



天津中德应用技术大学
Tianjin Sino-German University of Applied Sciences

本科生毕业设计

基于机器视觉的抗原检测试剂盒自动装配控制系统设计
**Design of Automatic Assembly Control System for
Antigen Detection kit based on Machine Vision**

姓 名 韦霁珊
学 院 机械工程学院
专 业 机械电子工程
指导教师 刘彦磊
职 称 副教授
完成时间 2023 年 5 月

天津中德应用技术大学
本科生毕业设计（论文）的声明

本人郑重声明：所呈交的毕业设计（论文），是本人在指导教师指导下，进行研究工作所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本毕业设计（论文）的研究成果不包含任何他人创作的、已公开发表或没有公开发表的作品内容。对本设计（论文）所涉及的研究工作做出贡献的其他个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本毕业设计（论文）原创性声明的法律责任由本人承担。

毕业设计（论文）作者签名：韦霖琳

2023年5月26日

本人声明：该毕业设计（论文）是本人指导学生完成的研究成果，已经审阅过设计（论文）的全部内容，并能够保证题目、关键词、摘要部分中英文内容的一致性和准确性。

毕业设计（论文）指导教师签名：刘彦磊

2023年5月26日

摘 要

基于机器视觉的自动化控制系统是目前的研究热点,它具有高灵敏度和适应性强等特点,该系统可实现对工件表面缺陷进行自动检测。本文针对现有抗原试剂盒的组装生产过程中存在组装效率低和漏检率高等问题,提出了一种新的解决办法。论文主要介绍了基于机器视觉的控制系统在自动化生产上应用的可行性,详细说明了其工作原理和具体的工艺流程。

本文采用机器视觉理论来辅助自动化生产。结合生产需求,根据硬件+软件两方面,确定研究内容并拟定出合理的系统框架。查阅资料结合实际情况,系统硬件采用CCD相机、镜头、光源照明系统等搭建检测环节的环境。采用西门子PLC控制产线设备,并根据系统框架中使用的硬件部分,绘制了系统的电气接线图。软件部分使用HALCON进行图像处理,包括图像预处理模块,试剂盒各个部件缺陷检测的图像采集、增强以及相机标定和机器人手眼的标定。通过TIA Portal完成自动装配程序的编写。人机交互界面的设计使用Visual Studio2022 软件进行开发,利用Robot Studio实现ABB工业机器人的编程。

最后设计出一套基于机器视觉程序控制方式的可用于抗原检测试剂盒自动化组装控制系统。该系统通过利用机器视觉方法采集到图片,将特定的特征(如大小,形状等)作为图像处理基础信息,然后通过转化为数字信息,获取所需数据。通过实验,系统的识别率和识别正确率能够达到95%以上,能够满足对试剂盒中的试剂条检测和组装过程中的实时监控的要求,实现产品质量控制及生产自动化管理。

关键词: 机器视觉; 抗原检测试剂盒; 缺陷检测; 系统设计

ABSTRACT

The automatic control system based on machine vision is a current research hotspot, which has the characteristics of high sensitivity and adaptability, etc. The system can realize automatic detection of surface defects of workpieces. This paper proposes a new solution to the problems of low assembly efficiency and high missed detection rate in the assembly and production process of existing antigen kits. The paper focuses on the feasibility of applying machine vision-based technology to automated production, detailing its working principles and the specific process flow.

This paper uses machine vision theory to assist in automated production. Based on the two directions of hardware + software, the research content is determined and a reasonable system framework is drawn up, taking into account the production requirements. The system hardware uses CCD cameras, lenses and light source lighting systems to build the environment for the inspection process. A Siemens PLC was used to control the production line equipment and an electrical wiring diagram was drawn up for the system based on the hardware part used in the system framework. The software part uses HALCONT for image processing, including image pre-processing modules, image acquisition for defect detection of individual components of the kit, enhancement as well as camera calibration and robot hand-eye calibration. The writing of the automatic assembly program was done via TIA Portal. The human-computer interface was developed using Visual Studio 2022 software and the programming of ABB industrial robots was implemented using Robot Studio.

Finally, a control system was designed for the automated assembly of antigen detection kits based on a machine vision program control method. The system acquires images by using machine vision methods to capture specific features (e.g., size, shape, etc.) as image processing base information and then obtains the required data by converting it into digital information. Through experiments, the recognition rate and correct recognition rate of the system can reach over 95%, which can meet the requirements for the detection of reagent strips in kits and real-time monitoring during the assembly process, realizing product quality control and production automation management.

Key words:Machine vision; Antigen Detection Kit; Defect detection; System design

目 录

第一章 绪论	1
1.1 研究背景和意义	1
1.2 国内外研究现状	1
1.2.1 有关机器视觉的国外发展	1
1.2.2 有关机器视觉的国内发展	2
1.2.3 论文主要内容及结构安排	3
1.3 小结	4
第二章 系统的总体设计	5
2.1 系统的功能需求分析	5
2.2 试剂盒组装工艺流程	6
2.3 生产线总体布局设计	7
2.4 小结	8
第三章 系统硬件设计	9
3.1 视觉检测单元	9
3.1.1 相机及光源选型及安装	9
3.1.2 相机	11
3.1.3 镜头	12
3.2 相机镜头的安装方式	13
3.3 视觉识别定位原理	14
3.4 机器人选择及安装	14
3.5 PLC 的选型	15
3.6 系统硬件清单	16
3.7 系统通信	16
3.8 系统电气控制图	18

3.9 小结	20
第四章 图像处理	21
4.1 图像处理软件	21
4.2 试剂盒识别检测	22
4.2.1 图像增强	22
4.2.2 ROI 区域的选取	23
4.2.3 图像特征提取	24
4.2.4 形态学处理	24
4.2.5 物体的识别方法	25
4.2.6 监视模型	26
4.2.7 缺陷检测	26
4.3 试剂盒上盖检测	27
4.4 试剂条检测	28
4.5 试剂条装配检测	31
4.6 试剂盒组装缺陷检测	32
4.7 视觉标定方法	33
4.8 小结	34
第五章 系统软件设计	35
5.1 运动执行系统	35
5.2 图像处理程序	45
5.2.1 试剂盒识别检测程序	46
5.2.2 试剂条识别检测程序	48
5.2.3 试剂条装配检测程序	51
5.3 软件系统开发	53
5.4 机器人编程软件	55
5.5 小结	56

第六章 系统仿真与调试	57
6.1 PLC 程序仿真调试	57
6.2 图像处理程序/系统运行调试结果	62
6.3 视觉检测实验	64
6.4 小结	64
第七章 总结与展望	65
7.1 总结	65
7.2 展望与不足	65
参考文献	66
致 谢	68
附录	69
附录一 中文译文	69
附录二 外文资料	72
附录三 电气接线图	76

第一章 绪论

1.1 研究背景和意义

新型冠状病毒疫情在 2020 年初爆发并持续发酵在全球范围内流行,严重威胁着人类的健康和生命,成为全球最重要的公共卫生威胁。疫情冲击下,临床诊断和医疗器械、医药产品的需求更是急迫,供给缺口巨大。此前新冠疫情被定义为“国际关注的突发公共卫生事件”。

抗原检测试剂盒是一种用于新冠肺炎病毒检验的专用试剂盒。全球疫情下对新冠检测产品需求仍然很大。抗体/抗原定性检测试剂具有快速、准确率高的特性,能够进行快速检测。新冠疫情发生以来,新冠病毒检测产品需求量暴增。

因此作为核酸检测的补充并提高“早发现”能力,2022 年 3 月 15 日,国家卫健委发布了《新型冠状病毒肺炎方案(试行第九版)》,提到“在核酸检测发现病例的基础上,增加抗原检测的方法^[1]。”并且于 2023 年 1 月 07 日,发布《新型冠状病毒肺炎方案(第十版)》,再次提到要“保障零售药店、药品网络销售电商等抗原检测试剂充足供应^[2]。”

针对不同类型的抗体,目前市面上已有很多不同品牌的抗原检测试剂盒,但大部分的试剂盒都是由人工来进行操作,组装投放。在国内,新冠抗原检测试剂属于按照第三类管理的医疗器械,生产要求更加严格,洁净度必须是 10 万及以上洁净室^[3],企业既要满足生产要求又要扩大产能。而大部分中小型企业人员数量有限以及非标准化的生产环境,这些因素很大程度上都提高了人力需求以及时间成本,且最终的生产效率并不高的情况。其次,抗原试剂生产环境需要达到医疗卫生标准,而人工操作将加大卫生风险。加之人工进行检测一定程度上降低了生产的速度,难以满足当下高速生产的需求。由于人眼的局限性,很难进行快速精确检测到不合格品,造成的损失及检测误差较大。

在此背景下,针对生产力与供需不平衡之间的矛盾,如何解决核酸试剂检测盒的产能问题变得越来越重要。本文将基于机器视觉的方法,对核酸检测抗原试剂盒的自动装配进行设计分析,以实现全自动无人的自动装配系统。该方案的设计旨在提升原有的生产效率。推动医疗检测产业向前发展;帮助企业降低因疫情原因造成断供停产的风险。

通过基于机器视觉的自动化,非接触和高精度的特点,通过机器视觉进行试剂盒的装卡,组装工艺流程的识别以及工件瑕疵的识别。最终达到可以 24 小时无人自动化生产装配试剂盒,改善供需矛盾的意义。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 有关机器视觉的国外发展

有关机器视觉的研究可以追溯到 60 年代中期的美国。罗伯茨教授提出了在二维图像中构建“积木世界”的概念,用以提取三维物体的结构,实现从二维到三维立体的转变。罗伯茨在图像分析中使用了自下而上的分析方法。利用边缘检测确定物体轮廓线,再利用

区域分析将图像分割成相似灰度等级的像素区域。这两种技术统称为图像分割。其目的是确定边缘线和区域来描述被分析图像以与储存的模型相对比。当时所采用的预处理，边缘检测，轮廓线组成，对象建模和匹配技术后来被用于机器视觉。

机器人技术与视觉技术于上世纪 80 年代由美国发展而来^[4]，逐渐成为各国研究者关注的焦点，当前国内外正在研究机器人视觉的有关技术与理论，并且在制造业，汽车工业以及农业方面都得到了一定程度上的运用^[5]。例如，在汽车的组装工艺中，库卡工业机器人公司与 ISRA VISION 合作开发的二维和三维图像处理技术^[6]，已经得到了成功的应用。

Mammoona Arshad 和其他学者^[7]利用机器视觉技术将工件定位在工件定位器上完成加工，减少了工件的定位误差，提高了工件的质量。日本 FANUC 公司^[8]开发了一种双臂协作机器人，该机器人使用机器视觉，根据视觉识别出来的信息，准确地抓取和定位目标物体。以及 FANUC 的 iR Vision 视觉系统，基于其二维和三维视觉系统，使用一台机器人顺序为多台机床进行自动化的上料和下料，完成无序的工件自动生产与装配，具有很好的环境适应性^[9]。Belan 等人提出了名为 MVS (machine vision studio) 的机器视觉系统^[10]，该系统可通过机器视觉进行质量检测，实验结果表明其具有出色的鲁棒性和实用性。Loow 和德罗姆等人^[11]提出了一个低成本的基于机器视觉的质量控制系统。ESPON 公司在日本推出了一套基于机器视觉技术对物品自动分类放置的系统^[12]，该系统可通过视觉技术引导机器人进行物品的抓取、搬运，放置等操作，并已在许多领域得到应用。

1.2.2 有关机器视觉的国内发展

中国的机器视觉技术始于 1980 年左右，随着改革开放的推进，电子和半导体产业逐渐在中国扎根发展，我国开始大量引进高新科技产品和技术。许多国际机器视觉厂商的代理商开始在中国市场上扎根。机器视觉技术在此时亦被引入进来。随着科技发展人们对于机器视觉技术也提出了更高的要求。这使得国内的机器视觉行业出现了井喷式的增长。自此，我国的工业发展进入了机器视觉的新时代，机器视觉在自动化生产中逐渐占据主流地位。

例如，新松自主研发的六轴并联机器人 SRBL3A^[13]，SRBL3A 拥有多种交互模式，并支持视觉识别功能，可与视觉定位、传送带跟踪配合使用。赵佳冉等人提出了一项基于机器视觉技术的目标识别和定位的方案^[14]，该方案通过对运动状态物体的形状进行识别和分类，并同时估计其运动轨迹，从而实现对物体的抓取。刘仁瑞和张可洲等人在卷烟封口胶量检测^[15]中采用机器视觉技术，可以实时检测卷烟封口质量。Yu^[16]等人使机器视觉和机器学习相结合，研究了一种基于支持向量机的表面缺陷检测方法，在参数选择理想的情况下，能同时检测三种缺陷，有效检测率达 98.0296%。中国科学院沈阳计算技术研究所的王诗宇^[17]面向工业机器人的图像处理技术进行展开研究，对其在各类机器人与视觉系统配合下所涉及的关键技术进行讨论，为不同场景下智能化应用工业机器人提供了参考。

田中可等人以装配体部件识别与监控为目标,提出了一种基于深度图像与像素分类的装配体部件识别及监测方法^[18]。Zhang等人^[19]以机器视觉的无损检测技术为基础,完成了对核燃料料芯及其端面的自动检测,提出一种基于机器视觉的核燃料微丸端面缺陷检测系统。虞佳佳等人为解决目前镍钴磁性棒物料在线分选过程中存在的手工端面缺陷识别精度不高和效率不高等问题,提出了一种用于棒材缺陷检测的机器视觉识别方法^[20],并将其运用于系统的自动识别中,最终达到每分钟检测 120 片,并且识别准确率大于 97%。

Gao等人^[21]主要对以特征为基础的机器学习方法进行了论述,在此基础上,以学习特征为基础的深度学习方法也有一定的论述,但是并没有对其进行深入的讨论。赵朗月等^[22]归纳出了传统图像处理的方式和深度学习来进行缺陷检测的方法,并对与之有关的缺陷检测的数据集进行了整理。Zheng等人对与自动视觉检测系统相关的软硬件进行了分析^[23],对缺陷检测的传统方法和深度学习方法进行了综述,并对介绍了深度学习在钢铁、织物和半导体行业的应用。

在我国例如研华股份,海深科技,深圳商汤等本土企业也在不断涌现。尽管它的发展速度不快,相对于国外来说,它的技术还不够成熟,但由于市场需求越来越大,以及国产品牌在技术和数量上的迅速崛起,兼之物美价廉。目前,国产的机器视觉设备及解决方案已逐渐成为各厂商自动化改造的首选。

以机器视觉技术代替手工作业,能提高作业的效率,提高产品的品质。例如,在物流行业中,可以使用机器视觉技术来对快递进行分拣,减少物品的损坏率,从而提高分拣效率,减少人工劳动。

与工业 4.0 相关的技术正在推动制造业发生更多的变化。机器视觉技术在各行各业都有广泛的应用前景,特别是在食品、饮料、医药、医疗设备等高标准、高要求的行业中更是如此^[24]。

因此,采用计算机视觉技术进行自动化控制已成为各企业研究的热点。未来,将有更多的产业涉及机器视觉的技术,以期改善生产线的工作效率,提高生产效率,提高资源的利用率。

为此本文设计了一种基于计算机视觉技术和PLC控制技术的全自动装配系统。可以有效地降低人工操作的误差,提高产品生产的质量和稳定性,为实现抗原试剂盒工业自动化奠定基础。

1.2.3 论文主要内容及结构安排

本文计划针对核酸检测试剂盒的自动化解决方案,拟解决抗原检测产品的急需扩产、和提高产能效率的问题,期望达到每小时可生产 2000 个试剂盒,视觉检测速度达到 120-150 个/分钟,检测正确率达到 90%以上。主要重点关注机器视觉识别和系统设计两大问题。通过对这两大问题的分析提炼机器视觉对自动化装配生产的优势,结合实际需求,研究内容主要涉及系统功能分析、系统硬件选型设计和软件设计开发、视觉检测算法等,设计一套基于机器视觉的抗原检测试剂盒自动装配控制系统。

