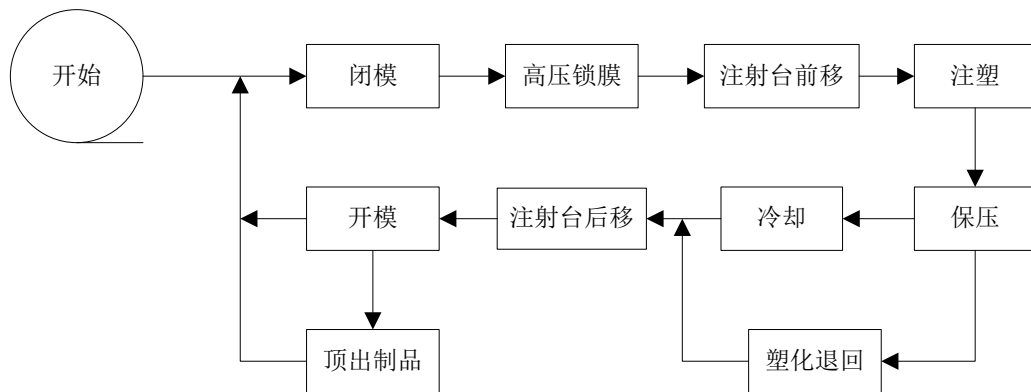


图 1-3 注塑机工作流程图

1.2.3 注塑模具残留物检测方法

在注塑机的模块组成中，注塑模具是其中最重要的模块，它的质量直接的影响着产品的好坏。而在现实生产过程中，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，经常发生注塑模具中存在残留物的现象，这必然会造成产品的残缺。更加严重的是，如果没有及时发现，那么接下去的产品也都会是不合格品，并且有可能会损坏模具。这样不仅会造成材料的浪费，还有时间的流失，相应地，企业会遭受巨大的损失。

目前在各大企业的注塑车间中，为了保证产品的合格率，大部分厂家采用人工倒班的作业方式对注塑模具进行监控。工作人员要通过目视、手摸的方式进行模具的残留物检测工作。这样的做法效率低下，劳动强度高，需要投入大量的人力，而且容易在人员作业疲惫的状态下出现疏漏。因此智能化的注塑模具残留物检测系统很有必要。

机器视觉是伴随着计算机技术快速发展的一门新兴技术，越来越多的在工业领域、农业领域等各个行业的生产中得到广泛应用，尤其在工业检测中，包括注塑模具的残留物检测，替代效率低下的人工监测，实现高效率的智能化检测。

1.3 机器视觉在工业检测中的研究现状

1.3.1 机器视觉的发展现状

机器视觉技术综合运用图像处理、精密测量以及模式识别、人工智能等技术的非接触检测方法^[7]。作为一种新兴检测技术，机器视觉发展前景非常广，它是

通过视觉传感器采集待测物体的图像,然后通过算法对图像各种特征量进行分析,从而进一步对图像进行处理。机器视觉技术涉及了多个学科,从人工智能学,计算机科学,图像处理到模式识别等多个学科领域。其基本原理是利用机器视觉系统对被测目标进行采集,然后对采集的图像进行研究分析,得到相关信息,再根据已有的先验知识,判断被测目标是不是符合规范要求。

机器视觉的概念是在 20 世纪 50 年代被提出来的,直到 80 年代初,机器视觉才被欧美一些国家实际应用到工业生产中,在亚洲,日本也在 1982 年左右开始了图像处理研究工作;在中国,机器视觉技术起步比较晚,在 90 年之前,仅仅在一些知名大学和研究所,才有少量的研究模式识别和图像处理的实验室;后来随着中国改革开放,科技开始了突飞猛进的发展,进入 98 年后,开始引进国外先进生产线,因此国内的企业和大学对机器视觉的研究才有了更深入的研究,并将其应用到工业领域,在工业检测、产品识别分类方面有所应用^[8]。由于机器视觉与人眼相比,不会疲劳,因此有着更高的精度,速度也比人眼快很多,借助红外线、紫外线、超波等高新探测技术,机器视觉在探测不可视物体时,有着更大的优势。然而直至目前为止,国内的机器视觉技术还没有达到成熟阶段,大多数都还是属于应用型研究,仍有发展空间。目前机器视觉技术已经广泛运用于

目前机器视觉技术已广泛应用于工业生产、人类生活各个方面,尤其是在工业自动化生产线的监控中得到了大量应用,如纺织、印刷、包装等行业。在饮料生产线上,机器视觉被用作饮料瓶瓶身以及瓶盖的缺陷检测中,检测识别饮料液位、封盖等;在电子半导体生产线上,机器视觉可以检测印刷电路板的排线,焊盘等特征^[9]。由此可见,机器视觉在历经这么长时间的发展,尤其是近几年的高速发展之后,已经开创了一个新的研究领域。机器视觉的组成包括硬件系统和软件系统。硬件系统包括:光源、光学镜头、计算机、工业相机、图像采集卡等。软件系统中主要是光源的选择,摄像机以及相机镜头的选取,PC 上位机以及图像采集卡等设备;软件系统中主要是输入输出模块以及核心部分,图像处理模块。硬件部分的主要功能就是实现图像采集,而软件部分主要是对图像进行分析和处理,图像的采集和分析属于机器视觉系统的重点部分。

1.3.2 机器视觉在模具监控中的研究现状

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,经常会出现材料残留在模腔内部,基于此,近几年来,国内外一些企业将机器视觉应用到模具的残留物监控系统当中,能够成功地识别到模具的残留物。其中比较先进的,也是运用比较多的是日本的 PLUSE 模具监视系统^[10],是由牛尾株式会社(USHIO)开发的,如图 1-4

所示,。此监控系统首先可以有效检测出固定模和可动模上的材料残留物;其次有位置修正功能,对于开模闭模引起的位置变化可以自动修正;第三,该系统有再顶出功能,对于落下不良的情况,进行已设定好次数的再顶出,达到自动复位的功能^[10]。该监控系统使用一台计算机和两台相机进行检测的确认,所用的部件成本较高,因此系统的价格偏高,并且该系统对环境要求比较高,适用于精密的注塑机的监控,而不太适合一般的注塑机车间。在国内,也有一些企业着力研究生产线上的残留物检测系统,例如东莞市安琪电子有限公司,深圳市海任科技有限公司,深圳视觉龙科技有限公司等。



图 1-4 PLUS-E 模具监视系统

1.4 论文的研究内容及章节安排

本文主要研究的是注塑模具残留物的检测方法,并实现了一种注塑模具残留物检测系统。本文主要分为六个章节。

第一章为绪论,主要阐述了本课题的研究背景及意义,介绍了注塑机的工作原理,以及机器视觉在工业检测中的应用。

第二章主要对注塑模具残留物检测系统进行了需求分析和总体设计。首先总结列举出系统需求,随后对系统的硬件设计和软件设计进行概述,并给出了系统框图,以及系统工作流程图。

第三章详细介绍了注塑模具残留物检测系统的预处理模块,包括光线补偿以及图像位置偏差校正。其中光线补偿即是对图像进行增强处理,本文介绍了两种算法,通过对比这两种算法选出适合本系统的算法应用于图像增强处理环节。

第四章在第三章的基础上,具体介绍了几种注塑模具残留物检测系统的实时检测算法,其中重点介绍了灰度共生矩阵,以及将其运用到本系统中。

第五章给出了系统的实现界面,体现了交互性的设计,并且给出了实验测试结果与分析,证明了该系统的可行性。

第六章对本文工作进行了总结和展望。分析了本文所实现的注塑模具残留物

检测系统的不足之处，并对系统的改进进行了展望。

第2章 模具残留物检测系统的需求分析和总体设计

本章首先对注塑模具残留物检测系统的功能需求进行分析,然后根据功能需求设计出系统框架。完整的注塑模具残留物检测系统应至少包含图像采集、图像预处理、残留物检测以及预警等基本模块。本章对各个模块的设计原理进行简要介绍,最后根据功能需求设计出系统的基本流程图。

2.1 注塑模具残留物检测系统的需求分析

针对人工检测注塑模具残留物效率低下、劳动强度高的情况,本文提出了一种基于机器视觉的注塑模具残留物检测系统,用于及时发现注塑过程中,模腔内存在残留物的情况。本系统是在 visual studio 平台上,通过调用 OpenCV 库函数实现对程序的开发。围绕注塑过程中环境光线不稳定,相机位置容易产生偏差等影响,我们不仅要考虑到图像的光线一致问题,还要考虑位置偏差容易引起检测误差的问题。由此列出如下几项功能需求:

- 1) 光线补偿 当受到室内光线不均匀的影响时,系统能够自动处理图像灰度值使得检测的图像灰度均衡;
- 2) 位置校正 当注塑成型过程中机器受到振动时,相机采集的图像会和模板图像存在位置偏差,从而影响检测质量,因此需要消除位置偏差,使得图像保证位置的一致性;
- 3) 残留物检测 经过一系列的预处理之后,对比采集图像与模板图像,利用图像算法判别出注塑机模腔内是否存在残留物。

2.2 注塑模具残留物检测系统的硬件选型设计

图像采集系统是整个检测系统的重心部分,一副高质量的图像是保证检测准确性的前提条件。而作为机器视觉系统中关键的组件,摄像机的选取尤为重要。同时,为了保证图像更加清晰,减少外界光线对图像质量的干扰,我们还要对光照进行研究,设计良好的照明系统,其中包括选择恰当的光源,还有对照明设计方式进行研究,从外界上首先保证物体亮度均匀,可以给之后的检测减少不便。

2.2.1 摄像机的选取

想要采集到质量高的图像，第一考虑要素是相机的选取，机器视觉系统中一般采用工业相机作为关键组件，选择好对的工业相机能够使得图像处理的结果更加准确。工业相机可以根据不同的分类特点分为很多种类，选取摄像机的时候需要注意以下几个方面：

1) 相机的分辨率

对于如何选择工业相机^[11]的分辨率，我们需要从系统的需求出发，系统的像素精度等于视场除以相机分辨率。假设现在需要对一幅图像进行残留物检测，设要求的检测精度为 1mm，现在我们拍摄的视场是 0.8*0.5m，需要拍摄的物体大小为 0.6*0.3m，则由计算公式 $(0.8*1000/1)*(0.6*1000/1)=480000$ 可以得出，相机的最低分辨率需要是 48 万像素左右，那根据需求我们可以选取 50 万像素的相机。这个像素的计算及相机的选取是在一个像素对应一个检测缺陷的情况下估计的，但是在实际应用中，若一个像素对应一个缺陷的话，是不太切合实际的，这样的话系统会极其不稳定，因为任何一个像素点的干扰便会被判定为一个缺陷。因此，在实际运用中，我们取缺陷的大小至少在 4 个像素点以上，也就是说选择工业相机的时候至少要在 48 万乘以 4 以上，即最低不能少于 20 万像素。这样就能提高检测的准确性和实用性。根据我们实际条件，我们选择了 500 万像素的工业相机。

2) 传感器类型

工业相机通常使用的传感器有 CCD (Charge Coupled Devices 电荷耦合器件) 和 CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor 互补金属氧化物半导体) ^[11]。

CCD 是一种用电荷作为媒介存储和传输的器件，是由贝尔实验室在 1970 年发明而成，它集成了光电转换及电荷存储、电荷转移、信号读取等特点，是典型的固体成像器件。对于 CCD 而言，载荷图像信息的媒介是电荷量，工作原理是，首先通过光电转换形成电荷包，然后通过脉冲驱动的作用转移放大然后输出图像信号^[12]。CCD 相机具有较高的量子效率，较高动态范围，较宽光谱响应，较高线性度低噪声等特点。由于 CCD 的图像高品质低噪声，技术也比较成熟，所以迄今为止还一直占据数码成像的主导地位。

CMOS 的摄像头出现的时间相对 CCD 而言晚一点，由于当时的工艺制造技术的条件限制，CMOS 的图像质量太差，因此当时 CCD 占据了统治地位。直到 1990 年，新工艺的发展，有了源像素传感器出现，CMOS 的图像质量得到了很大的提高，并且对比 CCD，CMOS 具有了低功耗、高集成以及成本低的特点，因此得到了开发者们的青睐，并且在超大规模 IC 中占有很大的优势。CMOS^[12]

载荷图像信息的媒介是电压量,将图像信号放大器和处理器、光敏元阵列以及各种电路集成在一个芯片上,集成性高,且可以随机访问局部的像素编程。

CCD和**CMOS**相比,相同的是它们将入射的光图像转换成像元内的电荷的方式是一样的,都是采用通过光敏像元阵列转换,区别就是转换为电压的方式和途径不同^[12]。若被拍摄的是运动的物体,那么我们需要处理的对象也是实时运动的物体,这种情况下,选择**CCD**的相机比较合适;但是如果对于物体运动得很慢的情况,在相机曝光时间范围内,由于物体运动的距离比较小,换算成像素大小的话只在一两个像素内,对于这种情况,我们可以选择**CMOS**相机;如果大于两个像素,那么就会使得拍摄出来的图像存在拖影现象,这样就不适合选择**CMOS**相机了。本系统所要拍摄的物体是处于静止的物体,因此**CMOS**相机就可以满足需求。

3) 相机帧率

帧率^[13]指摄像机捕捉和传输图像的速度。当系统要求测试速度高的时候,我们尤其需要重点考虑工业相机的帧率。在对帧率进行选择时,一般帧率大小是要大于等于测试速度的,以便能够在相机的曝光和传输时间内完成图像处理操作。

考虑到以上几种参数,由于本系统中需要拍摄的物体是周期性运动的物体,并且我们只需在注塑机工作过程中,模具开模那一小段静止的时间对图像进行采集即可,因此本系统选用大恒工业相机**DH-HV5051**系列**USB**接口的数字摄像机,它的高分辨率、高精度、高清晰度、低噪声的特点可以满足系统的需求,并且摄像机的接口是**USB2.0**的标准接口,方便相机的安装,并且使用起来也很简单方便。目前此款大恒相机已广泛运用于医疗、科研、安防以及工业检测领域。它的性能参数如下表:

表 2-1 大恒工业相机 DH-HV5051 系列性能参数表

性能	参数
分辨率	2592*1944
传感器类型	CMOS
光学尺寸	1/2.5inch
像素尺寸	2.2um*2.2um
数据接口	USB2.0标准接口
图像数据格式	Momo8(黑白)
同步方式	外触发,软触发

系统将摄像头固定在模具上方,通过网线将图像传输给处理器为酷睿**I5**的**PC**机。工业相机与模腔位置如下图 2-1 所示:

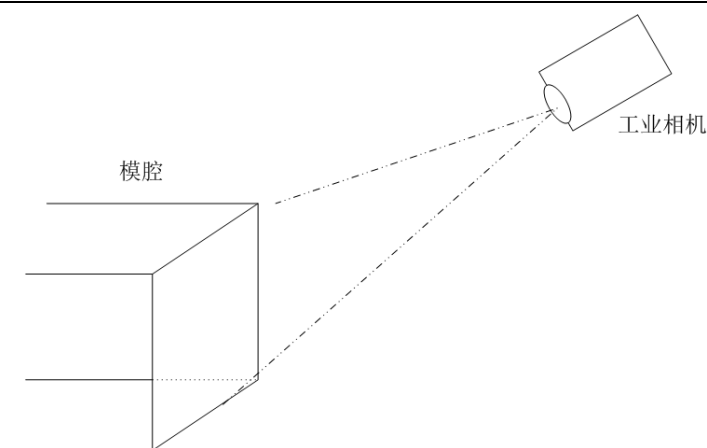


图 2-1 相机安装位置

2.2.2 镜头的选取

摄像机由摄像机和光学镜头组成，但是在机器视觉系统中，摄像机和光学镜头是分别配置的。光学镜头^[14]又称镜头，它的作用是光学成像。镜头是图像采集的第一步，它直接影响图像质量的优劣，影响系统的精度和图像处理算法的复杂程度。在选择镜头的时候，必须保证镜头的接口与相机的接口相互匹配。另外，还要注意需要保证相机的传感器不能超过镜头支持的传感器的尺寸，不然会导致视野不能完全显示，图像的效果会受到影响。

