

# 硕士学位论文

( 工程硕士 )

## 注塑机视觉监控系统研究与设计

RESEARCH AND DESIGN ON MONITOR VISION  
SYSTEM FOR INJECTION MACHINE

谢华

2010 年 6 月

国内图书分类号：TP317.4  
国际图书分类号：621

学校代码：10213  
密级：公开

## 工程硕士学位论文

# 注塑机视觉监控系统研究与设计

硕 士 研 究 生：谢华  
导 师：王昕副教授  
副 导 师：王伟治高级工程师  
申 请 学 位：工程硕士  
学 科：机械工程  
所 在 单 位：富士康科技集团  
答 辩 日 期：2010 年 6 月  
授 予 学 位 单 位：哈尔滨工业大学

Classified Index: TP317.4

U.D.C: 621

Dissertation for the Master's Degree of Engineering

RESEARCH AND DESIGN ON MONITOR VISION  
SYSTEM FOR INJECTION MACHINE

Candidate :	Xie Hua
Supervisor :	Associate Prof. Wang Xin
Associate Supervisor :	Senior Engineer Huang Weizhi
Academic Degree Applied for :	Master of Engineering
Speciality :	Mechanical Engineering
Affiliation :	FOXCONN Technology Group
Date of Defence :	June, 2010
Degree-Conferring-Institution :	Harbin Institute of Technology

## 摘 要

随着注塑成型产品越来越多地应用到各种领域，目前，越来越多的公司采用了注塑成型的工艺，而一些金属镶入成型技术也得以快速发展。然而，由于零件外形越来越小越来越薄，模具结构也越来越复杂，注塑过程中由于模具内产品未取出、镶件掉出、结构卡死或粘附其它异物等原因，经常出现压模等情况发生，严重地降低了生产效率，增加了生产成本。而现有措施如吸气预警等机械结构预防措施，适用范围窄，且可靠低，难以满足应用需求。针对上述问题，论文主要是采用机器视觉技术实现对模具表面的即时监控，避免异物压损模具的情况的发生，以提升生产效率，降低生产成本。

论文主要研究了以下内容。

首先，研究了各种图像模板匹配算法，如比较法匹配，归一化相关系数模板匹配法，序贯相似性检测算法，圆投影转换模板匹配算法。由于注塑机模具表面监控只需监控模具关模前瞬间画面，因此，论文针对比较匹配算法与快速归一化相关系数模板匹配算法进行了改进，实现静态图像固定区域的快速匹配，以提升匹配速度。

其次，设计了机器视觉监控系统的硬件系统，选取了 CCD 摄像机、图像采集卡、计算机等主要模块，给出了主控设备与成型机之间的通讯模式。

最后，基于 VC++ 6.0 平台编写了系统控制及模板匹配程序，完成了注塑机视觉监控系统开发应用软件，并进行了实验研究，试验结果表明视觉监控系统工作正常稳定。

关键词：注塑成型；机器视觉；模板匹配

## Abstract

With the plastic injection molding products being applied to various kinds of fields, more and more companies have introduced the injection molding technology. And some metal insert molding technologies have been developed quickly at the same time. However, the appearance of the part is less and thinner than before, and the structure of the mould is more and more complicated. In the course of injection molding, the mould is often crashed for the products having not been taken out from mould, metal insert being lose out and the mechanism blocking or sticking. So the production efficiency would be reduced seriously and the production cost would be raised because the mould is damaged frequently. Moreover the existing mechanical precautionary measures such as vacuum warning equipment is difficult to meet the demand. So the machine vision technology is studied in the thesis to realize the real-time control and monitor to the mould. This research work can effectively help to prevent the mould from being crashed by foreign matter, which promote the production efficiency and reduce the manufacture cost.

The following main contents are studied in the thesis.

First of all, various kinds of match algorithms of picture templates are studied , for instance, such as comparing match algorithm, normalized cross-correlation algorithm, sequential similarity detection algorithm and ring projection transformation algorithm. And the comparing match algorithm and normalized cross-correlation algorithm are optimized for increasing the matching efficiency.

Secondly, the hardware system of the vision monitoring has been designed, which includes the CCD camera, graphics gathering card, computer etc.. At the same time, the communication mode between top management equipment and injection molding machine has been solved.

Finally, the program for system controlling and template matching has been developed in VC++6.0 software and the vision monitoring software system for injection molding machine has been built. The result of the actual experiments indicates that the vision monitoring system operates normally and stably.

**Keywords:** injection molding, machine vision, template match

## 目 录

摘要 .....	I
Abstract .....	II
第 1 章 绪 论 .....	1
1.1 课题研究背景及意义 .....	1
1.2 机器视觉概述 .....	2
1.2.1 机器视觉技术理论及其发展 .....	2
1.2.2 机器视觉的应用方向 .....	4
1.3 工业视觉监控系统 .....	5
1.3.1 工业视觉监控系统概述 .....	5
1.3.2 工业视觉监控系统分类 .....	6
1.4 图像匹配算法的发展现状 .....	7
1.5 论文的主要内容 .....	8
第 2 章 注塑机视觉监控系统总体设计 .....	9
2.1 注塑机简介 .....	9
2.1.1 现代注塑机的基本组成 .....	9
2.1.2 注塑机的基本工作过程 .....	10
2.1.3 注塑机基本工作原理 .....	11
2.2 注塑过程监控系统功能要求 .....	12
2.3 系统硬件构成 .....	13
2.4 系统软件设计 .....	16
2.4.1 系统软件基本要求 .....	16
2.4.2 系统软件实现的基本功能 .....	16
2.4.3 程序开发工具的选择 .....	17
2.4.4 系统软件模块 .....	17
2.5 本章小结 .....	18
第 3 章 模板匹配算法研究与设计 .....	19
3.1 模板匹配的基本概念 .....	19
3.2 模板匹配算法的选取 .....	20
3.3 模板匹配算法应用研究 .....	22

3.3.1 比较匹配算法 .....	22
3.3.2 归一化相关系数模板匹配算法 .....	25
3.3.3 序贯相似性检测算法 .....	28
3.3.4 圆投影转换模板匹配算法 .....	31
3.3.5 模板匹配算法研究结果比较分析.....	33
3.4 本章小结 .....	34
第 4 章 注塑机视觉监控系统设计 .....	35
4.1 系统硬件设计 .....	35
4.1.1 关键设备选型及确定 .....	35
4.1.2 注塑机通讯控制研究 .....	37
4.2 系统软件设计 .....	38
4.2.1 监控软件设计 .....	38
4.2.2 软件用户界面 .....	40
4.3 监控结果测试与分析 .....	40
4.4 本章小结 .....	41
结论 .....	42
参考文献 .....	43
哈尔滨工业大学硕士学位论文原创性声明 .....	47
致谢 .....	48
个人简历 .....	49

## 第 1 章 绪 论

### 1.1 课题研究背景及意义

塑料因其拥有诸多优良特性，如质地轻巧、耐水、耐化学腐蚀，塑料制品外形美观、便于加工安装，具有优异的电气特性及化学稳定性、优良的吸震和消声隔离作用，能很好地与金属、玻璃、木材及其他材料胶结等，广泛应用于国民经济各部门和日常生活中。而其不断的性能改良使塑料能够满足更多的高性能要求领域，使塑胶零件能够替代部分金属零件，成为如一些国防工业、微电子工业等越来越多尖端技术所需的各种精密和超精密的仪器设备的零件。尤其是上世纪末家电电器行业的迅速崛起，带动了整个注塑行业的革命，越来越多的公司都加入了注塑制造领域。

注塑成型工艺是最主要的加工塑料产品的方法之一，注塑成型方法能获得外形非常复杂、尺寸精确和带有金属嵌件的产品，对各种聚合物加工的适应性强，易于实现全自动化生产，因此在塑料机械工业中，注塑成型中占有很大比重。目前世界上约 80% 的工程塑料产品均采用注塑成型加工技术进行生产。因此，注塑成型工艺在塑料工业中有着非常重要的地位。注塑机是注塑成型的主要设备，其生产过程中模具的安全，对提高生产效率，降低生产成本有着十分重要作用与意义。

注塑成型主要工序是由合模、射出、保压、冷却、塑化、开模、顶出等基本工序组成，塑胶原料在注塑机的料筒中经过料筒线圈加热和螺杆的旋转产生的剪切热进行塑化成熔融后，通过螺杆施加一定的压力，把熔体注射到固有形状的模具型腔中经过冷却定型后，再开模取出最终成品。

由于注塑产品种类繁多，结构外形越来越小越来越薄，模具结构越来越复杂。成型生产时，由于模具内产品未取出、镶件掉出、结构卡死或粘附其它异物等多种原因，经常发生压模事故，导致模具损坏，生产延误，给企业造成很大经济损失。因此生产需求开发一种实用可靠的预防措施。现有措施如防呆，吸气预警等机械结构预防措施，适用范围窄，且可靠低，难以满足生产应用需求。本课题主要实现在 CCD 摄像机，图像采集卡，计算机，与成型机之间通过软件平台建立一个机器视觉监控系统，达到在注塑成型生产中监控模具避免压模目的。

综上所述，开展基于机器视觉的注塑成型监控系统的研究，是一个既有理



论意义，又有很高应用价值的研究课题。一个可靠的视觉监控系统将为注塑生产过程提供安全的保障，为企业提升产能，降低成本，节约资源起举足轻重的作用。而企业自我开发视觉监控系统，其开发成本低，且更具有开放性，能够根据自身特点设计满足企业自身需求的专用注塑机视觉监控系统。

## 1.2 机器视觉概述

### 1.2.1 机器视觉技术理论及其发展

视觉是人类观察世界和认知世界的重要手段之一。据统计，人类从外部世界获得的信息约有 80% 左右是通过视觉获得。这说明视觉信息量巨大，也说明人类对视觉信息有较高利用效率，同时又体现了人类视觉功能的重要性<sup>[1]</sup>。机器视觉是指利用计算机及辅助设备来模拟人类眼睛器官感知和理解世界<sup>[2,3]</sup>，即利用计算机通过图像处理技术来研究和获得真实物体的结构，它是计算机科学和人工智能研究领域的重要分支之一。它研究的目的是提供人类视觉的计算模型和利用计算机设计与实现特定应用下的视觉系统。机器视觉研究的主要范畴包括图像特征检测、轮廓表达、基于特征的分割、距离图像分析、形状模型及表达、由单幅图像信息重建三维形状、立体视觉、运动分析、颜色视觉、主动视觉、自标定系统、物体检测、三维物体识别及定位等<sup>[4]</sup>。随着计算机技术的快速发展,及人类对视觉机理研究的不断深入，利用计算机图像处理技术来模拟人类的视觉系统是科学技术发展重要课题之一。

机器视觉技术是在 20 世纪 50 年代从统计模式识别发展起来的，但由于机器视觉系统十分复杂，当时的研究工作主要集中在对二维图像的分析、识别和理解上，如光学字符识别、工件表面、显微图片和航空照片的分析解释等。

60 年代中期，R. Robert 的三维景物分析研究，开创了以理解三维场景为目的的三维机器视觉<sup>[5]</sup>，成为现代机器视觉的起源，他运用数字图像来研究实体模型，对实体形状和结构进行了描述。

70 年代，麻省理工学院(MIT)开设了机器视觉课程，吸引了国际上许多知名学者参与机器视觉的理论、算法、系统设计的研究。于 1977 年提出了计算视觉(Computational Vision)理论<sup>[6]</sup>，该理论在 80 年代成为机器视觉研究领域中的一个十分重要的理论框架。

80 年代，David Marr 首次从信息处理的角度综合了图像处理、心理物理学、神经心理学及精神病学的研究成果，提出了第一个较为完备的视觉处理模型框架，他将视觉分为自上而下的三个阶段，创建了 Marr 的理论框架<sup>[7]</sup>。该理论认

为视觉信息从最初的原始的二维图像数据到最终对三维环境的表达，共经历三个处理阶段。第一阶段由二维图像中的边缘点、线、纹理等基本几何特征组成要素图或基元图，称之为低层视觉(2D)；第二阶段是以观察者为中心的坐标系重新构造物体的三维形状与位置，称之为中层视觉(2.5D)。但是当以观察者为中心的坐标系来观察周围物体时，只能够看到物体面对观察者的部分。这样的三维物体描述并不能完全正确的描述三维物体的三维形状与位置，很显然，这样的三维物体描述是不完整的。第三阶段是对 2.5D 三维物体描述进一步处理，构建以物体本身某个固定坐标系得到的物体完整的三维描述，即高层视觉(3D)。这种架构划分对于将机器视觉系统的固有处理过程加以分类提供了一种有效的结构。

到了 80 年代，随着机器视觉及应用技术的蓬勃发展，机器视觉相关的新概念、新方法、新理论不断涌现。而神经生理学的深入研究发现，Marr 结构与人的视觉系统存在很大差距，生物视觉系统的认知过程是一个有目的、有主动性并积极回馈信息的过程，而不是一种简单的被动式接受信号的反应。而 Marr 理论用一些前提假设和基本的约束原则保证该理论的通用性。因此，许多学者对计算机视觉系统的进行了大量的研究，在机器视觉的现状与目标、理论与方法以及实验与应用等各个研究层次发表了许多不同的见解，探索了新的理论，并提出了相应的解决方法，在很大程度上促进了机器视觉技术的发展。

1987 年，Lowe 提出了基于知识的视觉理论模型<sup>[8]</sup>，该理论认为机器视觉可以在知识的引导下通过二维图像来完成三维物体的识别。Lowe 将由二维图像推知识别三维目标的过程分为三个阶段：第一阶段是感知组织的处理过程；第二阶段是采用概率排队的方法在模型匹配过程中减小搜索空间，提升模板匹配的效率；第三阶段是通过求解未知的观察点和模型参数来计算空间关系，使三维模型的投影图像直接与模板图像特征匹配。该三个阶段过程不需要对三维目标表面的进行测量，直接利用感知原理来计算有关表面的特征。Lowe 强调高层知识对视觉的指导作用，认为人类视觉只是一个识别过程，与三维重建无关，而实际上，有些情况下需要对目标物体重建三维。

1988 年，Aloimonos 等人提出了主动视觉理论框架<sup>[9]</sup>，该理论框架根据物体当前对视觉的要求和现有的分析结果，通过一种主动参数控制机制来控制摄像机的运动，并协调处理外界信号与需要的处理任务关系来判断需要执行的动作。虽然该框架不否认三维重建，但是它缺乏高层知识的指导。

近几年来，随着视觉处理相关硬件技术与性能的不断提升，如相继出现了高分辨率的光学成像系统，超高速的智能照相机与视觉传感器等，使得机器视

觉在各领域的应用越来越广泛。尤其是近几年世界制造业的快速发展，计算机图形图像产业孕育着巨大的市场潜力，充满了无限商机。

在我国，90年代中后期机器视觉技术已逐渐被人们认识 and 了解，机器视觉技术在农业、工业、国防与交通运输等领域中的应用越来越广泛。随着越来越多的科研工作人员加入到了机器视觉技术的研究与应用中来，及我国硬件制造水平的快速提升及科学技术水平的不断提高，我国机器视觉技术将在国内外已取得的研究成果基础上，不断探索新的理论和方法，发展高性能的视觉处理硬件，大幅提高机器视觉处理的速度。未来中国的机器视觉市场需求价值将不断提升，服务于各领域的加工业和机器制造业的机器视觉系统将在中国经济高速发展的过程中迅猛发展，对机器视觉技术应用的需求也将在今后快速呈现出来。

### 1.2.2 机器视觉的应用方向

机器视觉是一门新兴的发展迅速的学科，八十年代以后，机器视觉已从实验室的研究走向了实际应用的发展阶段。从简单的二值图象处理到高分辨率多灰度的图象处理。从一般的二维信息处理到三维视觉机理，以及图像模型和模板匹配算法的研究都取得了很大的进步。而计算机工业技术的飞速发展以及人工智能、并行处理和神经网络等学科的快速的发展，更促进了机器视觉系统的实用化和涉足许多复杂视觉过程的研究。

目前，各个领域已开始广泛应用机器视觉技术，例如，应用在物品识别与定位、移动导航、产品检验、医学图象分析、安全鉴别、监视与跟踪、生物特征识别、国防系统、各种球类运动分析、人体测量、食品、农业、心理学、电视电影制作、美术模型、多媒体教学、遥感图象分析等场合<sup>[10]</sup>。尤其是在许多精确定量感知、危险场景感知、不可见物体感知等人类视觉无法直接感知的情况，机器视觉其优越性更突出<sup>[11]</sup>。

机器视觉是当前计算机科学研究域里一个非常活跃的研究课题，该学科主要目标是为计算机和机器人研究出具有与人类视觉能力相当的机器视觉。对于机器视觉的研究应用，日本、德国和美国等发达国家早在上世纪六十年代就开始了，到上世纪九十年代，机器视觉系统在工业上已取得了广泛的应用，其市场潜力十分巨大。