论文一共七个章节，分别如下：

第一章：绪论部分，主要阐述了选题的背景和意义并指出了当前的国际研究现状，确定了本选题的主要内容和框架。

第二章：主要进行系统的总体设计搭建设计框架，对所需系统的功能需求进行分析，进行自动化生产线的总体设计，分别对主要生产线的布局进行规划，确定设计方法。

第三章：该章节主要对系统中的视觉检测单元进行设计规划，内容包括相机及光源的选型及安装，对视觉识别和定位原理的阐述，以及整体硬件部分的设计。

第四章：此部分主要为系统的图像处理部分，对图像识别算法结果进行展示。

第五章：可编程逻辑控制器的控制流程，控制程序编写，人机交互界面的设计，以及系统仿真及调试。

第六章：对系统的程序以及交互界面进行仿真调试，对系统识别效果进行实验。

第七章：最后对文章进行总结与展望。

1.3 小结

综上所述，本章节主要针对基于机器视觉的抗原自动化装配系统需要解决的关键技术，和提高装配效率和可靠性。通过研究计算机视觉技术在自动装配领域中的应用情况，就如何实现自动抓取并准确定位检测工件，以及在装配过程中保证工件检测的准确率提出问题。并对文章大致行文结构及内容做出安排。

第二章 系统的总体设计

2.1 系统的功能需求分析

本选题中抗原试剂盒组装生产线,要做的工作主要有抗原检测试剂盒上盖板和下盖板、上料、切割试剂条、检查试剂条是否有瑕疵、在试剂盒中放置试剂条、对是否对位,试剂盒上盖是否压紧的情况进行检测判断等。

抗原检测试剂盒的结构

本文对一种新型冠状病毒检测的试剂盒(胶体金法)的自动化装配进行设计,该试剂盒可以检测出 COVID-19 的表面抗原,为病情诊断做出依据。

如图 2-1 所示,抗原检测试剂盒结构主要由,上盖,下盖底板和试剂条组成,其中如图 2-2 所示,试剂条主要由胶体金结合垫,样品垫、吸收垫、两CT质控线与PVC底板组成^[25]。

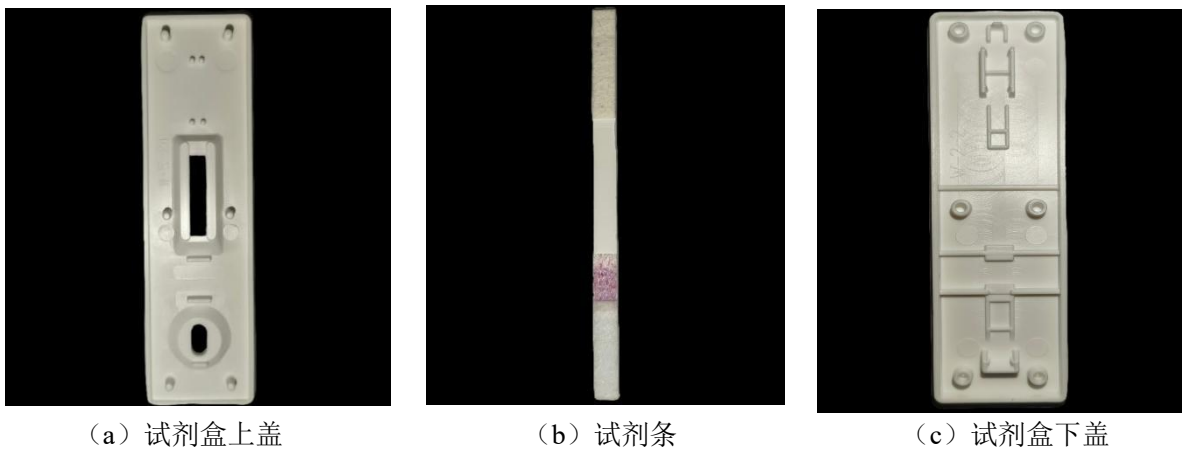


图 2-1 试剂盒组成部件

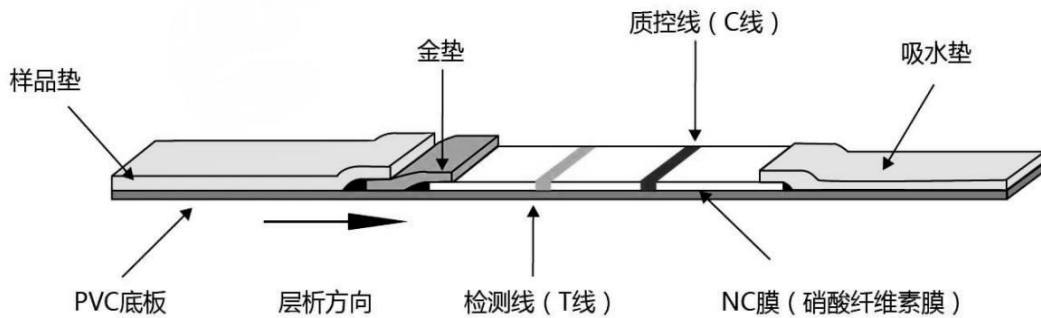


图 2-2 试剂条结构图

2.2 试剂盒组装工艺流程

根据试剂盒结构特征，通过参考国内同类型生产线，以及试剂盒的组装步骤，设计抗原检测试剂盒自动化装配生产线的流程如图 2-3 所示：

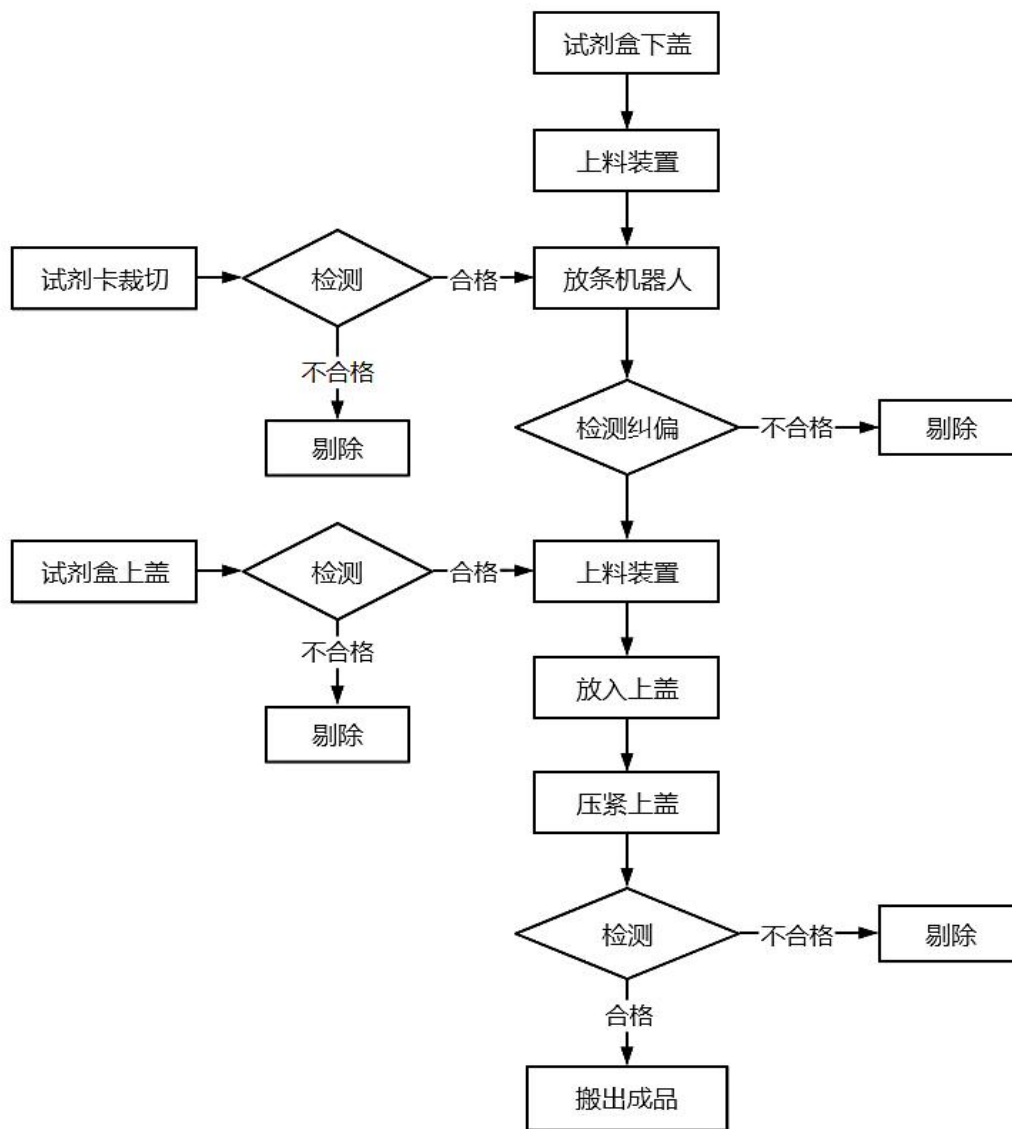


图 2-3 试剂盒组装工艺流程图

新冠抗原试剂盒装配生产的整体工艺流程如下：

通过上料装置，试剂盒下盖被放置在传送带上，以便进行下一步的加工。

其次因为试剂条是决定抗原试剂盒质量好坏的核心部件，后续需要将试剂条放到试剂盒下盖板的卡槽内，而试剂条的原材料是长条卡状，所以需先将试剂条大卡通过裁切机切割成大小约 4mm 左右的细条，并通过视觉系统检测判断试剂条有无斑点污渍，剔除不合格试剂条。

抗原试剂条切割后通过传送带和视觉引导机器人可以将切割后的合格试剂条摆放到预设位置。再将试剂条放入试剂盒下盖卡槽中。

机器人将抗原试剂条压入卡槽中,然后进入检查和校准工序,检测试剂条是否有划痕、错位、倒置或错位,并将不合格的产品从生产线上清除。

确认试剂条摆放无误后,需扣好试剂盒的上盖,上盖的输送需借助另一套上料装置来实现,振动盘有序地把试剂盒上盖排出传送带。

机械手爪再将传送带上的上盖抓取,放置至已经放好试剂条的下盖上方,进行压紧工序。

将抗原试剂盒的上下盖压紧后,完成装配任务,通过视觉系统对组装完成的试剂盒的再次检验,确认装配情况,将组装不合格的抗原试剂盒剔除,收入废品收集篓。

最后机械手将合格的产品传出生产线。

系统总框架设计

视觉检测系统从结构上分为硬件和软件两大部分,具体组成如图 2-4 所示。

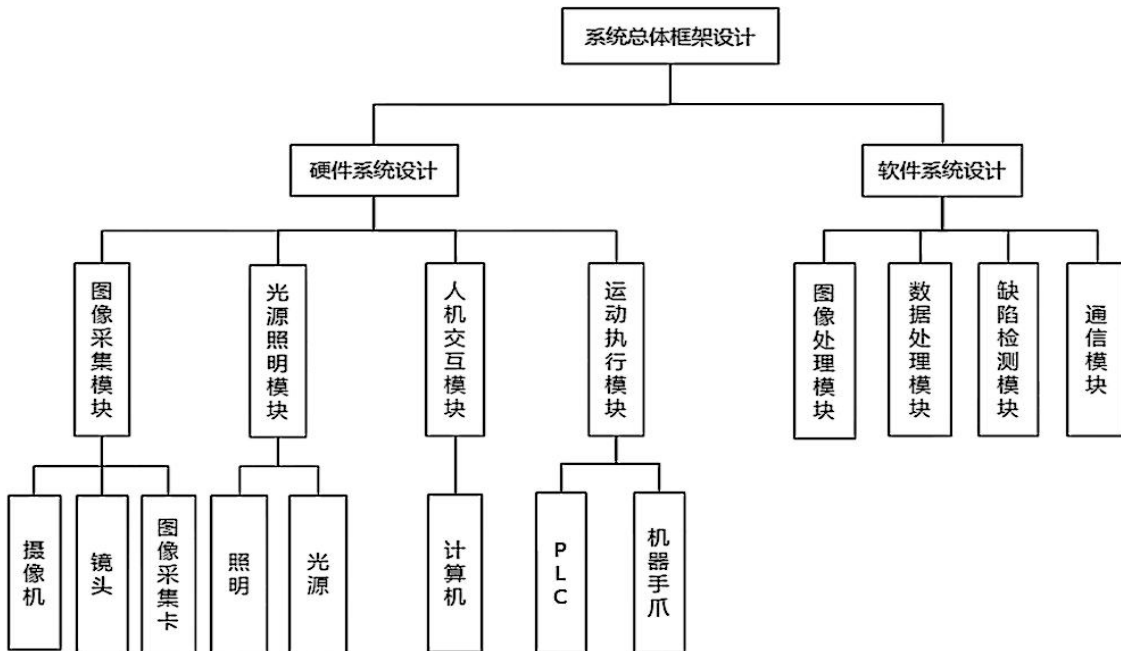


图 2-4 系统框架图

系统的硬件设备包括光源、摄像机、镜头^[26]等设备,这些设备分别被用于系统的照明、采集和图像处理等环节。在系统的软件部分则由图像处理、缺陷检测等多个程序模块组成。

2.3 生产线总体布局设计

生产线的布局方式主要分为:单行布局、多行布局、环型布局、直线型布局、蛇形布局等^[27]。根据抗原检测试剂盒试剂条与试剂盒的质量较轻,零部件可操作面积较小,需要借助特殊模块支承进行运输的结构特点,采用顺序加工的方式,即完成一道工序后再进

行下一道工序。考虑实用性以及加工方便，综合考虑，生产线选择环形布局方式。随后将生产设备按工序排序布置。

将生产线主要分为 7 个加工工位。依次完成对试剂盒进行上下料、检测、剔除、组装的环节，具体产线布置如图 2-5 所示：

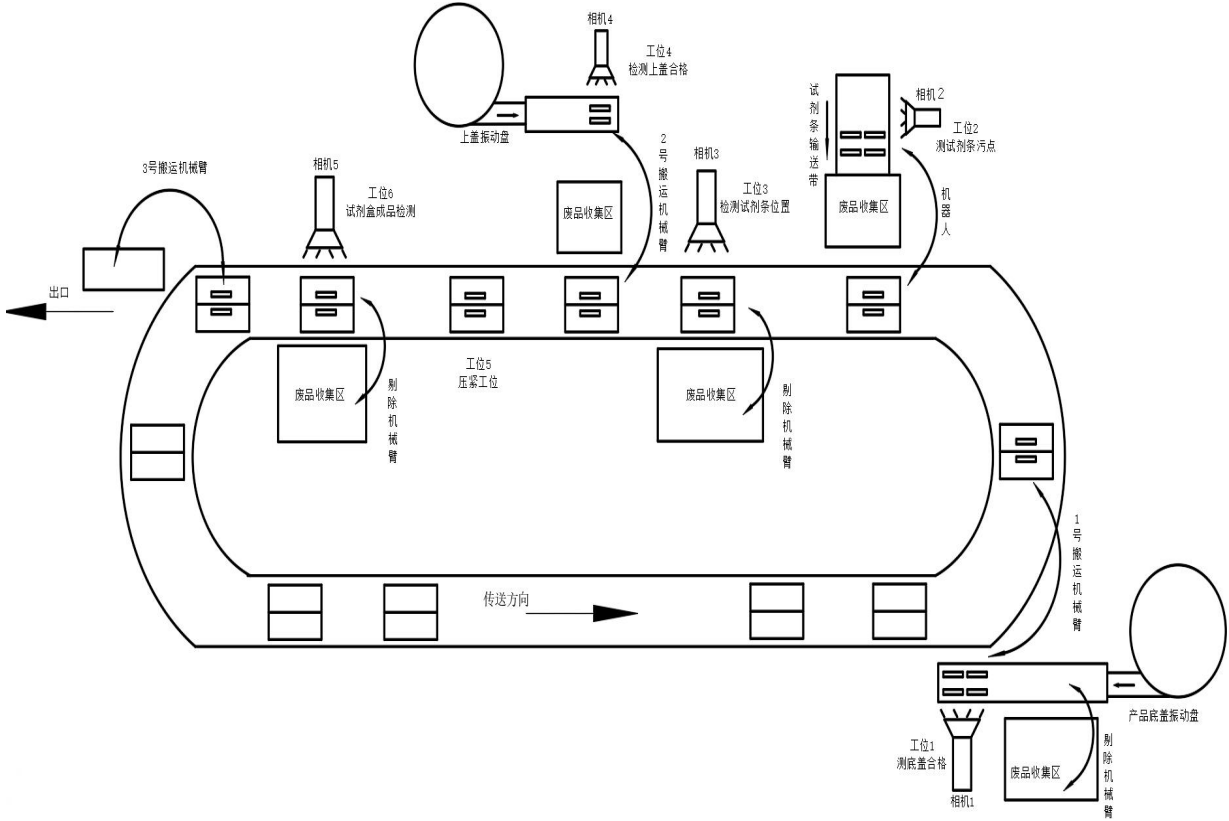


图 2-5 生产线布局示意图

2.4 小结

本章对系统所需的功能和试剂盒的结构进行了分析，进一步确定试剂盒生产线的工艺流程，并对系统的总体框架从软件和硬件两部分进行设计，最后对试剂盒生产线的总体布局方式进行选择规划，采用环形布局顺序加工的方式完成试剂盒生产的上下料，检测剔除和组装工序。