镜头的选择主要取决于焦距 f ，焦距是指图像一侧主面到图像一侧焦点的距离，目标在成像面上的大小由焦距决定。镜头的焦距大小主要由工作距离 WD 和镜头的放大倍数 $PMAG$ 决定的。

镜头焦距 f 如公式 (2-1) 所示：

$$f = \frac{WD \cdot PMAG}{1 + PMAG} \quad (2-1)$$

其中， WD 为工作距离，即是物镜距离被测物体之间的距离； $PMAG$ 为镜头的放大倍数，在放大镜中， $PMAG$ 大于 1，常用的镜头中 $PMAG$ 一般小于 1，。 $PMAG$ 和成像面的高度有如下关系：

$$PMAG = \frac{H_i}{H_0} \quad (2-2)$$

式中， H_i 为摄像头有效成像面的高度， H_0 为代表视野尺寸的高度。

综上，镜头的选择过程可以分为以下几个步骤：

- 测得镜头距离物体的距离 WD ，若是距离范围，取一个中间值作为 WD ；
- 根据式 (2-2) 计算图像的放大倍数；
- 根据上两个步骤计算所得的 WD 和 $PMAG$ ，代入公式 (2-1) 计算出焦距；
- 根据规定的焦距，重新核算 WD 。

在选择镜头的过程中,除了要考虑焦距,还要考虑镜头与摄像机接口的匹配、检测系统的工作环境、镜头价位等其他方面的因素。根据本系统视场范围以及注塑模具实际大小,我们选取焦距为 10mm 的光学镜头。

2.2.3 照明装置

照明对机器视觉系统的输入效果有着很大的影响,好的光源和照明方案对系统检测结果有着至关重要的作用。光源与照明反光的配合要求尽最大的可能突出物体的特征,因为在不同的光照条件下,显现的效果是不同的,我们要使得被测部分和不重要的部分尽可能的区别大一些,这样才能增加两者的对比度。

1. 光源选取设计

照明装置的设计首先是要对光源进行恰当的选取,保证能够提供足够的整体亮度。光源辐射出来的电光源主要是人眼视觉的可见光谱,波长大概为 380~780 纳米,光源的品种规格有很多,功率范围为 0.1~20 千瓦。照明光源^[14]的品种按发光形式可以分为三种,分别是热辐射光源、气体放电光源以及电致发光光源。根据零件的光学反射特性,对光源的选择作以下要求:

- 1)零件表面的缺陷种类有很多种,要求不能丢失任何一种缺陷信息,因此光源必须能够满足对不同缺陷的照明需求;
- 2)要求光源发出的光亮度合适,太亮或者太暗都会影响图像的质量;
- 3)要求光源性能稳定,具有良好的散射性能;
- 4)光源所发出的光线要均匀,保证被测区域得到均匀而稳定的照明;
- 5)在采集图像的过程中,要求光源没有闪频。

光源的种类很多,并且划分方式也有很多,例如根据形状可以分为环形、长条形、方形等;根据发光器件,可以分为卤素灯、LED 灯、氙灯等。目前采用 LED (Light Emitting Diode) 发光二极管作为光源成为了总体趋势,并且越来越普遍。LED 光源主要有红、蓝、绿和白四种颜色,另外还有红外、紫外等。而 LED 光源的特点是显而易见的,光效率高、响应速度比其他类型灯快、体积相对较小、发热相对较小、发光相对稳定、功耗相对较低、寿命相对较长,并且容易组成不同形状的光源^[15]。对比普通的白炽灯、螺旋节能灯、T5 三基色荧光灯,可以发现,普通白炽灯的光效为 12lm/W,寿命小于 2000 小时, T5 荧光灯则为 96lm/W,寿命大约为 1W 小时,螺旋节能灯的光效为 60lm/W,寿命小于 8000 小时,而直径为 5 毫米的白光 LED 光效可以超过 150lm/W,寿命超过 10W 个小时^[15]。有人还预测,未来的 LED 寿命上限将无穷大,因此,选择 LED 光源作为本系统的照明光源。

2. 照明技术设计

为了尽最大可能凸显被测物体的图像特征信息,除了需要良好的光源,还要有专业的照明技术的设计,利用物体和背景对入射光的反射特性的差异,从而强化被测物体和背景之间的差距。

(1) 物体的光反射特性

物体反射入射光一般有两种不同的反射特性。当一束光以一定的角度照射到物体表面上时,物体表面会吸收一部分光,同时反射和散射一部分光,前一种现象叫漫反射,后一种现象即是镜面反射。镜面反射的光线反射角等于入射角,镜面反射有时用途很大,需要设置恰当的光照角度来制造这个现象,有时又会造成不利影响,在大多数情况是需要避免镜面反射的。而漫反射中,光线照射到物体上,然后从各个方向漫射出去。本文研究的金属这样材质的物体非常容易发生镜面反射现象。要减少镜面反射,一般有两种方法,一种就是尽量让反射光线不要进入镜头,另外一种就是想办法使得反射进入到镜头里的光线分布均匀。

(2) 照明方式

为了避免上述所说的镜面反射现象,我们必须设计一个良好的照明方案。正向和背向照明是照明技术的主要两大类,其中每一类又包括了很多种情况。

正向照明^[16]指光源和摄像机在物体的同一侧,此照明方式在光学检测系统中使用的比较多。与背向照明相比,它可以提供包括二维平面信息和三维物体表面的部分特征信息在内的一些更丰富详细的物体的表面信息。这种方法主要应用于 PCB 基板走线、焊盘和过孔等表面特征的提取方面,因为在这些作业中的待加工对象排列比较整齐。正向照明可以分为正向漫反射照射和定向照射两大类,正向漫反射照射物体可以增加整个亮度,但是对增强物体的表面特征,效果不是很明显;而以一定方向的正向光束照射物体,可以使物体表面局部的照明亮度得到增强或者削弱,这样可以有效地加强物体的表面特征信息。第二类主要突显物镜的特征,第一类起着补充作用。正向照明不可避免的存在阴影问题,因此设计照明方式的时候必须考虑这个影响因素,若处理不当,会造成给图像的分析 and 辨识带来困难。一般采用轴线上正向照明或者漫射照明这两种方式防止产生阴影,轴线上的正向照明方式即是让照明光束在相机的光轴方向上,典型的就有圆环形光源照明,它的照明光束轴线与摄像机的光轴是一致的,并且是一种对称的照明方法。

背光照明^[16]是指相机不与光源置于同一侧,这种照明方式可以获得高对比度的图像,并且通过高对比度的二值图像,得到物体的轮廓剪影。例如对于检测 PCB 板,背光照明可以清晰地提取到基板过孔和焊盘的轮廓信息。背光照明方式适合检测物体的存在与否,以及适合二维非接触测量。当系统需要得到一个理想的剪影图像时,就必须使物体挡住光源发射的所有光线;否则,如果物体没有挡住所有光束,就可能会出现半阴影区,使得图像中物体的轮廓线不清晰。常见

的背光照明方法主要有点光源照明和漫射照明两大类。点光源可以产生较为理想的轮廓锐度，但是若是点光源与物体的距离发生了变化，那么相机上的图像的大小也会随之改变^[16]。因此，背光照射的光源我们通常采用准直光束，或者是会聚光束。用准直光束可以得到比较理想的二值图像，但是使用的时候需要注意，光束的口径不能大于待测物体的横截面。所以对于横截面比较大的物体来说准直光束照明方式并不适合。会聚光束既有平行光束的优点，又可弥补其缺点，可以通过使用菲涅尔透镜将物体成像于摄像机的像面上得以实现，这样的光束既趋近于平行，又有着较大的口径，易于实现对较大物体的后向照明。另一种是漫反射照明，漫反射照明的光源光线通过漫反射表面出射，具有朗伯辐射性质。漫射后向照明同样能得到对比度很强的物体的外形，但是对边缘的显示较为模糊；优点是方便实现，物体的放置位置不需要考虑有限光束的照明范围。漫射背光照明的背景光是均匀的，主要用于辨识物体的整体形状，而不侧重于对外围轮廓的准确度量。

本系统采用无角度的正向黑场照明方式，此照明方式适合检测表面凹凸不平的物体，可以显现表面缺陷，满足本系统需求。

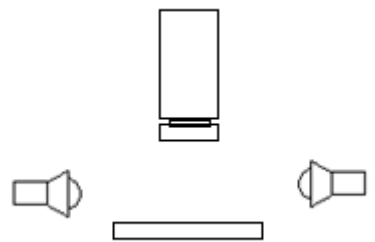


图 2-2 照明方式图

2.3 注塑模具残留物检测系统的软件算法设计

2.3.1 算法实现平台选型

(1) Microsoft Visual Studio平台

本系统是在 CPU为酷睿 I5，内存为 2GB，Windows 7操作系统的环境下，以 Microsoft Visual Studio为开发平台，调用 OpenCV库函数实现的。

Visual Studio一种基于 Windows平台应用程序的集成开发环境，是微软公司的开发工具包系列产品；VS 包含了整个软件生命周期中需要的大部分工具，是一个几乎接近完整的工具集，并且用其写出来的代码可以用于微软支持的所有平

台，具有很强的适用性^[17]。

(2) OpenCV库函数

OpenCV (Open Source Computer Vision Library) 是一种计算机视觉库，由 Intel 资助的开源项目，在 Linux、Windows 和 Mac OS 等操作系统上均可被调用；OpenCV 它轻量级并且效率高，是由少量 C++ 类和一系列 C 函数构成，同时提供了多种语言例如 Python、MATLAB、Ruby 等的接口，还提供了图像处理和计算机视觉领域中的很多通用的算法^[18]。

OpenCV 的优势在于：第一 OpenCV 具有精简、资源占用空间少、功能集中和安全性能好等特点；第二它的函数功能很丰富，图像、矩阵运算能力很强大，既包含序列、数组、矩阵等基本结构，还包含了差分方程求解、傅里叶分析、积分运算等高级数学计算函数，以及一些高级视觉函数，例如图像处理操作、摄像机校准、三维重建函数等；第三它具有平台无关性^[18]。基于 OpenCV 开发的程序可以在其所支持的平台之间直接相互移植；第四是程序运行具有实时性，代码经过调试后，编译链接，转换成二进制的可执行文件，执行起来运算速度更快，完全满足实时运算的需求^[18]。由此可见，作为一个基本的图像处理、计算机视觉和模式识别的开源项目，OpenCV^[19]可以运用到很多领域，是可以作为二次开发的理想工具。

2.3.2 系统软件框图设计

本系统旨在设计一种注塑模具的残留物检测系统，最终目的是要在实时采集到的图像中检测是否有残留物的存在。之前对于工业流水线上的缺陷检测已有很多研究者利用计算机视觉技术来实现，其中运用最多的算法是图像差分法和图像匹配法。图像差分法是将实时拍摄的图像与模板图像进行减差运算，事先经过多次试验选定一个阈值，减差的结果若大于这个阈值，则表示两幅图像差异较大，从而判定此图像不合格，存在残留物，若小于等于这个阈值，则判定为合格。而图像匹配算法也是利用实时采集的图像与模板图像的对比，算出两幅图像的匹配指数，若大于阈值，则存在残留物，否则为合格。上述的方法都存在着一定的问题：首先，由于每次采集图像时光照会有差异，那么采集的图像的亮度和模板图像无法保持一致，这样就会给检测带来一定的影响，容易造成误判；另外，注塑机工作过程中，开模关模的时候会有振动，容易影响照相机的摆放位置，并且开模的停留位置也可能有一些小的偏差，这些都会给图像采集带来影响，导致采集的图像与模板图像无法保证完全一致，也会造成误判。

考虑到这两点的影响，本系统首先对采集图像进行了光线补偿以及位置偏差校正，然后利用受光强影响较小的灰度共生矩阵算法实现了采集图像与模板图像

的对比。

整个的系统框图设计如下：

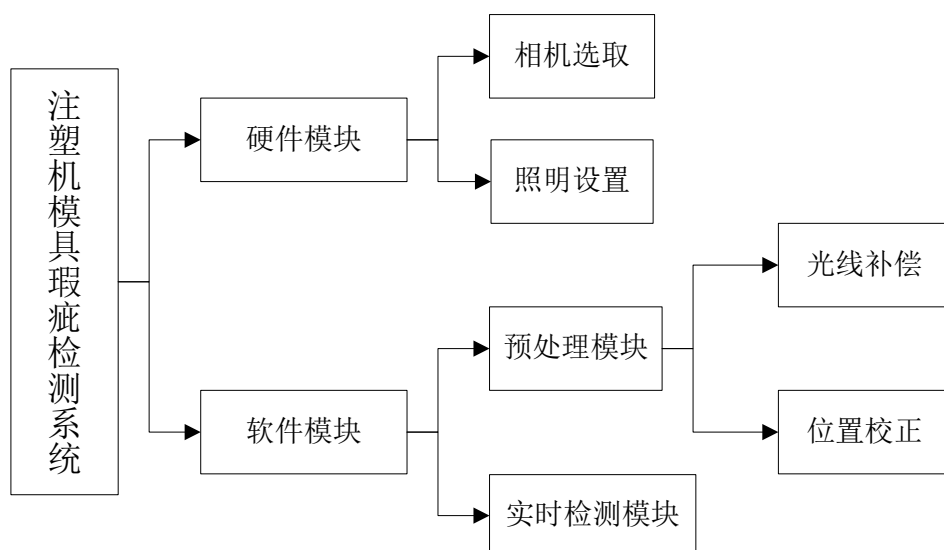


图 2-3 系统框图

系统主要包括硬件设计和软件设计。硬件设计包括摄像机、镜头的选取、照明装置的设置。软件设计主要包括两大部分，分别是图像的预处理部分以及实时检测部分，其中预处理部分主要包括光线补偿、位置偏差校正等。

软件设计中，光线补偿部分，我们利用直方图使得图像灰度值分布均匀；对于位置偏差校正，首先因为我们只要观察模具区域，对于其他区域可以忽略，所以可以利用模板匹配算法找出我们感兴趣区域，然后根据检测出来的感兴趣区域来提取出 ROI 区域，这样就能使得两幅图像在位置上保持一致。

最后是残留物检测部分，我们利用图像都有独特的纹理这一特性，采用专门用来描述图像纹理特性的灰度共生矩阵算法，对采集图像和模板图像进行纹理分析，通过分析得到图像的纹理特征参数，计算出两幅图像的相似度，从而判断是否是含有残留物的图像。