在国内，机器视觉技术属于新兴的领域，机器视觉产品技术的普及不够，导致在各行业的应用不多。目前在我国随着配套基础建设的完善，技术、资金的积累，各行各业对采用图像和机器视觉技术的工业自动化、智能化需求开始

广泛出现，国内有关大专院校、研究所和企业近年来在图像和机器视觉技术领域进行了积极思索和大胆的尝试，逐步开始了工业现场的应用。其主要应用于农业、制药、烟草、印刷、食品等领域<sup>[12,13]</sup>。

### 1.3 工业视觉监控系统

工业视觉监控是机器视觉的一个重要应用领域，其就是用机器视觉代替人眼进行测量和判断或监控。其通过图像摄像系统将需要监控的物体目标转换成数字信号，通过图像处理系统对测量到的图像数字信号进行数字处理、判断，进而对现场的设备动作进行控制。人工视觉监控生成过程在精度和速度上都难以保障快速和大批量的工业化生产，采用机器视觉则可以大大提高生产效率和自动化程度<sup>[14]</sup>。目前，视觉监控系统的构成主要有以下三种：基于工业控制计算机 (PC) 的系统、基于工业视觉传感器的计算机视觉系统及基于嵌入式计算机视觉系统。在结构与应用上，它们都各有特点。

#### 1.3.1 工业视觉监控系统概述

计算机视觉是指用摄像机和计算机建立视觉系统代替人眼实现对目标进行识别、跟踪和测量等功能。用计算机来代替人的视觉功能，也就是用计算机来实现对客观的三维世界物体的识别。人类视觉系统的感知部分是视网膜，它是一个三维采样视觉系统。三维物体的可见部分直接投影到视网膜上，人们根据投影到视网膜上的二维图像来对该物体进行三维理解。三维理解是指对被观察三维物体的形状、尺寸、距离、外观和运动特征(方向和速度)等状况的理解。

工业视觉监控系统在现代工业生产中发挥着越来越重要的作用。它通过对被监控目标图像的分析 and 理解，获得监控区域的信息，达到控制生产过程的目的。作为一种新的现代监控技术，工业视觉监控系统具有监控精度高、控速度快、非接触监控等优点。

工业视觉监控系统通常采用 CCD(Charge Coupled Device)照相机摄取检测图像，通过图像采集卡转化为数字信号，再通过计算机采软件技术对图像数字信号进行处理，从而得到需要的各种图像特征值，并在此基础上实现模板匹配，模式识别，坐标计算，灰度分布图等多种功能。并根据处理的结果计算机视觉系统能够输出数据，发布对应的控制指令，执行机构根据控制指令可以配合其完成相关的自动化动作。与人工视觉相比，计算机视觉具有精确、快速、可靠、以及信息数字化等优点。

工业视觉检测系统主要由三部分组成：像的获取、图像的处理和分析、输出或显示。其输入装置可以是摄像机、数字扫描仪，超声成像探测仪，CT 成像设备等。它们都输入三维物体的影像二维投影。图像的获取就是把被监控图像的特征转换成能被计算机处理的数据，它主要由照明、图像聚焦形成、图像确定和形成三部分组成。

照明是影响机器视觉系统输入的重要因素，因为它直接影响输入数据的质量和至少 30% 的应用效果。由于没有通用的机器视觉照明设备，所以针对每个特定的应用实例，要选择相应的照明装置，以达到最佳效果。常用的几种可见光源是白帜灯、日光灯、荧光灯和钠光灯。对于某些要求高的检测任务，常采用 X 射线、超声波等不可见光作为光源<sup>[15]</sup>。

图像聚焦形成是指被测物的图像通过一个透镜聚焦在敏感元件上，机器视觉系统使用传感器来捕捉图像，传感器将可视图像转化为电信号，便于计算机处理。

图像确定和形成就是通过摄像机这个光电转换装置，把接收到的透镜成像转化为计算机能处理的电信号。

### 1.3.2 工业视觉监控系统分类

(1) 基于工业控制计算机的工业视觉监控系统 PC 式视觉系统是一种基于工业计算机(PC)的视觉系统，一般由光源、CCD 或 CMOS 相机、图像采集卡、图像处理软件以及一台 PC 机构成。基于 PC 的机器视觉应用系统尺寸较大、结构复杂，开发周期较长，但其可进行更高级开发，可装载多个摄像头，可达到理想的精度及速度，能实现较为复杂的系统功能。以美国 DATA TRANSLATION 公司为例，系统内含高性能图像捕获卡，一般可接多个摄像头，配套软件方面，从低到高有多个层次，如 Windows95/98/NT 环境下 C/C++ 编程用 DLL，可视化控件 ActiveX 提供 VB 和 VC++ 下的图形化编程环境，Windows 下的面向对象的机器视觉组态软件，用户可用它开发复杂更高级的应用。

(2) 基于工业视觉传感器的工业视觉监控系统 在基于工业传感器的系统中，视觉作用整合成一个智能化的传感器，图像处理单元封装入传感器独立于系统，通过串行总线和 I/O 与 PLC 交换数据，系统软件固化在图像处理器中，利用嵌入式计算机进行图像处理，通过 I/O 键盘对传感器中的功能进行配置。基于传感器的机器视觉系统集成度高、易用性强、功能丰富，在工业视觉检测领域得到了快速的应用。代表的生产厂商有日本欧姆龙、德国西门子等。但由于其成本较高，视觉检测算法难以调整，基于工业视觉传感器的视觉监控系统

的市场应用难以大幅推广。

(3) 基于嵌入式系统的工业视觉监控系统 基于嵌入式计算机视觉监控系统, 其结构主要由图像获取设备、嵌入式计算机、分拣机构组成。嵌入式计算机视觉监控系统软硬件可以根据应用要求进行筛选, 因此可以大幅降低系统成本较低, 同时视觉检测程序及算法可以自主开发。因此开发出的产品应用性高、可维护性好、便于不断完善和升级换代等。

## 1.4 图像匹配算法的发展现状

图像处理技术是将图像做为图像信号的数学处理技术, 主要是利用采集、滤波、检测、均衡、变换、调制、压缩、去噪、估计、匹配等处理方法得到符合需要的信号形式<sup>[16]</sup>。数字图像处理的最早应用于 20 世纪 20 年代, 图像处理技术首次用于图像的远距离传送, 用来改善图片传送质量。随着计算机和集成电路的诞生与快速发展, 数字图像处理技术才真正被众多研究者关注并得到迅速发展。1964 年美国开始使用计算机对如阿波罗登月飞船传回的图片使用了数字图像处理技术进行了处理, 主要是图像的校正、增强、复原等。20 世纪 70 年代美国在飞行器导航系统、武器制导系统等应用研究中提出了机器视觉概念。经过几十年的发展, 机器视觉图像处理技术应用已逐步从最初单纯的航天及军事应用扩展到其它领域。随着计算理论及其研究的快速发展, 在许多不同行业都有许多模板匹配技术的研究, 如农业检测, 工业检测, 遥感领域、模式识别、医学诊断、机器人视觉等, 图像匹配技术及其研究在现代信息处理领域的应用越来越重要。

其中图像匹配技术是根据已知模板, 到另一幅图中搜索相匹配的子图像的过程, 称为模板匹配<sup>[17]</sup>。模板匹配时数字图像处理领域的一项重要研究, 并已在计算机视觉、虚拟现实场景生成、生物医学、航空航天遥感测量、影像分析、光学和雷达跟踪、景物制导等领域得到了广泛的应用。相关模板匹配可分为三个层次: 基于灰度的相关匹配、基于特征的相关匹配、基于解释的相关匹配<sup>[18]</sup>。对基于灰度的相关匹配有着近二十年的研究历史, 它是一种对共轭图像逐像元以一定大小的窗口的灰度阵列, 按一种或几种相似性度量顺次进行搜索匹配的方法。常用的灰度相关算法有归一化相关匹配 (Normalized Cross-Correlation) 算法、差的绝对值和 (Sum of Absolute Difference, SAD) 相关算法、差的平方和 (Sum of Square Differences, SSD) 相关算法等; 基于特征的匹配, 包括特征提取和特征匹配两大环节, 常用的特征提取包括边缘特征、纹理特征、信息熵特征、不变矩特征、分形特征等<sup>[19,20]</sup>; 基于解释的相关匹配, 是建立在图像自动

识别的专家系统上的方法，目前还不够成熟。

近几十年来，图像匹配一直是数字图像处理技术中研究的热点和难点，它是在图像间进行多种变换，使来自不同时间、不同传感器或者不同视角的同一场景的两幅或多幅图像在空间上一致，目前已经应用于许多领域，如巡航导弹制导采用景象匹配来确定导弹准确的位置；对多个图像进行融合时，首先需要进行图像之间的模板匹配；在立体视觉中为了得到图像的深度图，需要寻找场景中同一点在两幅图像中的共扼对，这同样是图像匹配研究的内容；另外，物体目标识别和跟踪技术中也广泛应用了数字图像匹配相关的技术<sup>[21,22]</sup>。

由于时间、视角、自然环境的变化、各个传感器的使用和传感器本身的缺陷，使拍摄的图像不仅受噪声的影响，而且存在严重的灰度失真和几何畸变。在这样的条件下，需要研究先进的模板匹配算法，以提高模板匹配精度、匹配准确率、速度、鲁棒性和抗干扰性，并达到需求的目标。在过去的几十年中，各种图像匹配算法相继出现，而且结合许多数学理论和方法，人们又不断提出了新的匹配方法。

## 1.5 论文的主要内容

本课题的主要任务是基于 CCD 摄像机，图像采集卡，计算机等硬件设备，通过软件平台建立一个机器视觉监控系统，达到生产监控避免压模的目的。本文将包括以下内容的研究开发工作：

(1) 分析注塑机视觉监控系统的研究背景和意义，研究与注塑过程视觉监控系统相关的一些机器视觉和工业监控相关的技术。

(2) 研究注塑机视觉监控系统所需硬件如光源、CCD 摄像机、图像采集卡、计算机、成型机等基本原理，及其通讯原理，设计视觉监控系统总体方案，如系统的工作原理中，介绍成型机注塑与视觉系统控制工作步骤、系统的通讯机制、系统的控制流程图。

(3) 研究相关的模板匹配算，如比较法匹配，归一化相关系数模板匹配法，序贯相似性检测算法，圆投影转换模板匹配算法，并针对比较法匹配及归一化相关系数模板匹配法进行改进。

(4) 设计和开发基于机器视觉的注塑过程视觉监控系统。基于 VC++ 6.0 平台开发系统控制及模板匹配程序。

(5) 在企业进行调试及测试，得到测试结果。

## 第 2 章 注塑机视觉监控系统总体设计

注塑过程视觉监控系统以其高速度、高精度、高度自动化的特点，成为注塑成型生产上的重要设备之一，集光机电一体化，综合了图像采集、数字图像处理、串口通讯等技术，是机器视觉应用的集中体现。本章介绍了注塑机的构成和工作原理、视觉监控系统的工作原理以及系统的软硬件结构。

### 2.1 注塑机简介

注塑机是一个集机电与液压一体的典型系统。由于注塑加工能够一次成型形状复杂的塑料制品，如照相机镜头、塑料齿轮和激光光碟等精密塑料制品，同时，可供注塑加工的塑料种类非常多，具有适应性强、效率高和后加工量少等特点，因此，这种加工方法在近几年得到了迅猛发展，注塑机的产量在塑料机械中所占比例达到 40% 左右。

注塑成型利用柱塞式螺杆或螺旋式螺杆，将加热料筒中预先已均匀塑化的热塑性塑料或热固性塑料，高速推挤到闭合模具的型腔中，经过保压和冷却等程序后成型注塑制品<sup>[23,24]</sup>。除了一些连续的塑料型材外，注塑成型加工方法几乎可以生产各种复杂形状和尺寸并满足各种实际要求的塑料制品。因此，注塑机广泛用于机械配件、国防工业、电讯工程、交通运输、仪表工业、电子电气、航空、建筑、农业、文教、医疗卫生及日常生活等各个领域<sup>[25,26]</sup>。

#### 2.1.1 现代注塑机的基本组成

注塑机是将经过预塑熔化后的颗粒状高分子材料，由喷嘴高速射入模腔，再经过冷却成型塑料制品的设备，能够一次成型复杂制品，具有生产效率高、后加工量少、制品表面光洁程度好、废品率低等特点，并能够满足对于注塑制品尺寸精度和质量精度的要求。因此，注塑机目前已成为塑料机械中量大面广、最具有代表性的一种塑料加工设备。

现代注塑机一般由注射装置、锁模装置、液压传动和电气控制系统等部分组成，如图 2-1 所示。

(1) 注射装置 包括料筒、加热圈、注射油缸、射台移动油缸、预塑油马达及螺杆等。其主要功能是使塑料均匀地塑化，并以足够的压力和速度将一定剂量的熔料注射到锁紧的模腔内。注射装置塑化性能好、计量精确，并能够提



供准确的注射压力和注射速度。

(2) 锁模装置 主要由动模板、定模板、拉杆、锁模机构(包括合模油缸)、制品顶出装置和安全门等组成,是成型注塑制品的工作部件。由于高速注入模腔内的熔料具有一定的压力,只有在锁模装置给予了模具足够的锁模力情况下,才能防止因熔料的压力作用致使模具被打开,造成制品出现飞边、精度下降等缺陷。因此,锁模装置必须能够保证模具可靠地闭合,并实现模具启闭和制品顶出等。

(3) 液压传动和电气控制系统 液压传动和电气控制系统相互协调完成主机预定动作。其中,液压传动系统包括油泵、控制阀(比例/伺服阀,常规方向、压力和流量阀)和附属装置(管路、冷却器、过滤器、蓄能器、油箱箱体)等;气控制系统包括电源、微机控制器、加热及检测元件、执行机构等<sup>[27]</sup>。

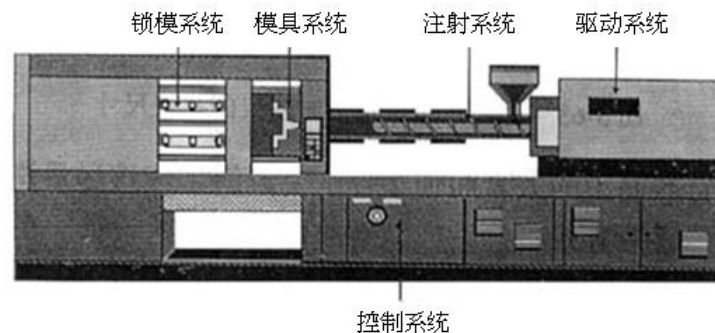


图2-1 注塑机的基本组成部分

### 2.1.2 注塑机的基本工作过程

注塑机单个基本工序如图 2-2 所示,由合模、射出、保压、冷却、塑化、开模、顶出等基本过程组成。下面将逐一加以说明。

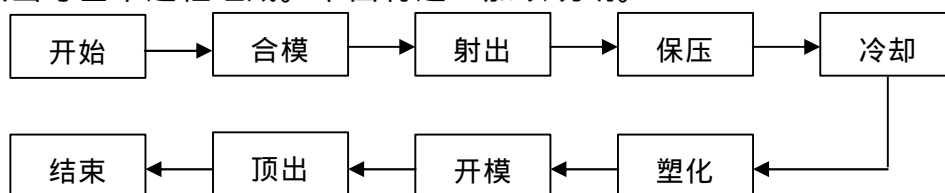


图2-2 注塑机基本工序

(1) 合模 合模油缸中的压力油推动锁模机构动作,动模板移动使模具闭合。其中,模具首先以低压高速闭合;当动模板即将接近定模板时,再切换成低速、低压闭合(即模具保护工况);在确认模具内无异物存在时,再切换成高压(锁模力),并将模具锁紧。

(2) 射出 模具以锁模力锁紧后,射台进工况使喷嘴和模具贴合。注射电

磁阀通电后，注射油缸充入压力油，推动与该油缸活塞杆相连接的螺杆，并按照分等级的压力和速度将料筒内的熔料注入锁紧的模腔内。

(3) 保压 熔料在充填模腔过程中直至充填满点，要求螺杆仍对熔料保持一定的压力，以防止模具中的熔料回流；同时，施加保压压力，以便向模腔内补充因制品冷缩所需的物料，避免制品产生缩孔等缺陷。

(4) 冷却和塑化 一旦浇口封死后，取消保压过程，制品在模具内自然冷却定型；同时，驱动预塑油马达使螺杆转动，将来自料斗的颗粒状塑料向前输送，进行塑化。在原料塑化达到预定计量值后，为了防止已熔化的塑料溢出喷嘴，需要将螺杆向后移动一定距离，即进行防涎处理。