第三章 系统硬件设计

3.1 视觉检测单元

3.1.1 相机及光源选型及安装

光源和照明系统的合适性会直接影响图像采集的质量。由于实际生产现场中情况往往较为复杂，存在很多未知干扰从而影响视觉系统正常运行。因此，选择正确的光源和照明方式对检测系统的正常运作至关重要。通过光线大小以及颜色，剔除干扰，凸显检测特征，正确地打光可以

将原本检测过程中提取的表面图像更清晰，将复杂的冗杂的部分剔除，最后突出我们需要进行处理的部分，方便进一步处理图像。

良好的光源照明系统通常需要具备以下几个方面：一是，有足够的照明亮度；二是，照明的亮度要具备一定的稳定性；其次是，应最大程度的突出测试对象的主要特征。除此之外，检测对象和背景之间也应该有明显的对比，以减少环境产生的干扰。在选择光源时，应考虑亮度、均匀性、稳定性、寿命和成本等参数。

自然光源通常不适用于工业检测中，因为其非人为且非可控。目前，工业检测中常用的光源种类包括白炽灯、水银灯、氙灯、荧光灯、卤素灯、发光二极管以及激光等。不同光源特点如表 3-1 所示。

表 3-1 不同光源的特点

类型	颜色类别	特征	平均寿命/ (h)	光效(lm/W)
LED 灯	红黄绿蓝白	较亮，稳定性好，发热量低，价格便宜，使用寿命长	100000	110
卤素灯	白色、偏黄	很亮，成本高，发热高，稳定性一般，寿命短	1000	12~24
荧光灯	暖色、暖白色、冷色	较差，稳定性好，寿命一般，成本低	1500~3000	荧光灯 50~120

相比其他光源，LED光源在视觉检测领域应用较为广泛。LED光源具有体积小、使用灵活、高发光亮度、发热低、能耗低且光源均匀稳定、绿色安全、使用寿命长等优点。

根据光源的结构分类，可以将其分为不同的类型，如环形光源、条形光源、平面光源、圆顶光源和同轴光源。本文主要通过光源的结构方面进行了区分，并进行选型。各类光源及照明方式分类如图 3-1 所示。

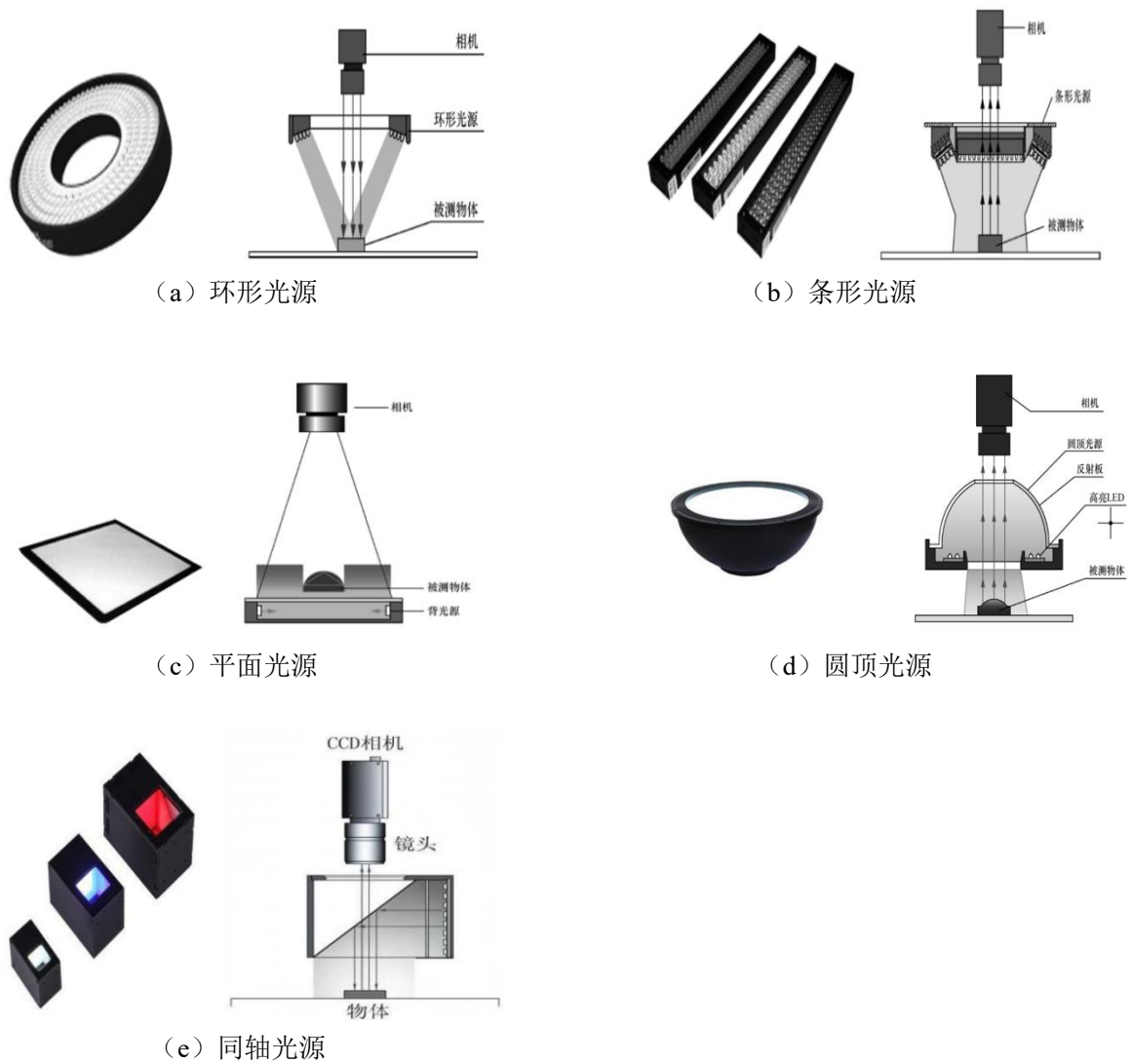


图 3-1 各类光源及照明方式

根据试剂盒的特征以及检测需求，需要选择较大于它的光源，并且具有足够的光照强度。一个合适的照明系统是整个图像处理系统稳定工作的关键。

对于不同类型的生产任务通常要采用不同的照明系统，并且选择合适的照明方式，从而使被检测的目标对象更加特征化。LED环形光源由多个LED灯环形排列而成，提供足够的照明亮度的同时，避免产生阴影以影响效果。照明系统，按照照明方式一般可分为正向照明、背光照明、漫反射照明、暗域照明和亮域照明等几种类型。使用不同照射方法的特点如表 3-2 所示。

表 3-2 不同照射方法的特点

照射方法	位置	特点
正向照明	是光源和摄像机位于被测物的同侧，这种方式便于安装。	高角度：在一定工作距离下，光束集中、亮度高、均匀性好、照射面积相对较小。低角度：凸显表面结构。

续表 3-2 不同照射方法的特点

照射方法	位置	特点
背向照明	光源安置在与相机同轴且位于被测物体的后面。	突出显示不透明物体的外形轮廓，适用于可以从待测目标其轮廓中获得特征的场合。
结构光照明	将光栅或线光源等投射到被测物上，根据产生的畸变，解调出被测物的三维信息。	可以实现焊点的三维信息的提取，适用于组装机板的焊锡部份、球形或半圆形物体。
频闪光照明	将高频率的光脉冲照射到物体，摄像机拍摄要求与光源同步。	用于拍摄高速运动的物体。

综合以上分析，结合实际试剂盒缺陷检测需求，需要对试剂盒表面图像进行细致辨别处理，检测表面划伤污点等，故确定采用视觉检测系统采用白色环形LED光源，采用正向环光照明。

3.1.2 相机

摄像机可以将图像传感器接收的光信号转换为数字信号。用于采集图像，将图像信号转换为数字信号，最后将这些数字信号通过网线、USB线等方式传输到控制器，通过图像处理软件进行处理得到工件图像。

目前市场上主流的相机一般分为CCD和CMOS两类。CCD与CMOS图像传感器原理基本相同，都是通过光电转换实现的，其中最主要的差别在于电荷读取的过程不同。CCD传感器利用电荷作为信号，应用广泛。CMOS传感器具有很好的集成能力，可以把像素阵列，功能模块，控制模块和其他组件高度集成到一个芯片上。

在同样像素条件下，两种传感器的性能存在多个差异，CCD相机的信号具有更好的一致性，多点共读且相对稳定。CMOS相机的光电信号转换过程中，每个节点均独立操作，导致其一致性和稳定性不尽如人意，但其拍摄速度却相对更迅速。CCD传感器的灵敏度一般高于CMOS传感器，而且在传感器尺寸相同时，CCD的像素分辨率也要优于CMOS传感器。

然而，CMOS传感器放大器的不一致性会导致成像带来相对于CCD传感器更高的噪声水平。与此同时，CMOS传感器的价格和功耗也要比CCD传感器要低一些^[28]。

试剂条尺寸检测分辨率 0.1mm/pixel、表面检测分辨率 0.5mm/pixel。试剂盒视觉检测检测的视场是 70mm×20mm，由于应适当地在四周留出空间，所以将视场尺寸设置为 75mm×50mm。在兼顾测量精度和成本的前提下，选取试剂条尺寸分辨率 0.1mm/pixel来计算相机长度方向分辨率：

$$\text{摄像机长度方向像素} A = 75\text{mm} \div 0.1\text{mm/pixel} = 750\text{pixels}$$

根据生产需要，试剂条的宽度尺寸是需要检测的重要尺寸之一，选择 0.05mm/pixel 的检测分辨率试剂条尺寸。

基于此分辨率，摄像机宽度方向的分辨率为： $B=50\text{mm} \div 0.05\text{mm/pixel} = 1000 \text{ pixels}$ 。同时，综合考虑测量精度和成本经济性的要求，选择图 3-2 所示的德国AVT公司的相机，其主要参数如表 3-3 所示。



图 3-2 Manta G-146 相机

表 3-3 Manta G-146 相机性能参数

类别	参数
分辨率(pixels)	1388(H)×1038(V)
像素尺寸(μm)	6.45×6.45
传感器类型	CCD
传感器尺寸(mm)	8.8×6.6
传感器尺寸(inch)	2/3
帧速率(fps)	30
像素位深(bits)	12
尺寸(L×W×Hmm)	86.4×44×29
镜头连接方式	C-mount

3.1.3 镜头

镜头是一种光学成像装置，被安装在图像传感器前方，能够调节进光量，将待测物体的光线聚焦到传感器上，从而实现高精度成像。除了协助相机实现清晰成像外，镜头本身也会对图像质量产生影响。在选择镜头时，应该综合考虑以下指标：

- (1) 光学镜头的尺寸应尽可能与摄像机的图像传感器尺寸相匹配；
- (2) 为确保目标成像的清晰度，镜头的视野和景深应设置到合适的参数。
- (3) 镜头的畸变不宜过大要满足检测要求。
- (4) 光学镜头和图像传感器需要相互配合，所以都应该具备足够的分辨率，以确保视觉检测的精度；

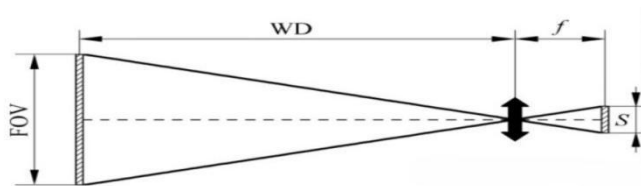


图 3-3 成像示意图

如图 3-3 所示，其中F为镜头焦距，FOV为视场，WD为工作距离。

为了获得获得合适的视野范围，需要安装距离与焦距合适的镜头。

根据上述要求所选用的CCD传感器尺寸为 6.4mm×4.8mm，镜头的焦距计算方法，如公式 3-1 所示：

$$F = \frac{WD \times (Cv \times Ch)}{FOV(V \text{ or } H)} \quad (3-1)$$

检测视场为 110mm×40mm，且工作距离选定为 300mm，则根据上述公式分别通过计算得：

长度方向：Fh=300×8.8/75mm=35.2mm

宽度方向：Fv=300×6.6/50mm=39.6mm

所得焦距如下:Fv=35.2mm；Fh=39.6mm,选取焦距为:F=35mm。故选用了图 3-4 中日本Computar公司生产的M3514-MP2 型镜头，其主要参数如表 3-4 所示。



图 3-4 M3514-MP2 镜头

表 3-3 Manta G-146 相机性能参数

类别	参数
分辨率(pixels)	1388(H)×1038(V)
像素尺寸(μm)	6.45×6.45
传感器类型	CCD
传感器尺寸(mm)	8.8×6.6
传感器尺寸(inch)	2/3
帧速率(fps)	30
像素位深(bits)	12
尺寸(L×W×Hmm)	86.4×44×29
镜头连接方式	C-mount

3.2 相机镜头的安装方式

为了将整个试剂盒的图片内容拍摄下来，需要对固定相机视野进行调整，将其定位安装于一个合适的位置。设计时考虑到机器人作业范围，以确保生产线总体高度合适，以免对物体搬运造成影响。所以考虑使用桁架结构来安装摄像机，将光源摄像机等部件安装在试剂盒卡托所在位置正上方，以确保摄像机在较佳成像状态下。桁架上加装调整部件，可以根据现场情况调整相机镜头的高度。相机安装三维设计图如图 3-5 所示。

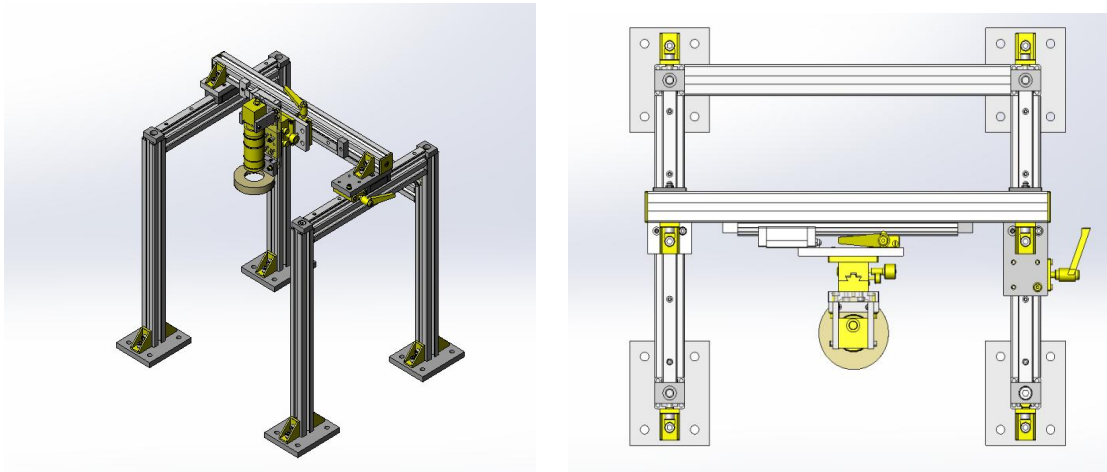


图 3-5 相机安装图

3.3 视觉识别定位原理

利用光电传感器与止动气缸配合，对试剂盒进行定位。光电传感器探测到试剂盒后,PLC控制止动气缸升起，使生产线上运载试剂盒的卡托停下来，接着通过光电信号触发相机拍摄。如有缺陷，则缺陷试剂盒的位置信息会通过计算机传递给PLC，PLC接收到信息后控制剔除设备将缺陷产品从中分离出来。合格产品由上料装置将物料搬运到传送带上的试剂盒卡托里。