整个系统流程图如下：

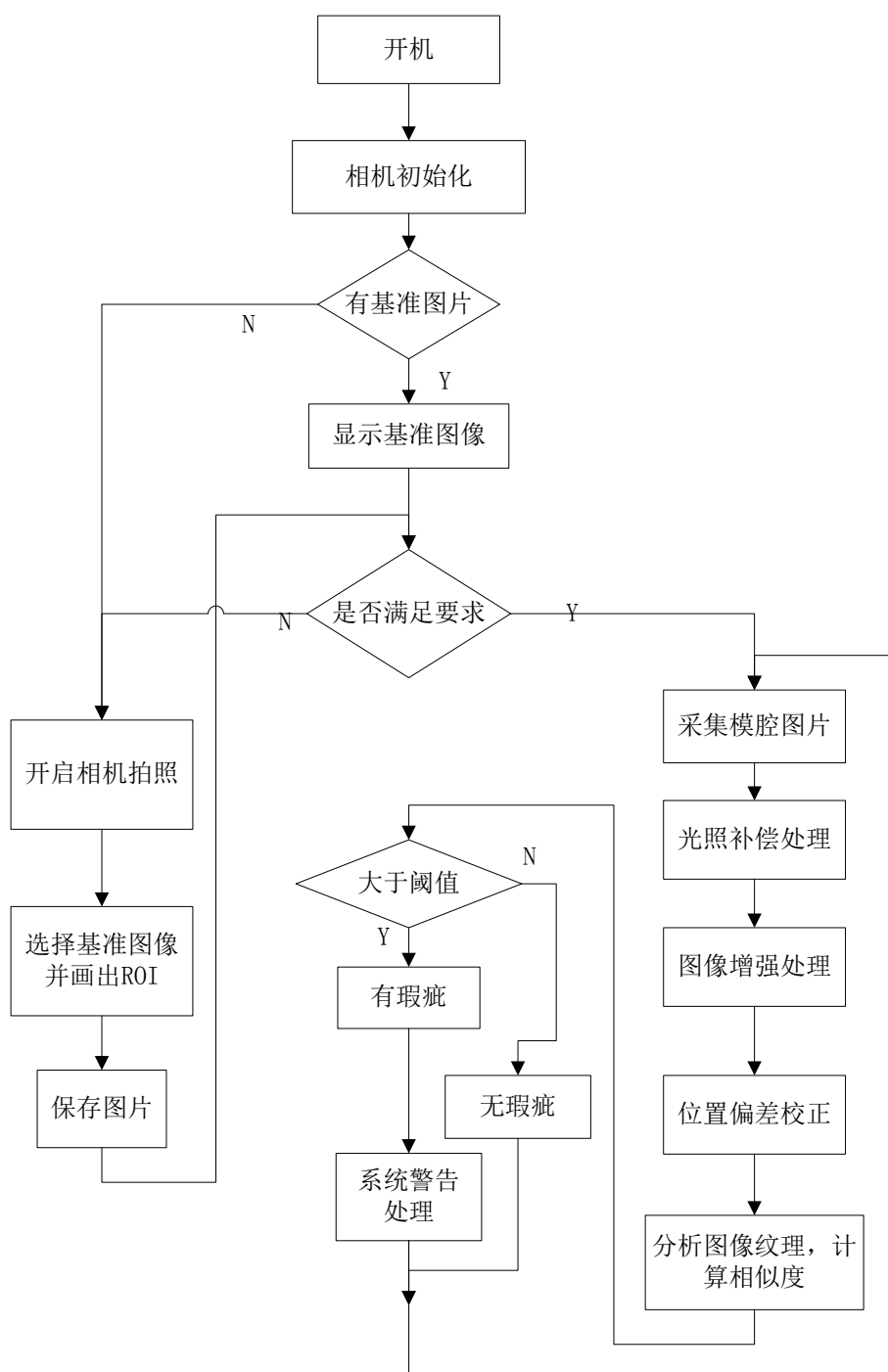


图 2-4 系统流程图

当开机后, 首先初始化相机, 显示基准图片, 若没有基准图片或者基准图片不符合要求, 则对现无残留物的模腔进行图片采集, 对采集的图片预处理以及划定 ROI 区域, 保存作为基准图片; 若有基准图片, 则注塑机开始工作, 同时检测系统开始运行; 当注塑机处于开模阶段, 系统拍摄一幅模腔图片, 利用注塑机进行下一轮工作直至再次开模的时间, 我们足以完成检测工作。首先是对采集到的图像进行光线补偿以及图像增强等预处理操作, 然后对图像进行位置偏差矫正,

最后对截取的感兴趣区域进行纹理分析，相似度比较，将得出的相似度的值与阈值比较，小于阈值则存在残留物，系统自动将残留物部分标记出来，并报警；大于则合格没有问题，继续下一轮的循环检测。

2.4 本章小结

本章首先对注塑模具残留物检测进行了需求分析，列出了三项主要的功能需求，进而根据需求分析进行了系统的总体框图设计，包括硬件设计和软件设计。硬件设计中介绍了相机的选取和相机位置的摆放研究；软件设计大致根据功能需求介绍了相应的实现模块。然后介绍了系统的工作过程，并给出了系统流程图。



第3章 模具残留物检测系统的预处理算法

在相机采集到模腔图片之后，系统首先需要对所采集的图像进行初步的预处理。因为在实际环境中，由于外界光线的变化，采集到的图像的亮度无法与模板图像保持一致；并且由于注塑环境的特殊，粉尘颗粒往往会造成图像出现很多噪点；另外，在注塑机工作过程中，模具的开模闭模的动作，会让固定上方的相机位置发生偏移，这样拍摄出来的图像无法保持位置的一致性。为了能够准确的判别残留物是否存在，我们必须避免不必要的误差，对采集图像进行预处理，使检测图像在亮度和位置上与模板图像都尽量接近甚至一致，增加随后检测的准确性。

3.1 图像的光线补偿

在图像的采集过程中，由于外界环境的不稳定，不可避免地会使得图像的质量受到影响。例如在光照条件不同的情况下，图像的曝光度差异会变大；而注塑车间的特殊环境，也会让图像容易收到粉尘颗粒的影响而出现噪点。因此，为了得到高质量的图像，确保最后检测的准确性，我们需要对图像进行图像增强等预处理操作，图像增强处理能够使得图像整体或者局部特征能够得到有效的改善，以便满足后期处理和分析的需要。

3.1.1 直方图方法

直方图是图像处理中最重要的基本概念之一，是多种空间域处理技术的基础，能够有效的用于图像的增强处理。

1. 图像灰度均衡化

为了防止光照的不均匀影响到检测质量，我们首先对图像进行灰度均衡化处理。直方图均衡化即是通过累计分布函数变换的方法对图像的灰度进行调整，从而增强对比度，改善图像的质量。直方图均衡化^[20]的基本原理是，当图像中的所有灰度级出现一个相对均匀的分布时，图像所包含的信息量最大。表达式如下：

$$s = T(r) = P_f(r) = \int_0^r P_f(r) dv \quad (3-1)$$

直方图均衡化^[21]即是将原图像的直方图根据此变换函数进行变换，经过修正之后，灰度直方图变得分布均匀，然后再根据修正后的直方图，对原来的图像灰

度进行灰度调整。当图像的灰度直方图是均匀分布的时候，这时候的图像包含的信息量是最大的，图像看起来就变得清晰很多，特征也就更加明显。

对于亮度所占比例分布不均匀的统计直方图，如果将在直方图统计中所占比例高的像素和所占比例低的像素之间的亮度差增大，那么图像的显示效果将得以提高。因此，直方图增强^[22]的方法总结起来就是对图像进行非线性拉伸，重新对图像的像素值进行分配，使图像在一定的灰度范围内，像素数分布均匀。

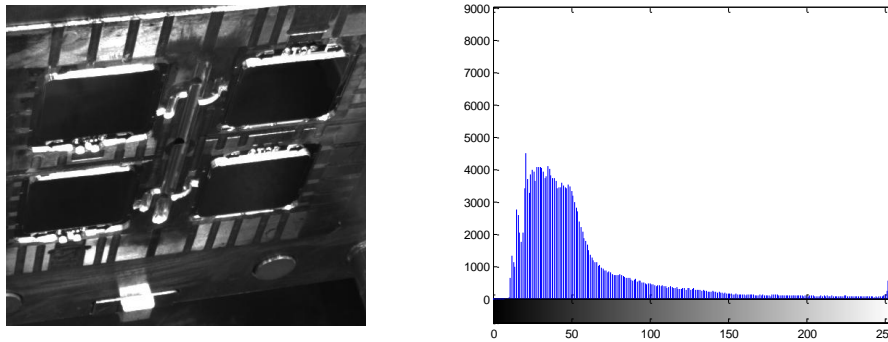


图 3-1 模具图像以及灰度直方图

对于灰度直方图的计算，在离散形式下，有如下公式成立：

$$p(k) = \frac{n_k}{n}, k = 0, 1, \dots, L-1 \quad (3-2)$$

公式中： n_k 、 n 都为像素个数， n_k 是指图像中出现 S_k 级灰度的像素数， n 是图像的总像素数，而 $\frac{n_k}{n}$ 即为频数。

计算累积直方图各项：

$$t_k = \sum_{i=0}^k \frac{n_i}{n} = \sum_{i=0}^k p(i), k = 0, 1, \dots, L-1 \quad (3-3)$$

取整扩展：

$$t_k = \text{int}[(L-1)t_k + 0.5] \quad (3-4)$$

映射对应关系：

$$k \Rightarrow t_k \quad (3-5)$$

直方图均衡化的算法步骤如下：

- 分别列出原图像的灰度级和处理后的图像的灰度级： $l, j=0, 1, \dots, L-1$ ，其中 L 是灰度级的个数；
- 计算并且统计出原始图像每个灰度级的像素个数 n_i ；

- 计算原始图像直方图： $p(i) = \frac{n_i}{N}$ ，N 为原始图像像素总个数； (3-6)

- 计算累积直方图： $p_j = \sum_{k=0}^j p(k)$ ； (3-7)

- 利用如下的灰度变换函数计算出变换后的灰度值，并四舍五入：

$$j = \text{INT}[(L-1)p_j + 0.5] \quad (3-8)$$

- 确定灰度变换关系 $i \rightarrow j$ ，根据灰度变换关系，将原始图像的灰度值

$$f(m,n)=i \text{ 修正为 } g(m,n)=j；$$

- 统计变换之后各个灰度级的像素个数 n_j ；

- 计算变换后图像的直方图： $p(j) = \frac{n_j}{N}$ (3-9)

对一幅受光线影响较严重的图像（如图 3-1）利用直方图均衡化做图像增强处理，处理之后的效果图如图 3-2 所示，从图像的效果来看，均衡化处理后的图像变得明亮，图像信息变得更加清晰；从直方图来看，处理后灰度范围扩展了，分布比原来的均匀。

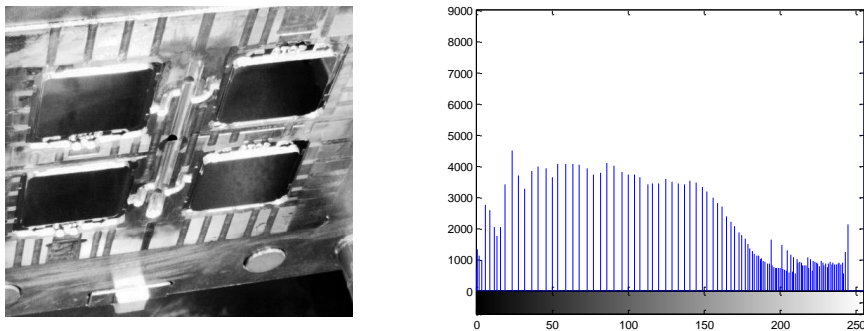
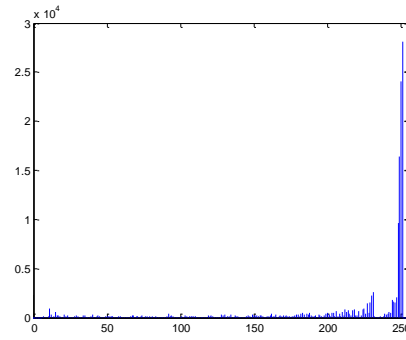


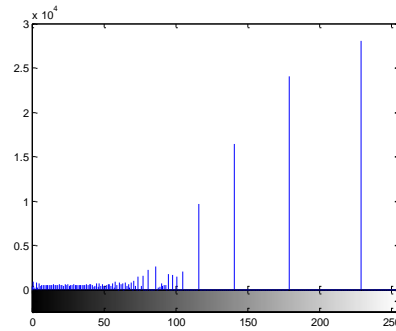
图 3-2 灰度均衡化后效果图

2. 图像直方图匹配

直方图均衡化不需要设置任何参数，能够自动确定它的变换函数，对于使图像实现自动均衡的效果作用很明显。但是它的增强效果其实是不易于控制的，如果图像中某些灰度级占了很大部分比例，特别是较明亮或者黑暗的地方，这时候对图像直方图均衡化，得出来的图像效果就会比较差，很可能会出现过于增强的现象。如下图 3-3 所示，



(a) 直方图均衡化前图像与其直方图



(b) 直方图均衡化后图像与其直方图

图 3-3 直方图均衡化

在实际应用中，我们经常希望能够根据我们的期望，有目的地增强某个灰度区间的图像，能够使图像的亮度或者灰度直方图与期望的相匹配甚至一致，直方图规定化^{[23][24]}的图像增强技术就是针对这一类的要求提出来的，它是在直方图均衡化基础上作出的改进，在运用均衡化原理的基础上，建立原始图像和期望图像之间关系，有选择性的控制改进直方图，使得原图像的直方图变成预先规定的形状，可以实现交互作用。

对于一副图像，假设 r, z, u, v 为随机变量， r 和 z 分别表示输入和输出图像的灰度级， $P_r(r)$ 和 $P_z(z)$ 分别表示原图像和目标图像的概率密度函数，令 s 为随机变量，并且

$$s = T(r) = \int_0^r P_r(w)dw \quad (3-10)$$

w 为积分变量。可发现，3-10 为直方图均衡化的连续形式的表达式，设定义随机变量 z ，并且

$$G(z) = \int_0^z P_z(t)dt = s \quad (3-11)$$

T 为积分变量。由上式可得 $T(r) = G(z)$ ，所以必须有

$$z = G^{-1}(s) = G^{-1}[T(r)] \quad (3-12)$$

即为所要求的概率密度函数。

直方图规定化的过程分为三个步骤：

- (1) 将原图像灰度均衡化；
- (2) 根据需求设定图像的直方图，并计算出能够使规定的直方图均衡化的变换；
- (3) 反转步骤一的变换，将原图像的直方图对应映射到规定的直方图上；

步骤三中提到的映射^[25]，是一种规则，使用这种映射规则，从而将原图像的直方图变换成为目标图像的直方图，映射的方法常见的有单映射规则（Single mapping law, SML），组映射规则，区间映射规则以及逐次接近组映射规则。

本文采用的映射规则为单映射规则。先找到能使下式最小的 k 和 l ：

$$\left| \sum_{i=0}^k P_s(s_i) - \sum_{j=0}^i P_u(u_j) \right| \quad (3-13)$$

$k = 0, 1, \dots, M-1$, $i = 0, 1, \dots, N-1$

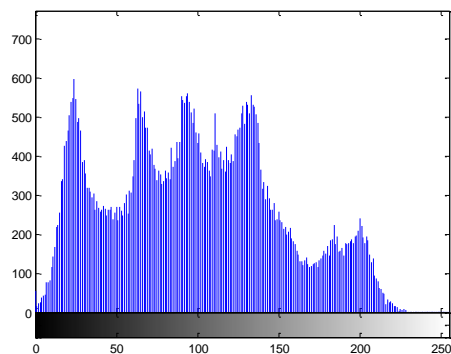
接着将 $p_s(s_i)$ 对应到 $p_u(u_j)$ 中去。

组映射规则：设有 1 个整数函数 $I(l)$, $l = 0, 1, \dots, N-1$, 满足 $0 \leq I(0) \leq \dots \leq I(l) \leq \dots \leq I(N-1) \leq M-1$ 。先确定能使下式达到最小的 $I(l)$ ：

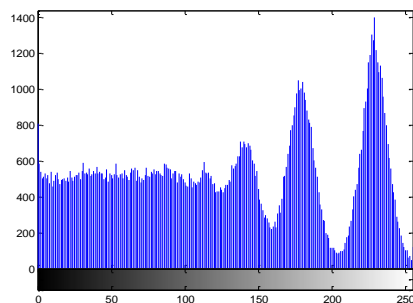
$$\left| \sum_{i=0}^{I(l)} P_s(s_i) - \sum_{j=0}^i P_u(u_j) \right| \quad (3-14)$$

如果 $l = 0$ ，则将其 i 从 0 到 $I(0)$ 的 $p_s(s_i)$ 对应到 $p_u(u_0)$ 去；如果 $l \geq 1$ ，则将其 i 从 $I(l-1)+1$ 到 $I(l)$ 的 $p_s(s_i)$ 都对应到 $p_u(u_j)$ 去^[25]。

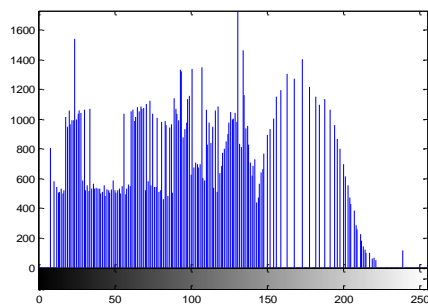
如下图所示，图 3-4 中，图(c)是对图 (b)根据图(a)进行直方图规定化操作后的图像以及它们的各自的直方图。由图像的效果可见，指定直方图是对原始直方图的恰当更改，这正是在图像增强而获得重大改进所要求的。规定化之后的直方图最大的特点，就是接近了指定图像的直方图形状，从而拥有了我们想要的灰度分布效果。