(5) 开模及顶出 预塑计量及防涎过程结束后，为了使喷嘴不至于因长时间和冷模接触而形成冷料，通常需要将喷嘴撤离模具，即进入射台退工况。该动作是否执行，以及执行的先后程序，可供选择。一旦制品冷却定型后就开模，并自动顶出制品。

### 2.1.3 注塑机基本工作原理

注塑机的基本工作原理可以理解为塑料原料在料筒内均匀塑化后，经过注射、流动充模、保压和冷却后成型得到注塑制品<sup>[28]</sup>。各个阶段的特点及控制要求说明如下。

(1) 预塑阶段 在螺杆的作用下，存放在料斗中的颗粒状塑料不断沿螺杆向前运动。出于受到料筒外加热和螺杆剪切的共同作用，塑料逐步被加热软化，最终成为熔融粘流状态。同时，螺杆头部熔料的作用力将螺杆往回推。通过改变螺杆背压(即工作油回泄阻力)来调节螺杆退回速度，改变螺纹槽内塑料流动状况，最终达到控制熔料塑化性能的目的。例如，提高背压可以改善熔料均匀化程度。同时，熔料温度升高势必也会影响螺杆的输送能力；螺杆后退，其实际工作长度发生变化，引起塑化能力下降，同时，熔化后塑料温度在螺杆轴向偏差大，并随注射行程和螺杆转速的增加而增大。因此，利用背压与熔料温度存在的线性关系，可以根据实际料温动态调节背压大小，补偿预塑时因螺杆有效长度的缩短引起的轴向温差。同理，通过调节背压和转速，确保在高背压下具有大的剪切力和低转速，塑化均匀。在低背压和低转速下，由于螺杆前部熔料压力得到大部分释放，螺杆转动惯量小。

(2) 注射充填阶段 螺杆在推力的作用下，已经塑化好的熔料以一定的速率流经料筒、喷嘴、流道、浇口等处后注入模腔，注射压力也因克服流动阻力而逐渐下降。塑料充填过程及成型质量除了受到注射压力影响外，还取决于熔

料注射速度、熔料与模具温度，以及流道、浇口和模具。通常，熔料压力越高，速度越快，则所能流过的路程越长。利用模腔压力，能够客观描述熔料流动及其状态变化，并控制制品的质量。在该阶段，压力随熔料流入路径而增高，并达到最大值。同时，注射速度迅速下降，压实模腔内的熔料。由于熔料在模腔内的流动状态会直接影响制品的表面质量、分子取向、制品内应力等，因此，为了调节充模过程，根据塑料制品和模具结构特点，可以采用多级注射速度，即在熔料流经浇口和充模结束时速度较低，其它过程则采用高速注射。

(3) 保压增密阶段 在该阶段，模具冷却，熔料的体积比变化，引起制品收缩，需要对螺杆施加一定的保压压力，以补缩和增密熔料。保压时间及压力大小与制品构力有关。压力越高，制品收缩小，但压力过大，容易产生较大的残余应力，导致脱模困难。

(4) 倒流阶段 在该阶段，模腔压力高于浇口至螺杆处熔料的压力，模腔内的塑料尚未完全固化，内层塑料还具有一定的流动性，有可能向浇口作微量的倒流，引起制品产生缩孔、中空等缺陷。采用多级保压压力，按时间进行切换，能够消除残余应力。保压切换过早，引起模腔内塑料倒流，产生缩孔、中空等缺陷，保压时间过长，因浇口已固化再进行填充，使浇口周围形成应力。

(5) 制品冷却阶段 在该阶段，模腔内塑料继续冷却，使制品在脱模时具有足够的刚度，冷却时间长短与制品的残余应力大小有关。

## 2.2 注塑过程监控系统功能要求

成型机注塑与视觉系统控制工作步骤如下，成型机在视觉系统监视下，在整个注塑工作周期内，将由以下 7 个步骤完成：

(1) 成型机注塑完成后开始开模。

(2) 开模到位后机械手取产品或植入冲件（或开模由手动完成取件或植入冲件然后关门）。

(3) 取件完成后成型机即发出 关模开始信号 （或关门后由手动执行关模动作）。

(4) 当计算机控制系统接收到成型机 关模开始信号 后，立即向图像采集系统发出 开始图像采集信号 。

(5) 图像采集系统接受到 开始图像采集信号 后，立即开始拍摄并完成图像采集后向计算机控制系统传回图像数据。

(6) 计算机将接受到的图像数据与标准图像进行比较匹配运算，如果匹配一致则向成型机发出 1 信号，如果匹配失败则向成型机发出 0 信号。

(7) 成型机发出“关模开始信号”后即开始等待视觉系统反馈的“关模控制信号”，在延时周期内如果接收信号为 1 则继续关模生产，如果为 0 则停止关模与生产，并报警等待处理。

视觉监控系统就是对 CCD 摄像机拍摄模具表面状况的图片，使用模板匹配算法将其与标准的图片进行匹配。如果匹配值达到设定值，则继续生产，否则，停止生产，并报警等待处理。

## 2.3 系统硬件构成

本课题研究的视觉系统硬件包括：光源，CCD 摄像机(光学成像系统)，图像采集卡(图像采集数字化系统)，计算机(数字图像处理模块)，成型机(机械控制执行模块)。如图 2-3 所示。



图 2-3 视觉监控系统硬件结构

(1) 光源 在目前的机器视觉应用系统中，好的光源与照明方案往往是整个系统成败的关键所在，起着非常重要的作用，并不是简单的照亮物体而已。光源与照明方案的配合应尽可能地突出物体特征量，在物体需要检测的部分与那些不重要部份之间应尽可能地产生明显的区别，增加对比度。同时还应保证足够的整体亮度，物体位置的变化不应该影响成像的质量。在机器视觉应用系统中一般使用透射光和反射光。对于反射光情况应充分考虑光源和光学镜头的相对位置、物体表面的纹理，物体的几何形状等要素。下面分析几种照明配置方案。

顶部散射光照明方式：散射光照射物体正面，光线没有方向性，比较柔和，成像不会有眩光，并且容易实现。但是物体边缘对比度不够大。

正面定向光源照明方式：光源产生具有一定方向性的光线从物体正面的某一角度对物体进行照射，能够产生必要的阴影，并且很容易实现，但是也可能产生一些不必要的阴影，并且对物体的照明可能不均匀。

环形照明方式：对球形或弧形物体能够均匀照明，但是光源必须环绕物体，实现较难，不可能做得很大，也较昂贵。

背部聚光透射式照明方式：能够产生比较清晰、精确的边缘，但只对一些

透明或半透明的物体才有效，且容易受其它光线的干扰。

极化光照明方式：采用一对互成 90 度的偏阵片滤光，能够突出透明物体的特征。

小角度照明方式：可以显示物体表面的一些小的突起，但是照明可能分布不均匀。

闪光照明方式：非常适合于拍摄高速运动的物体，但比较昂贵且必须协调好拍照与闪光的时间。

平面光束照明方式：使用激光产生平面光束，有很高的对比度，能够表现物体的三维特征，但对金属或者黑橡胶物体难以得到足够亮的反射光。

共轴照明方式：能够消除阴影，但是实现起来比较复杂。

光源设备的选择必须符合所需的几何形状、照明亮度、均匀度、发光的光谱特性也必须符合实际的要求，同时还要考虑光源的发光效率和使用寿命。表 2-1 列出了主要几种光源的相关特性。其中，LED 光源凭借其诸多的优点在现代机器视觉应用系统中得到越来越多的应用。

表 2-1 各种光源的对比

光源	颜色	寿命(H)	发光亮度	特点
卤素灯	白色，偏黄	5000-7000	很亮	发热多，便宜
荧光灯	白色，偏绿	5000-7000	亮	较便宜
LED 灯	红,黄,绿,白,蓝	60000-100000	较亮	发热少，固体，能做成多种形状
电致发光管	由发光频率决定	5000-7000	较亮	发热少，较便宜

(2) CCD 摄像机 CCD 摄像机在机器视觉中得到了广泛使用。CCD 是 Charge Coupled Device(电荷耦合器件)的缩写，它是一种半导体成像器件，因而具有灵敏度高、抗强光、畸变小、体积小、寿命长、抗震动等优点。被摄物体的图像经过镜头聚焦到 CCD 芯片上，CCD 根据光的强弱积累相应比例的电荷，各个像素积累的电荷在视频时序的控制下，逐点外移，经滤波、放大处理后，形成图像信号输出。目前 CCD 摄像机以其小巧、可靠、清晰度高等特点在商用和工业领域得到了广泛的使用。CCD 摄像机按照其使用的 CCD 器件可以分为线阵式和面阵式两大类。线阵 CCD 摄像机一次只能获得图像的一行信息，被拍摄的物体必须以直线形式从摄像机前移过，才能获得完整的图像。线阵 CCD 摄像机主要用于检测那些条状、筒状产品，例如布皮、钢板、纸张等。面阵摄像

机一次获得整幅图像的信息，主要应用与实时监等领域。本课题机器视觉系统采用彩色面阵式 CCD 摄像机。

对机器视觉应用系统中使用的 CCD 摄像机应考虑多种技术参数，其中解析度是反映像素精度；扫描方式有隔行扫描方式和逐行扫描方式两种；快门时间是指摄像机获得一副图像的曝光时间；场频是指摄像机每秒能送出多少场图像，对于高速应用系统，必须使用高场频摄像机，才能捕捉每一微小时刻物体的影像；异步重置出发功能是指当拍照要求精确控制拍照时间时，摄像机应具有异步重置功能；成像灵敏度通常用最低环境照度要求来表明摄像机的灵敏度，黑白摄像机的灵敏度大约是 0.02-0.5Lux(勒克斯)，与近红外灯配合使用时，也必须使用低照度的摄像机；外同步是指不同的视频设备输出的视频信号具有相同的帧、行的起止时间；光谱响应特性是指因 CCD 器件由硅材料制成，对近红外比较敏感，光谱响应可延伸至 1.0 $\mu$ m 左右；摄像机信号的输出接口主要有普通模拟复合信号输出接口，RGB 分量输出，RS-422 和 LVDS 数字输出，Camera Link Video 与 IEEE 1394 接口。

(3) 图像采集卡 在基于 PC 机的机器视觉系统中，图像采集卡是控制摄像机拍照，完成图像采集与数字化、协调整个系统的重要设备<sup>[29]</sup>。用于机器视觉应用系统的图像采集卡一般具有以下功能模块：

图像信号的接受与 A/D 转换模块，负责图像信号的放大与数字化。有用于彩色或黑白图像的采集卡，彩色输入信号可分为复合信号或 RGB 分量信号。同时，不同的采集卡有不同的采集精度，一般有 8bit 和 10bit 两种。

摄像机控制输入输出接口，主要负责协调摄像机进行同步或实现异步重置拍照、定时拍照等。

总线接口，负责通过 PC 机内部总线高速输出数字数据，一般是 PCI 接口，传输速率可高达 130MB/S，完全能胜任高精度图像的实时传输，且占用较少的 CPU 时间。

有时图像采集卡同时还包括显示模块，负责高质量的图像实时显示，通讯接口负责通讯。图像采集卡在系统中位于 CCD 摄像机和计算机图像处理模块之间，它主要完成对 CCD 摄像机输出图像信号的采集和数字化加工，并按要求的格式将图像信息输入到计算机的图像处理模块，另外图像采集卡也有对硬件触发的直接控制功能。在系统工作过程中，图像采集卡的主要任务就是接收从计算机发出的控制信号，触发 CCD 摄像机拍摄图像，然后完成对图像的采集工作。

(4) 计算机 在本课题机器视觉系统中计算机的功能主要可以分为两部分，其一是完成对图像的匹配处理任务，及将 CCD 摄像机实时传输过来的图像与事

先已获取的模板进行匹配 ;其二是通过串口与图像采集卡,CCD 及成型机之间进行通讯,以完成对整个系统的协调控制。计算机完成这两部分的工作主要依靠该视觉系统的控制软件,该软件在本课题中通过 VC++开发完成。

(5) 成型机 成型机为成型生产主体设备,其为机器视觉系统控制对象,如果接收到控制系统 “1”信号即检测模具表面正常,则成型机继续循环工作,如果接收到控制系统 “0”信号即发现模具表面异常,则中断工作,并报警等待处理。

## 2.4 系统软件设计

模具视觉监控系统是高速实时监控系统,因而对软件要求速度快、控制及时。在连续监控中,PC 机使用图像采集卡和 CCD 摄像机连续地对被检测区域进行准确地拍照,获得图像的数字化信息,通过将其与事先已经获得模板进行匹配来判断是否发生压模事故。

### 2.4.1 系统软件基本要求

模具视觉监控系统是现代通信技术、数字图像处理技术、传感器技术等高新技术的结合,它应满足以下一些基本要求。

(1) 开放性 系统应按开放式结构设计,使其具有良好的开放性,能与多种被控对象接口,包括与图像采集卡或者成型机的设备连接,具有让用户进行二次开发的能力。

(2) 实时性 系统应采用实时多任务操作系统,保证系统内所有信息传输处理迅速、及时。

(3) 高可靠性 系统应具有高可靠性,对外部的噪声有一定的抗干扰能力,对环境的变化有一定的适应能力,比如,光照的变化。

(4) 可升级和可扩展性 系统硬件、软件应采用模块化设计,使系统具有良好的可升级性和可扩展性。

(5) 操作简单性 系统应具良好的图形化人机界面,易于操作,并具有在线帮助功能。

### 2.4.2 系统软件实现的基本功能

(1) 监控功能 使用 CCD 摄像机拍摄模具表面状况的图片,实时监视模具表面状况。

(2) 警告功能 实时监视模具表面状况。若发生异常情况，以图形和音响方式告警提示，并自动弹出紧急告警点的画面，停止关模与生产。

(3) 存储功能 系统可分级对采集到的模具表面状况图片按要求进行处理和存储，保证对信息变化的准确真实记录，特别是由于上报通道不畅或其它原因引起数据无法及时上报时，系统自动将采集到的信息存储在当地的处理机中，待传输通道恢复后，再上报到监控中心，为故障分析提供依据。

(4) 系统自检诊断功能 系统应具有自检诊断能力，能及时发现系统硬件及软件的故障，并能提供故障定位信息。

(5) 辅助功能 在线帮助功能。系统提供完善的在线帮助功能，使操作人员可在 用户操作导向 的帮助下按步骤完成各项操作。并为用户提供可开发的条件。

### 2.4.3 程序开发工具的选择

Visual C++是 Windows 环境下主要的应用开发工具之一，支持面向对象的程序设计。开发应用程序一般以 MFC 为基础，它体现了 Visual C++非凡的魅力，使用户能够方便的开发应用程序<sup>[30,31]</sup>。Visual C++不仅仅是 C++语言的开发环境，而且与 win32 紧密相连，所以，利用 Visual C++开发系统可以完成各种各样的应用程序编写，从底层软件直到面向用户的软件都可以用 Visual C++来完成开发；而且 Visual C++强大的调试功能也为大型复杂软件的开发提供了有效的排错的手段。Visual C++支持多线程，具有相当快的执行速度，开发的程序具有很好的实时性能。因此，模具视觉监控的工作软件采用 Visual C++6.0 作为开发平台，并使用了多线程技术。

### 2.4.4 系统软件模块

系统软件主要包括以下五个模块，如图 2-4 所示。

(1) 输入模块 在成型机开模之前，系统要做一些初始化的工作，包括读入模板图像、设置参数等。

(2) 控制模块 成型机开始工作，监控软件检测有无由成型机发来的 关模开始信号。当计算机控制系统接收到成型机 关模开始信号 后，立即向图像采集系统发出 开始图像采集信号”，图像采集系统接受到 始图像采集信号 后，立即开始拍摄并完成图像采集后向计算机控制系统传回图像数据。这时，程序界面会显示返回的图像数据，同时将其与模板进行匹配。如果匹配一致则



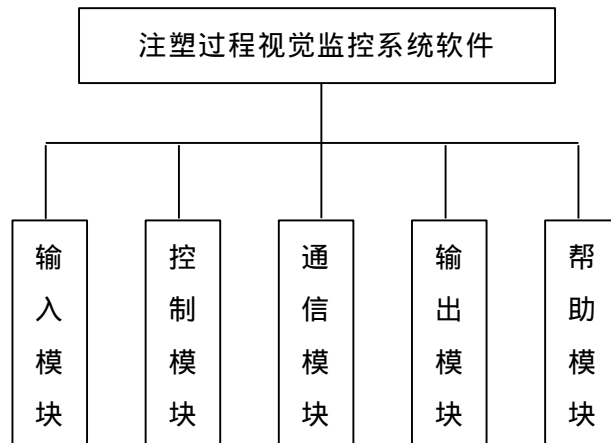


图 2-4 视觉监控系统软件包含的模块

向成型机发出 1 讯号，表示成型机继续关模生产。如果匹配失败，则向成型机发出 0 讯号，表示成型机停止关模与生产，并报警等待处理。在这个过程中，每完成一步，程序都会以消息的形式通知用户。