试剂条的识别以及定位由传感器和相机实现。当试剂条到达传感器位置时，传感器收到信号，相机在PLC的触发下开始进行图像采集。通过图像处理得到的位置信息，机器人能实现快速、精准的抓取。若试剂条不符合要求，则不予处理，经由传送带进入废品回收箱中。

3.4 机器人选择及安装

选择ABB的SCARA机器人，型号IRB 910 SC来完成搬运装配任务，ABB的SCARA系列产品适用于各种通用应用，能够针对小零部件进行快速，重复的部件放置、机器上下料和装配。该机器人最大工作负载为6kg，并且均为模块化设计，灵活性好，可以选择不同长度的连杆臂满足操作要求。能够在狭窄空间内操作，有利于产线布局优化，布局更紧凑。IRB 910 SC机器人详细参数如表 3-5 所示。其工作空间如图 3-6 所示。

表 3-5 IRB 910SC 机器人工作空间参数

名称	参数	名称	参数
a	最大空间	F	119mm
b	轴 3 的中心关节	G	200mm
c	基座安装面	H	450mm
d	机械行程限制区	J	150°
A	140°	K	151.2°
B	1.5°	M	180mm

续表 3-5 IRB 910SC 机器人工作空间参数

名称	参数	名称	参数
C	150°	N	5mm
D	1.2°	P	2mm
E	126mm	Q	40.2mm

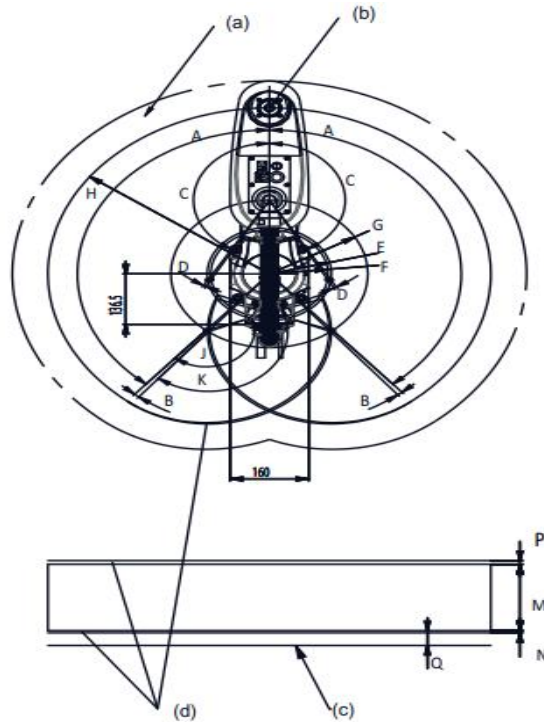


图 3-6 IRB 910SC 机器人工作空间

3.5 PLC 的选型

自动化装配环节的电气控制系统采用 PLC（Programmable Logic Controller）作为核心控制器，PLC 主要完成系统工序的顺序控制以及动作协调。

首先需明确 I/O 的数量。根据控制系统 I/O 点的数量，通常需要在此基础上增加 10%~20% 的 I/O 点，以便在后期使用时增加功能，进行维护。

最后需要确定输入/输出的类型。输入/输出有继电器、晶闸管、晶体管输出型。输出型继电器具有隔离作用，适用于工作电压范围广且负载通断状态变化频率较低的情况。晶闸管型用于交流负载，晶体管型用于直流，适用于需要响应时间短，需要高频动作，负载通断频繁的情况。

鉴于所设计的控制系统主要采用开关量控制，且工艺流程稳定，考虑到该系统还需要驱动步进电机，需要实现高速脉冲输出，因此我们选择了输入/输出类型为晶体管的 PLC。考虑到系统控制的要求以及熟悉程度和灵活性等多方面因素，这里采用西门子 S7-1200 系列 1214C PLC 外接一个信号板的设计方案。

主控程序的开发：根据生产流程的控制要求，主控程序的PLC，I/O分配表，如表 3-6 所示：

表 3-6 主控程序的 PLC，I/O 分配表

输入地址	功能	输出地址	功能
I0.0	总启动	Q0.0	传送带电机
I0.1	启动	Q0.1	试剂条传送带电机
I0.2	停止	Q0.2	止动气缸
I0.3	急停	Q0.3	搬运机械臂手爪 1
I0.4	底盖上料到位检测	Q0.4	搬运机械臂手爪 2
I0.5	试剂条到位检测	Q0.5	搬运机械臂手爪 3
I0.6	上盖上料到位检测	Q0.6	启动相机
I0.7	产品到位检测	Q0.7	压紧机构
I1.0~I1.5	试剂盒卡托到位检测光电开关 1~6	Q1.0	剔除机械臂 1
I1.6	机械臂行程开关初始位	Q1.1	剔除机械臂 2
I1.7	机械臂行程开关终止位		

3.6 系统硬件清单

根据生产线以及系统任务需求，控制系统主要的硬件由 PLC 控制器、电机、驱动器、显示单元等构成。控制系统主要的硬件及型号参数如表 3-7 所示。

表 3-7 系统主要硬件清单

序号	名称	数量	单位	生产厂家及型号
1	步进电机	2	件	德科智控 3M110-152A
2	驱动器	2	台	德科智控 KD3605M
3	止动气缸	6	件	亚德客 TTQ50×20K
4	光电传感器	10	件	施克 GL10-N1212
5	试剂盒振动盘	3	台	上海鸿旗泰
6	胶体金试纸裁切机	2	台	迈可诺 CM3030
7	可编程逻辑控制器	1	台	西门子 CPU-1214C
8	计算机	1	台	Dell
9	工业监视器	1	台	西门子 SIMATIC IPC377G
10	机器人	2	台	ABB 机器人 IRB 910 SC
11	机器视觉（含相机、镜头、光源等）	1	套	——

3.7 系统通信

在系统的整个控制过程中，由主控PLC程序的指令进行控制，完成整套组装动作。PLC上集成了PROFINET接口可以进行编程和设备间通讯，同时支持公开的以太网协议可以对其他第三方设备进行通讯，并通过交换机与机器人，视觉系统和以及其他设备进行通讯。通过使用计算机对PLC，机器人及其他设备进行编程调试，最终程序经由交换机装载后对设备进行控制，系统整体通信结构如图 3-7 所示。

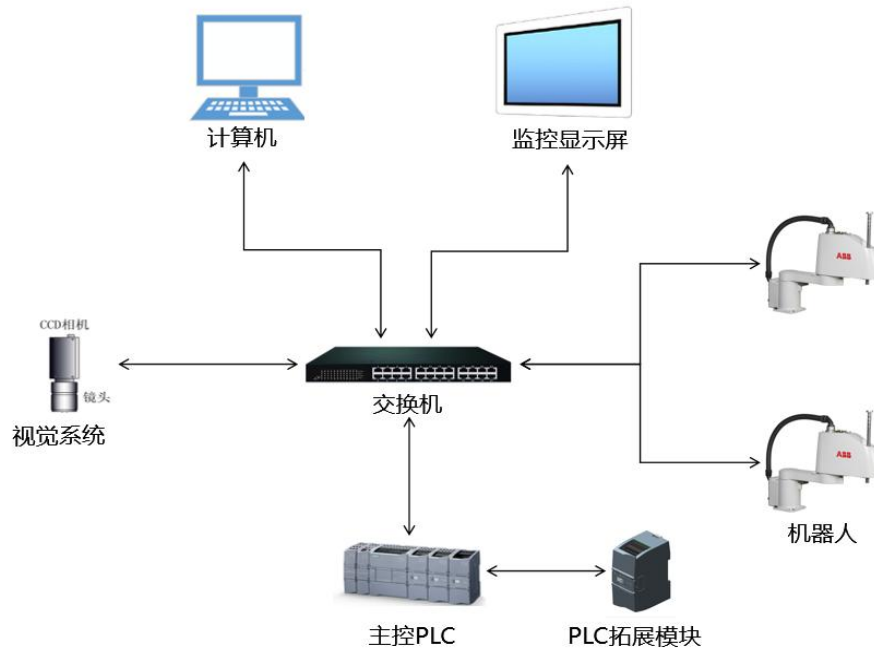


图 3-7 系统通信网络连接图

Modbus/TCP作为标准的通信协议，本系统通过采用TCP/IP协议实现了计算机与相机、机器人之间的数据通信，完成了彼此间数据的传输与显示。

在机器人和PLC之间通过Modbus/TCP协议进行通信。建立 TCP 客户端，机器人作为服务器，PLC 作为客户端。

在相机和主控 PLC之间通过Modbus/TCP的进行通信，进行IP设置，将其设置在在网段下，相机与视觉处理作为服务器，PLC 为客户端，视觉检测系统与PLC的通信方式如图 3-8 所示。

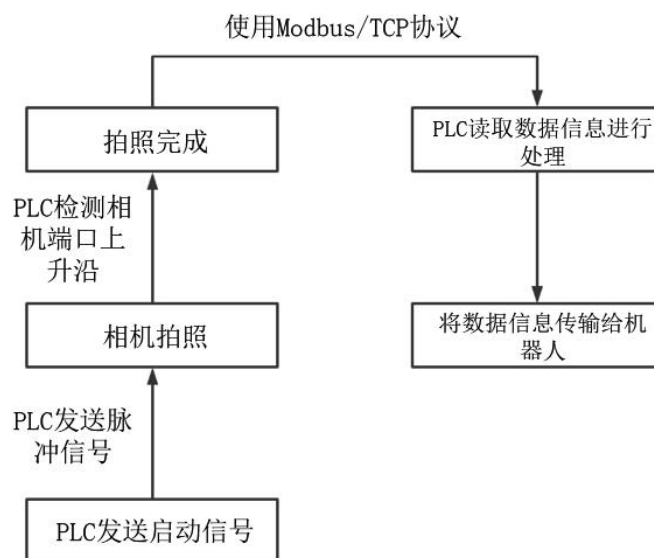


图 3-8 相机与 PLC 通信示意图

3.8 系统电气控制图

根据课题中主要使用的设备：传送带，机械臂，PLC以及机器人设计了系统的主要电气原理图，并规划了相应的断路器、熔断器等保护器件的接线图。如图 3-9 所示，主电路中接入为 380V三相电源，另有三处 220V电源，一处 24V直流电源用于PLC等元器件的供电。

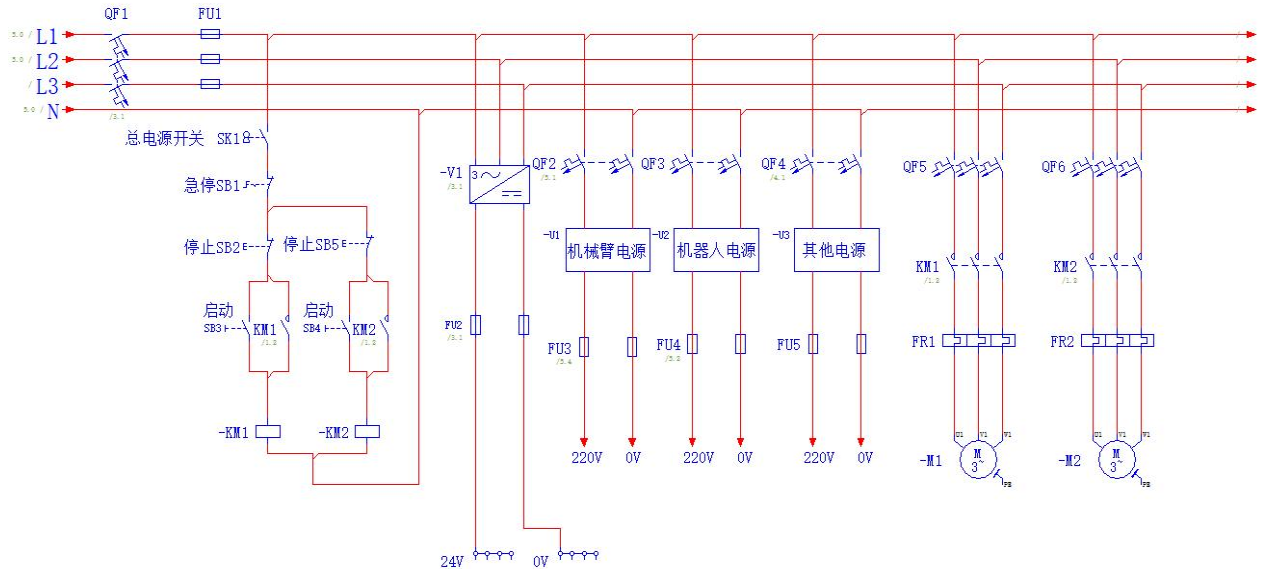


图 3-9 主回路供电图

如图 3-10 所示，为交流转直流的 24V 电源供电接线原理图。主要完成 PLC 以及拓展模块的供电和 HMI 界面，提供气动回路电磁阀的电源，相机的电源和检测环节中光源的供电。