(a) 模板图像以及直方图



(b) 原图像以及直方图



(c) 规定化效果图以及直方图

图 3-4 直方图规定化

将此算法运用到本文的模具检测的预处理当中，效果图如下。可以发现按照我们指定的图像的直方图，规定化后的图像灰度没有发生很大的变化，而是调整为我们所希望的灰度分布，图像信息清晰，与原图像灰度效果接近一致。

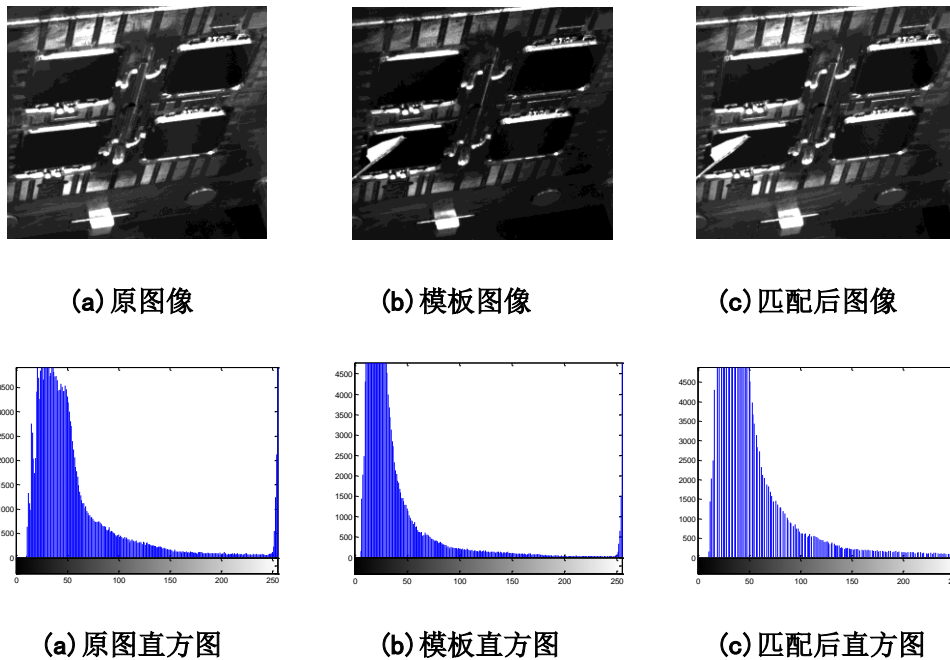


图 3-5 模具图像直方图规范化

3.1.2 平滑处理

在采集图像的过程中，图像信息经常会受到噪声源的干扰，如敏感元器件的内部噪声、颗粒噪声、热噪声、传输信道的干扰噪声、抖动噪声、量化噪声等，都会对图像的质量有所影响。这些噪声在图像上反映效果为使得原本均匀的连续的灰度发生了突变，从而形成了一些虚假的边缘轮廓，使得图像上出现了一些孤立的像素点，这些像素点的灰度值与它的近邻像素有显著不同，噪声的特点是随机的、离散的。显然这些噪声会使得图像的质量降低，对我们后续的处理以及检测识别会造成干扰，因此为了抑制甚至消除噪声，改善图像的质量，我们对图像进行平滑滤波^[26]操作。图像处理中经常用到的空域图像增强算法主要有均值滤波，中值滤波，拉普拉斯变换等。均值滤波就是将图像中的每个像素值用其所在的邻域内所有像素的平均值来代替（如图 3-6 所示）。而中值滤波，顾名思义，就是将图像中的每个像素值用它所在的邻域内所有像素值排序后的中间值来代替（如图 3-7 所示）。

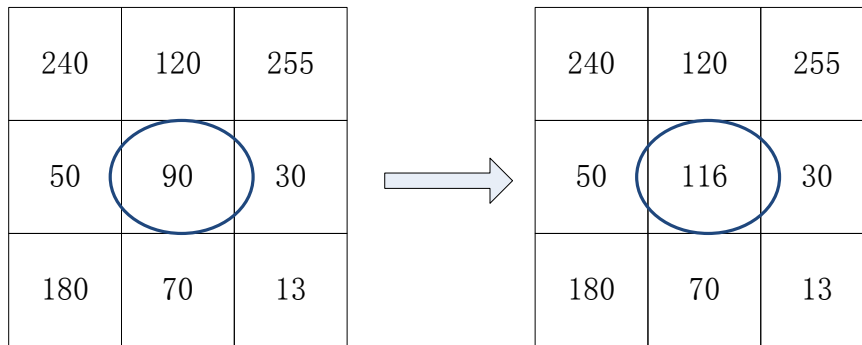


图 3-6 3*3 邻域均值滤波示意图

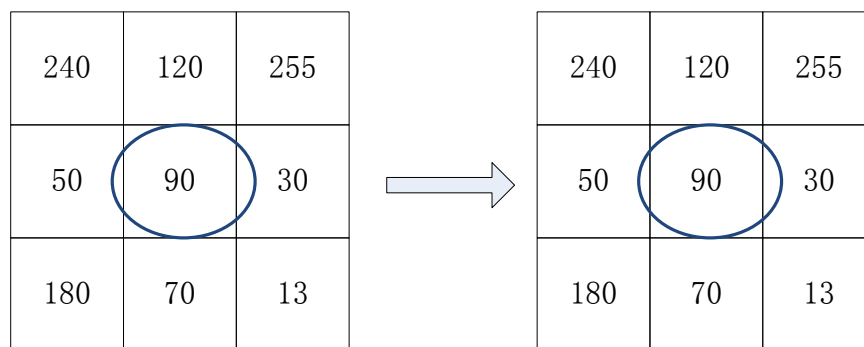


图 3-7 3*3 中值滤波示意图

这里我们使用中值滤波来实现平滑处理功能。中值滤波^[27] (MedianFilter) 是一种基于排序统计算法理论,能够有效抑制噪声的非线性信号处理技术。中值滤波的概念最早是在 1971 是由 J.w.Tukey 在进行实践序列分析的时候提出来的,后来被人们用于图像处理领域中。中值滤波的特点很明显,运算过程简单,运算速度快,去噪能力好,与小尺寸的线性平滑滤波器比较,模糊程度要低很多,因此,中值滤波运用广泛普遍^[27]。并且尤其是对于脉冲噪声 (也称椒盐噪声),滤除效果更好。除此之外,中值滤波还有自适应化的特点,滤波性能可以得到进一步的提高。因此中值滤波非常适用线性滤波器无法处理的图像滤波问题。中值滤波器的原理很简单,首先设计一个滑动窗口^[27]作为模板,让模板在图像中滑动遍历图像,然后对滑动窗口内的所有像素灰度值进行排序,确定中值,用中值代替窗口内中心像素点的灰度值,当滑动窗口自左向右、自上向下地遍历完图像的所有区域之后,就完成了图像的滤波过程。以 3-14 所示的大小为 5*5 的滑动窗口为例,3-15 为滑动窗口在图像中的滑动时覆盖的像素区域,x0 为中心像素点,用滑动窗口系数乘以像素区域中的对应像素点的灰度值,总共可以得到 25 个值,对这些值使用快速排序算法排序,第 13 个数则为中值,把中值作为灰度值赋给中心像素点。在实际操作中,模板可以选 3*3, 5*5, 7*7, 9*9 等奇数对,模板系数一般取 1。中值滤波的处理过程可以用下式(3-13)表达:



$$y_{ij} = \text{med}\{x_{ij}\} \quad (3-15)$$

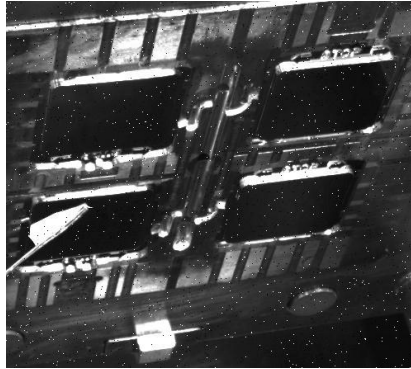
其中， x_{ij} 为像素区域内的各像素点的灰度值， y_{ij} 为灰度中值，即对窗口中像素排序后的灰度中间值。

$$\begin{bmatrix} k_{-8} & k_{-7} & k_{-6} & k_{-5} & k_{-4} \\ k_{-3} & k_{-2} & k_{-1} & k_0 & k_1 \\ k_2 & k_3 & k_4 & k_5 & k_6 \\ k_7 & k_8 & k_9 & k_{10} & k_{11} \\ k_{12} & k_{13} & k_{14} & k_{15} & k_{16} \end{bmatrix} \quad (3-16)$$

$$\begin{bmatrix} x_{-8} & x_{-7} & x_{-6} & x_{-5} & x_{-4} \\ x_{-3} & x_{-2} & x_{-1} & x_0 & x_1 \\ x_2 & x_3 & x_4 & x_5 & x_6 \\ x_7 & x_8 & x_9 & x_{10} & x_{11} \\ x_{12} & x_{13} & x_{14} & x_{15} & x_{16} \end{bmatrix} \quad (3-17)$$

中值滤波器算法设计的主要目的，就是使图像中的灰度值与周围像素点的灰度值相差过大的点经过中值滤波处理之后，能够更加接近它的邻近值，从而达到衰减随机噪声尤其是脉冲噪声的目的。在这种滤波机制下，中值滤波器在应用中反应出了良好的应用特性，主要体现在中值滤波具有稳定的频谱特性，输入信号的频谱会影响中值滤波的频率响应，但是中值滤波频谱特性起伏不大，也就是说，经过中值滤波后的信号频谱特性几乎没有变化；中值滤波还具有对某些信号的不变性，当输入信号为某些特定信号时，中值滤波的输出信号与输入信号保持一致，因此，相对于一般的线性滤波器而言，中值滤波可以更好地保护图像；另外，中值滤波还能有效地滤除脉冲干扰。

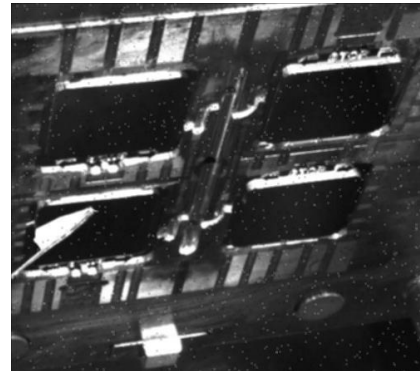
为了突出滤波效果，我们对采集图像人为添加椒盐噪声，然后分别利用均值滤波和中值滤波方法进行平滑处理，效果如下图：



(a) 噪声图像



(b) 3*3 中值滤波



(c) 3*3 均值滤波



(d) 5*5 中值滤波



(e) 7*7 中值滤波

图 3-8 中值滤波效果图

由滤波效果图 (b) 和 (c) 可以看出, 取 3×3 的模板, 中值滤波可以几乎完全地滤除噪点, 而均值滤波效果图上还存在较明显的噪点, 因此结果表明, 对于椒盐噪声, 中值滤波效果明显要优于均值滤波。我们取不同的模板对噪声图像进

行滤波，可以发现，模板越大，滤波能力越强，处理后的图像越模糊，从而被忽略的细节部分就越多，图像特征会被削弱。综上，我们选用 5×5 的模板进行中值滤波比较合适，既能去除噪点，同时又能够较完整地保留图像的纹理特征。

3.1.3 图像的锐化

图像锐化^[28]处理的主要目的在于使模糊的图像变得清晰，从而能够更加突出图像中的细节。由于图像在经过平滑处理后，经常会出现图像的轮廓不清晰，边缘模糊的现象，对此，可以对图像进行锐化处理，让图像纹理变得清晰。因此锐化处理即是为了凸显出图像中感兴趣的细节部分的图像信息。锐化处理主要有微分法和高通滤波法。其中微分法比较适合在硬件上实现，属于空域处理算法，经常用到的有拉普拉斯算法和梯度算法。这里我们采用拉普拉斯算法。

1、工作原理

拉普拉斯算子^[28]是最简单的各向同性微分算子，拉普拉斯变换是一个具有旋转不变性线性操作。在图像处理过程中，由于光线的漫反射，图像会有模糊现象，拉普拉斯算子对于改善这种现象效果尤其显著。其原理是，在摄像记录图像的过程当中，光点将光漫反射到其周围区域，这个过程满足如下的扩散方程^[28]:

$$\frac{\partial f}{\partial t} = k \nabla^2 f \quad (3-18)$$

在二维情况下，拉普拉斯算子让不同方向的轮廓在垂直方向上产生与一维情况下相似的锐化效应，表达式为:

$$\nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \quad (3-19)$$

对于离散函数 $f(i, j)$ ，拉氏算子定义为

$$\nabla^2 f(i, j) = \nabla_x^2 f(i, j) + \nabla_y^2 f(i, j) \quad (3-20)$$

其中



$$\begin{aligned}
 & \nabla_x^2 f(i, j) \\
 &= \nabla_x [\nabla_x f(i, j)] \\
 &= \nabla_x [f(i+1, j) - f(i-1, j)] \\
 &= \nabla_x f(i+1, j) - \nabla_x f(i-1, j) \\
 &= f(i+1, j) - f(i, j) - f(i, j) + f(i-1, j) \\
 &= f(i+1, j) + f(i-1, j) - 2f(i, j)
 \end{aligned} \tag{3-21}$$

$$\nabla_y f(i, j) = f(i, j) - f(i, j-1)$$

类似的有

$$\nabla_y^2 f(i, j) = f(i, j+1) + f(i, j-1) - 2f(i, j) \tag{3-22}$$

所以有

$$\nabla^2 f(i, j) = f(i+1, j) + f(i-1, j) + f(i, j+1) + f(i, j-1) - 4f(i, j) \tag{3-23}$$

可用模版 $\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$ 来实现。

它给出了 90° 同性的结果，这里我们通过在式 3-21 中加入两项，即是在两个对角线上各加一个，用不同系数将对角线方向加入到离散的拉普拉斯算子的定义中。其中每个新添加的形式都与式 (3-21) (3-22) 类似。又因为每个对角线方向上的项都还包含一个 $-2f(i, j)$ ，所以现在算出不同方向的项，总共应该减去 $-8f(i, j)$ ，执行这个定义的掩膜为 $\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -8 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$ ，它是对 45° 增幅的结果是各向同性的。

的。 $\begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$ 和 $\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$ 两个掩膜也是以拉普拉斯变换定义为基础的，只是系数的符号相反而已。正是这样，他们产生了等效的结果。不过，当滤波之后的图像与其他图像相运算时，必须考虑符号的影响。

拉普拉斯作为一种微分算子，在应用过程中，强调的是使图像灰度的突变得增强，如此就会使得图像中的突变点和浅灰色边界叠加到暗色背景中，为了复原背景信息，可以将原图像与拉普拉斯图像叠加起来，从而保护拉普拉斯锐化效果。若是定义中的中心系数有负数，那么则是将原图像与拉普拉斯图像相减，这样才能得到锐化后的结果图。

所以通过拉普拉斯算子使得图像得到增强的基本方法可以表示为下式：

$$G(i, j) = \begin{cases} f(i, j) + \nabla^2 f(i, j) & \text{如果拉普拉斯模版中心系数为正} \\ f(i, j) - \nabla^2 f(i, j) & \text{如果拉普拉斯模版中心系数为负} \end{cases} \quad (3-24)$$

2、实验结果及分析

对下图进行拉普拉斯锐化处理，结果图 3-9 如下。图（b）显示了用第二个掩膜对图像滤波后的结果图，而图（c）显示了用式（3-22）处理得到的结果。从图片可看出，图像的锐化效果还是很明显的，在保留了图像背景色调的同时，增强了图像的细节特征，使得图像纹理更加清晰。