（3）通信模块 通信模块包括计算机与图像采集卡的通信和计算机与成型机的通信，可通过计算机串口通讯端口实现<sup>[32]</sup>。计算机与成型机及图像采集系统之间通过到点的控制接口，实现实时通讯与控制。

（4）输出模块 在监控注塑成型的过程中，系统会返回一些信息给用户，比如，每次匹配的时间、匹配值、是否匹配通过的信息以及匹配失败时的报警信息。

（5）帮助模块 提供系统帮助信息。

## 2.5 本章小结

本章主要首先介绍注塑机的主要构成和基本工作原理。然后介绍了注塑过程视觉监控系统的工作原理以及软硬件构成。其中，系统硬件包括光源、CCD 摄像机、图像采集卡、计算机、成型机。软件部分介绍了系统软件的基本要求、应实现的基本功能、开发工具的选择以及包括的模块。

## 第 3 章 模板匹配算法研究与设计

模板匹配算法研究在视觉处理应用有着非常重要的地位。随着机器视觉技术的快速应用，模板匹配算法也得到了很快的发展。目前，相关模板匹配可分为三个层次：基于灰度的相关匹配、基于特征的相关匹配、基于解释的相关匹配。本章主要将对基于灰度的相关匹配算法进行研究。

### 3.1 模板匹配的基本概念

所谓模板匹配，就是用已知的模板图像，和原图像中同样大小的一块区域去对。最开始时，模板的左上角点和图像的左上角点是重合的，拿模板和原图像中同样大小的一块区域去对比，然后平移到下一个像素，仍然进行同样的操作，直到所有的位置都对完后，差别最小的那块就是我们要找的物体<sup>[33,34]</sup>。

以 8 位图像(其 1 个像素由 1 个字节描述)为例，模板  $T$  ( $m \times n$  个像素)叠放在被搜索图  $S$  ( $W \times H$  个像素)上平移，模板覆盖被搜索图的那块区域叫子图  $S_{ij}$ 。 $i, j$  为子图左上角在被搜索图  $S$  上的坐标。搜索范围是：

$$\begin{cases} 1 \leq i \leq W - n \\ 1 \leq j \leq H - m \end{cases}$$

通过比较  $T$  和  $S_{ij}$  的相似性，完成模板匹配过程，如图 3-1 所示。

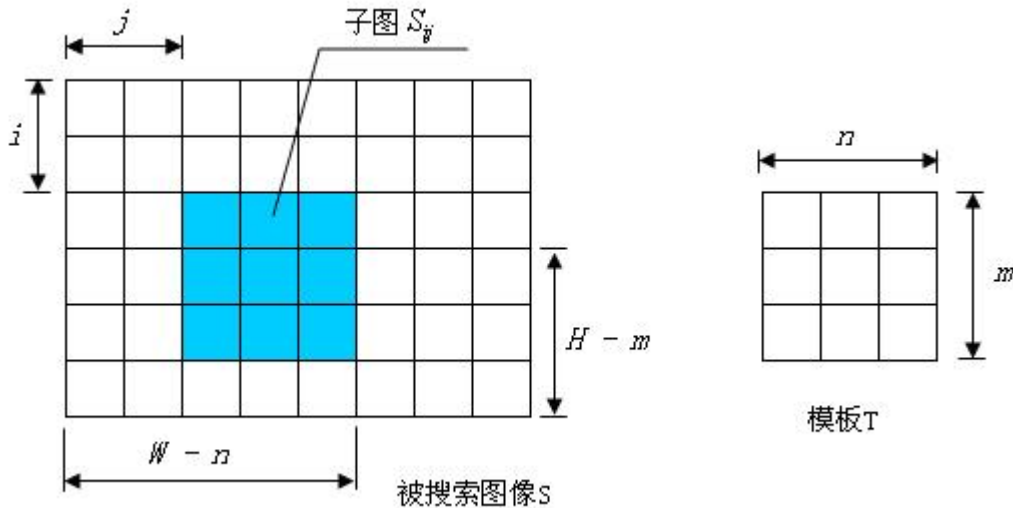


图 3-1 模板匹配过程

模板  $T$  和子图像  $S_{ij}$  的相似性度量有很多种方法，比如比较匹配算法，归一

化相关匹配 ( Normalized Cross-Correlation, NCC ) 算法、差的绝对值和 ( Sum of Absolute Difference, SAD ) 相关算法、差的平方和 ( Sum of Square Differences, SSD ) 相关算法等，每种相似性度量方法都有其各自的优缺点。

### 3.2 模板匹配算法的选取

根据匹配的基本原理将模板匹配算法分为基于灰度相关的匹配、基于特征的匹配、基于模型的匹配以及基于变换域的匹配，最主要的是基于图像灰度值和基于图像特征两大类。其中基于图像像素值的算法因为方法简单，容易实现，在实际应用中用得比较多，常用的灰度值匹配算法有归一化相关匹配 (Normalized Cross-Correlation, NCC) 算法、差的绝对值和 (Sum of Absolute Difference, SAD) 相关算法、差的平方和 (Sum of Square Differences, SSD) 相关算法、序贯相似性检测 (Sequential Similarity Detection Algorithm, SSDA) 等等；克服基于灰度相关匹配方法的缺点基于特征的匹配算法应运而生，这种方法涉及的知识面很广，包括图像处理，模式识别，机器学习等方面的知识，一般不采用，基于特征的匹配算法包括特征提取和特征匹配两大环节，常用的特征提取有边缘特征、纹理特征、信息熵特征、不变矩特征、分形特征等<sup>[35,36]</sup>。

同一场景在不同条件下投影所得到的二维图像会有很大的差异，这主要是由如下原因引起的：传感器噪声、成像过程中视角改变引起的图像变化、目标移动和变形、光照或者环境的改变带来的图像变化以及多种传感器的使用等。为解决上述图像畸变带来的匹配困难，人们提出了许多匹配算法，而模板匹配都是由如下四个要素组合而成：

(1) 特征空间 特征空间是由参与匹配的图像特征构成的，选择好的特征可以提高匹配性能、降低搜索空间、减小噪声等不确定性因素对匹配算法的影响。匹配过程可以使用全局特征或者局部特征以及两者的结合。

(2) 相似性度量 相似性度量指用什么度量来确定待匹配特征之间的相似性，它通常定义为某种代价函数或者是距离函数的形式。经典的相似性度量包括相关函数和 Minkowski 距离，近年来人们提出了 Hausdorff 距离、互信息作为匹配度量。Hausdorff 距离对于噪声非常敏感，分数 Hausdorff 距离能处理当目标存在遮挡和出格点的情况，但计算费时；基于互信息的方法因其对于照明的改变不敏感已在医学等图像的匹配中得到了广泛应用，它也存在计算量大的问题，而且要求图像之间有较大的重叠区域。

(3) 图像匹配变换类型 图像几何变换用来解决两幅图像之间的几何位置差别，它包括刚体变换、仿射变换、投影变换、多项式变换等。仿射变换是常

用的一种图像几何变换。设  $(x_1, y_1)$  是图像中某一像素点的坐标，经过仿射变换后的坐标为  $(x_2, y_2)$  坐标，则：

$$\begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} t_x \\ t_y \end{pmatrix} + s \times \begin{pmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \end{pmatrix} \quad (3-1)$$

其中  $t_x$  和  $t_y$  是  $x$  和  $y$  方向的平移量， $\theta$  是旋转角， $s$  是尺度因子，求解这四个参数即确定了一个仿射变换。

(4) 变换参数的搜索 搜索策略是用合适的搜索方法在搜索空间中找出平移、旋转等变换参数的最优估计，使得图像之间经过变换后的相似性最大。搜索策略有穷尽搜索<sup>[37, 38]</sup>、分层搜索、模拟退火算法、Powell 方向加速法、动态规划法、遗传算法和神经网络等<sup>[39]</sup>。遗传算法采用非遍历寻优搜索策略，可以保证寻优搜索的结果具有全局最优性，所需的计算量较之遍历式搜索小得很多；神经网络具有分布式存储和并行处理方式、自组织和自学习的功能以及很强的容错性和鲁棒性，因此这两种方法在图像匹配中得到了更为广泛的使用。在成像过程中，由于噪声及遮挡等原因，导致一幅图像中的特征基元在另一幅图像中有几个候选特征基元或者无对应基元，这些都是初级视觉中的“不适定问题”，通常在正则化框架下用各种约束条件来解决。常用的约束有唯一性约束、连续性约束、相容性约束和顺序一致性约束。有文献提取左右图像对中的线段，用对应线段满足的全局约束、相容性约束、邻域约束等表示 Hopfield 神经网络的能量函数，通过最小化能量函数得到两幅图像中的对应线段，提高了匹配的可靠性。同时人们还采用最小平方中值法和投票算法等后处理来有效地消除假配点和误配点。

由于模板匹配方法种类繁多，下面介绍一些基于灰度的和基于特征的模板匹配方法。基于灰度相关的匹配算法是一种对待匹配图像的像元以一定大小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。这类算法的性能主要取决于相似性度量及搜索策略的选择上。匹配窗口大小的选择也是该类方法必须考虑的问题，大窗口对于景物中存在遮挡或图像不光滑的情况会出现误匹配的问题，小窗口不能覆盖足够的强度变化，因此可自适应调整匹配区域的大小来达到较好的匹配结果。为克服基于灰度相关匹配方法的缺点，人们提出了基于特征的匹配方法<sup>[40,41]</sup>，该类方法首先从待配准的图像中提取特征，用相似性度量和一些约束条件确定几何变换，最后将该变换作用于待匹配图像。匹配中常用的特征有边缘、轮廓、直线、兴趣点、颜色、纹理等。但是基于特征的匹配对于图像畸变、噪声、遮挡等具有一定的鲁棒性<sup>[42,43]</sup>，但是它的匹配性能在很大程度上取决于特征提取的质量，而且匹配精度不高。

### 3.3 模板匹配算法应用研究

图像匹配技术是数字图像处理领域的一项重要研究，传统的模板匹配算法主要有基于灰度的相关匹配、基于特征的相关匹配、基于解释的相关匹配。本文主要对基于灰度相关的模板匹配算法进行了研究，它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。常用的灰度相关算法有比较匹配算法，归一化相关匹配（Normalized Cross-Correlation, NCC）算法、差的绝对值和（Sum of Absolute Difference, SAD）相关算法、差的平方和（Sum of Square Differences, SSD）相关算法、序贯相似性检测（Sequential Similarity Detection Algorithm, SSDA）、圆投影转换（Ring Projection Transformation, RPT）模板匹配等。

#### 3.3.1 比较匹配算法

通过比较  $T$  和  $S_{ij}$  的相似性可以实现模板匹配过程，怎么样刻画这种相似性呢？有很多种方法，其中之一就是计算原图与模板的误差即误差比较法<sup>[44-46]</sup>。

定义

$$E(i, j) = \sum_{m=1} \sum_{n=1} |S_{ij}(m, n) - T(m, n)| \quad (3-2)$$

为原图与模板的误差。当  $E(i, j)$  的值过大时，则认为模板匹配失败，当  $E(i, j)$  的值小到足够的程度时则匹配成功，并且该处就是匹配的位置<sup>[47]</sup>。

然而当待匹配图像与模板太大时，这种算法需要处理的数据相当巨大，因此匹配的时间非常长。

因此对比较算法进行了改进，首先对误差取一个阈值  $E_0$ ，当  $E(i, j) > E_0$  时就停止该点的计算，继续下一点计算。其次针对待匹配图像采用粗误差及精误差 2 次匹配：第一次匹配是粗匹配，取模板的隔行隔列数据，即四分之一的模板数据，在被搜索图上进行隔行隔列扫描匹配，即在原图的四分之一范围内匹配；第二次匹配是精匹配，在第一次误差最小点  $(i_{\min}, j_{\min})$  处的邻域内，即在对角点为  $(i_{\min} - 1, j_{\min} - 1)$ ,  $(i_{\min} + 1, j_{\min} + 1)$  的矩形内，进行搜索匹配，得到最后结果。改进后的算法由于需要处理的数据量大幅度减少，预计匹配速度显著提高。算法流程图如图 3-2 所示。

采用 VC++6.0 程序对以上算法实现后，分别对模板 100 260 与图源 400 600，模板 200 520 与源图 800 1200 进行模板匹配(如图 3-3)。

分别采用  $E_0=0.1$ ， $E_0=0.2$  进行模板匹配，匹配时间结果如表 3-1 所示，显

然经过改进后的比较算法时间大大降低，约为改进前比较匹配算法的三分之一

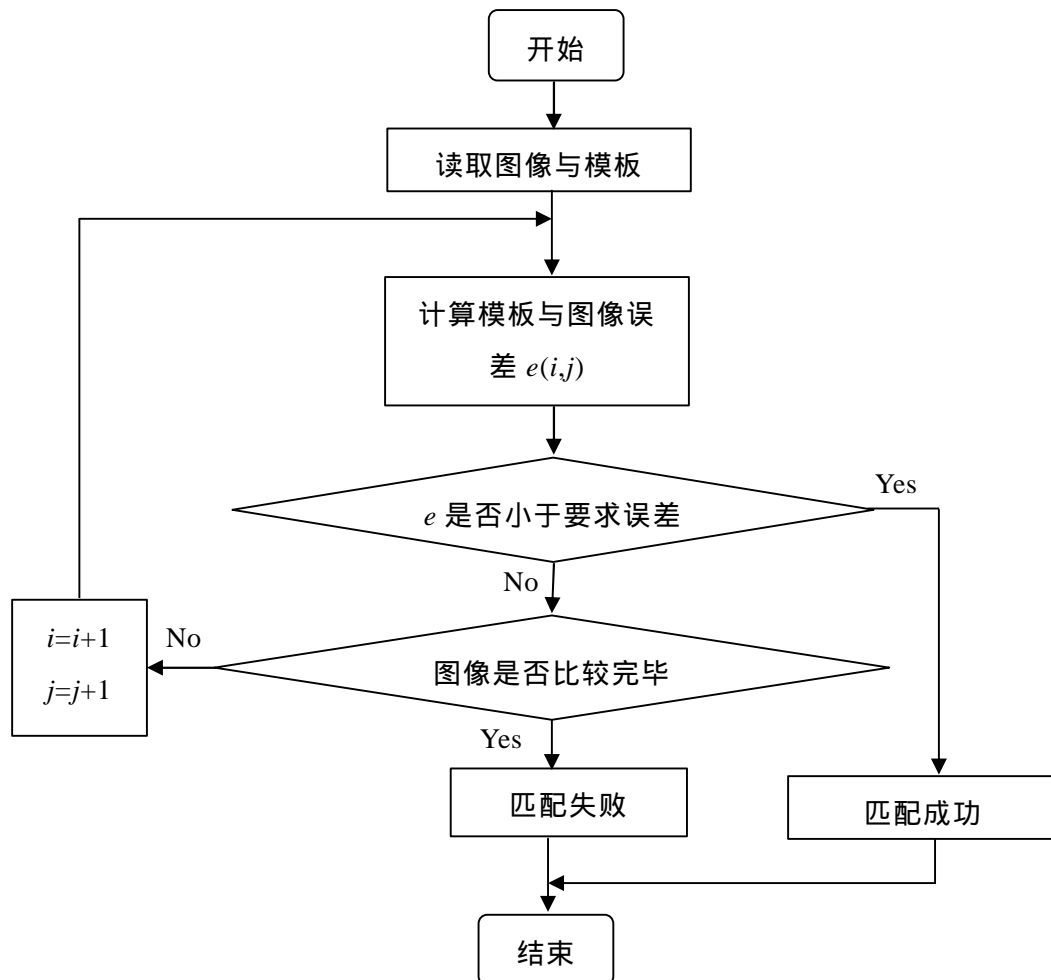


图 3-2 比较匹配算法流程图

左右；且设置不同的  $E_0$  时需要的匹配时间也不同， $E_0$  越小需要匹配的精度越高匹配的时间越长， $E_0$  越大匹配精度降低，匹配的时间也相应减少。改进后采用隔行粗匹配后匹配速度约提升 1.7 倍，而模板增大 1 倍后需要的匹配时间增加约 12 倍。

表 3-1 比较算法测试匹配时间数据

匹配算法	模板 100	260/400	600	模板 200	520/800	1200
	匹配时间(ms)			匹配时间(ms)		
比较匹配算法 $E_0=0.1$		234.2			2835.6	
比较匹配算法 $E_0=0.2$		207.5			2330.3	
改进后的比较匹配算法 $E_0=0.1$		133.6			1436.5	
改进后的比较匹配算法 $E_0=0.2$		112.4			1253.7	