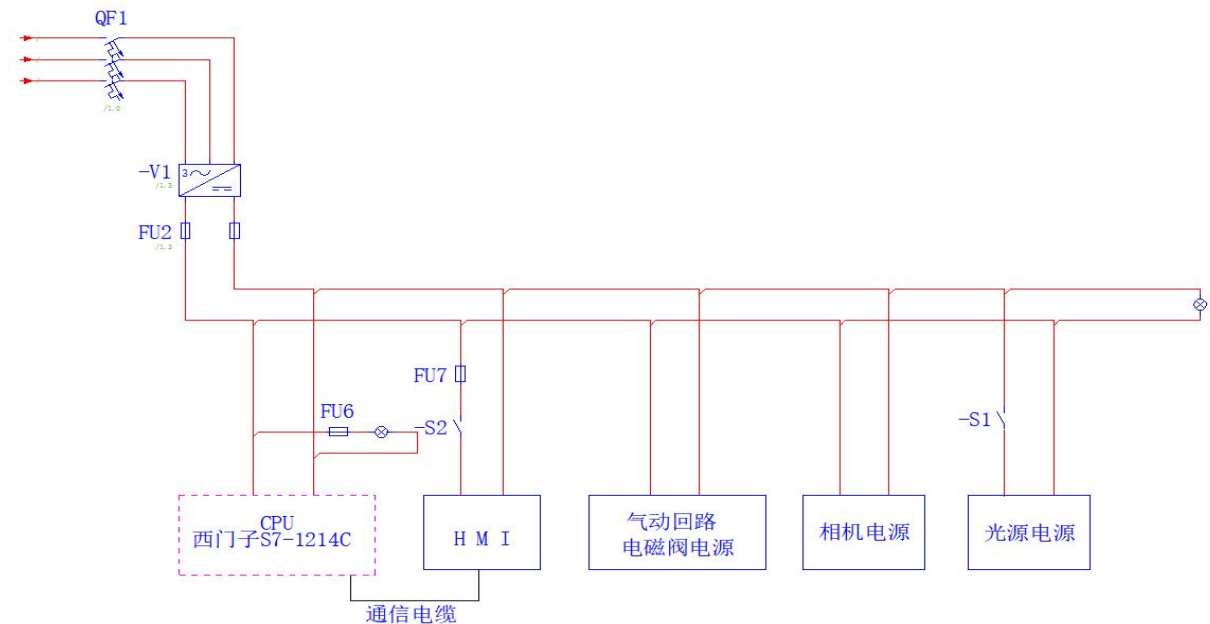


图 3-10 24V 电源接线图

如图 3-11 所示,为PLC及其拓展模块的接线图。通过外部直流 24V电路对PLC供电,并完成对各个传感器、开关和输出执行机构的控制。

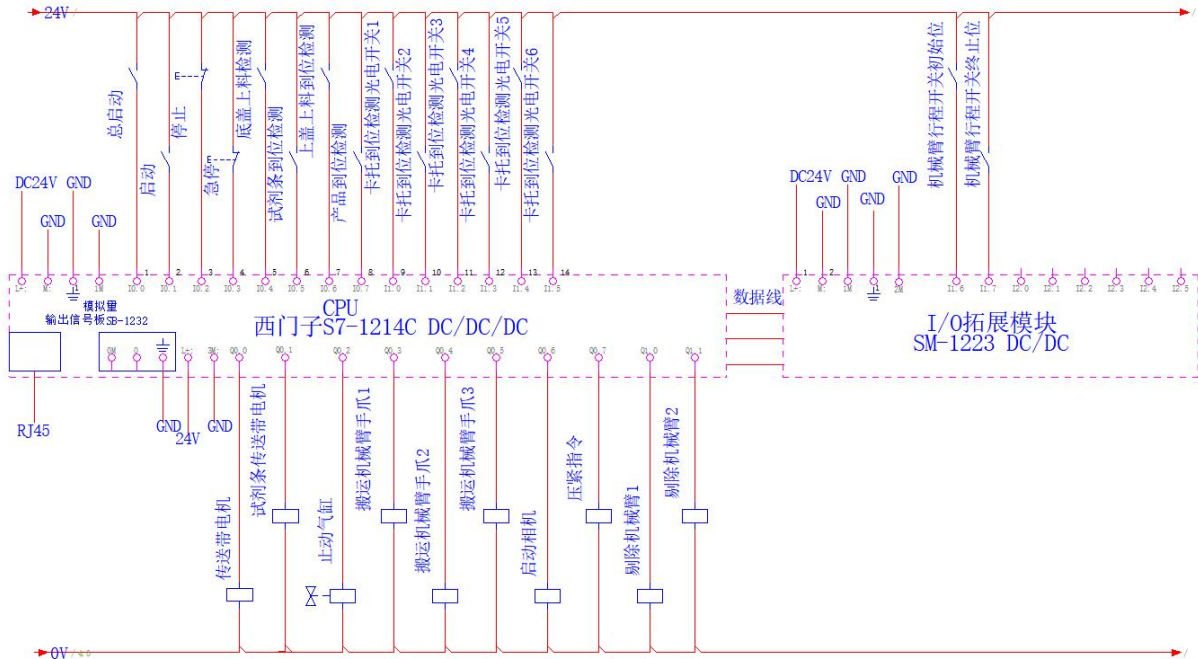


图 3-11 PLC 接线图

如图 3-12,3-13 所示,两图分别为交流 220V下的生产线其他设备供电,和机器人电源控制电路图。

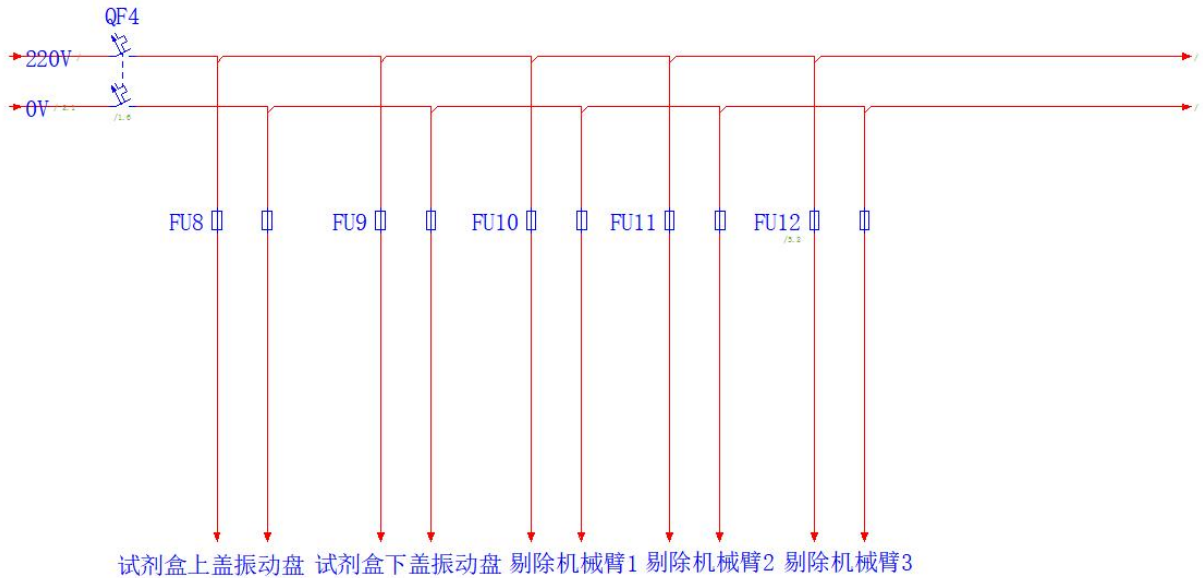


图 3-12 其他设备接线图

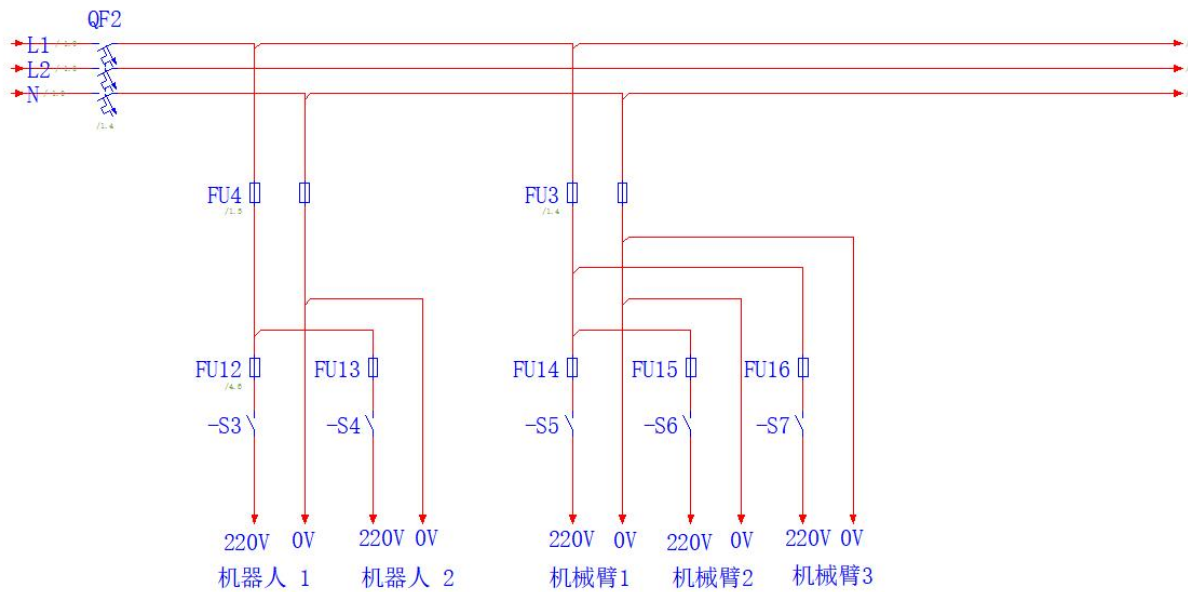


图 3-13 机器人及机械臂接线图

3.9 小结

本章主要围绕系统硬件部分的设计进行介绍,分别就对视觉检测单元所需的关键部件如相机、光源、镜头选取原则进行阐述。对视觉识别的定位原理进行说明,确定相机的安装方式,并根据系统功能以及生产流程的要求对PLC及相关硬件进行选取。描述了机器人的安装方法给出了相关参数并进一步阐述了系统的通信方式。最后绘制系统电气原理图,对主要电路的电源分配以及接线方法进行说明。

第四章 图像处理

4.1 图像处理软件

由德国 MVTec Software GmbH 公司开发的 HALCON，是目前工业自动化领域使用较为广泛的图像处理软件，同时凭借其强大便捷的图像库和算法也被广泛应用于机器视觉、医疗、安全监控、电子制造等领域。HALCON 在机器视觉处理方面具有很多优势，如下：

(1) 多平台支持

HALCON 支持多种平台，包括 Windows、Linux 等操作系统^[29]。这使得 HALCON 适用于各种工业控制、测量和检测设备以及操作系统。

(2) 强大的特征提取能力

HALCON 具有强大的特征提取能力，能够快速识别和分析图像中的特征，如边缘、角点、形状等，实现对目标物体的精确识别。这种能力使得 HALCON 成为了广泛应用于零件检测、质量控制和医疗影像分析等领域的选择。

(3) 精度高

HALCON 能够对图像进行高精度的处理和分析，精度高达亚像素级别。提供了用于表面检测，二维目标识别，定位，测量，光学字符识别，机器人视觉等一千七百多个算子。这使得它在复杂的视觉检测和识别任务中能够提供准确的结果，从而实现高效率和高质量的生产。

(4) 开发环境友好

HALCON 为开发者提供用户友好的开发环境，提供了数百个解决方案的范例程序在其中可以进行快速、灵活的开发和调试。开发人员可以轻松地进行图像处理、算法开发、应用程序编写等工作，从而实现自动化视觉系统。HALCON 所有算子提供 C, C++, C#, VB 等多种编程语言，也可以直接导出不同语言的程序代码。

(5) 高效率

在处理数据量巨大的图像时，HALCON 能够保持高效率。它具有高效的图像处理算法和多核并行计算技术，能够在短时间内完成复杂的图像处理任务。节约成本缩短开发周期，方便用户能够在较短周期内开发出视觉系统。

因此本文采用在 HALCON 平台依据其提供的图像处理算子进行开发，设计试剂盒生产线产品的视觉检测软件系统。

4.2 试剂盒识别检测

图像识别检测思路如图 4-1 所示：

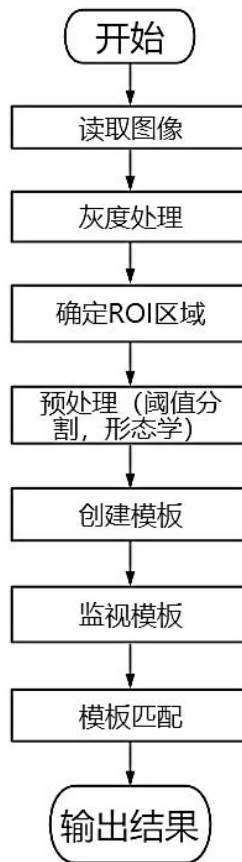


图 4-1 图像识别流程图

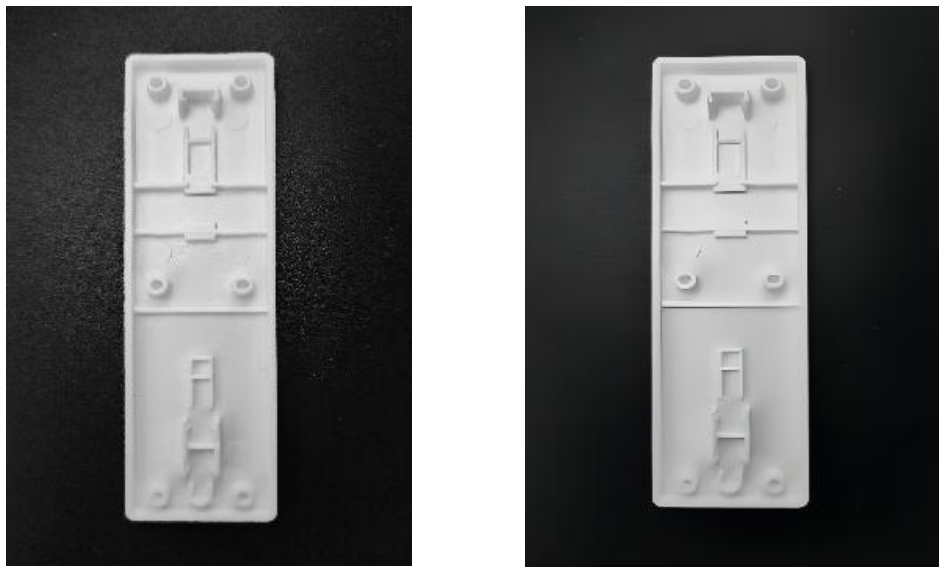
4.2.1 图像增强

通常在图像采集的环节中有可能因为光线环境等因素,造成整体对比度不足或局部过暗、过曝,噪点过大,采集时镜头失焦等问题以及目标特征不明显的问题,最终得到的图像质量影响对图像特征的提取,通过增强的方式就可以获取更加清晰的目标特征方便后续内容的处理。利用图像预处理技术去除图像中无价值的信息和干扰项,提取其有用的几何特征。图像预处理操作主要有滤波、二值化、图像增强、边缘检测等。

在 Halcon 的开发环境中提供了多种降噪方式,主要可以分为:

- (1) 基于图像处理的降噪,常见的降噪方法有:高斯滤波、中值滤波、均值滤波、低通滤波、高通滤波等。
- (2) 基于特征处理的降噪,主要的方法有:角点增强、灰度值过滤等。

首先需要对采集的图像进行灰度处理,如图 4-2 所示。该过程使用低通(mean_image)进行过滤。该方法主要用于增强图像中的高频区域(边缘和拐角),从而使图像看起来更加清晰。它可以通过调整均值滤波模板的大小来控制参数,数值越大则图像对比度越强^[30],一般与参数对比度强度一起使用以增强图像。



(a) 滤波处理前

(b) 滤波处理后

图 4-2 滤波处理效果图

4.2.2 ROI 区域的选取

创建ROI主要是出于以下两个方面的原因：

将要处理的图像划定到ROI区域内，后续需要处理的图片像素数就减少了，通过设置只在ROI内搜索目标，忽略ROI外的内容，这样就可以缩减计算量，提高运算效率。同时选取的ROI可以作为形状模板进行后续的模板匹配时搜索的参考图像。

明确ROI的范围后，在HALCON中可以通过reduce domain算子将其抠图，为单独的一幅图片。通过reduce_domain只能获得选取后特定区域存储在Region里的图像。如图 4-3 所示为ROI区域选取。

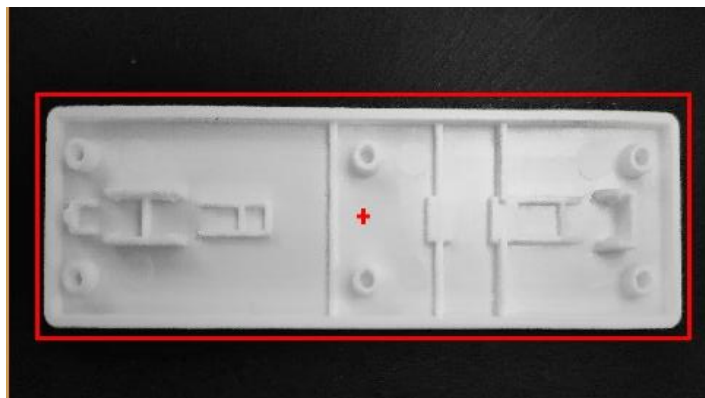


图 4-3 ROI 区域图

4.2.3 图像特征提取

图像特征是指图像中具有显著差异的特征，一般为物体的自然特征，例如灰度、形状轮廓、颜色和纹理等。通常使用直方图、阈值等方法来提取图像中的特征点。通过比较特征，实现特征匹配。

试剂盒上料时试剂盒的下盖由传送机构的挡板进行定位。通过相机采集的试剂盒图像中，能看到试剂盒结构的表面轮廓如图 4-4 所示，针对试剂盒特征选择其中几何特征轮廓以及四周圆孔边界来训练模板识别匹配。