(a) 原图像



(b) 拉普拉斯滤波后的图像



(c) 增强后的图像

图 3-9 拉普拉斯滤波效果图

3.2 位置偏差矫正

由于测试中，有可能因为机器振动产生相机的位置偏差。本文利用图像匹配

算法,找出检测图中要检测的区域作为接下来要处理的测试图像。这样比对的图像就具有了一致性,解决了位置偏差的问题。

3.2.1 ROI 区域模板匹配

模板匹配,简单而言就是根据预先设定的一副模板图像,在检测图像上找出和模板图像最相似的图像区域。如下图 3-10 所示,假设蓝色大图为待测图片,设黄色小方块图像为模板图像,模板图像在待测图像上移动,每次在横向或是纵向上移动一个像素,并作一次比较计算模板图像与当前覆盖区域的相似度的值,由此,横向比较 $W-w+1$ 次,纵向比较 $H-h+1$ 次,就可以得到一个 $(W-w+1) \times (H-h+1)$ 维的矩阵。模板匹配^[29]函数将计算得出来的相似度的结果数值存入到映射图像 **result** 当中,因而图像 **result** 的大小为 $(W-w+1) \times (H-h+1)$,并且图中点的值即是每次相似度比较的结果值。最后通过函数求值找出矩阵中相似度最大值,从而找出感兴趣区域。

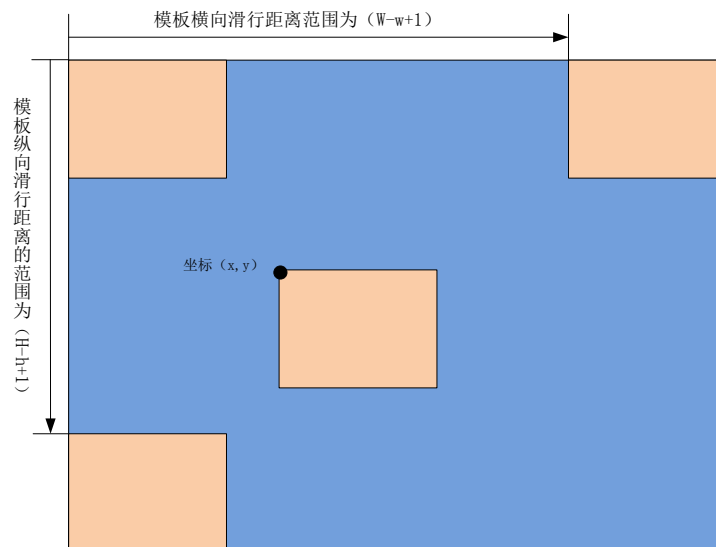


图 3-10 模板匹配示意图

模板匹配的方法可分为基于灰度的模板匹配和基于特征的模板匹配方法。

基于灰度的模板匹配方法的基本思想是一种对共轭图像逐像元以一定大小的窗口的灰度阵列,按某种或几种相似性度量顺次进行搜索匹配的方法^[29]。灰度匹配是利用一些测度极值度量待分类的样本与模板间的相似性,来辨别两幅图像的相似性,常用到的有统计平均值、相关函数、方差等。灰度的模板匹配^[29]方法又有平方差匹配法,归一化平方差匹配法,相关匹配法,归一化相关匹配法以及相关系数匹配法。

本文采用归一化相关匹配算法。一般的模板匹配算法采用标准相关匹配作为



相似度测量的标准。

$$D(i, j) = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N [S^{ij}(m, n) - T(m, n)]^2 \quad (3-25)$$

$S^{ij}(m, n)$ 为当前被模板图像 T 覆盖的区域。右侧展开后：

$$\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N [S^{ij}(m, n)]^2 - 2 \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N S^{ij}(m, n) \times T(m, n) + \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N [T(m, n)]^2 \quad (3-26)$$

其中，第二项是模板与被覆盖子图的互相关，将其归一化后公式如下：

$$R(i, j) = \frac{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N S^{ij}(m, n) \times T(m, n)}{\sqrt{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N [T(m, n)]^2} \sqrt{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N [S^{ij}(m, n)]^2}} \quad (3-27)$$

在(3-25)式中， $R(i, j)$ 值越接近 1，点 (i, j) 与模板的相似程度越高。

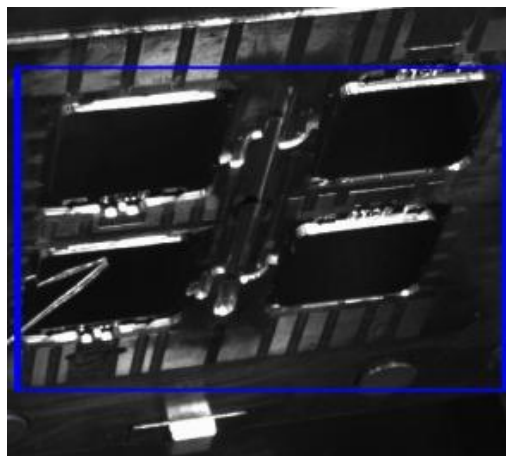
我们对预处理完的图像进行模板匹配操作，可以得出我们所要检测的 ROI 区域如下图所示。



(a) 模板图



(b) 测试图



(c) 检测结果

图 3-11 模板匹配

3.2.2 ROI 区域截取

感兴趣区域（Regions of Interest 简称 ROI^[30]，即是整幅图像中最有代表性的区域，可以代表整幅图像体现图像的信息特征，也是用户最关注的区域。如果能够提取出这个区域对他单独进行处理，则将会很大程度上增强图像处理的效果，提高图像分析的效率。

提取感兴趣区域的方法很多，可以根据对比度、形状、位置、亮度甚至颜色来提取感兴趣区域。而对于本文，可以不必太复杂，我们可以利用上一节经过模板匹配找出的区域位置，记下 ROI 矩形的四个顶点坐标，然后根据四个顶点坐标划定我们要截取的矩形，利用 OpenCV 里的一个函数将其截取保存下来。结果如下图所示：



图 3-12 ROI 区域

3.3 本章小结

本章主要对所检测的图像进行了相关的预处理工作，对图像进行了光线补偿操作，以及位置偏差矫正操作。利用直方图匹配、中值滤波以及拉普拉斯算法，解决了图像亮度不均匀，特征不明显的问题，利用模板匹配算法解决了位置偏差问题，让检测图像与模板图像保持一致，从而提高了检测的准确性。



第4章 模具残留物检测系统的实时检测算法

采集图像经过严格的预处理之后，下面就进入了本系统的核心环节：残留物的实时检测。在实时检测部分，我们的主要思路是根据比较检测图像与模板图像的相似度，从而判断检测图像是否为存在残留物的模腔图像。比较图像相似度的方法很多，本文主要介绍三种方法进行比较，通过比较结果选择最优算法用于本系统中。

4.1 基于直方图相似度比较的检测算法

直方图被广泛地应用于计算机视觉的应用，是计算机视觉经典的工具之一。直方图相似度常常被用到视频监控中，通过统计分析视频中帧与帧之间的灰度颜色变化，可以检测出场景是否发生了变化。同样的，直方图也可以用来比较两幅图像之间的差异。边缘、色彩等信息构成的直方图还可以传递给分类器，成为分类器^[31]识别目标的特征类型。

简单地说，直方图是对数据的统计，统计之前先定义一系列的 bin，如果数据落在某个 bin 中，就把这个 bin 的值增加。bin 中的值是从数据中计算得到的统计量，可以是方向、梯度、颜色或者其他特征。直方图的维数一般低于原始数据，本文将通过直方图的这个特征对图像特征降维^[32]，然后再进行判别。通过计算直方图来计算相似度很简单方便，并且计算量小，耗时短。直方图的主要比较方法如下：

1) 相关系数：

$$d_{\text{correl}}(H_1, H_2) = \frac{\sum_i H'_1(i)H'_2(i)}{\sqrt{\sum_i H'_1(i)H'_2(i)}} \quad (4-1)$$

其中， $H'_k(i) = H_k(i) - \left(\frac{1}{N}\right)(\sum_j H_k(j))$ ，且 N 等于直方图中 bin 的个数。

对于相关，得出的数值越大，则图像越相似，完全匹配数值为 1，完全不匹配数值为-1，值为 0 则表示无关联（随机组合）。

2) 卡方：

$$d_{\text{chi-sqaure}}(H_1, H_2) = \sum_i \frac{(H_1(i)-H_2(i))^2}{H_1(i)+H_2(i)} \quad (4-2)$$

对于卡方，数值越低，匹配度越高。完全匹配的值为 0，完全不匹配为无限值（依赖于直方图的大小）。

3) 直方图相交：

$$d_{\text{interrection}}(H_1, H_2) = \sum_i \min(H_1(i), H_2(i)) \quad (4-3)$$

对于直方图相交，数值越高，则表明匹配度越高；数值越低，表明匹配度越低。若事先两幅图像的直方图都被归一化为 1，则完全匹配为 1，完全不匹配为 0。

4) Bhattacharyya 距离：

$$d_{\text{Bhattacharyya}}(H_1, H_2) = \sqrt{1 - \sum_i \frac{\sqrt{H_1(i) * H_2(i)}}{\sum_i H_1(i) * \sum_i H_2(i)}} \quad (4-4)$$

对于 Bhattacharyya 匹配，得出的数值越低，表示匹配度越高；数值越高，表示匹配度越低。完全匹配为 0，完全不匹配为 1。

一般情况下，在对直方图作对比之前，都应该对输入的直方图做归一化^{[33][34][35]}操作，如果不做归一化操作，上述概念就没有任何意义。根据以往经验来说，在快速但是不要求精确匹配的条件下，直方图相交匹配的效果比较好。然而在速度要求不高，但是要求精确匹配的条件下，卡方匹配和 Bhattacharyya 距离匹配方法的效果更好一些。

我们对经过规定化等预处理的原图以及检测图作直方图相似度匹配，图像如下图所示：



(a) 预处理后的原图像



(b) 预处理后的检测图

图 4-1 直方图匹配图像

用上述四种方法，分别进行直方图相似度比较，可以得出不同方法下的相似度数，如下表所示：

表 4-1 直方图相似度比较结果

方法	相似度
相关	0.9822
卡方	0.0130
直方图相交	0.9485
Bhattacharyya 距离	0.0576

在此，不妨可以验证一下 3.1 节光照补偿中用到的直方图规定化的效果，我们可以将没有进行规定化预处理的图像与原图像进行直方图相似度比较，图像如图 4-2 所示。

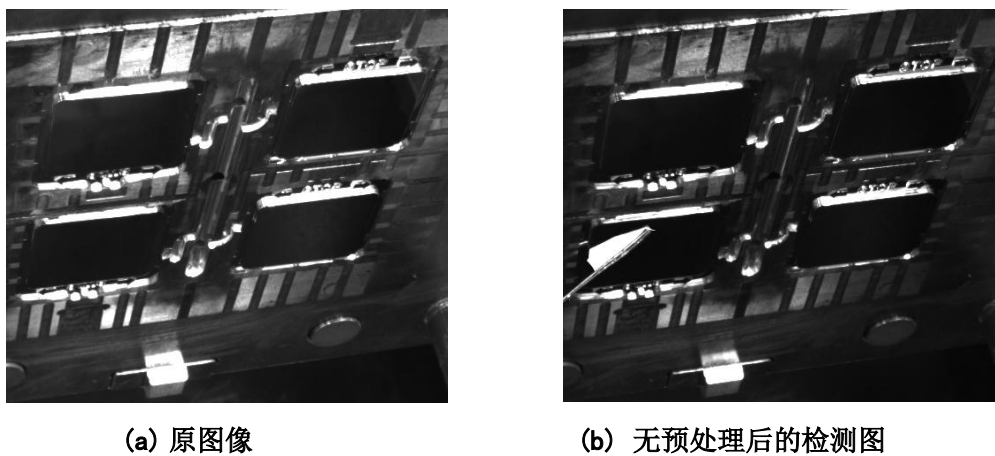


图 4-2 直方图匹配

得出结果如下：

表 4-2 无预处理直方图相似度比较

方法	相似度
相关	0.6961
卡方	0.3117
直方图相交	0.6658
Bhattacharyya 距离	0.3069

由结果可见，没有直方图规定化预处理的相似度比较结果，与有预处理的相似度比较的结果差异还是很大的，若在没有残留物的情况下，不进行直方图规定化预处理，直接比较原图像与检测图像的直方图，计算出相似度的数值，则很有可能会把检测图像判定为存在残留物的图像，从而影响了检测结果，增添了不必要的麻烦，并且浪费了检测时间。因此，预处理中直方图规定化是很有必要的。

回到直方图相似度比较算法中，虽然经过了严格的预处理后，图像的相似度检测精度提高了，但是由表 4-1 中的相似度数值可看出，对于本文需要实现的功

能而言，直方图相交和 Bhattacharyya 距离法是相对而言比较好的，另外两个方法检测出来的相似度的值都太高，不能很好的检测出存在残留物的图像。

另外，由于直方图反映的是图像全部像素的灰度值的概率分布情况，但是对于这些像素在图像中的位置并不能体现出来，所以图像中的像素分布信息是被省略掉的，例如我们将如下两幅图像进行直方图相似度比较，虽然两幅图像显然不相似，但是由于两幅图像中的黑白像素点所占的比率一样，因此得出来的结果相似度是 100%。

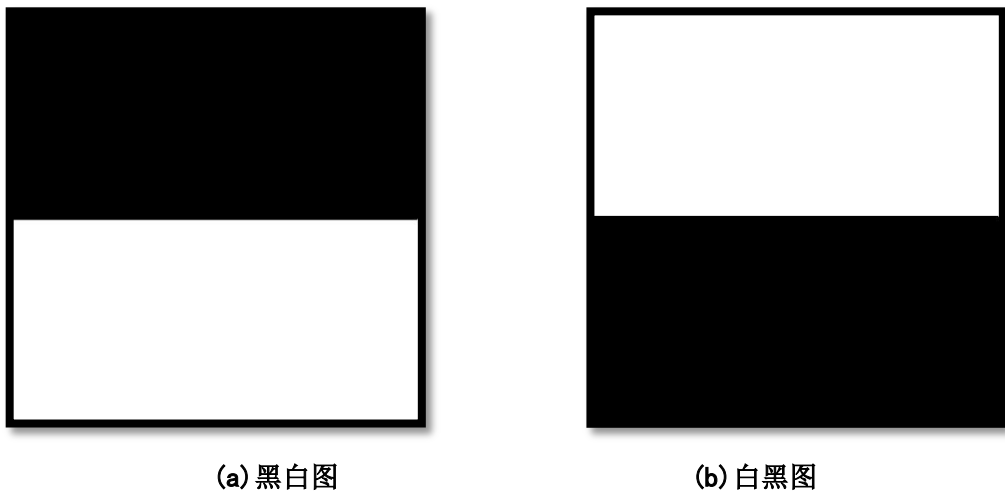


图 4-3 直方图相似度比较

4.2 基于图像 HU 矩阵的检测算法

4.2.1 矩的定义和 HU 矩

不变矩^{[36][37]}又称为几何矩，主要是反映出图像中目标的几何特征，作为不变矩特征必须要具有尺度、平移、旋转不变的性质，在对图像进行处理的时候，我们可以用不变矩来表征图像中的目标信息，通过它来进行识别，不变矩的提取算法有很多种，其中最为经典和常用的就是 Hu 不变矩^{[38][39][40]}，Hu 不变矩理论构造了 7 个不变矩特征，而这 7 个特征就能反映出了目标的几何属性，这使得 Hu 矩在图像的特征提取上有着重要的作用。

矩的概念首先出现在了数学上，而并非是物理学上，它是用来描述随机过程中的平均值，是一种概率论上的一个特征，而我们也可以把图像看做是灰度的随机分布。

我们首先假设图像区域 $f(x, y)$ ，那么我们可以定义图像的原点矩和中心矩为：



$$m_{p,q} = \iint x^p y^q f(x,y) dx dy \quad (4-5)$$

$$U_{p,q} = \iint (x - x_c)^p (y - y_c)^q f(x,y) dx dy \quad (4-6)$$

其中 $x_c = m_{1,0}/m_{0,0}$, $y_c = m_{0,1}/m_{0,0}$ 代表着图像的重心。

定义归一化的中心距为 $\eta_{p,q} = U_{p,q}/U_{0,0}^{\frac{p+q}{2}+1}$ ，直接按照定义计算可知 $\eta_{p,q}$ 具有如下的性质：具有平移不变性，具有缩放不变性，但是没有旋转不变性^[40]。由于归一化中心距没有旋转不变性，为了构造旋转不变性的不变矩多项式，我们就需要通过代数计算的方式来消除旋转不变性，因此，Hu M.K. 利用代数的不变量构造了如下的 7 个不变矩：