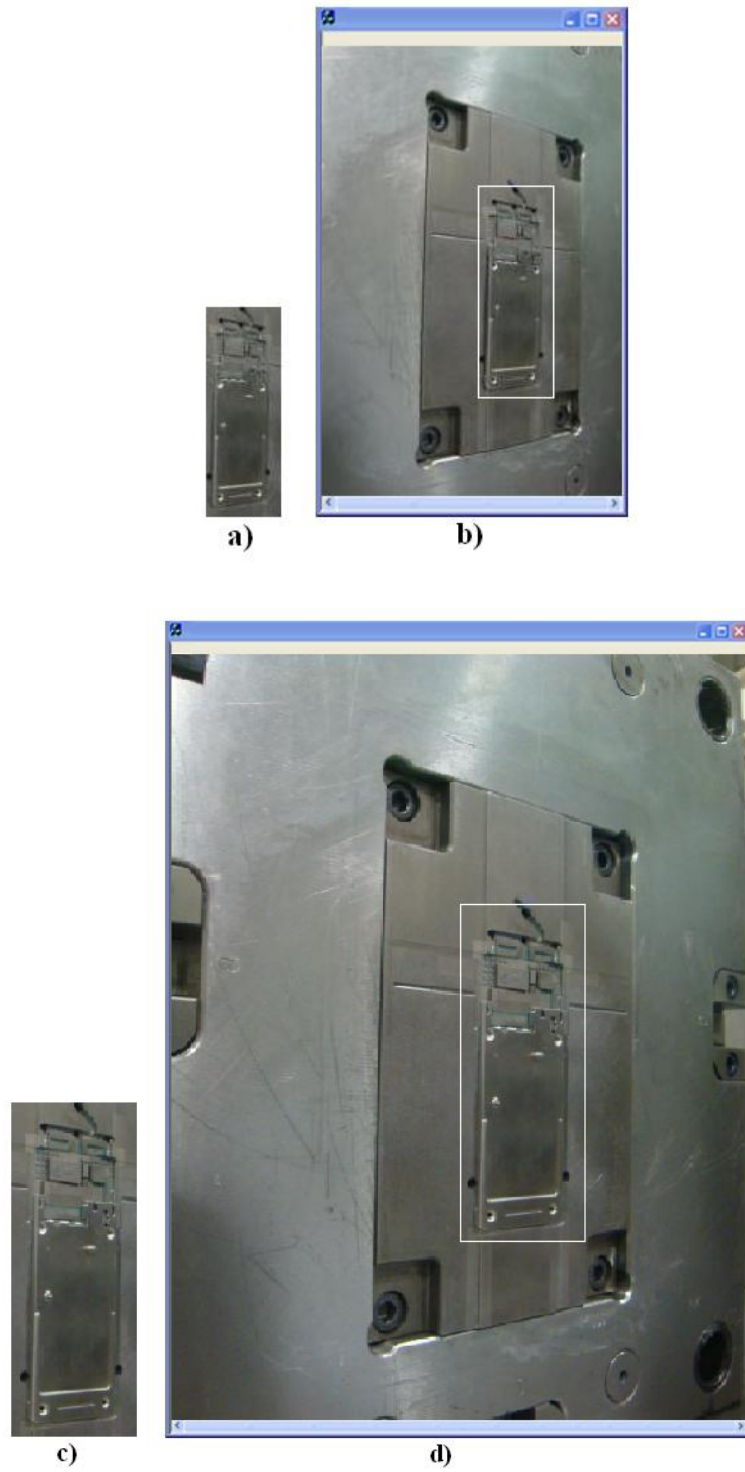


图 3-3 测试图像

a)模板图像 100 260 ; b)被匹配图像 400 600

c)模板图像 200 520 ; d)被匹配图像 800 1200

### 3.3.2 归一化相关系数模板匹配算法

归一化相关系数算法对图像和模板进行了去均值处理，这是由于图像的均值常常不为零，因此，当图像进行相关比较时，在度量值中就会出现一个“直流分量”，结果使度量值的极值与背景灰度的比值下降，且相关峰变宽，从而给匹配点的检测带来困难，而且降低了定位精度。因此，在相关匹配时，对模板和原图像进行去均值处理，就可以解决这些问题，使相关系数算法对图像的亮度变化和对比度变化不敏感。

常用的归一化相关系数匹配算法<sup>[48-50]</sup>是灰度匹配，如果直接计算归一化相关系数实现模板匹配，由于其计算量大，匹配时间很长，在实际的工业应用中不实用。

因此通过分析归一化相关匹配算法的原理，提出了一种快速计算归一化相关系数的算法<sup>[51]</sup>。首先，建立累加求和值表与累加求平方和值表来减少匹配过程中加减法的冗余计算量；其次，采用快速傅里叶变换算法减少乘法的计算时间，使算法在无损匹配性能的条件下大大降低了计算时间。同时，该快速算法对于匹配模板和搜索区域的增加不敏感，十分有利于工程应用，下面具体介绍该方法的实现。

归一化相关系数 NCC(Normalized Cross-Correlation)的定义如下：

$$NCC(u, v) = \frac{\sum_{x,y} [f(x, y) - \bar{f}_{u,v}][t(x-u, y-v) - \bar{t}]}{\{\sum_{x,y} [f(x, y) - \bar{f}_{u,v}]^2 \sum_{x,y} [t(x-u, y-v) - \bar{t}]^2\}^{0.5}} \quad (3-3)$$

式中  $f$  —— 待匹配图像，大小为  $N \times N$ ；

$t$  —— 模板图像，大小为  $M \times M$ ；

$u, v$  —— 匹配点；

$\bar{f}_{u,v}$  —— 待匹配图像中匹配点的模板区域的均值；

$\bar{t}$  —— 模板图像的均值。

为了快速计算 (3-3) 式，首先，分别定义累加求和值与累加求平方和值如下：

$$S(u, v) = \sum_{x=0}^u \sum_{y=0}^v f(x, y) \quad (3-4)$$

$$S^2(u, v) = \sum_{x=0}^u \sum_{y=0}^v f^2(x, y) \quad (3-5)$$



通过如下递归的方法建立求和表  $S(u, v)$  与平方和求和表  $S^2(u, v)$  , 即

$$S(u, v) = f(u, v) + S(u-1, v) + S(u, v-1) - S(u-1, v-1) \quad (3-6)$$

$$S^2(u, v) = f^2(u, v) + S^2(u-1, v) + S^2(u, v-1) - S^2(u-1, v-1) \quad (3-7)$$

把 (3-6) 式与 (3-7) 式代入 (3-3) 式的分母可以表示为：

$$NCC = \frac{den}{\sqrt{S^2(u+N-1, v+N-1) - S^2(u-1, v+N-1) - S^2(u+N-1, v-1) + S^2(u-1, v-1)}} \sqrt{e_t(u, v)} \quad (3-8)$$

(3-3) 的分母部分，表达式  $\sum_{x,y} [t(x-u, y-v) - \bar{t}]^2$  的计算复杂度为  $3M^2$ ，表达式  $\sum_{x,y} [f(x, y) - \bar{f}_{u,v}]^2$  的计算复杂度为  $3N^2(N-M-1)^2$ 。而建立求和表却只需要

$3N^2$  次计算，因此减少了大量的计算，节省了运算时间。

其次，用快速傅里叶变换计算卷积，(3-3) 式的分子可以化简为：

$$NCC(u, v) = \sum \sum_{x,y} f(x, y) t'(x-u, y-v) \quad (3-9)$$

(3-9) 式中  $t'(x, y) = t(x, y) - \bar{t}$ ，(3-9) 式是待匹配图像和模板在模板区域的卷积，而卷积可以用快速傅里叶变换和反变换计算，因此 (3-3) 式的分子可以表示为：

$$NCC(u, v) = F^{-1}\{F(f)F^*(t')\} \quad (3-10)$$

(3-3) 式的分子部分计算的复杂度为：加减法， $O(M^2(N-M-1)^2)$ ；乘法， $O(M^2(N-M-1)^2)$ 。而采用快速傅里叶变换和反变换计算，计算的复杂度为：加减法， $O(9N^2 \log_2 N)$ ；乘法， $O(6N^2 \log_2 N)$ 。当  $M$  增大时，这种算法提高的时间就越明显。

总结以上的快速计算归一化相关系数的方法，(3-3) 式最终可以表示为：

$$NCC(u, v) = \frac{F^{-1}\{F(f)F^*(t')\}}{\sqrt{S^2(u+N-1, v+N-1) - S^2(u-1, v+N-1) - S^2(u+N-1, v-1) + S^2(u-1, v-1)}} \sqrt{e_t(u, v)} \quad (3-11)$$

从算法的原理分析来看，快速计算归一化相关系数方法由于采用了与模板大小无关的求和值表与平方求和表，计算量与模板的大小无关，当模板变大时，算法的处理时间增加比较小，而这两个表值采用递归方法计算，减少了很多计算量；同时，通过快速傅里叶变换和反变换，大大节省了运算时间。算法流程如图 3-4 所示。

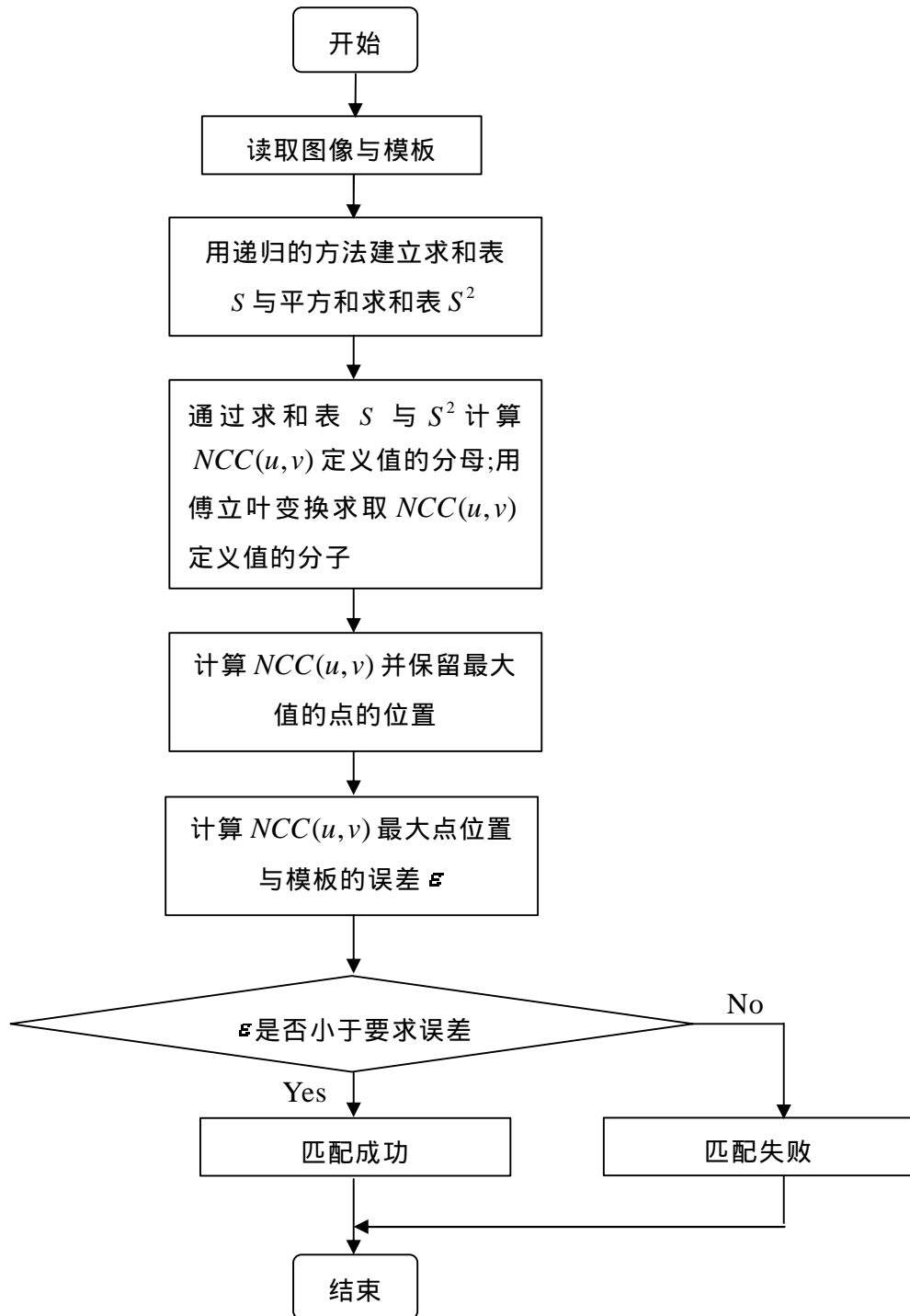


图 3-4 归一化相关系数模板匹配算法流程图

采用 VC++6.0 程序实现以上算法，分别对图 3-3 模板图像进行测试，匹配时间结果如表 3-2 所示。

表 3-2 归一化算法测试匹配时间数据

匹配算法	模板 100 260/400 600	模板 200 520/800 1200
	匹配时间(ms)	匹配时间(ms)
一般归一化相关系数算法	345.5	4491.5
快速归一化相关系数算法	10.3	35.3

一般归一化相关系数(NCC)算法非常很耗时，且模板增大后匹配时间时间增加约 13 倍。而快速归一化相关系数算法匹配时间很短，是一般归一化相关系数算法的 30 倍以上。模板增大一倍后，匹配时间仅增加 3.4 倍。

### 3.3.3 序贯相似性检测算法

序贯相似性检测算法(SSDA: Sequential Similarity Detection Algorithm)是模板匹配中速度较快的一种算法<sup>[52,53]</sup>。

(1) 首先定义绝对误差值，有：

$$\varepsilon(i, j, m_k, n_k) = |S_{ij}(m_k, n_k) - \hat{S}_{ij}(i, j) - T(m_k, n_k) + \hat{T}| \quad (3-12)$$

式中：

$$\hat{T} = \frac{1}{M \times N} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N T(m, n) \quad (3-13)$$

$$\hat{S}_{ij} = \frac{1}{M \times N} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N S_{ij}(m, n) \quad (3-14)$$

(2) 取一个不变阈值  $T_k$ 。

(3) 在子图  $S_{ij}(m, n)$  中随机选取像点  $(m_k, n_k)$ ，计算它同模板  $T$  中对应点的误差值  $\varepsilon(i, j, m_k, n_k)$ ，把这个差值和其他点对应的差值累加起来。当累加  $r$  次超过  $T_k$ ，则停止累加，并记下次数  $r$ 。定义  $r$  为 SSDA 的检测曲面  $I(i, j)$ ：

(4) 循环上步操作，计算所有点的  $r$  值，并取值最大的  $I(i, j)$  对应的  $(i, j)$  点作为匹配点。

从上述算法可以看出，模板要在每个子图  $S_{ij}$  上运算很多次数(累加随机个像素点的  $\varepsilon(i, j, m_k, n_k)$  直至超过不变阈值  $T_k$ )，在非匹配点做了很多计算。

这里对算法进行改进，采用了一种自适应阈值 SSDA 算法，对阈值进行自适应更新，从而来减少运算量。算法描述如下：

(1) 在图像最开始左上角的位置计算所有像点的  $\varepsilon(i, j, m_k, n_k)$ ，并将其累加

之后做为初始阈值  $\hat{T}$ 。

(2) 如图 3-5 所示，将模板图像移置下一位位置，并计算其与对应子图的所有像点  $\varepsilon(i, j, m_k, n_k)$  并累加，将累加值记为  $T_{i,j}$ 。

(3) 在上步累加的过程中不断的比较  $T_{i,j}$  与  $\hat{T}$  的大小。如果  $T_{i,j} \geq \hat{T}$  时，则停止累加；如果  $T_{i,j} < \hat{T}$ ，则用  $T_{i,j}$  更新  $\hat{T}$ ，并记录下此时的坐标点  $(i, j)$ ，如下式所示。

$$\hat{T} = \begin{cases} T_{i,j} & T_{i,j} \geq \hat{T} \\ \hat{T} & T_{i,j} < \hat{T} \end{cases} \quad (3-15)$$