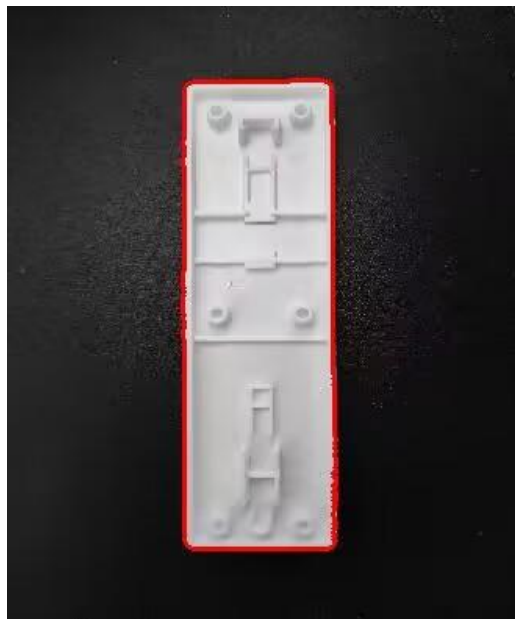


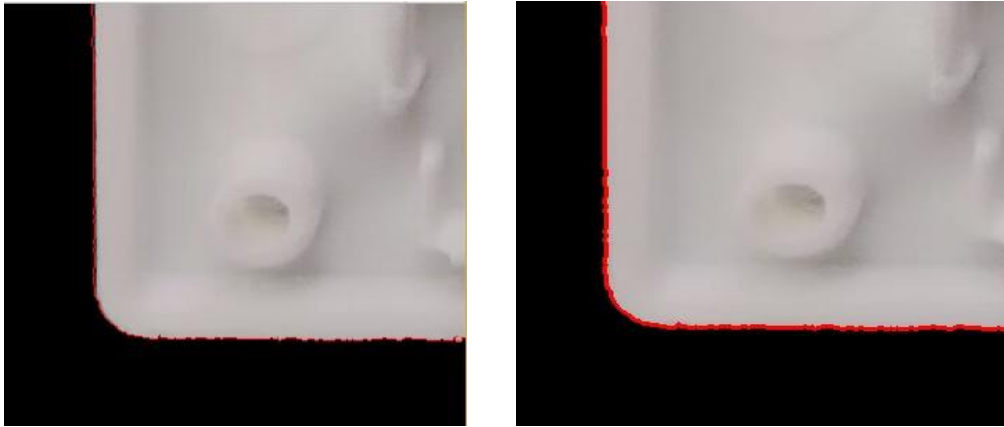
图 4-4 试剂盒边缘轮廓提取

4.2.4 形态学处理

形态学处理，即使用数学形态学工具来对图像进行灰度或二值化的方法，这样既可以使图像区域的基本形状得以保留，又可以把小而不连贯的无关结构去除。

形态操作的基本算子包括两对：膨胀 (dilation) 和腐蚀 (erosion)，以及开运算 (opening) 和闭运算 (closing)。膨胀算子能够扩展区域的形状与边界，将相邻的两个区域连接起来，并能够填充区域中的小孔；而腐蚀算子可以有效地对图像中的小面积区域进行缩减，从而达到去除图像中微小区域的目的。

在进行开运算的过程中，通常会先对图像进行腐蚀处理，接着进行膨胀操作，最终获得处理的图像。开运算可以在不改变图像大小的情况下，消除非关键区域的毛刺杂点，平滑轮廓。反之闭运算首先对图像执行膨胀，然后再进行腐蚀。通过闭运算，可以实现对狭窄的间断进行连通，从而填补那些微小的空隙，与开运算相同，闭运算的处理过程同样不改变图像的大小。如图 4-5 所示。



(a) 处理前

(b) 处理后

图 4-5 形态学处理效果图

开运算，闭运算程序如图 4-6 所示。

```
dilation_rectangle1 (RegionFillUp, RegionDilation, 5, 5)
reduce_domain (Img20230226144026, RegionDilation, ImageReduced)
opening (RegionDilation, RegionDilation, RegionOpening)
closing (RegionOpening, RegionOpening, RegionClosing)
```

图 4-6 开、闭运算程序图

4.2.5 物体的识别方法

在HDevelop开发环境中，支持多种匹配方法如表 4-1 所示，其中包括基于灰度值、形状、相关性等不同的方法，适用于不同的图像特征。大致上这三种匹配方法的创建模板和寻找模板的过程是基本相同的。根据识别需求，抗原试剂盒选择基于形状的匹配，进行开发调试。

表 4-1 模板匹配方法

名称	适用场合
基于灰度	定位对象内部的灰度值没有大的变化，没有缺失部分，没有干扰图像和噪声的场合。
基于形状	对于定位对象内部的灰度值可以有变化，但对象轮廓一定要清晰平滑的场合。
基于相关性	搜索对象有轻微的变形，大量的纹理，图像模糊场合，速度快，精度低。
基于组件	组件匹配是形状匹配的扩展，但不支持大小缩放匹配，一般用于多个对象(工件)定位的场合。

4.2.6 监视模型

在创建好合适的模板后，在HALCON中调用inspect_shape_model算子来监视模板，查看测试对比度的数值是否合适，检测参数的适用性与找到合适的参数。

算子进行对图像模型轮廓以及相关参数的调整，通过该算子可以直观地看到各层金字塔模型，为后续参数以及搜索层级的调整做出参考。

金字塔层数是一种高效而简洁的图像结构，它采用多个分辨率呈现图像，呈现出一种宛如金字塔的形态。由于不同层次上包含了相同的信息，因此在计算出每个层次内的灰度直方图后就得到整个图像。在金字塔中，图像集合的每一层都随着分辨率的逐渐降低而呈现出不同的特征，底部代表的是待处理图像较高的分辨率，而顶部则是对应搜索到的低分辨率的近似值。当每层都被划分成不同尺度时，就得到了一个新的层次。随着层数的增加，金字塔的尺寸逐渐缩小，其对应的分辨率也逐渐下降。如图4-7所示，为图像金字塔层数搜索展示。

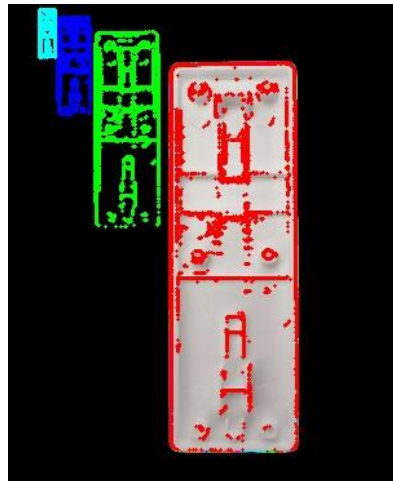


图 4-7 图像金字塔模型

4.2.7 缺陷检测

常见的缺陷有轮廓凸凹不平非曲面轮廓、对象内部污点、内部凸凹点、瑕疵点、空洞和破损、对象表面划痕等。

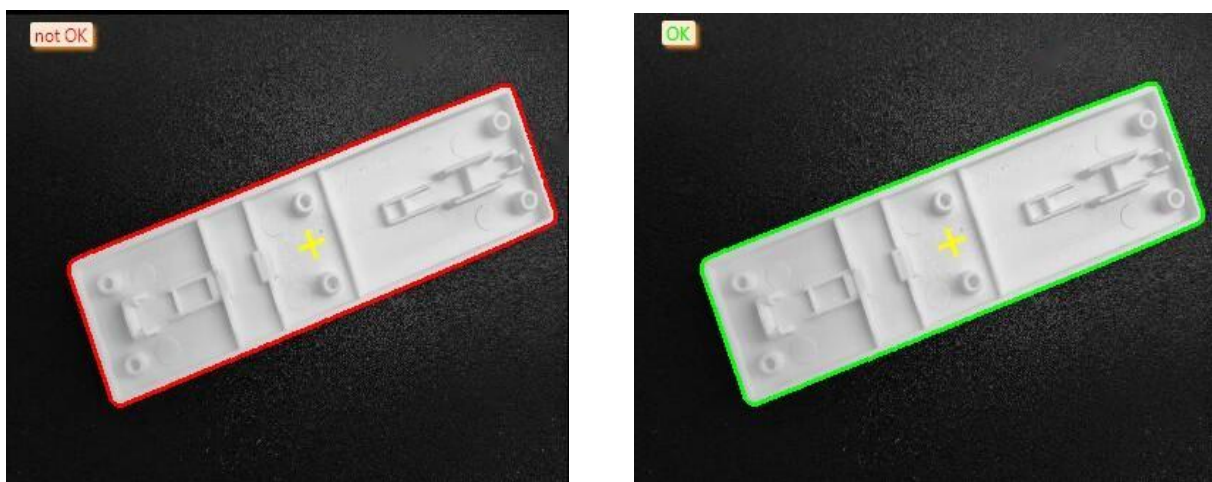
图像处理算法有^[31]（1）blob分析+特征检测（2）blob分析+特征检测+差分（3）频域分析+空间域分析（4）光度立体法（4）特征训练(深度学习领域)（5）测量+拟合方法。

此处采用blob分析+特征检测+差分的方法。在分析过程中，通过自定义可以根据合格产品和缺陷品在某些特征上的差异，对这些特征进行缺陷检测，可以根据合格产品与不合格产品之间的特点，选择合适的处理方式。基于特征的检测方法首先提取了图像中的信息，降低了算法的计算量，缩短了检测时间，提高了检测效率。此方法适用于图像几何形变、尺寸变化、旋转等不同情况。其中在缺陷检测中经常用到的是面积、周长、角度、最小外

接矩形等几何特征。以及矩形度和圆度等形状特征。根据试剂盒的构造，缺陷检测算法在检测系统中需要运用到以下特征：

1. 直线：直线的长度以及其在水平方向上的夹角；
2. 面积特征：在图像中占据的像素点总数；
3. 中心位置：特征中心的坐标；
4. 轮廓矩形度：包围特征的外接矩形的长度、宽度、面积和倾斜角度等；

调取建立好的合格模型对零件进行匹配，以及缺陷识别。图 4-8 所示，为通过设定相关合格参数范围，展示的合格与不合格产品，当零件轮廓以及缺陷区域在允许范围内，结果显示为合格OK；当零件尺寸过大或过小，结果显示为不合格产品显示not OK。如未识别匹配到任何关键特征以及零件输出为NG。



(a)不合格

(a)合格

图 4-8 缺陷识别

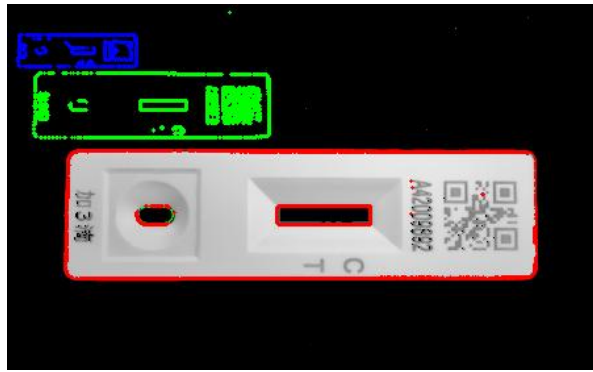
4.3 试剂盒上盖检测

和试剂盒下盖装配检测相同，试剂盒上盖检测通过采集的试剂盒合格产品图像中，可以观察到试剂盒上盖正面明显形状特征和字符。故如图 4-9 所示，选择试剂盒上盖中最突出的几何特征，椭圆边界和矩形边界来识别定位试剂盒上盖。

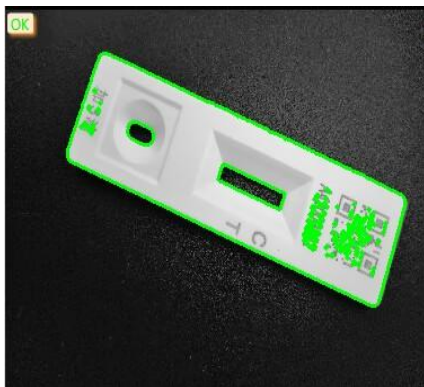
若检测不到完整的椭圆边界和矩形边界，则判断试剂盒盖丢失或匹配不符，最终显示结果为None，合格显示OK，如图 4-10 (b) 与 (c)。



图 4-9 试剂盒上盖特征轮廓提取



(a) 试剂盒上盖匹配识别



(b) 合格



(c) 匹配失败/丢失

图 4-10 试剂盒检测结果

4.4 试剂条检测

试剂条是试剂盒质量好坏的关键,为避免缺陷试剂条进入下一步生产工序造成不合格产品,需要通过进一步的图像检测来检查试剂条缺陷。

首先需要根据试剂条特征确定试剂条检测流程,通过观察特征以及生产需要,分别对试剂条尺寸,以及位置检测和表面缺陷进行编写处理程序。

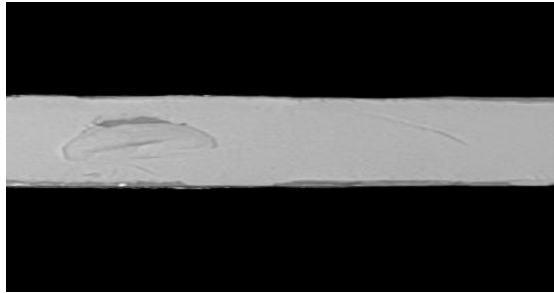


图 4-11 抗原试剂条

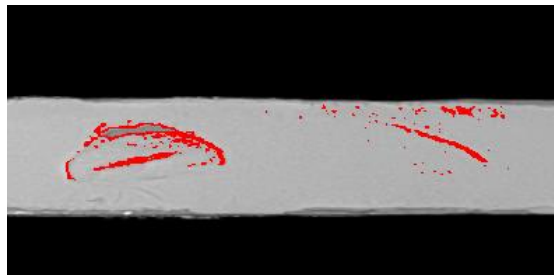
试剂条宽度尺寸较小,如图 4-11 所示,试剂条的宽度一般在 4.0 ± 0.5 mm 之间。试剂条由试剂大卡裁切制成,因考虑试剂条后续装配要求,所以需要保证试剂条的宽度尺寸在 4.0 ± 0.5 mm 范围内便于安装。

在此基础上,需要制定抗原试剂条的检测内容,其主要包含了试剂条的大小,表面缺陷,以及试剂条的位置。通过对试纸条的位置、偏转角等参数的测量,以实现试纸条的

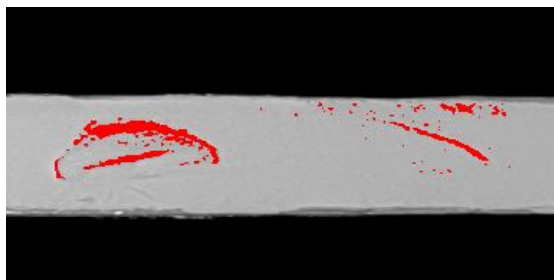
定位，使得机器人能够准确地抓取试剂条。检测过程如图 4-12 所示，缺陷分析步骤中设置尺寸若存在大于 15 像素的区域为缺陷。



(a) 图像灰度化



(b) 阈值分割



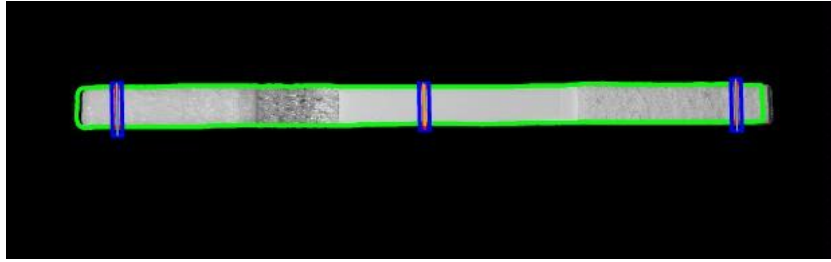
(c) 形态学运算

图 4-12 试剂条表面缺陷检测

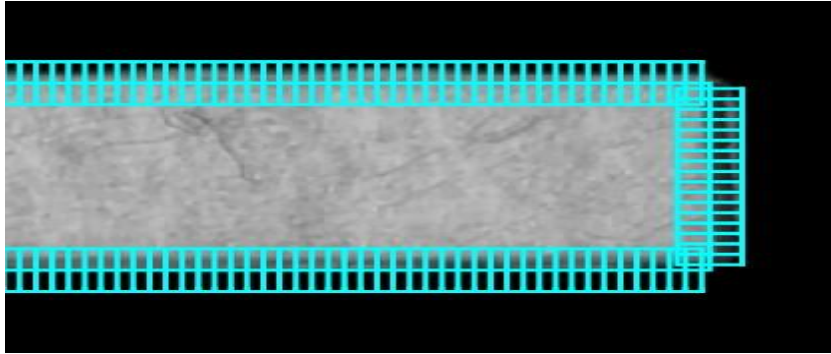
利用在试剂条长方向上两个边缘分界之间的距离，来对试剂条宽度进行检测。Halcon 中规定，由亮变暗为正边缘positive，由暗变亮为负边缘negative。通过选择负边缘。如图 4-13 所示，可以在试剂条的灰度处理图像中建立一个没有角度方向的矩形搜索框，用以识别图像检测区域中灰度跃迁变化的像素点，并对识别到的试剂条的边缘点进行拟合。