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \eta_{20} + \eta_{02} \\ \sigma_2 &= (\eta_{20} - \eta_{02})^2 + 4\eta_{11}^2 \\ \sigma_3 &= (\eta_{30} - 3\eta_{12})^2 + (3\eta_{21} - \eta_{03})^2 \\ \sigma_4 &= (\eta_{30} - \eta_{12})^2 + (\eta_{21} - \eta_{03})^2 \\ \sigma_5 &= (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} - \eta_{03})^2] + \\ &\quad + (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03})[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] \\ \sigma_6 &= (\eta_{20} - \eta_{02})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{03} - \eta_{21})^2] + \\ &\quad + 4\eta_{11}(\eta_{30} + \eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03}) \\ \sigma_7 &= (3\eta_{21} - 3\eta_{03})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} - \eta_{03})^2] + \\ &\quad + (3\eta_{12} - \eta_{30})(\eta_{21} + \eta_{03})[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] \end{aligned} \quad (4-7)$$

公式 4-7 中 7 个公式就是 Hu 矩阵设定的不变矩，它们已经具有了平移，缩放，旋转不变性，但是如果直接用这 7 个特征去作为图像的分类识别参数就会存在一定的问题，因为这 7 个值之间差别很大，所以为了方便比较，我们要通过加权的方法对求取的不变矩进行修订，使得变换后的不变矩能够保持在同一个数量级上。

通过上面矩的定义和 Hu 矩阵的构造，我们能看出构造不变矩的一个基本思想，首先，我们求解图像原点矩，找出图像重心，然后求解图像的中心矩，对图像进行中心化，就能消除了目标平移带来的影响，其次，我们对目标的中心矩进行归一化，这样就消除了目标缩放带来的影响，最后，我们可以通过代数的方式或者一些构造技巧来消除目标的旋转。

4.2.2 HU 矩阵相似度比较

使用 HU 矩可以比较两个物体是否相似，这里的物体可以是图像本身，或者是图像的轮廓以及边缘。下面，我们就对预处理之后的原图以及检测图做基于

HU 矩阵的相似度比较，我们从三个角度出发，分别对图像，边缘检测图以及轮廓的 HU 矩阵进行匹配，查看此算法的可行性。在这里，我们调用 OpneCV 里面的库函数 `cvMatchShapes` 对两幅图像进行匹配。`cvMatchShapes` 使用的匹配方法有三种，我们可以根据实际检测效果决定使用哪一种方法。此函数最后返回相似度的值，数值越小，表示匹配度越高。根据试验，我们对图 4-1 中的两幅图像进行 HU 矩阵相似度匹配，得出的数据如下表 4-3 所示：

表 4-3 HU 矩阵匹配结果

匹配对象 方法	图像	边缘	轮廓
1	0.000195	4.9432	0
2	0.001333	19.9054	0
3	0.000510	4.42917	0

由表格中的数据可发现，虽然检测图是有问题的，存在残留物的，但是根据 HU 矩阵相似度匹配，我们得出的结果来看，匹配度略高，没有能够很有效的检测出两张图像的差异，所以说效果并不是我们所期望的。

由此可见，虽然 HU 矩阵组成的特征量对图像进行识别的时候，虽然有着速度快的优点，但是识别率却比较低，因为 HU 不变矩只用到低阶矩，对于图像的细节没有办法很好的描述，所以对于纹理比较丰富的图像，识别率效果不是很好，而对于图像中形状比较大的物体，HU 矩阵能够很好的描述。

4.3 基于灰度共生矩阵的残留物检测方法

每幅图像都有纹理，并且具有自己特定的纹理^[41]特征，由于纹理是由灰度分布在空间位置上反复出现而形成的，它的排列规则不受任何外界因素的影响，特别是与颜色还有光照条件无关。在图像中，相隔一定距离的像素点之间都存在着一定的灰度关系，这种灰度关系即是灰度的相关特性，我们可以通过灰度的相关特性分析出图像同质现象的重要特征。而灰度共生矩阵正是利用灰度空间的相关特性，研究分析图像纹理的常用方法。它可以分析图像的纹理特征，以及图像像素的排列规律。灰度共生矩阵（Spatial Gray Level Cooccurrence Matrix, GLCM^{[42][43]}）这一概念，最早是在 70 年代初，由 Haralick 提出来的。了解了灰度共生矩阵这一概念，并用此算法对遥感图像进行了分类研究，精确度高达 80%。而王辉^[44] 等人将灰度共生矩阵算法运用到木材表面纹理的分析研究当中，实验结果证明识别率精度能够达到 96.25%。



4.3.1 灰度共生矩阵的定义及特点

1. 灰度共生矩阵的定义

灰度共生矩阵（记为 W ）是统计空间上相距一定距离的一对像素元素灰度对出现的概率，即如图 4-4 一像素点 A 位置为 (x, y) ，其灰度值为 i ，与 P 点距离 d 的像素点 $B(x+Dx, y+Dy)$ 的灰度值为 j ，则灰度共生矩阵就是统计这样的像素对出现的次数的矩阵，记次数为 $P(i, j, d, \theta)$ 。

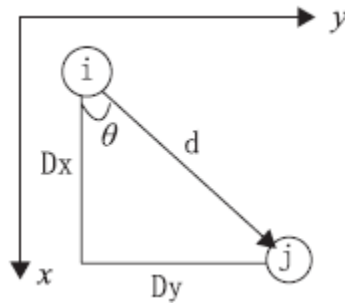


图 4-4 像素元素关系图

具体过程为首先在像素为 $N \times N$ 的图像中任意选取一点 (x, y) ，其灰度值为 g_1 ，在距离此点一定距离处选取另一点 $(x+Dx, y+Dy)$ ，灰度值为 g_2 。令这两点组成一组点对 (g_1, g_2) 。在图像上选取好多个像素点，那么就会得到很多组 (g_1, g_2) 。设图像的灰度级为 k 级，那么就能得到 k^2 种 (g_1, g_2) 组合。应用于整幅图像，我们统计出每一种 (g_1, g_2) 出现的次数，以矩阵形式表示出来，再用总次数将矩阵归一化处理，最后得到的方阵即是灰度共生矩阵^[45]。由原理可以发现，若距离差分值取不同的组合，则得到的联合概率矩阵也会不同^[45]。数学表达式如下：

$$p(i, j, d, \theta) = \{[(x, y), (x+a, y+b) | f(x, y) = i; f((x+a, y+b) = j]\} \quad (4-8)$$

$$(x, y = 0, 1, 2, \dots, N-1)$$

其中， x, y 是图像中的像素的坐标， i, j 是对应坐标点的灰度值， a 和 b 表示位置的偏移量，即是上述的 Dx, Dy 。 d 为生成 W 阵的步长， θ 为生成方向，可以取 $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$ 四个方向。 0° 表明像素对相对位置是水平方向， 45° 表明像素对相对位置为右对角线方向， 90° 即为垂直方向， 135° 则是左对角线方向。方向的不同， a, b 的取值也不同，如下表所示。

表 4-4 偏移量取值

方向 取值	0°	45°	90°	135°
a	1	1	0	-1
b	0	1	1	-1

灰度共生矩阵的生成过程如下：

拿下图为例，假设图像的灰度级为 3，则这幅图的灰度矩阵为

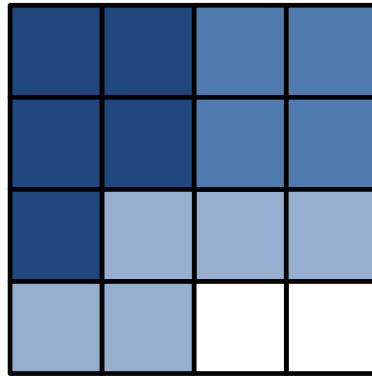
$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 2 & 2 & 2 \\ 2 & 2 & 3 & 3 \end{bmatrix}$$


图 4-5 图像灰度分布示意图

令距离 d 取值为 1，分别计算出四个不同方向的灰度共生矩阵，下图中 $\#(i, j)$ 表示灰度对 (i, j) 的数目。

	0	1	2	3
0	$\#(0,0)$	$\#(0,1)$	$\#(0,2)$	$\#(0,3)$
1	$\#(1,0)$	$\#(1,1)$	$\#(1,2)$	$\#(1,3)$
2	$\#(2,0)$	$\#(2,1)$	$\#(2,2)$	$\#(2,3)$
3	$\#(3,0)$	$\#(3,1)$	$\#(3,2)$	$\#(3,3)$

图 4-6 图像的灰度共生矩阵

由图可知：

$$\theta = 0^\circ \text{ 时, } P_H = \begin{bmatrix} 4 & 2 & 1 & 0 \\ 2 & 4 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 6 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 2 \end{bmatrix}$$

$$\theta = 90^\circ \text{ 时, } P_v = \begin{bmatrix} 6 & 0 & 2 & 0 \\ 0 & 4 & 2 & 0 \\ 2 & 2 & 2 & 2 \\ 0 & 0 & 2 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\theta = 135^\circ \text{ 时, } P_{LD} = \begin{bmatrix} 2 & 1 & 3 & 0 \\ 1 & 2 & 1 & 0 \\ 3 & 1 & 0 & 2 \\ 0 & 0 & 2 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\theta = 45^\circ \text{ 时, } P_{RD} = \begin{bmatrix} 4 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 2 & 0 \\ 0 & 2 & 4 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

2. 灰度共生矩阵的特点

灰度共生矩阵主要有三个特点：

1) 灰度共生矩阵是一个对称矩阵；

灰度共生矩阵 W 是一个对称方阵，当变化时存在，这样只需要计算取 d , θ 时的，即可得到整个坐标空间的值。如上我们已证得这一特性。

2) 灰度共生矩阵与其生成方向、生成步长 d 和图像灰度级 g 有关^[46]；

灰度共生矩阵的生成方向、生成步长以及图像的灰度级这三个因素，任意一个发生变化，都会使得生成的灰度共生矩阵 W 有区别。正是由于不同的步长、灰度级和生成方向会造成对图像的纹理分析产生不同的结果，因此，在对图像进行纹理分析之前，必须要根据研究对象的特点选择好这三个参数。

3) 灰度共生矩阵还与图像的信息量以及粗糙程度有关^[47]；

灰度共生矩阵是一个对称矩阵，若同一方向上，图像的纹理比较稀疏，纹理变换比较缓慢，这时候 W 阵不为零的元素将主要集中在主对角线附近；若图像的纹理细致，在此方向上灰度变换频率比较高，那么非零元素则会分布均匀，不会集中于对角线上。

4.3.2 灰度共生矩阵的特征参数选取

1. 灰度共生矩阵的特征参数

得到图像的灰度共生矩阵之后，我们还需要利用灰度共生矩阵的特征参数来描述图像的纹理信息。根据 Harelick^[48]提出的灰度共生矩阵理论，总共有 14 个特征参数，而根据 Ulaby 等人研究发现其中仅有 4 个特征是不相关的，这 4 个特征不仅方便计算，而且分类精度相对比较高。四个特征参数分别是能量特征，熵，

对比度以及相关特性。结合图 4-7 的两幅纹理图像，我们得到图像的特征参数如表 4-5 所示。

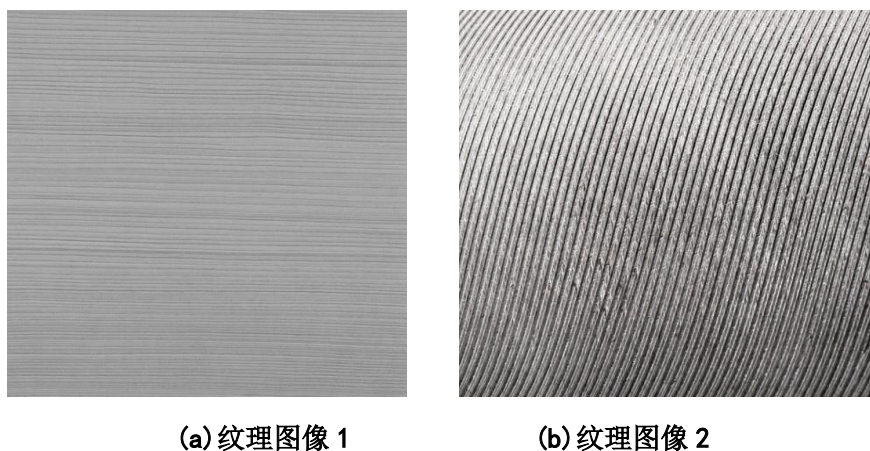


图 4-7 纹理图像

取步长为 1，0° 方向来计算图像的灰度共生矩阵，从而得到四个特征参数如下表所示：

表 4-5 特征参数值

	W1	W2	W3	W4
纹理图像 1	0.487919	0.0447085	3.81131	0.853953
纹理图像 2	0.0345475	2.10058	0.585164	3.57835

(1) 角二阶矩（能量）：

$$W_1 = \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} p^2(i, j, d, \theta) \quad (4-9)$$

角二阶矩也称为能量，反映了图像灰度分布均匀程度和纹理粗细程度，细纹理对应较小的角二阶矩。在 0° 方向上，图像 1 比图像 2 的纹理变化要缓慢，因此对于图像 1，灰度共生矩阵中，数值主要集中在对角线位置，而对角线两端则为 0，这样一些值大，一些值很小，由公式 4-9 求得的特征值大；而图像 2 在 0° 方向上纹理变换比较快，因此在灰度共生矩阵中，数值比较分散均匀，从而 W1 小。

(2) 对比度：

$$W_2 = \sum_{N=0}^{L-1} n^2 \left[\sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} p(i, j, d, \theta) \right] \quad (4-10)$$

对比度反映了图像纹理沟壑的深浅的程度，从而反映一副图像是否纹理清晰。由表 4-5 可看出，图像 2 的对比度的值要远远大于图像 1 的值，而图像 2 的纹理沟壑很明显要深于图像 1，因此，纹理的沟纹越深，图像对比度越大，给人的视



觉效果越强烈清晰；反之，纹理的沟纹越浅，即对比度越小，则视觉效果越模糊。

(3) 相关：

$$W_3 = \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} \frac{i^* j^* p(i, j, d, \theta) - u_1^* u_2}{\sigma_1^2 \sigma_2^2} \quad (4-11)$$

$$u_1 = \sum_{i=0}^{L-1} i \sum_{j=0}^{L-1} p(i, j, d, \theta), \quad u_2 = \sum_{j=0}^{L-1} j \sum_{i=0}^{L-1} p(i, j, d, \theta)$$

$$\sigma_1 = \sum_{i=0}^{L-1} (i - u_1)^2 \sum_{j=0}^{L-1} p(i, j, d, \theta), \quad \sigma_2 = \sum_{j=0}^{L-1} (j - u_2)^2 \sum_{i=0}^{L-1} p(i, j, d, \theta)$$

相关表示了图像的纹理的均匀和复杂程度，是用来衡量灰度共生矩阵元素在行或者列方向上的相似程度，若有水平方向的纹理，则水平方向的相关值必大于其他方向。如纹理图像 1，我们求得 0° 方向上 W_3 为 3.81，而 90° 方向上则为 0.58。由于是水平方向的纹理，因此水平方向上得出的相关值大一些。

(4) 熵：

$$W_4 = - \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} p(i, j, d, \theta) * \lg p(i, j, d, \theta) \quad (4-12)$$

熵用来度量图像的信息量，表示纹理的均匀程度和复杂程度。无纹理熵为 0，纹理越复杂，熵值越高。纹理图像 2 的纹理复杂度明显比图像 1 的纹理复杂度高，因此纹理图像 2 的熵值大于纹理图像 1 的熵值。