(4) 最后将模板移置一下位置重复第(2)操作，搜索完成后可得到最佳匹配点位置。算法流程如图 3-6 所示。

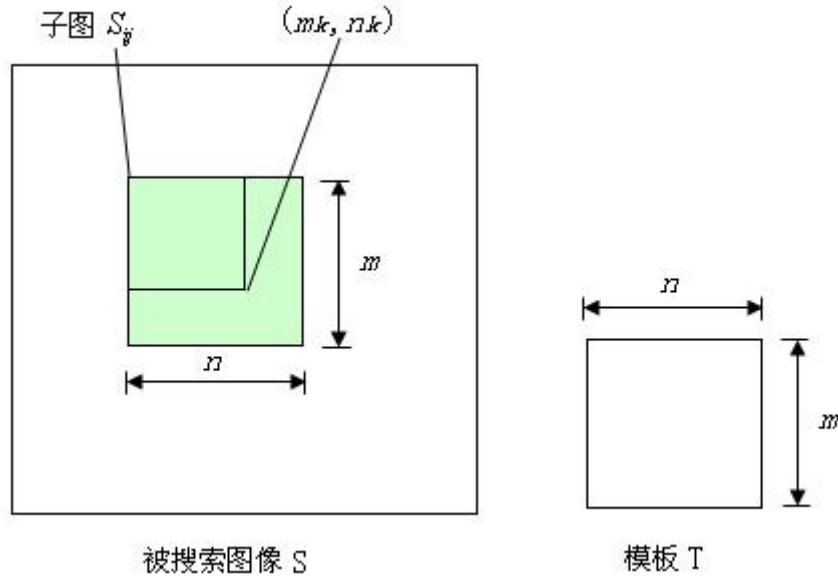


图 3-5 序贯相似性检测算法

分别对图 3-3 模板图像进行测试，匹配时间结果如表 3-3。改进后的自适应阈值 SSDA 算法模板匹配速度明显加快。约只有改善前的三分之一。

表 3-3 惯序相似性检测算法测试匹配时间数据

匹配算法	模板 100 260/400 600	模板 200 520/800 1200
	匹配时间(ms)	匹配时间(ms)
惯序相似性检测算法(SSDA)	123.8	1361.8
改进后自适应阈值 SSDA 算法	45.1	483.5

惯序相似性检测算法 SSDA 算法比较慢，改进后的自适应阈值 SSDA 算法匹配时间约提升 3 倍数模板增大一倍后，匹配时间增加 11 倍。

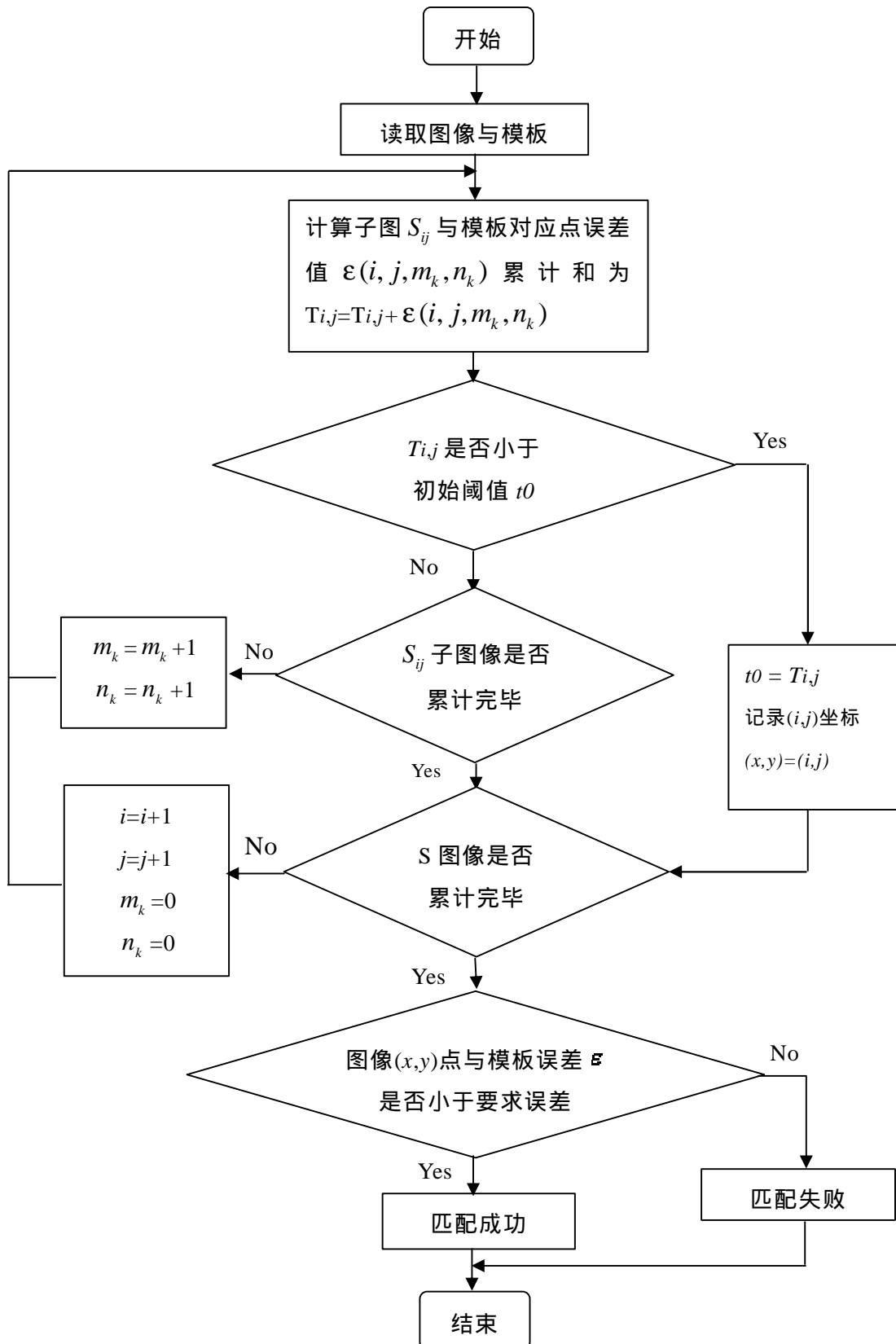


图 3-6 序贯相似性检测算法流程图

### 3.3.4 圆投影转换模板匹配算法

当模板相对于搜索图有角度旋转时，即当搜索图像中的待寻目标的方向与模板不一致时，需要在 360 度范围内，以一定角度增量旋转模板后再计算搜索区域同模板之间的相似性<sup>[54-55]</sup>。即圆投影转换(RPT: Ring Projection Transformation)模板匹配。圆投影转换模板匹配将图像由二维变换成一维，这样就降低了计算复杂度<sup>[56-57]</sup>。

圆投影转换过程是把二维图像转换为一维向量，假设模板  $T(x, y)$  的大小为  $M \times M$ ，模板的圆投影转换过程是：首先，记模板  $T(x, y)$  的中心为  $(x_c, y_c)$ ，然后，基于关系式：

$$\begin{cases} x = r \cos \theta \\ y = r \sin \theta \end{cases} \quad (3-16)$$

把模板  $T(x, y)$  的笛卡尔坐标系转换为极坐标系，其中  $r = [(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2]^{0.5}$ ， $r \in [0, R]$ ， $\theta \in (0, 2\pi]$ 。模板  $T(x, y)$  在半径为  $r$  处的圆投影转换(RPT)值定义为：

$$P_T(r) = \frac{1}{S_r} \sum_k T(r \cos \theta_k, r \sin \theta_k) \quad (3-17)$$

式中  $S_r$  ——是所有落在半径  $r$  内的像素的总个数， $r = 0, 1, 2, \dots, R$ 。

因为  $P_T(r)$  是定义为在半径为  $r$  的模板像素个数的平均值(如图 3-7)， $P_T(r)$  在模板所有圆环内的值对计算相关性有相同的重要性，并且 RPT 值是随着圆环半径增大而构建的，随着模板的二维图像的旋转模板的一维圆投影转换是不变的。

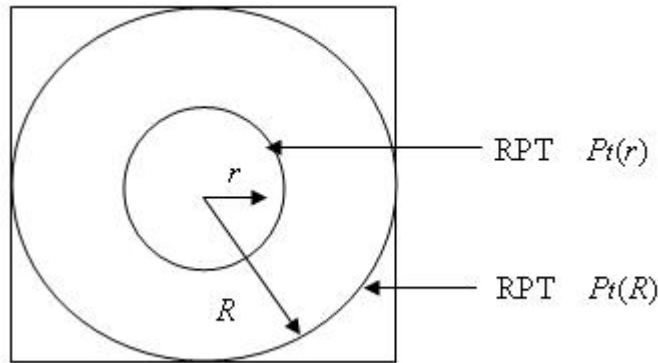


图 3-7 圆投影向量的概念

圆投影匹配算法就是以圆投影向量为基础实现匹配的，因而能实现任意角度旋转的正确匹配。

在模板匹配过程，假设  $P_T = [P_T(0), P_T(1), \dots, P_T(R)]$ ， $P_S = [P_S(0), P_S(1), \dots, P_S(R)]$  分别为模板图像和待匹配图像的圆投影向量值。圆投影向量  $P_T$ ， $P_S$  之间的相

似性的定义为：

$$\langle P_T, P_S \rangle = \frac{[(R+1) \sum_{r=0}^R P_T(r)P_S(r) - \sum_{r=0}^R P_T(r) \sum_{r=0}^R P_S(r)]}{\left\{ (R+1) \sum_{r=0}^R P_T(r)^2 - [\sum_{r=0}^R P_T(r)]^2 \right\} \left\{ (R+1) \sum_{r=0}^R P_S(r)^2 - [\sum_{r=0}^R P_S(r)]^2 \right\}} \quad (3-18)$$

规一化相似性系数  $\langle P_T, P_S \rangle$  的取值为  $[-1, 1]$ ，当模板与待匹配图完全相同时，取最大值，即为匹配位置。算法流程如图 3-9 所示。

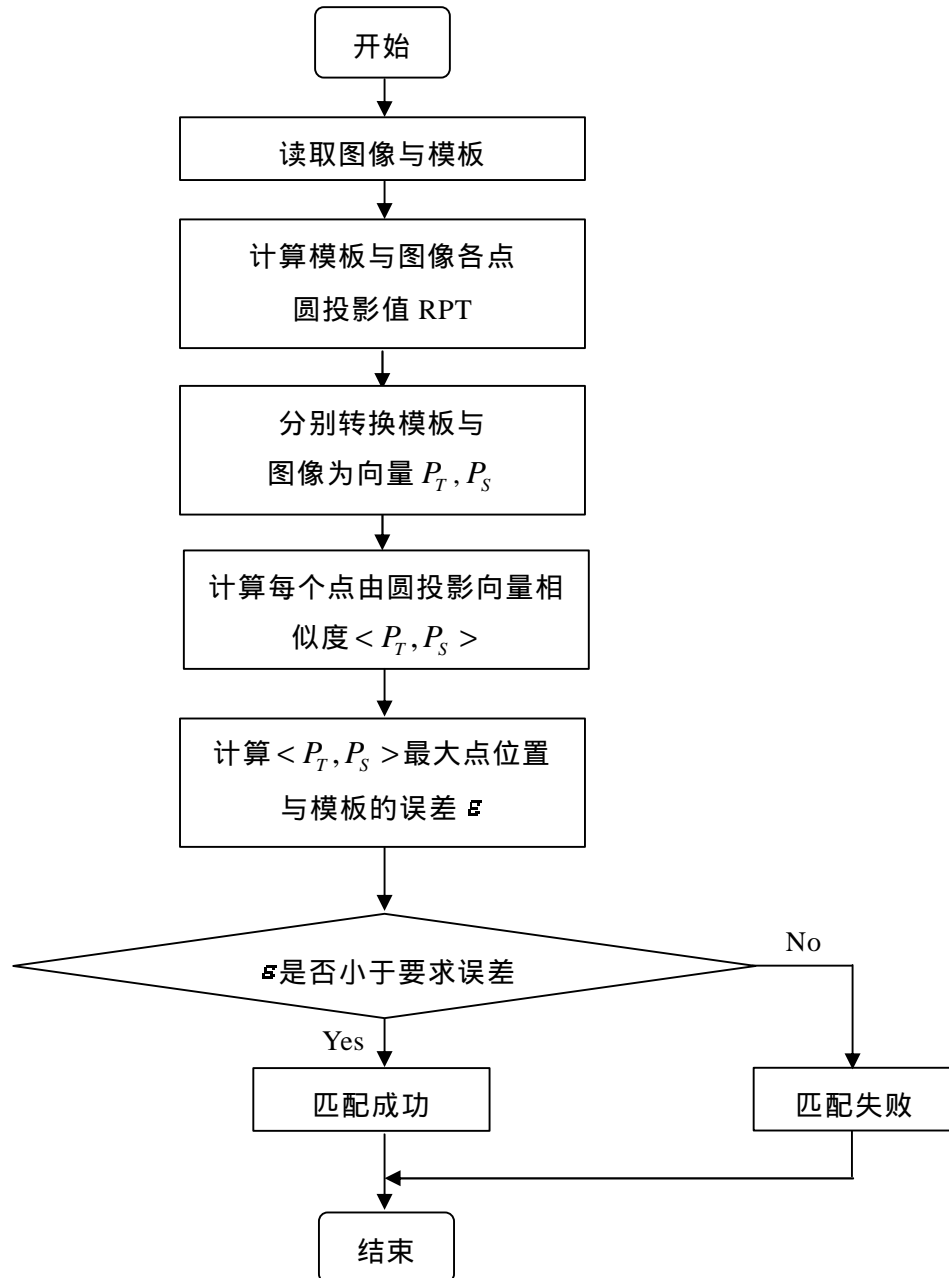


图 3-9 圆投影转换(RPT)模板匹配流程图

由于注塑机监控模具均为相同方向，模板不存在旋转的情况，因此此算法并不适用与注塑机视觉监控，但仍然对该算法采用 VC++6.0 实现后对图 3-3 模板进行模板匹配测试，测试结果如表 3-4 所示。

表 3-4 圆投影转换(RPT)算法测试匹配时间数据

匹配算法	模板 100 260/400 600	模板 200 520/800 1200
	匹配时间(ms)	匹配时间(ms)
圆投影转换(RPT)模板匹配算法	226.3	2356.8

### 3.3.5 模板匹配算法研究结果比较分析

通过对不同模板匹配算法的研究，并对部分算法加以改进后，进行模板匹配测试，其匹配时间汇总如表 3-5 所示。

一般归一化相关系数(NCC)算法匹配时间比较匹配算法(SSAD)的匹配时间大一些，但是这两个算法都很耗时，而快速归一化相关系数(NCC)算法匹配时间很短，是比较匹配算法的 20-100 倍以上，是一般归一化相关系数算法的 30-100 倍以上。而且随着图像和模板的增大，比较匹配算法和一般归一化相关系数算法的匹配时间快速增加，对两幅图的匹配对比结果是：比较匹配法的匹配时间相差是 12 倍，一般归一化相关系数算法的匹配时间相差 13 倍，但是快速归一化相关系数算法的匹配时间对模板的增大却不敏感，增加速率很慢，两幅图像的匹配时间相差仅有 3.4 倍。

表 3-5 几种匹配算法匹配时间比较表

匹配算法	模板 100 260/400 600	模板 200 520/800 1200
	匹配时间(ms)	匹配时间(ms)
比较匹配算法 $E_0=0.1$	234.2	2835.6
比较匹配算法 $E_0=0.2$	207.5	2490.3
改进后的比较匹配算法 $E_0=0.1$	133.6	1636.5
改进后的比较匹配算法 $E_0=0.2$	112.4	1353.7
一般归一化算法	345.5	4491.5
改进后的快速归一化算法	10.3	35.3
惯序相似性 SSDA 算法	123.8	1361.8
改进后自适应阈值 SSDA 算法	45.1	483.5
圆投影转换(RPT)模板匹配算法	226.3	2356.8

快速归一化相关系数算法由于采用了与模板大小无关的求和值表与平方求



和表，计算量与模板的大小无关，当模板变大时，算法的处理时间增加比较小，而这两个表值采用递归方法计算，减少了很多计算量；同时，通过快速傅里叶变换和反变换，大大节省了运算时间。因此，在实际应用中我们选择改进后的快速归一化相关系数(NCC)算法。

### 3.4 本章小结

本章主要研究了模板匹配的概念与模板匹配算法，主要有比较法匹配，归一化相关系数模板匹配法(NCC)，序贯相似性检测算法(SSDA)，圆投影转换模板匹配算法，并对部分算法进行了改进。基于 VC++6.0 程序对以上算法进行模板测试，并对测试结果进行了比较。通过表 3-5 的数据可以看到，改进后的快速归一化相关匹配算法的匹配速度最快，是一般归一化相关匹配(NCC) 算法的几十倍，因此，可以看到通过计算求和值表与平方求和表以及快速傅里叶变换和反变换，大大节省了运算时间。