(a) 绘制 ROI



(b) 提取三处边缘对



(c) 测量模型

图 4-13 试剂条模型创建过程

通过测量工具得到试剂条矩形边界，将试剂条矩形轮廓使用测量工具建立模型，将其绑定到形状匹配模型上。使用Metrology算子进行匹配测量。即图 4-13，图 (c) 中所示的蓝色边缘。通过该方式可以直接得到试剂条矩形的半边长宽，几何中心和偏转角度。如图 4-14 所示。

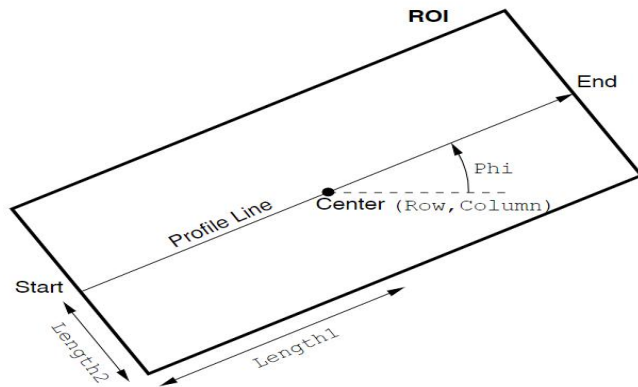


图 4-14 测量算子模型示意图

将摄像机标定后，该视觉系统就能够将被测图片像素间的距离和位置信息转化为实际的数值，进一步就可以确定试剂条在传送带上的位置。

通过尺寸检测和表面检测的合格试剂条如图 4-15 所示，若测量得出的试剂条宽度尺寸在 $4.0 \pm 0.5 \text{ mm}$ ($70 \sim 80 \text{ pix}$) 范围内则为合格，反之则为缺陷品。



图 4-15 试剂条测量结果

4.5 试剂条装配检测

当试剂条组装检测时，试剂盒下盖通过流水线上的卡托来对其进行定位，这样，从图像采集图像过程中，试剂盒下盖的位置和卡槽在图像中的位置都是固定的。

考虑试剂条装配检测需要和试剂盒进行配合，首先绘制一个矩形区域为ROI，其大小略大于卡槽，如图 4-16 所示的红色矩形框区域即为选中的ROI。

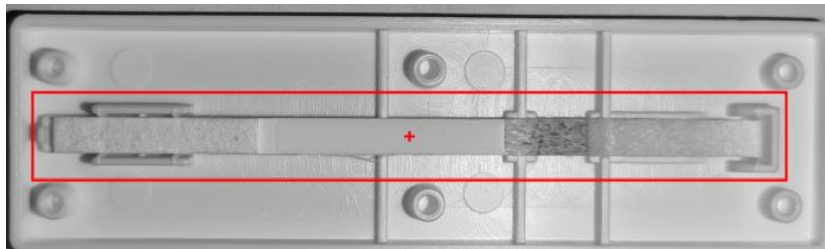


图 4-16 试剂条 ROI

一般情况下试剂条装配过程中主要的缺陷有：丢失、错位、偏移等。试剂条装配检测的难点在于试剂条与试剂盒之间的边界灰度变化并不太大，直接提取外部轮廓特征比较困难。通过观察得到试剂条样品垫和层膜的交界处，有一条对比较为显著的内部边界，如图 4-17 中的蓝色直线标志处，考虑可以选择这条明显的边界特征来判断试剂条的装配质量。

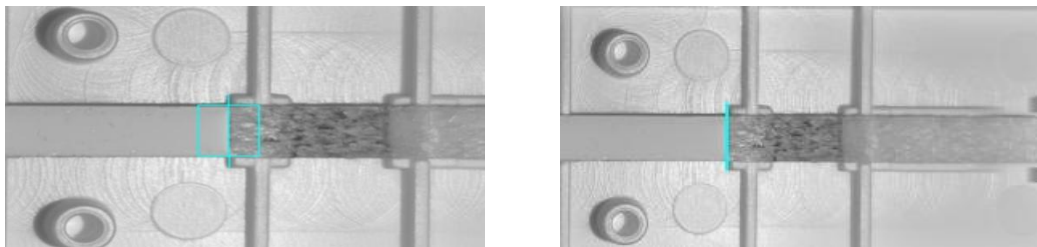


图 4-17 试剂条特征图

因此根据这两部分边界的特征进一步判断试剂条的装配质量，要检测如图 4-18 所示区域内的边界位置变化，通过选用的特征判断试剂条装配是否存在缺陷，如发生错位边界特征是否在允许的变化范围内。

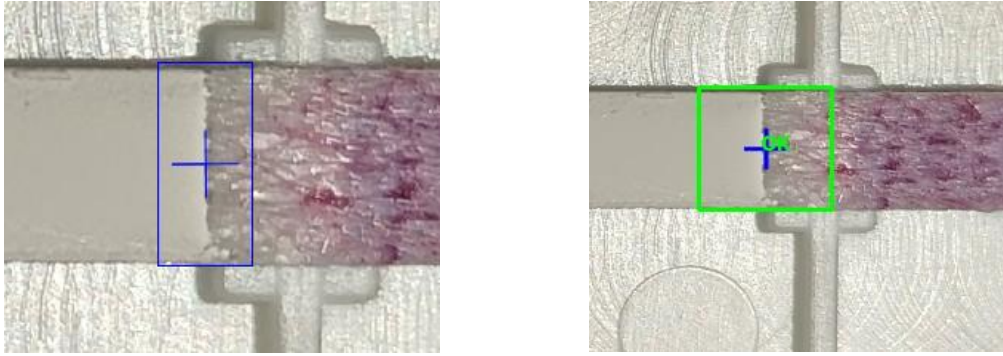


图 4-18 试剂条特征识别

若在区域内未检测到上述特征点，即视为试剂条缺失,也包括试剂条出现了严重错位或较大幅度的倾斜情况。

具体方法是通过选用的特征判断检测试剂条上层析膜与质控区边界是否位于卡槽内部。然后，在ROI中对试条的边缘进行检测，测量得到试条的偏移角及位置，并与容许值进行对比，判定有无缺陷。

试剂条装配质量通过试剂条边缘线与试剂盒边缘线配合形成的角度和位置来判断判断。试剂条在下盖卡槽内组装的允许角度误差范围为 $\pm 1.5^\circ$ ，内部边界的位置的允许范围是标志线处正负 20pix。若试剂条上边界的角度值大于允许误差，则试剂条整体偏移。

如图 4-19 所示的试剂条边界线相对于试剂盒边界形成的夹角为-0.2 小于允许误差，因此判断试剂条整体配合良好合格。

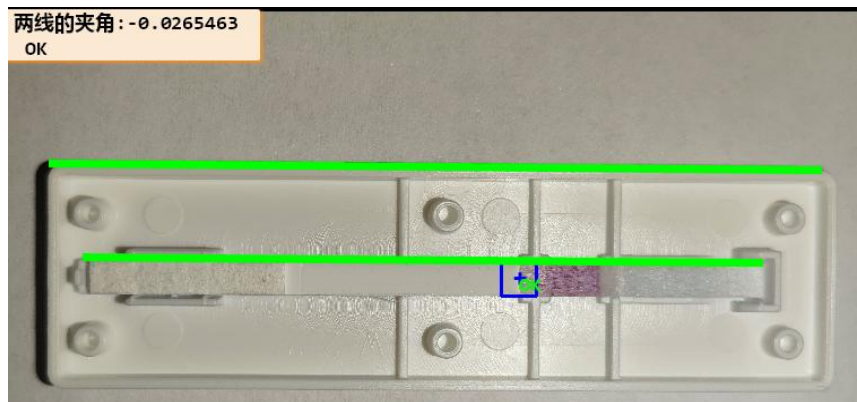


图 4-19 试剂条装配检测

4.6 试剂盒组装缺陷检测

对于试剂盒组装后配合度的衡量，与上文提到的试剂盒上下盖检测方式一致，使用模板进行匹配识别，通过提取组装后的轮廓和阈值分割后显现的缺陷面积进行判断。当组装配合错误时如图 4-20 所示，合格显示OK，不合格显示NG。



(a) 合格



(b) 不合格

图 4-20 试剂盒组装检测

4.7 视觉标定方法

在本文案例中采用Eye-to-Hand模式，即相机固定在桁架上，不随机器人末端移动。因此标定就是获取相机坐标系和机器人坐标系的变换矩阵，对图像坐标和机器人坐标建立转换关系。因此通过相机求解出图像坐标到相机世界坐标的关系^[32]，利用世界坐标和机器人末端姿态建立转换，就可实现图像对机器人末端进行映射。

在机器视觉测量应用中，为了判断影像中某个点与其在影像中的对应点间的相关关系，需要对图像进行几何建模，以确定图像中的特征点和图像中相应点之间的相关性。也就是相机的参数，而相机的参数又分为内参（焦距和像素大小）和外参（位置和旋转方向）。HALCON提供简便的标定方法，通过其标定助手进行标定。

相机标定一般需要 6 个步骤：

首先在HALCON程序编写界面通过gen_caltab生成标定板，标定板一般选用实心圆阵列图，最后将其保存起来。

将标定板横向摆放于摄像机正下方，为能更精确地获取摄像机内、外部参数，通常采用固定摄像机采集照片，相机在尽可能多地在不同位置角度随机拍摄 15~25 张标定图片进行标定。在采集得到的标定图片中选择合适的标定图片，获得图像的角点。

按顺序记录标定板图片上每个圆的中心位置，整理为数组。

控制机器人手爪末端与上一步相同按顺序移动至每个圆心，并记录下每组位置在坐标上的数据。

执行标定，这里使用HALCON标定助手可以方便地得到相机的内外参数和畸变率，利用前几步收集的数据。分别整理为图像坐标数组[image_X,image_Y]和机器人坐标数组[robot_X,robot_Y]。通过HALCON算子Vector_to_hom_mat2d生成仿射变换矩阵。

标定完成后，采集图像任意一个特征点得到的像素位置坐标[row,column]通过affine_trans_point_2d算子即可把像素坐标转换成机器人坐标。

4.8 小结

本章对系统图像处理的步骤以及方法进行了详细的描述，基于HALCON图像处理平台进行特征提取和形态学处理。分别从试剂盒上下盖，以及试剂条等几个主要识别检测工序的图像处理方法进行说明。确定了缺陷检测以及视觉系统标定的方法。

第五章 系统软件设计

5.1 运动执行系统

根据控制功能和工艺流程，将系统的控制过程分成几部分进行设计，绘制了 PLC 总体程序结构功能框图如图 5-1 所示。PLC 总体程序功能可以分为，装配流水线运动控制，相机控制，上下料机械臂的控制三个部分。

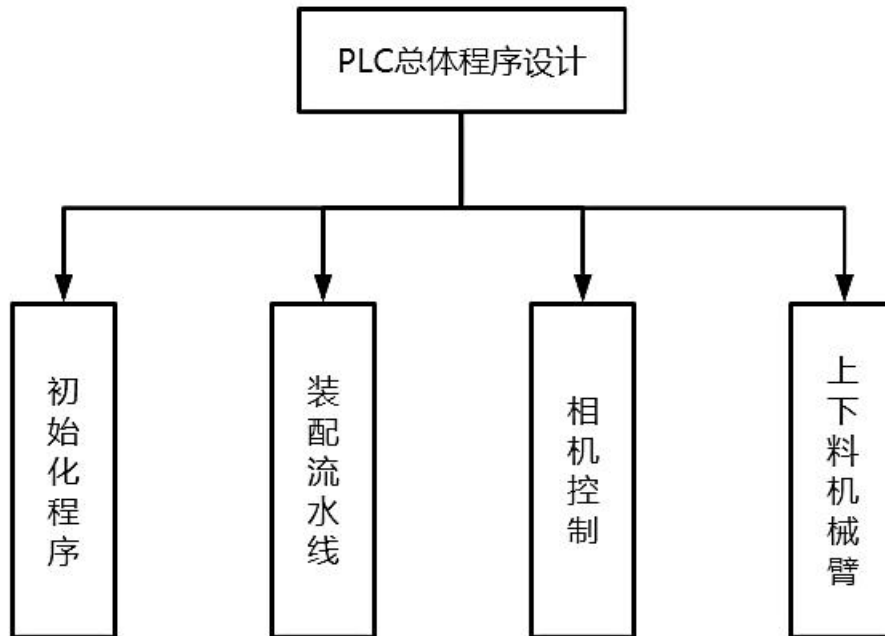


图 5-1 PLC 控制系统框架

(1) 初始化模块：

启动系统时，需要先进行初始化操作，通过初始化模块来重置系统以便后续操作。

(2) 装配流水线运动控制：

当系统运行初始时，需要对流水线进行启动以及回原点。因为 PLC 内具备脉冲计数的功能。因此，在 PLC1200 运动控制指令下，通过绝对定位，回原点等操作，能够对装配流水线进行高精度的控制。

(3) 相机控制：

PLC 将脉冲信号发送到相机端口，相机启动开始采集图像，并在 PLC 发现相机的输出端口有上升沿时结束拍摄，相机复位。

(4) 上料机械臂：

系统运行时，要对机械臂进行初始化操作，防止启动后机械臂工作时发生错误或者故障。并对机械臂执行自动运行程序。

系统的运动控制根据工艺流程，主要被划分成了上下料搬运、输送和视觉检测模块，主要是用PLC来控制各个功能模块，从而达到自动组装的目的。根据生产需求进行分析如图 5-2 所示：

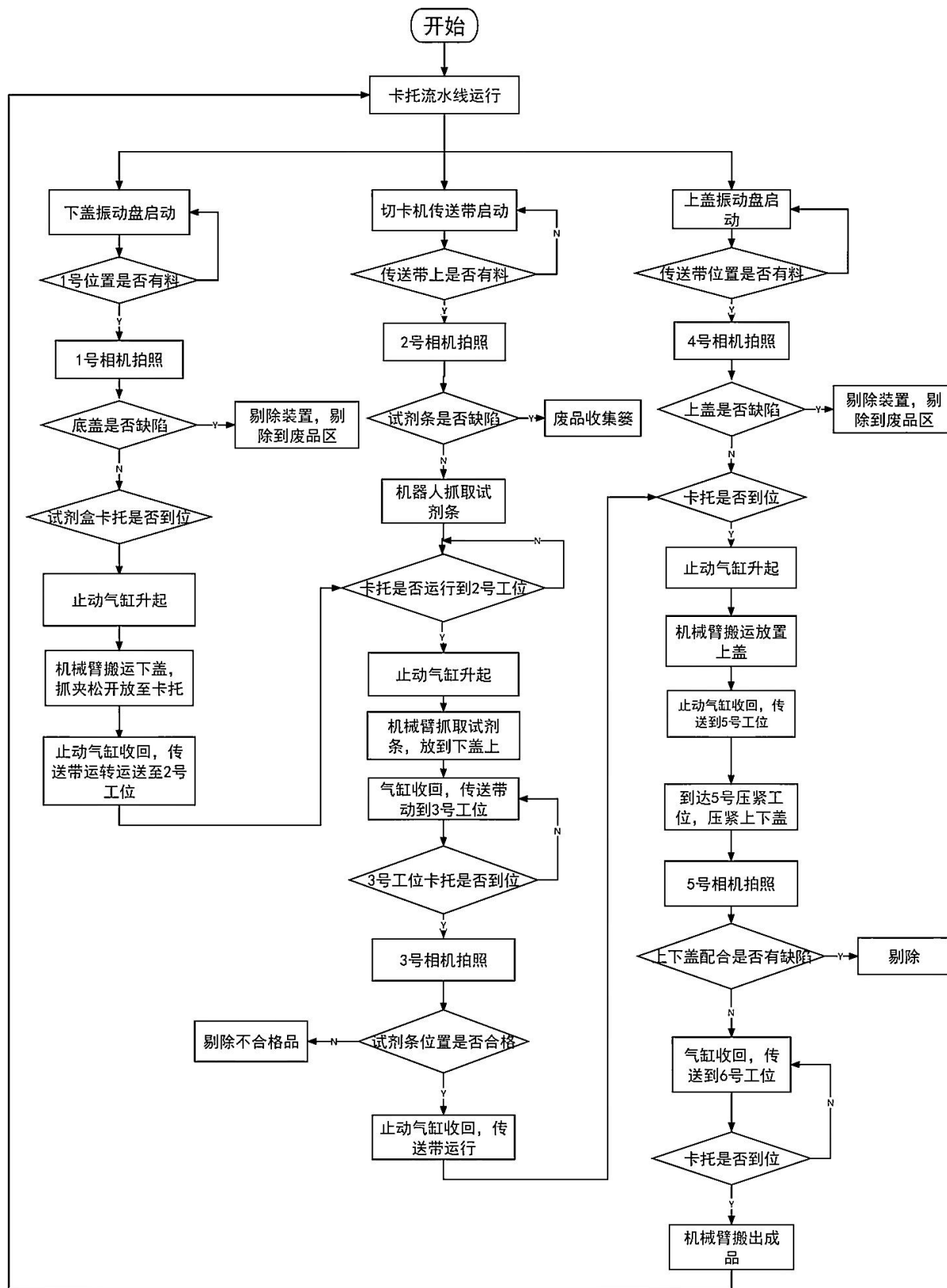


图 5-2 控制系统流程图

程序运行控制分析：

如上图 5-2 所示，按下启动按钮，流水线电机启动，流水线开始运作。试剂盒上盖振动盘启动，试剂盒下盖振动盘启动，切条机传送带启动，开始输送物料。此时光电传感器检测有无上盖物料，触发 1 号位置相机进行拍照检测，如有缺陷剔除装置启动，动作剔除。若无缺陷，传感器检测试剂盒卡托到位，止动气缸动作，卡托定位停止。