另外还有方差、均值和、方差和、和熵、差熵等特征参数，由于本文主要用到上述介绍的四种特征参数，因此本文不再在此一一列出其他几个，具体信息可以参考附件的参考文献。

本文根据灰度共生矩阵来判断是否存在残留物，用的方法是通过分析模板图像的灰度共生矩阵和检测图像的灰度共生矩阵，得出相应的特征参数，通过对这两组特征参数进行分析，从而判断检测图像是否存在残留物。

2. 特征参数的选取

对于同一幅图像，根据不同的生成方向 θ 、生成步长 d 以及图像的灰度级别 g ，会有不同的组合，这样也就会相应地生成不同的灰度共生矩阵，得到不同的特征参数，因此会出现很多种的纹理描述。因此，我们要分析出图像纹理的最特征性描述，就要找到最能表现出图像特征的灰度共生矩阵构造方法。

根据上述相关概念介绍可知，灰度共生矩阵构造方法的确定包括了对图像的灰度量化级别、灰度共生矩阵生成方向以及图像的像素距离等因素的选取，而对于特征参数的选取，我们选择上述主要介绍的四个特征参数，根据 Zhang^[49]等人的分析，这几个特征参数相对而言稳定性好，更具有有效性。

1) 灰度量化级别的选取。为了减少运算量,同时也为了弥补不同的灰度区间给像元对共现频率所造成影响,一般我们将像素灰度级别从 256 级量化到一个统一的较小的灰度范围内,一般有 8 级,16 级或者 32 级,为了检测精确同时避免计算量的过大,我们选择 16 级。

2) 步长的选取。步长的选取即是对图像像素对的距离选取,对于纹理比较稀疏的图像,适合选取较大的步长;而对于纹理比较紧密的图像,适合选择较小的步长。因为本文图像纹理没有确定的规则,因此我们取图像像素距离 1、3、5 试验,根据试验结果再做出选择。

3) 生成方向的选取。特定方向的共生矩阵对该方向的纹理性质有着较好的描述,理想状态可以构造所有可能方向的共生矩阵,提取各个方向的纹理特征并形成具有旋转不变性的特征向量,以实现所有方向信息的提取与分析。由于本论文需要检测的图像纹理的没有特定的方向性,因此,本文采用对特征参数取 $\theta=0^\circ$ 、 45° 、 90° 和 135° 四个方向平均值的方法来消除生成方向的影响。

4.3.3 图像的残留物检测分析

由上述分析可知,对于灰度共生矩阵参数取值问题,目前并没有一个统一的标准作为参考,必须根据具体问题进行多次试验,根据经验从而来确定参数的选取。

本论文预先的想法是将几个特征参数的特征值都计算出来,进行多次试验,然后根据统计结果从而选取相差最大的一个特征参数将其设定为检测项,作为比较的依据。下图是模板图像和测试图像得到的参数折线图。

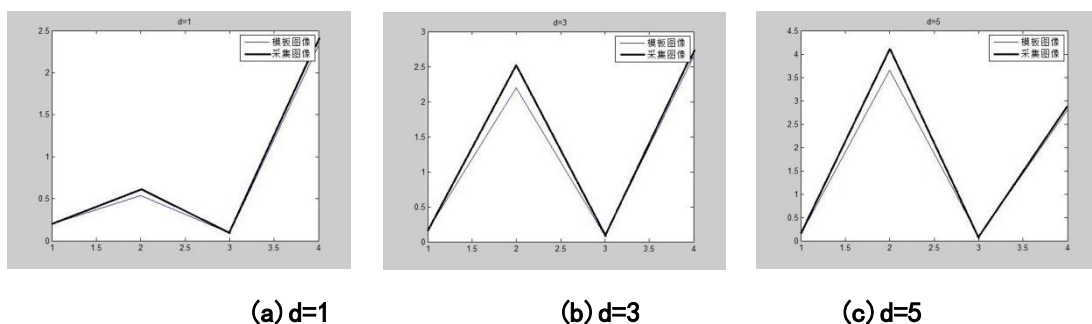


图 4-7 数据分析图

由折线图可以看出,两条折线接近重合,也就是说模板图像与检测图像的四个参数相差的都很小,其中相对而言,相差较大的是 $d=3$ 时的特征参数对比度 $W2$,但是两幅图像的 $W2$ 值还是比较接近,阈值选取很困难,很难保证检测结果的准确性。因此若只是想根据试验选出一个相差最大的特征参数作为检测参数,那么阈值很难选取,精确度会很低,系统的稳定性也得不到保障。

4.3.4 改进的图像的残留物检测分析

基于以上试验，若选取一个特征参数作为衡量的标准，检测结果的准确性太低，并且缺乏说服力。因此，我们选择改进上述算法，以每个像素点为中心，设定滑动窗口，采用滑动窗口遍历图像，分析每个窗口中的图像灰度共生矩阵，对于得出的两组特征参数用欧氏距离分析其相似度，求出最小值，将其与阈值比较，从而判断是否存在残留物。

1. 相似度判别

为了能够更好的反映图像纹理的细微变化，我们以图像的每个像素为中心，确定一个大小固定的滑动窗口 $N \times N$ ，统计窗口图像的不同方向的灰度共生矩阵。为了保证图像纹理分析的准确性，我们必须要选择合适窗口，选择的窗口既要能够保证窗口图像像素的同质性，同时也要保证同类对象的纹理必须具有一定的代表性，因此，窗口不能选择的过大或者过小，窗口过大会包含多余图像信息，窗口过小可能导致不能准确描述像素排列分布的规律^{[50][51]}。综合分析，在此我们选择 16×16 大小的窗口来统计分析图像的灰度共生矩阵，求出窗口内四个特征参数，取平均值作为窗口中心点的纹理特征参数。本系统采集图像像素为 512×512 ，由窗口大小为 16×16 ，重叠遍历整幅图像，最后将会得到 4×247009 个参数。每个窗口得到的特征参数运用欧氏距离将两组特征参数进行比对，欧式距离算法即是对这两组特征参数进行相似度比对，表示在空间中的两个点的真实距离。设有两个 n 维向量 $a(x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1n})$ 与 $b(x_{21}, x_{22}, \dots, x_{2n})$ ，它们之间的欧氏距离可以表示为：

$$d = \sqrt{\sum_{k=1}^n (x_{1k} - x_{2k})^2} \quad (4-13)$$

通过计算样本之间的距离，得出相似值，待滑动窗口遍历完整幅图像之后，找出最小的相似度的值，最后将相似度的值与阈值相比，大于阈值则发出警告，属于有残留物，小于阈值则没有问题。流程图如下图所示。

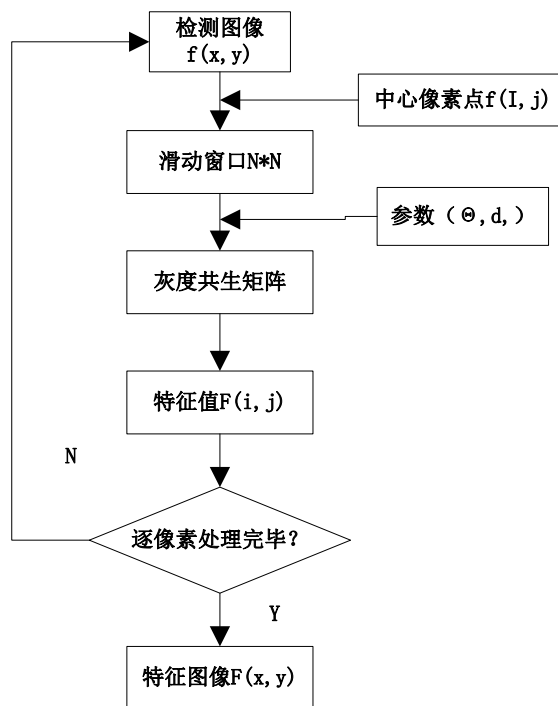


图 4-8 基于灰度共生矩阵的图像相似度判别流程图

2. 检测结果分析

根据上述方法，我们对模板图像与检测图像进行试验测试，首先进行分块操作，即是以图像中每个像素点为中心的滑动窗口遍历图像，计算出每个窗口图像的灰度共生矩阵，然后根据上述总结的特征参数构造方法，求出四个特征参数的特征值。最后将得出的这组特征值与原图像的特征值相比较，利用相似度算法求得相似度值。在滑动窗口遍历完整幅图像之后，找出最小值，作为整幅图像的相似度的数值。对于预处理之后的原图像与检测图像，我们求得相似度值为 **0.78**，为了说明本文方法的优越性，我们将不进行分块操作，直接对两幅图像进行相似度比较，得出相似度数值为 **0.98**。可以发现，分块操作明显提高了检测的准确性。这样根据多次试验，我们将阈值设定为 **0.80** 为佳，大于阈值则模具不存在残留物，小于阈值则说明相似度过低，模具存在残留物，为不合格。因此，**0.78** 小于阈值 **0.80**，我们将它判定为模具存在残留物，产品为不合格。

4.4 本章小结

本章主要研究了三种分析图像特征的算法，根据分析得到的图像特征信息对检测图像与模板图像进行相似度比较，给出了对应的实验结果。然后对测试的实验结果进行了分析比较，总结了各自的优缺点，最后选择了最优算法作为系统的检测算法。

第五章 注塑模具检测系统实现与测试

通过需求分析以及算法研究,本文最终根据各个模块需求选定了相应的最优算法,并且通过编程使各个功能模块得以实现。本章将所有的功能模块进行连接合成,设计出了最终的检测系统。

5.1 注塑模具检测界面设计

为了应用的方便,并且为了使得检测结果一目了然,在此,我们简化了界面,做出了最终注塑模具残留物检测的系统,系统界面如下图 5-1 所示。系统界面简约大方,很直观地将重点信息和关键操作按钮显示在界面上,并且此系统还具有很好的交互性。系统打开界面如图 5-1,这时候系统处于初始化状态。

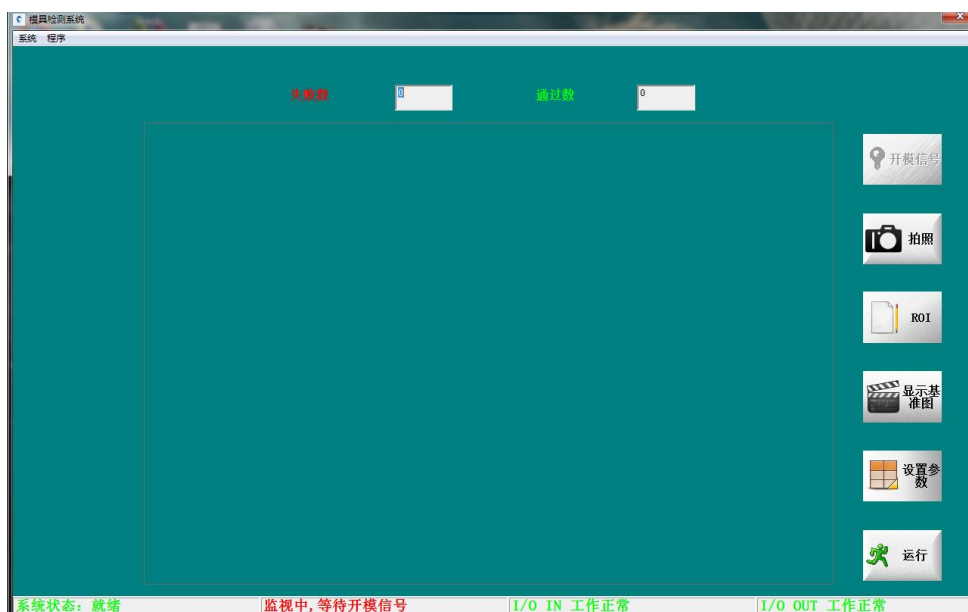


图 5-1 检测系统初始化

当用户点击运行按钮,开模信号使能,系统开始工作,根据模具的开模和闭模的周期时间,设定系统拍摄图像的时间,这样到了模具的开模阶段,系统会自动拍照,采集模具图像;随后后台自动进行预处理和实时监测工作,其中预处理部分包括图像的光线补偿以及位置偏差矫正,在对采集图像进行了预处理的操作之后,开始对采集图像计算灰度共生矩阵,提取特征值,与原图像的特征值作相似度比较分析,得出的数值与阈值进行比较,最后将判断结果显示在框图中。若是失败,则系统会停止工作,并将残留物标记出显示在主界面上,以提醒工作人

员注塑过程中出现了残留物的残留现象,必须立刻使注塑机停止工作,清理模腔。

然而在注塑机的工作过程当中,会发生很多意外事件需要你调整工业相机参数,甚至重新选择模板图像或者划定 ROI 区域。比如说,当由于外界环境光线的影响,我们需要重新调整工业相机的参数时,或者是想要重新设置检测阈值时,我们可以点击设置参数按钮,然后在相应的选项里更改参数,如下图 5-2 所示。

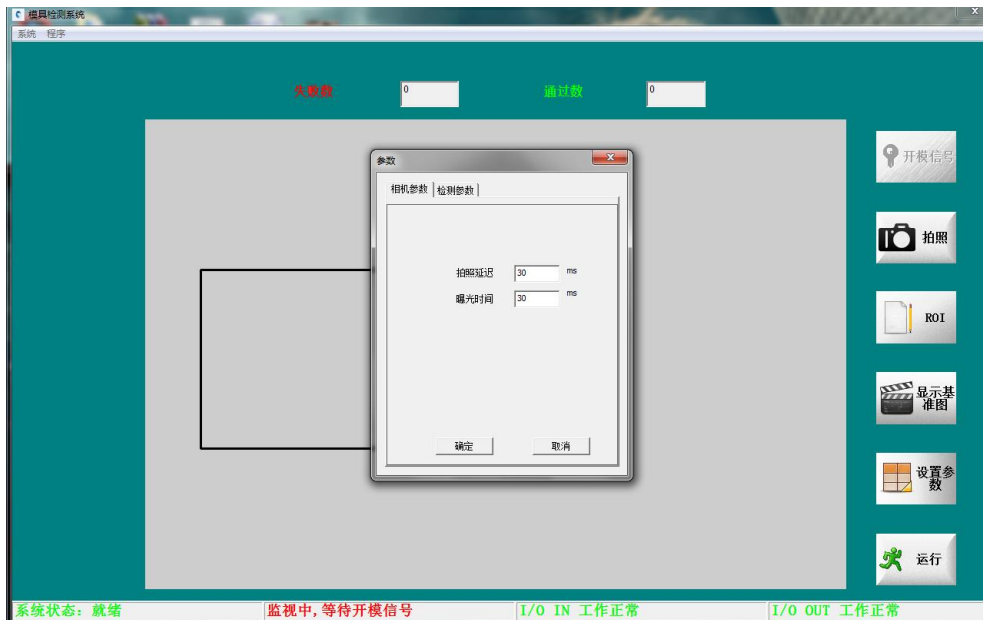


图 5-2 设置参数

另外,如果是目前的光照条件与模板图像拍摄时候的光照条件相差太大,使得我们必须更改模板图像;或者由于工业相机的位置偏差严重,必须重新划定 ROI 区域时,我们可以点击 ROI 按钮,这时候界面进入到重新选定模板图像的界面如图 5-3 所示,在此界面上,我们可以加载新的图像作为模板图像,然后重新划定 ROI 区域,点击确定即可生成新的模板图像。