## 第 4 章 注塑机视觉监控系统设计

上两章介绍了机器视觉监控系统的总体设计和其中的核心算法-模板匹配算法的研究，为本文对机器视觉监控系统的研究奠定了基础。本章首先结合注塑生产过程，展开了对机器视觉监控系统硬件部分的设计和软件部分的实现，然后在实际的车间对本系统进行测试。

### 4.1 系统硬件设计

针对不同的应用场合，机器视觉监控系统的设计各不相同，其目的是为使得采集到的图像能够充分反映待监控区域的特征。本文系统主要针对注塑生产过程的特点进行设计，力求在保证注塑生产过程的连续、稳定的前提下，获取尽可能丰富的监控区域图像信息。首先完成对机器视觉监控系统关键设备的选型确定，并对视觉传感器位置设置设计进行了研究；然后对成型机的讯号控制进行研究。

#### 4.1.1 关键设备选型及确定

机器视觉监控系统关键设备的选型与监控的要求息息相关，本文针对注塑过程视觉监控这个研究对象，在进行了大量相关实验的基础上，对本实验系统关键设备选择如下：

(1) 光源与照明方式 光源设备的选择必须符合所需照明亮度、均匀度，发光的光谱特性也必须符合实际的要求，同时还要考虑光源的发光效率和使用寿命。主要确定卤素灯，荧光灯，LED 灯，电致发光管为候选对象，根据不同光源的优缺点，因目前公司基本使用荧光灯照明，从成本及资源利用的角度考量，本试验系统的照明设备选用荧光灯照明。

由于光源的位置，直接影响图像的对比度，亮度及清晰度，因此光源的位置非常重要。为了方便调整光源的位置，考虑到注塑机身及机座均为钢铁结构的特点，光源采用磁吸座架吸固于注塑机台机身上。光源灯的位置可以通过与灯相连的伸缩管微调位置。根据光源不同位置进行拍摄，图片亮度明显不同，如图 4-1 所示。

(2) 数字摄像机 由于 CCD 相机具有体积小、性能可靠、清晰度高等优点，本设计选用了 Basler 公司的 CCD 数字摄像机。相对于其他视觉系统而言，

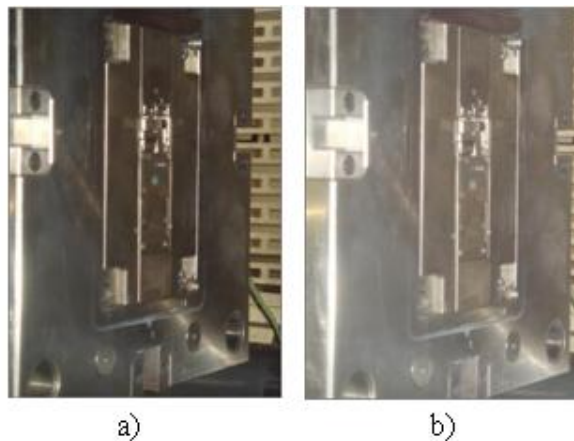


图 4-1 荧光钉固定座

a)远光源图像；b)近光源图像

注塑制品体积较大、精度较高，因此，本设计选用了 300 万像素 CCD 彩色摄像机；其型号为 BaslerA641f，分辨率为 1624x1236，传感器类型为面阵扫描 CCD，机械光学接口为 C 型，外部接口为 IEEE 1394。

为了方便调整光源的位置，考虑到注塑机身及机座均为钢铁结构的特点，摄像机采用磁吸座架吸固于注塑机台机身上。

(3) 图像采集卡 本设计针对 Baslar 公司的 A641f 面扫描摄像机，选取了双路 IEEE1394 接口的图像采集卡，其具有高速、稳定、大缓存等特点，保持视觉传感器与 PC 机之间的通讯与数据传输。

(4) 计算机 我们对拟采用的主控计算机要求是，性能稳定，响应迅速，能够长时间不间断工作，这是因为测试周期比较长的缘故。目前普通的微机性能已经有了很大的提高，我们针对测试系统的特点，选用了以下的硬件配置：

CPU：奔腾 4 2.0GHz 或者以上。Intel 公司的奔腾系列处理器具有强大的数据处理功能，并配备有大容量的 2 级缓存，低功耗，能够应付长时间的作业。

内存：DDR 512M 或者以上，满足图像处理运行及快速的存取速度。

硬盘：40G 或者以上，提供足够的空间进行数据缓存和文件的保存。

显示器：鉴于目前市场的显示器已经都满足要求，可以根据实验室建设成本选择 CRT 或者液晶显示器。

主板：由于主控计算机需要连接许多测试接口板，需要 2 个以上的 PCI 扩展插槽，用来连接图形采集卡，成型机等。

(5) 注塑机 公司现有注塑机型号有 Toyo Si-100III，Toyo Si-50III，Toyo Si-180III，住友 KM200T，MULTIPLAS v4-2r-120 等，因大部分的冲件镶件注塑成型其需要的合模压力均为 100 吨位，因此本课题选用 Toyo Si-100III 注塑机

作为调制机台。如图 4-3 所示。



图 4-3 注塑机 Toyo Si-100III

#### 4.1.2 注塑机通讯控制研究

获得注塑制品的过程，称之为注塑成型或者注射成型，或者简单的称之为注塑。一个完整的注塑工艺流程主要由关模、射出、保压、塑化、计量、冷却、开模、取出制品等程序组成，为了在获得监控区域信息的同时保证生产过程的连续与稳定，本设计使用视觉传感器采集监控区域图像信息分为以下几个步骤：

（1）成型机注塑完成后开始开模。

（2）开模到位后机械手取产品或植入冲件（或开模由手动完成取件或植入冲件然后关门）。

（3）取件完成后成型机即发出 关模开始信号（或关门后手动关模）。

（4）当计算机控制系统接收到成型机 关模开始信号 后，立即向图像采集系统发出 开始图像采集信号 。

（5）图像采集系统接受到 开始图像采集信号 后，立即开始拍摄并完成图像采集后向计算机控制系统传回图像数据。

通过以上分析，可知计算机与成型机之间存在两组信息确认，首先，成型机器发出 关模具开始信号，计算机获知该信号后，则采集图像并完成模板匹配，根据匹配结果再回馈注塑机相应关模控制信号。其通讯模式如图 4-4所示。

注塑机其对外增加了内部讯号控制接口供机械手，提供了一组供机器手控制用讯号，经过研究，注塑机视觉监控系统与成型机控制通讯，可串用机械手控制讯号，关模讯号可串用 Mold Close Start 讯号，关模允许控制讯号可串

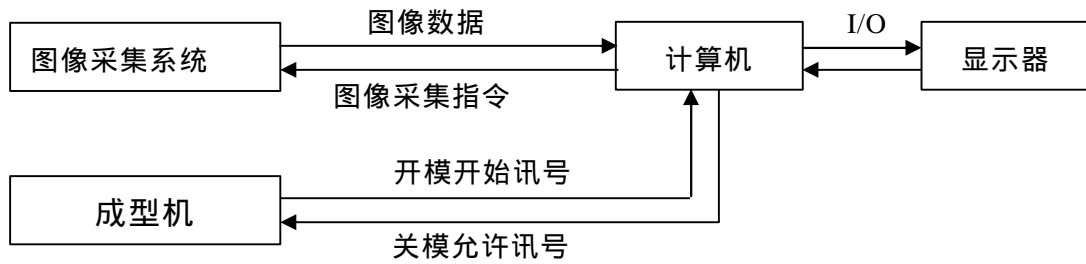


图 4-4 注塑及视觉监控系统通讯模式

用 Mold Close Enable 控制讯号，通过与计算机串口通讯接口，实现计算机与注塑机的通讯控制。具体接线如图 4-5所示。

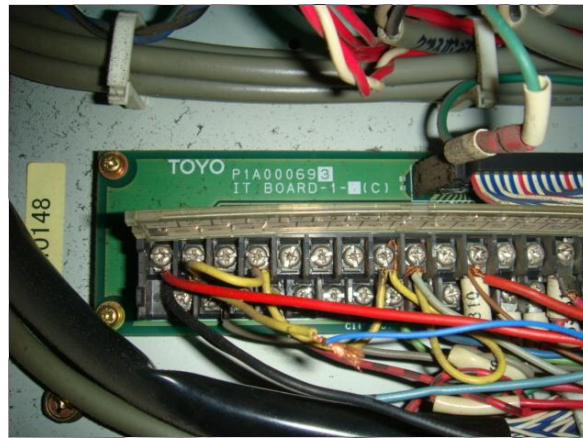


图 4-5 串口通讯接线图

## 4.2 系统软件设计

### 4.2.1 监控软件设计

系统程序是在 VC++6.0 平台上开发的，主要通过 VC MFC 类及 GDI 对象开发程序界面，并实现模板匹配数字图像处理<sup>[58-60]</sup>，其中部分的图像数据处理应用开放源代码的计算机视觉类 OpenCV 来完成。OpenCV (Intel Open Source Computer Vision Library)是由英特尔公司位于俄罗斯的研究实验室所开发。它由一系列 C 函数和少量 C++ 类构成，实现了图像处理和计算机视觉方面的很多通用算法<sup>[61]</sup>。OpenCV 是一个跨平台的中、高层 API 构成，目前包括 300 多个 C 函数。它不依赖与其它的外部库，尽管也可以使用某些外部库，OpenCV 与英特尔公司所开发的另一图像处理库 IPL (Intel Image Processing Library)兼容，IPL(收费)用于实现对数字图像的一些低级处理，而 OpenCV 则主要用于对图像进行一些高级处理，比如说特征检测与跟踪、运动分析、目标分割与识别

以及 3D 重建等。由于 OpenCV 的源代码是完全开放的，而且源代码的编写简洁而又高效，特别是其中大部分的函数都已经过汇编最优化，以使之能高效而充分地利用英特尔系列处理芯片的设计体系，对于 PentiumMMX，Pentium，Pentium3 及 Pentium4 这些处理器而言，OpenCV 的代码执行效率是非常高的，所以近年来在国外的图像处理相关领域中被广泛地使用。

在 VC++ 6.0 平台上开发了一套图像匹配软件<sup>[62-63]</sup>，编程实现以上介绍的各种匹配方法。硬件环境：CPU2.1G，512M 内存。程序流程图如图 4-6 所示。

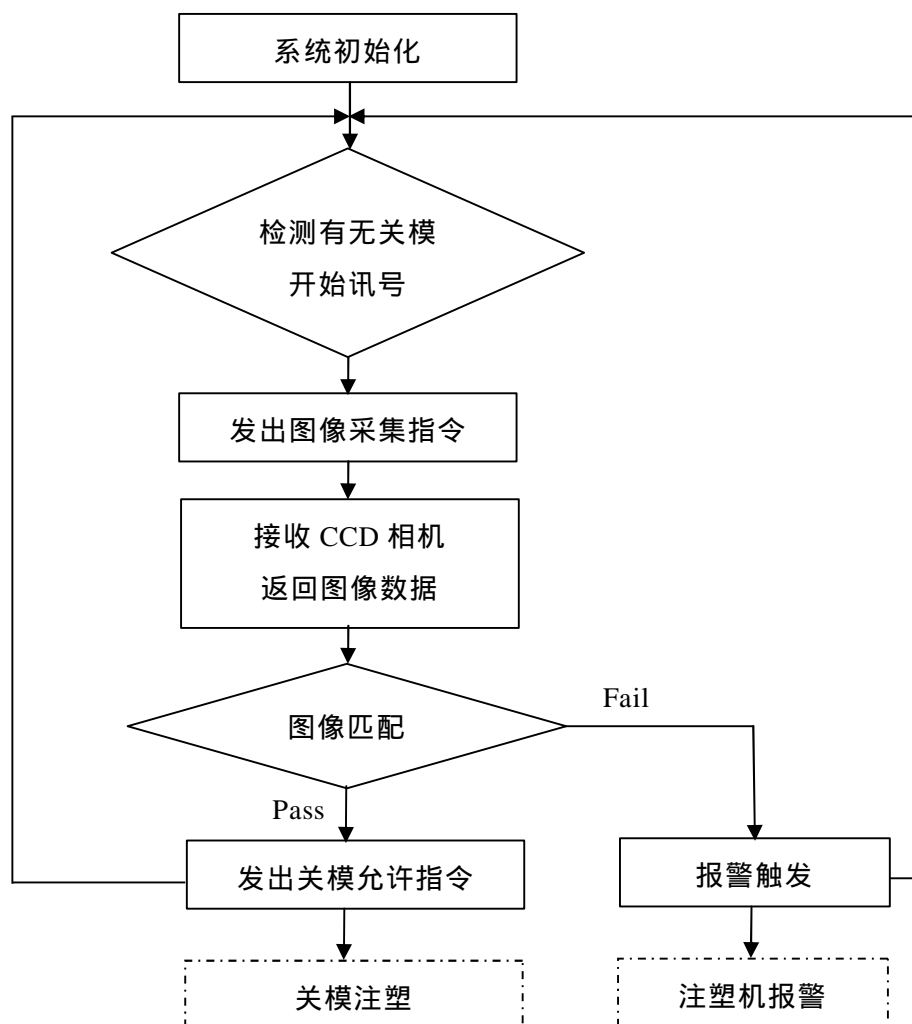


图 4-6 视觉监控系统程序流程图

由于本文设计的机器视觉监控系统建立在原有注塑生产过程的基础上，其最大程度上避免了对原有生产过程的影响，使得该系统能够很好的满足实际生产过程的需求。该设计具有以下优点：在不改变原有的生产模式，保证生产过程的连续、稳定；能够全面的监控设定区域的信息，避免压模异常的发生；能够实时的监控生产过程，遇到异常报警停机处理；具有一定的扩展性。



### 4.2.2 软件用户界面

程序主界面由 VC 面向对象的程序设计完成<sup>[64]</sup>，程序运行过程中的界面如图 4-7 所示。在监控过程中，程序会返回一些有用的信息给用户。主要功能是从相机返回的图像或硬盘中读取的图像上选择监控区域，及模板。设置匹配阈值，将监控时相机返回的图像与模板进行匹配，匹配值高于匹配阈值则匹配通过，允许成型机关模。否则，匹配不通过，机器报警。返回每次关模信息，包括匹配值、匹配时间、匹配是否通过以及是否关模的信息。发生异常时，机器发出报警声，同时弹出报警对话框，询问用户是否停止生产。将发生异常时的信息自动存储起来，以使用户日后分析发生异常的原因时使用。并通过用户的 I/O 功能解除异常。

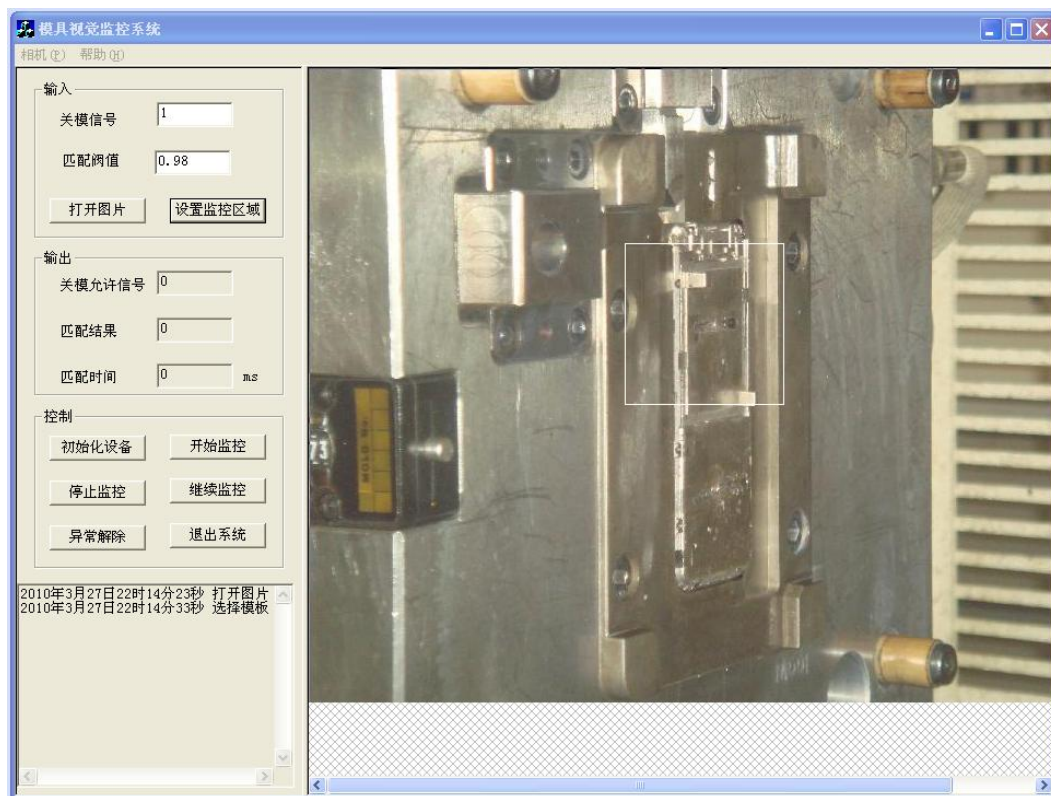


图 4-7 软件运行界面

### 4.3 监控结果测试与分析

生产现场针对注塑机视觉监控系统进行了测试，并针对注塑机成型时常见导致压模的问题进行了验证，如产品未取出，料头未取处，顶针未退到位，镶件未放，镶件未放到位，如图 4-8 所示。