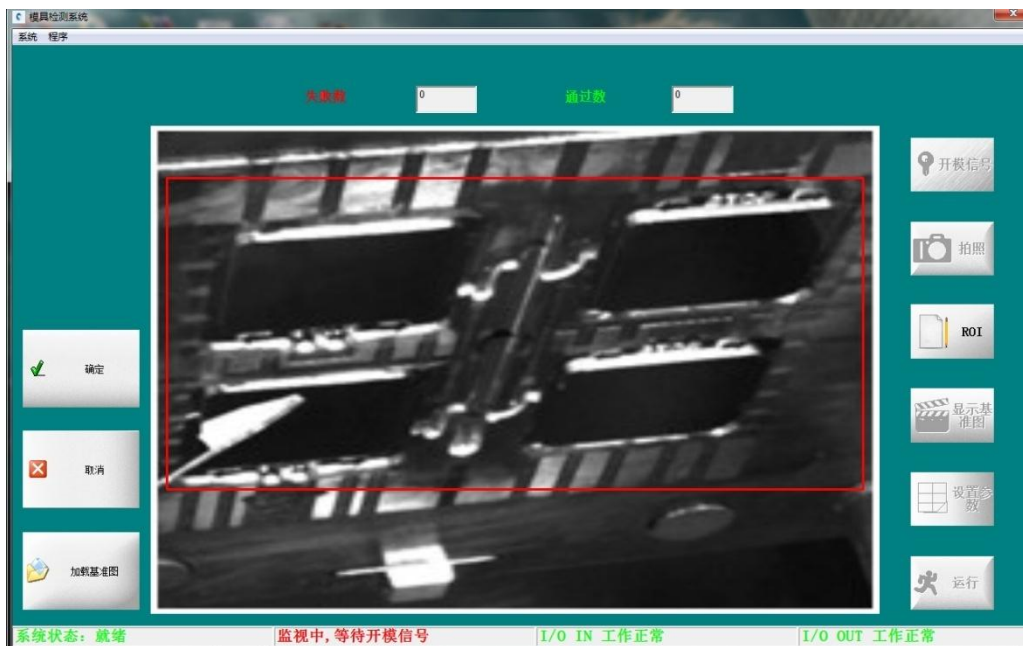


图 5-3 ROI 区域重设

在运行阶段，如果检测出来结果小于阈值，则检测通过，通过数数值则会自动加一，若检测结果值小于阈值，则说明存在残留物，失败数数值加一，同时主窗口显示标记出残留物的检测图像如下图 5-4，来提醒工作人员清理模腔。

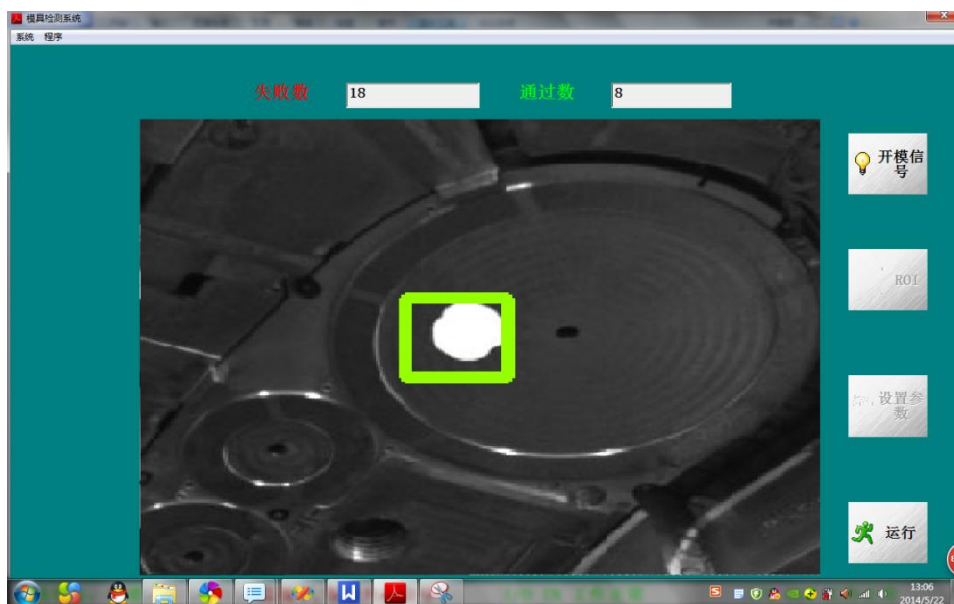


图 5-4 检测结果图

5.2 实验结果分析

为了证明系统检测的准确性，我们人为地给模腔增加残留物，通过本系统的测试，得出的数据如下表所示，可以发现，改进后的方法使得检测的准确度提高

了将近 20%，证明了改进的方法的实用性与可行性。另外，系统程序运行时间为 800ms 而注塑机的周期工作时间为 40s，因此系统可以进行实时监控。

表 5-1 测试结果

改进前相似度	改进后相似度	效率提高百分比
0.96	0.77	19.80%
0.95	0.78	17.90%
0.92	0.74	19.60%
0.85	0.69	18.80%
0.88	0.71	19.30%
0.84	0.68	19.00%
0.78	0.65	16.70%
0.76	0.63	17.10%
0.74	0.61	17.60%

5.3 本章小结

本章详细介绍了本文研究的注塑模具残留物检测系统的设计，将所有功能模块集成在一个系统中完成，给用户展示了一个简洁美观的用户界面，并且提供了参数设置、ROI 区域重选等功能，给系统增添了灵活性与实用性。

第六章 总结与展望

6.1 研究工作总结

本文针对注塑机工作过程中缺陷检测不够自动化,发展不成熟的现状,基于机器视觉研究设计了一个注塑模具残留物检测系统。首先根据课题要求,进行了相关文献的查阅,了解了工业上缺陷检测的发展现状。然后深入研究了数字图像处理的相关知识,根据课题需求,选取了相关的图像算法进行研究,并加以编程实现。最后在注塑生产线上进行了试验,成功实现了注塑模具残留物的检测功能。本文主要完成的工作如下:

- 1) 根据本文课题的需求分析,首先对硬件部分进行了设计,根据图像像素要求,选择适当的工业相机,然后根据相机的视场设好相机的摆放位置,将相机固定于模具上方,对准模腔位置;最后根据实际环境,选择适当的照明系统。
- 2) 本文着重设计了注塑模具残留物检测系统的软件算法部分。根据课题需求,给出了系统的总体结果框图,整个系统软件设计主要包括两个部分,图像预处理部分以及残留物检测部分。其中图像预处理又包括光线补偿和位置偏差校正。
- 3) 在光线补偿部分,我们通过对直方图修正方法,直方图均衡化和直方图规定化算法,选择了适合本文的直方图规定化算法对图像实现了亮度调整,然后利用中值滤波对图像进行了平滑处理,利用拉普拉斯算法对图像实现了锐化增强效果。
- 4) 在位置偏差校正部分,我们利用模板匹配算法,根据模板图像对检测图像进行了 ROI 区域检索,然后将匹配得到的 ROI 区域截取下来作为后续处理图像,避免了因为位置偏差带来的误差,保证了检测图像的一致性。
- 5) 在残留物检测部分,本文给出了三个检测方法,直方图对比, HU 矩阵相似度以及灰度共生矩阵算法,通过试验对比,灰度共生矩阵算法作为残留物检测算法可以实现生产现场检测的要求,实用性和检测精确度优于其他算法。

6.2 不足与展望

本系统通过大恒工业相机对注塑模腔进行图像采集,通过直方图规定化等算法对拍摄图像进行一系列的图像增强工作,随后利用模板匹配算法对图像进行位

置偏差校正，提取出 ROI 区域进行检测，最后利用灰度共生矩阵算法对图像进行纹理分析，得出相应的特征参数的特征值，利用欧氏距离对比两组特征值，从而求得两幅图像的相似度，根据设定阈值判定是否存在残留物。该系统基本满足注塑模具的残留物检测功能需求，但是本系统还可以在以下几个方面进行改善和改进：

1) 本系统主要是针对模腔中的残留物检测功能来设计实现的，在注塑机工作过程中，开模闭模的时候还会经常发生顶针断裂的现象，我们可以增加检测顶针断裂的环节，使得系统检测的覆盖面更广，提高检测系统的实用性。

2) 由于模具的金属材质不同，有时候拍摄下来的图像会有高光现象，很容易影响到检测结果，考虑到这种情况，系统的软件设计部分可以增加去除高光预处理工作，提高算法的准确性。

3) 本系统的残留物检测部分是利用灰度共生矩阵对图像进行纹理分析，然后判断残留物的存在与否。由于有的模具的纹理性不是很强，使用此算法进行检测可能准确度就没那么高，就是说这种算法的使用具有一定的局限性，比较适合纹理性比较强的图像。

参考文献

- [1]赵春晖. 注塑过程监控系统的设计与监测方法的研究[D]. 东北大学,2006.
- [2]Mei Yi, Wu Daolin Research on the quantification of defects in injection molded parts based on digital image processing[J].IEEE Int'l Conf on Machine Learning and Cybernetics, Baoding China. 2009: 12101213
- [3]胡朱华.基于嵌入式机器视觉的注塑生产残留物检测系统的研究[D]. 浙江理工大学,2012.
- [4]W. Wrofl, B. Ozer, T Lv. Smart cameras as embedded systems[J].IEEE computer, September, 2006,35(9):48-53
- [5]贺华艳.注塑制品表面缺陷视觉检测系统研究与设计[D]. 广州:华南理工大学,2011.
- [6]冯刚,张朝阁,江平. 我国注塑模具关键技术的研究与应用进展[J].塑料工业,2014,04:1619.
- [7]甄理.基于计算机视觉的铁轨表面缺陷检测技术研究[D]. 南京航空航天大学,2012.
- [8]刘彩章.基于机器视觉的带钢表面缺陷成像系统理论与实验研究[D]. 武汉科技大学,2012.
- [9]王慧楠.基于机器视觉的圆柱滚子表面缺陷检测系统[D]. 河南科技大学,2012.
- [10] H. Golnabi,A. Asadpour. Design and application of industrial machinerivisystems[J]. Robotics and Computer Integrated Manufacturing,2007,236:.
- [11]蔡金. 嵌入式高清工业相机研究与实现[D]. 浙江大学,2013.
- [12]曾涛,石庚辰,张兵,王稂. 基于工业相机的微零件二维尺寸在线检测方法[J]. 探测与控制学报,2011,05:2023.
- [13]郑嵘. 铸坯表面缺陷图像检测方法研究[D]. 上海交通大学,2013.
- [14]郝焕瑞. 钢球表面缺陷检测仪中的视觉系统研究[D]. 哈尔滨理工大学,2009.
- [15]谢飞. 基于计算机视觉的自动光学检测关键技术与应用研究[D]. 南京大学,2013.
- [16]孔祥伟. 组合光源与图像处理算法在工件表面缺陷检测中的应用[D]. 天津大学,2007.
- [17]刘磊. 基于计算机视觉技术的汽车涂膜缺陷检测方法的研究[D]. 天津大学,2008.
- [18]于仕琪, 刘瑞祯. 学习 OPENCV (中文版). 清华大学出版社, 2009
- [19]尹俊超,刘直芳. 基于 OpenCV 的运动目标检测与跟踪 [J]. 计算机工程与设计,2011,08:28172820.
- [20]王洋. 金属工件表面缺陷的图像处理技术研究[D]. 沈阳理工大学,2012.
- [21]聂超. 基于直方图的高效图像增强算法研究[D]. 杭州电子科技大学,2014.
- [22]李娟.基于机器视觉的纸杯外包装检测系统研究与应用[D]. 电子科技大学,2012.
- [23]田杨. 精确直方图规定化[D]. 山东大学,2008.
- [24]史东滨. 利用小波变换的精确直方图规定化技术的研究[D]. 兰州大学,2009.
- [25]汪启伟. 图像直方图特征及其应用研究[D]. 中国科学技术大学,2014.

- [26] PARANJAPE B R. Adaptive neighborhood histogram equalization for image enhancement. *Graphical Models and Image Processing*, 1992, 54(3):259-267.
- [27] 陈小娜. 绿橙表面缺陷及大小尺寸的计算机视觉分级技术研究[D]. 海南大学, 2010.
- [28] 韩皖贞. 计算机视觉玻壳缺陷检测方法的研究[D]. 天津科技大学, 2002.
- [29] 王慧. 基于模板匹配的手写体字符识别算法研究[D]. 北京交通大学, 2012.
- [30] 陈再良. 图像感兴趣区域提取方法研究[D]. 中南大学, 2012.
- [31] 马煜, 顾晓东, 汪源源. 基于平均窗口平移的直方图相似性度量[J]. 应用科学学报, 2008, 01: 2833.
- [32] 丁建平. 铁路跟踪和铁路信号灯识别的研究[D]. 电子科技大学, 2013.
- [33] 马煜. 视觉功能修复中的图像和信号处理方法研究[D]. 复旦大学, 2009.
- [34] 丁路. 基于局部纹理特征的人脸识别技术研究[D]. 西安电子科技大学, 2012.
- [35] 才盛. 多目标监控场景下的检测和跟踪技术研究[D]. 厦门大学, 2014.
- [36] 董立峰. 基于 Hu 矩和支持向量机的静态手势识别及应用[D]. 武汉理工大学, 2012.
- [37] 杨宏鑫. 基于仿射投影距下空中目标 ISAR 像的识别研究[D]. 哈尔滨工业大学, 2013.
- [38] 徐秋景. 基于空间灰度共生矩阵和 Hu 不变矩的东北虎个体识别[D]. 东北林业大学, 2009.
- [39] 杨舒. 基于轮廓波变换和 Hu 不变矩的图像检索研究[D]. 曲阜师范大学, 2014.
- [40] 窦建方, 李建勋. 基于角点和 Hu 矩不变量的可见光和红外图像自动配准方法[J]. 红外, 2011, 07: 2327.
- [41] 刘莹. 图像纹理的特征提取和分类方法研究[D]. 华中科技大学, 2013.
- [42] Q.G.Wu, J.B.An. A Texture Segmentation Algorithm Based on PCA and Global Minimization Active Contour Model for Aerial Insulator Images[J]. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2012, 5(5): 1509-1518.
- [43] 苏静, 黎明. 基于灰度共生矩阵的金属断口图像的分类研究[J]. 计算机工程与应用, 2008, 09: 2232-2234.
- [44] 王辉. 基于灰度共生矩阵木材表面纹理模式识别方法的研究[D]. 东北林业大学, 2007.
- [45] 曾文华. 基于灰度共生法和小波变换的遥感影像纹理信息提取[D]. 东北师范大学, 2006.
- [46] 黄晶. 基于分形维度与灰度共生矩阵的图像分类研究[D]. 武汉理工大学, 2008.
- [47] 刘会东. 姿态变化与困难光照条件下的人脸识别研究[D]. 南京师范大学, 2013.
- [48] R. M. Haralick, K. Shanmugam, and Dinstein, "Textural features for image classification", *IEEE Trans. Syst. Man Cybern*, SMC-1973, 616-621.
- [49] Zhang Y. Optimisation of Building Detection in Satellite Images By Combining Multispectral Classification and Texture Filtering[J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 1999, 54: 50-60.
- [50] 宁顺刚, 白万民, 喻钧. 基于灰度共生矩阵的图像分割方法研究[J]. 电子科技, 2009, 11: 6971-6971.



[51]白雪冰,王克奇,王辉. 基于灰度共生矩阵的木材纹理分类方法的研究[J]. 哈尔滨工业大学学报,2005,12:1667-1670.

攻读硕士学位期间研究成果

发表论文:

[1] 马琳,王直杰,朱晓明,许骏. 基于灰度共生矩阵的注塑模具残留物检测. 电子设计工程 20157

致 谢

时光匆匆，转眼间两年半的研究生生活即将结束，回首过去，这两年里，有过挫折与失败，也有过成功与喜悦，有过压力，更有过憧憬，不管是什么，我都觉得是种收获，正是这些收获，才让我成长、进步。

我衷心地感谢我的导师王直杰教授！是他，在我迷茫的时候给我建议，给我指明方向；是他，在我研究阶段遇到问题的时候耐心讲解，让我重拾信心。王老师一直强调不能博而不专，在用一种算法的时候就必须对其完全掌握了解，正是受到他这样严谨的学术精神的激励，我才能顺利完成论文。除了精益求精的科研精神，王老师渊博的学识、严谨的作风、谦和的为人也深深感染了我，让我在治学态度上受益匪浅。

我要感谢在此期间给予我帮助，陪我一起度过这美好时光的同学及好友。感谢课题组的同学们给我的帮助，感谢段飞龙和喻旭勇师兄给我项目的指导，感谢实验室的小伙伴们给予的支持和帮助，融洽的实验室氛围，让我能够怀着愉快的心情学习和工作，能够使我们共同进步，在此向他们表示感谢！

我还要感谢我的父母。在我成长的各个阶段注入了无数心血，给予了我无微不至的关爱与支持，感谢你们一直无私的奉献，使我在成长道路上不断进步，成就了今天的我。

最后再次感谢所有关心、支持、帮助过我的人，谢谢！