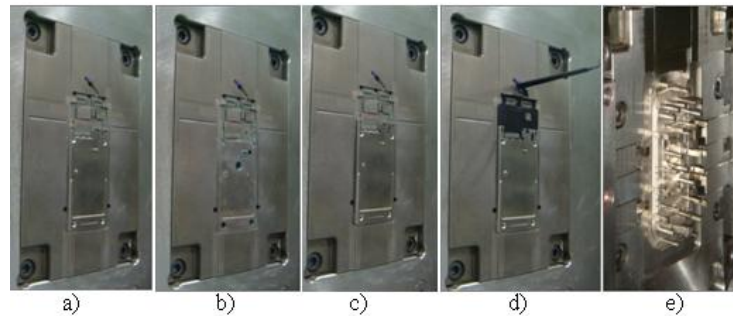


图 4-8 导致压模常见问题

a)正常状况；b)镶件未放；c)镶件源未到位；b)产品未取出；e)顶针未退

经过测试，以上问题点如产品未取出，顶针未退到位，镶件未放，镶件未放到位均能够 100% 监控出异常。结果如表 4-1。连续运行软件监控成型生产过程，软件运行稳定。

表 4-1 压模主要问题监控测试结果

问题模式	匹配结果	是否报警	匹配时间
产品未取出	0(fail)	是	125.6
顶针未退到位	0 (fail)	是	123.7
镶件未放	0 (fail)	是	96.8
镶件未放到位	0 (fail)	是	107.3
正常状况	1 (pass)	否	131.2

#### 4.4 本章小结

本章主要完成了对监控系统硬件的选型，并确定了光源、CCD 相机的装配方式。然后研究了注塑机串口通讯模式，采用与注塑机机械手预留的控制讯号关模开始 与 关模允许 串联，实现注塑机与计算机的串口通讯。最后通过 VC++平台完成了注塑机视觉监控系统软件的设计与调试；并完成了注塑机视觉监控系统实地生产测试，确定软件对产品未取出、顶针未退到位、镶件未放、镶件未放到位等异常情况均能够正常监控出异常，软件连续运行稳定。



## 结论

注塑机视觉监控系统是一项综合性较强，涉及学科比较多，内容复杂，难度较大的技术。工业视觉监控系统的技术与专利主要被部分专业视觉研究公司所拥有，购买成本十分昂贵，且仅提供客制化单一功能。而越来越多的企业导入了注塑成型工艺，为了降低成本，达到安全生产，提升注塑成型生产效率，使得注塑机视觉监控系统研究成为企业一项十分重要的研究课题，本论文主要研究了三个方面的内容：一是监控系统的工作原理分析和总体设计，二是模板匹配算法研究与设计，三是硬件的设计和选型，四是软件系统的实现。

本课题中所做的工作及取得的成果：

(1)研究了目前国内一些中小型注塑成型加工企业所采用的预防压模措施及其优缺点，分析了基于机器视觉在注塑成型监控避免压模应用的可行性。

(2)研究了监控系统的硬件组成，并完成注塑机视觉监控系统硬件的选型；并研究了注塑机与计算机等硬件的通讯模式，实现了计算机，图像采集系统，注塑机件的通讯控制。

(3)研究了多种模板匹配算法，并对比较匹配算法增加初始阈值及粗匹配方法，大大提升了匹配速度；同时对归一化相关系数(NCC)算法进行了改进，通过建立累加求和值表与累加求平方和值表来减少匹配过程中加减法的冗余计算量，同时采用快速傅里叶变换算法减少乘法的计算时间，使算法在无损匹配性能的条件下大大降低了计算时间。

(4)在此基础上完成了视觉监控系统的总体设计，并在 VC++6.0 平台上完成了 注塑机视觉监控系统 软件平台的开发。并在生产现场的进行实际监控测试，确定注塑机视觉监控系统能够稳定正常运行。

视觉监控技术在企业的应用广泛且前景十分广阔，是企业实现自动化生产的一个重要组成部分，而注塑机视觉监控只是机器视觉领域一个极小的应用，后续将继续努力于对视觉监控技术的研究。首先将继续研究新的模板匹配算法，并加以改善创新，进一步提升模板匹配算法运算速度与效率。其次将进一步完善与优化软件功能，增加更加人性化的 I/O 功能；实现多摄像机多区域同时监控；同时将研究加入神经网络功能，实现软件自我判断异常类别并做出对应处理措施。再次将进一步扩展软件功能至其他应用领域，如实现对产品的品质监控，在流水线上对注塑产品的品质实现动态监控。

## 参考文献

- 1 张广军. 机器视觉. 北京科学出版社, 2005:17~24
- 2 段峰, 王耀南. 机器视觉技术及其应用综述. 自动化博览. 2002,19(3):59~61
- 3 章炜. 机器视觉技术发展及其工业应用. 红外. 2006, 27(2):11~17
- 4 王素玉, 沈兰荪. 智能视觉监控技术研究进展. 中国图象图形学报. 2007, 12(9):1505-1514
- 5 Trucco Emanuele, Verri Alessandro. Introductory Techniques for 3-D Computer Vision. Prentice Hall, 1998:35~45
- 6 唐向阳, 张勇, 李江有, 黄岗, 杨松, 关宏. 机器视觉关键技术的现状及应用展望. 昆明理工大学学报. 2004, 29(2):36~39
- 7 艾海舟. 机器视觉及其应用. 科学中国人. 1997, (9):23~25
- 8 David G.Lowe. Three-Dimensional Object Recognition from Single Two-Dimensional Images. Artificial Intelligence, 1987, 31(3):355~395
- 9 J.Aloimonos, I.Weiss, A.Bandopadhyay. Active Vision. International Journal of Computer Vision. 1988, 1(4): 333-356
- 10 贾云得. 机器视觉. 北京科学出版社, 2000:84~100
- 11 吴立德. 计算机视觉. 上海复旦大学出版社, 1993:28~36
- 12 吴上生. 机器视觉技术在检测轴类零件弯曲变形中的应用研究. 机械制造. 2005, 43(6):69~70
- 13 席斌, 钱峰. 机器视觉测量系统在工业在线检测中的应用. 工业控制计算机. 2005, 18(11):75~76
- 14 Yang Qiang. The development of a phoneline-based distant multi-parameter monitoring system. Journal of Xiamen University. 2000, 39(1):5~11
- 15 Kane J.S, 贡树行. 光学设计是机器视觉系统的关键. 红外. 1999, (8):37~39
- 16 王惠琴. 数字图像处理. 北京邮电大学出版社, 2006:4~5
- 17 闫敬文. 数字图像处理. 国际工业出版社, 2007:22~23
- 18 余静, 游志胜. 自动目标识别与跟踪技术研究综述. 计算机应用研究. 2005, 1: 12~15
- 19 乔传标, 王素玉, 卓力, 沈兰荪. 智能视觉监控中的目标检测与跟踪技术. 测控技术. 2008, 27(5):97~99

- 20 Koller D, Danilidis K, Nagel H. Model-based Object Tracking in Monocular Image Sequences of Road Traffic Scenes. International Journal of Computer Vision, 1993, 10(3):257~281
- 21 余松煜, 周源花, 张瑞. 数字图像处理. 上海交通大学出版社, 2007:364~368
- 22 王红梅, 张科, 李言俊. 图像匹配研究进展. 计算机工程与应用. 2004, 40(19): 42~44
- 23 彭响方, 刘婷, 陈金伟. 精密注塑成型技术的最新进展. 塑料. 2004, 33(6):79~83
- 24 赵春晖. 注塑过程监控系统的设计与监测方法的研究. 沈阳东北大学硕士论文. 2006:15~22
- 25 Michaeli W, Spennemann A, Gartner R. New Plastification Concepts for Micro Injection Moulding. Microsystem Technologies. 2002, 8(1):55~ 57
- 26 汤进举. 注塑机微机控制系统研究. 浙江大学硕士论文. 2002:12~18
- 27 陈世煌. 塑料成型机械. 化学工业出版社. 2006:34~37
- 28 刘来英. 注塑成型工艺. 机械工业出版社. 2007:23~25
- 29 刘焕军, 王耀南. 机器视觉中的图像采集技术. 电脑与信息技术. 2003, 11(1): 18~21
- 30 黄继通, 姚瑞霞. Visual C++程序设计教程. 机械工业出版社, 2001:95~124
- 31 官章全, 唐晓卫. Visual C++ 6.0 编程实例详解. 电子工业出版社, 1999: 127~132
- 32 赵军, 袁中凡, 杨春生. 利用 Visual C++ 下 MSComm 开发的串口通信软件. 中国测试技术. 2006, 32(6):97~99
- 33 徐成波. 数字图像处理及 Matlab 实现. 重庆大学出版社, 2002: 86~90
- 34 沈挺芳. 数字图像处理及模式识别. 北京理工大学出版社, 1998: 150~152
- 35 芮挺, 丁健, 王金岩, 张金林. SVD 特征的快速景像匹配方法. 计算机辅助设计与图形学报. 2006, 18(2): 212~216
- 36 Mohan Trivedi, Chuxin Chen, Suresh Marapane. A Vision` System for Robotic Inspection and Manipulation . IEEE: Computer. 1989, (6):91~97
- 37 Gordon J. Vanderbrug, Azriel Rosenfeld. Two-Stage Template Matching. IEEE Transactions on Computers. 1977, 26(4):384~393
- 38 Azriel Rosenfeld, Gordon J. Vanderbrug. Coarse-Fine Template Matching. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. 1977, 7(2):104~107
- 39 Min-Seok Choi, Whoi-Yul Kim. A Novel Two Stage Template Matching Method

- 
- for Rotation and Illumination Invariance. *Pattern Recognition* , 2002, 35(1) : 119~129
- 40 Daniel I.Barnea, Harvey F.Silverman. A Class of Algorithm for Digital Image Registration. *IEEE Transactions on Computers*, 1972, 21(2): 179~186
- 41 Hong Ax, Wu Ji. Image Matching Based on Fractal Image Coding. *ACTA Electronic Sinica*. 2002, 30(5): 624~627.
- 42 K.Tanaka, M.Sano, S.Ohara, M.Okudaira. A Parametric Template Method and its Application to Robust Matching. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2000:620~627
- 43 Ru Lai, Xiangdong Liu, Fujio Ohkawa. A Fast Template Matching Algorithm Based on Central Moments of Images. *IEEE International Conference on Information and Automation*, 2008:596~600
- 44 王平, 白秀铃. 基于改进模板匹配的芯片缺陷检测方法. *微计算机信息*. 2007, 1(1):135~136
- 45 张明慧, 徐卫, 张尧禹. 航空照片的图像增强研究. *光学精密工程*. 2002, 10(2): 194~200
- 46 欧阳庆. 不均匀光照下车牌图像二值化研究. *武汉大学学报*. 2006, 39(4): 143~146
- 47 Kaitai Song. Image-based Traffic Monitoring with Shadow Suppression . *Proceedings of the IEEE* . 2007, 95(2):413~426
- 48 陈松柏. 实时的归一化相关匹配算法. *信息与电子工程*. 2006, 4(6):461~463
- 49 李强, 张钹. 一种基于图像灰度的快速匹配算法. *软件学报*. 2006, 17(2): 216~222
- 50 Shinichiro Omachi, Masako Omachi. Fast Template Matching With Polynomials. *IEEE Transactions on Image Processing*. 2007, 16(8):2139~2149.
- 51 J.P. Lewis. Fast Normalized Cross-Correlation. *Vision Interface*, 1995: 120~123.
- 52 王立新, 刘彤宇, 李阳. SSDA 图像匹配算法的研究及实现. *光电技术应用*. 2005, 20(3): 53~55
- 53 Hong ZhenHua, Zhu PeiJing. An Improved SSDA Applied in Target Tracking. *Pattern Recognition. IEEE International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 1988:767~769
- 54 王珏, 孙小惟. 基于圆投影及直方图不变特征的图像匹配方法. *自动化技术与应用*. 2007, 26(8):80~82
- 55 K.Fredriksson, V.Mkinen, G.Navarro. Rotation and Lighting Invariant Template

- 
- Matching. Proceedings of the 6th Latin American Symposium on Theoretical Informatics. LNCS, 2004:39~48
- 56 Duming Tsai, Chenghuei Chiang. Rotation-invariant Pattern Matching Using Wavelet Decomposition. Pattern Recognition Lett. 2002, 23(1-3): 191~201.
- 57 Yih sien Lin, Chihhsing Chen, Chihcheng Wei. New Method for Subpixel Image Matching with Rotation Invariance by Combining the Parametric Template Method and the Ring Projection Transform Process. Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers. 2006, 45(6):18~23
- 58 吕凤军. 数字图像处理编程入门. 北京清华大学出版社, 1999: 89~95
- 59 容观澳. 计算机图像处理. 北京清华大学出版社, 2003: 41~95
- 60 刘富强, 钱建生, 曹国清. 多媒体图像处理及应用. 北京科学出版社, 2000: 123~205
- 61 贾小军, 喻擎苍. 基于开源计算机视觉库 OpenCV 的图像处理. 计算机应用与软件. 2008, 25(4):276~278
- 62 杨技灵, 王开. Visual C++ 数字图像获取与处理及实践应用. 人民邮电出版社, 2003: 573~595
- 63 何斌, 马天户. Visual C++ 数字图像处理. 人民邮电出版社, 2005: 234~308
- 64 傅杰, 翟景春, 沈建锋. 基于 VC++ 界面构造研究. 计算机应用与软件. 2007, 24(9):100-101

## 哈尔滨工业大学硕士学位论文原创性声明

本人郑重声明：此处所提交的硕士学位论文《注塑机视觉监控系统研究与设计》，是本人在导师指导下，在哈尔滨工业大学攻读硕士学位期间独立进行研究工作所取得的成果。据本人所知，论文中除已注明部分外不包含他人已发表或撰写过的研究成果。对本文的研究工作做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式注明。本声明的法律结果将完全由本人承担。

作者签名：

日期：2010年6月24日

## 哈尔滨工业大学硕士学位论文使用授权书

《注塑机视觉监控系统》系本人在哈尔滨工业大学攻读硕士学位期间在导师指导下完成的硕士学位论文。本论文的研究成果归哈尔滨工业大学所有，本论文的研究内容不得以其它单位的名义发表。本人完全了解哈尔滨工业大学关于保存、使用学位论文的规定，同意学校保留并向有关部门送交论文的复印件和电子版本，允许论文被查阅和借阅，同意学校将论文加入《中国优秀博硕士学位论文全文数据库》和编入《中国知识资源总库》。本人授权哈尔滨工业大学，可以采用影印、缩印或其他复制手段保存论文，可以公布论文的全部或部分内容。

本学位论文属于（请在以上相应方框内打）：

保密，在 年解密后适用本授权书

不保密

作者签名：

日期：2010年6月24日

导师签名：

日期：2010年6月25日

## 致 谢

自研究生入学以来,导师王昕教授在学习和工作上都给了我无微不至的关心和指导,锻炼和培养了学生从事科研的能力和方法。本课题研究也是在导师王昕教授的悉心指导下完成的。从论文资料搜集到系统开发、系统调试和最后论文整理成文,无一不倾注着导师为指导本研究生所付出的心血和汗水。导师实事求是的科学作风,严谨的治学态度,敏锐的洞察力,勇于求索、锐意进取和不断开拓的工作热情,为科技事业忘我工作的无私奉献精神,无不使学生受益非浅,对学生今后的成长将产生深刻的影响。谨此向王昕教授致以最崇高的敬意和最衷心的感谢!

最后,衷心感谢企业导师黄伟治高级工程师对我论文撰写工作的大力支持,同时对三年中给予我帮助和支持的各位老师和所有的同学们表示诚挚的感谢与敬意。

## 个人简历

1978 年 09 月 28 日出生于湖南省新邵县。

1997 年 09 月考入湘潭大机械工程学院(系)材料成型及控制工程专业,2001 年 07 月本科毕业并获得工学学士学位。

工作经历：

2001 年 07 至 2003 年 03 于广东省顺德市顺达电脑厂担任开发工程师

2003 年 03 月至今于广东省深圳市富士康科技集团担任成型开发工程师