机械臂动作搬运下盖物料移动至托盘处，放下机械臂回到原位。止动气缸收回，流水线继续运动。此时 2 号工位传感器检测到有物料，检测装置启动，相机拍照，若无缺陷当达到 2 号工位时，2 号工位止动气缸升起，机器人动作抓取合格试剂条放置到下盖上，止动气缸收回，传送带继续动作。

3 号工位检测到卡托到位，启动相机拍照检测，如有不合格产品，机械臂启动剔除不合格品。试剂条位置摆放合格，止动气缸收回，传送带继续运作。

此时上盖上料传感器检测有物料，启动 4 号相机拍照检测有无缺陷，有缺陷机械臂启动剔除，此时检测到试剂盒卡托到达 4 号工位，止动气缸升起定位。机械臂搬运放置上盖后回到原处。止动气缸收回，传送带运作至下一压紧工位。

检测到卡托到达 5 号压紧工位，止动气缸升起定位，压紧机构下降，试剂盒上下盖扣合，压紧机构复位。检测装置启动，相机拍照检测配合是否有缺陷，如有缺陷机械臂启动剔除。

止动气缸收回传送带运作，6 号工位检测到卡托，止动气缸升起定位，搬运机械臂启动将成品运送到出口。止动气缸收回，传送带继续运动至 1 号工位。

下面以试剂盒下盖控制系统为例进行分析：

试剂盒下盖的上下料装置由按钮开关、光电传感器、限位开关、步进电机、定位止动气缸等组成，主要功能是用止动气缸，以及步进电机对下盖卡托进行定位，传感器以及限位开关进行识别到位，各元件功能如下：

- (1) 光电传感器：主要用于检测送卡模块上是否有试剂盒零件。
- (2) 限位开关：在桁架上安装限位开关将机械臂的位置反馈给控制器，由 PLC 控制其往返运动。
- (3) 流水线传送带步进电机：带动传送带进行运动，在传送带作用下将试剂盒卡托运送到指定工位，待组装完成后再将卡托送入下一个组装模块。
- (4) 定位止动气缸：限制托盘移动，通过气缸闭合收回使卡托通过定位准确进入检测以及操作工位。
- (5) 气缸抓夹：通过电磁阀控制气缸动作对工件进行夹取，放置搬运。

(1) 初始化程序:

流水线初始化启动程序流程图如图 5-3 所示。

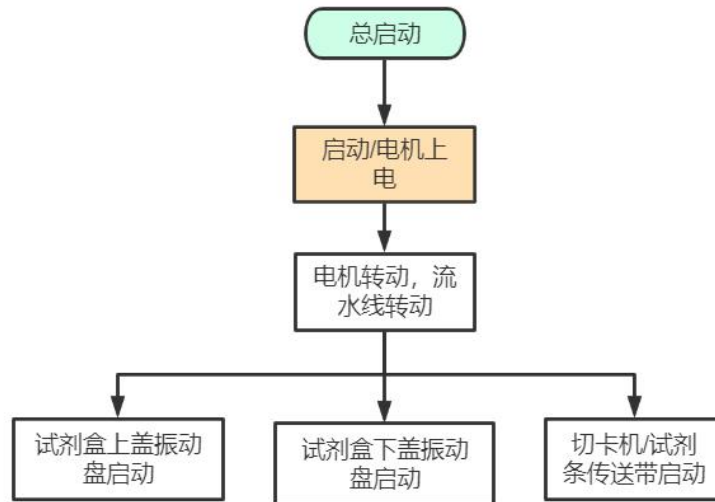


图 5-3 初始化流程图

程序段 1: 系统起停

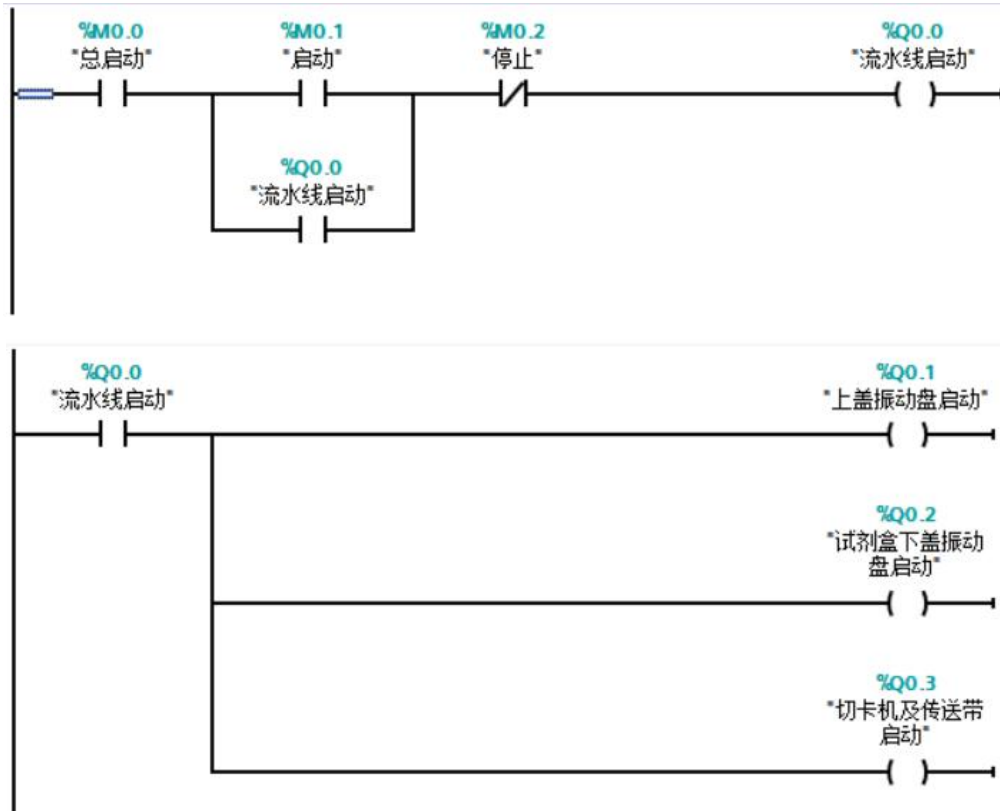


图 5-4 系统启停程序图

程序段 2：试剂盒下盖上料

如图 5-5 所示，为试剂盒下盖上料程序的动作执行流程图。具体试剂盒下盖上料的梯形图程序如图 5-6 所示。

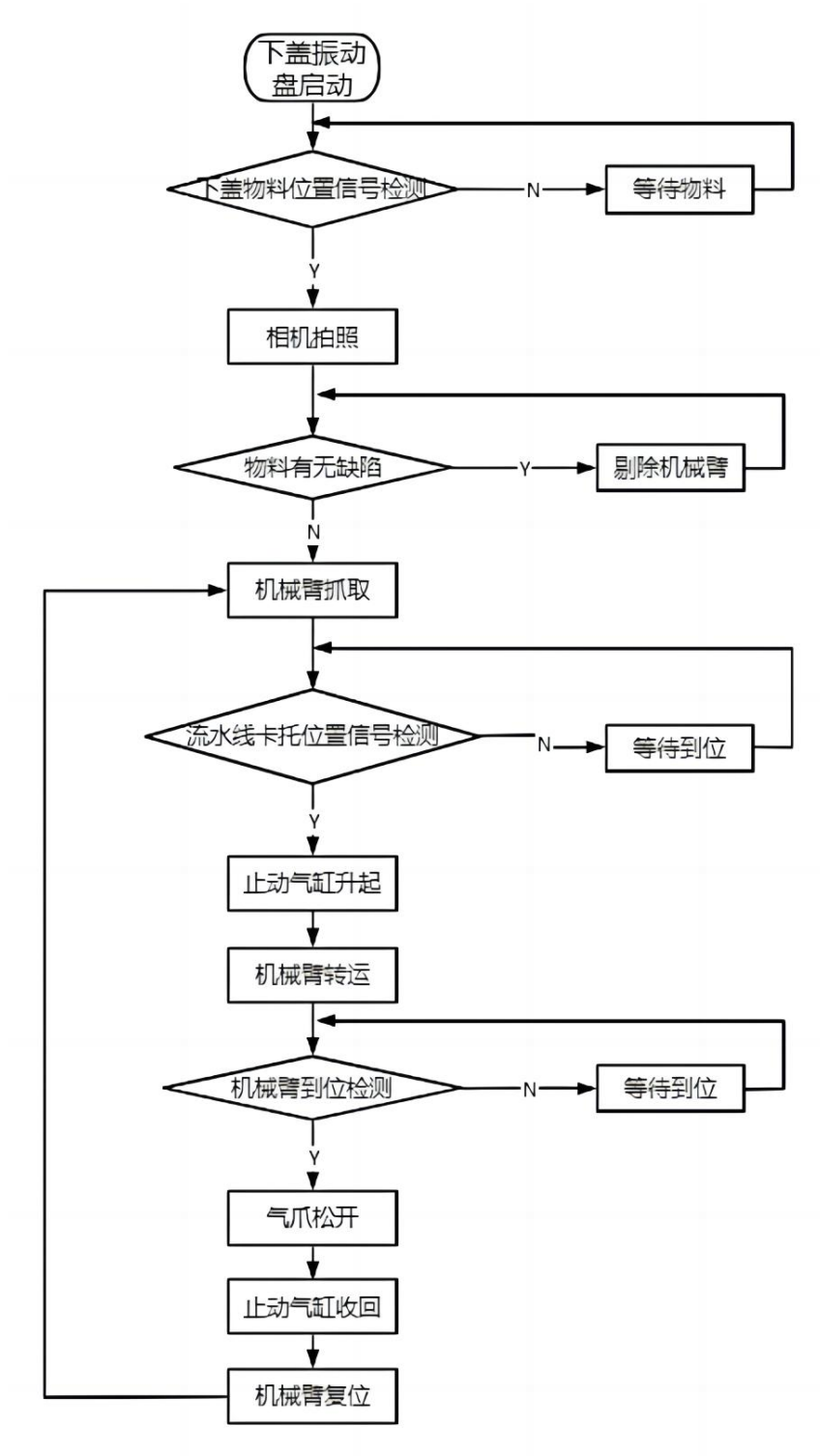


图 5-5 试剂盒下盖上料动作流程图

试剂盒下盖组装模块

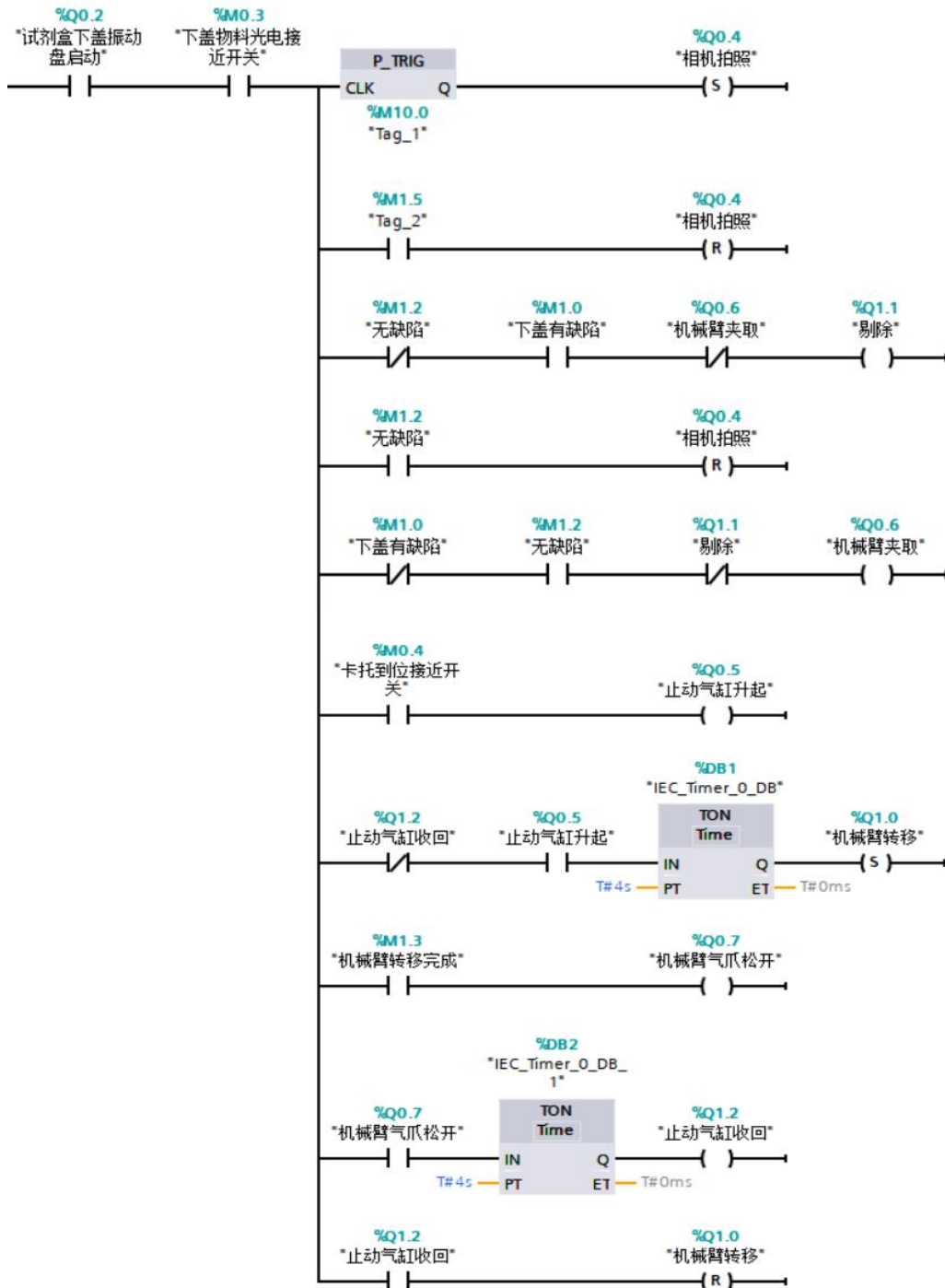


图 5-6 试剂盒下盖组装程序图

(2) 装配流水线控制

通过绝对运动、回原点、正反转对步进电机进行控制，其控制程序设计如图 5-7 所示。



图 5-7 装配流水线电机控制程序段

(3) 相机控制

通过下盖物料的光电接近开关扫描到信号的上升沿，触发计数器开始计数。程序如图 5-8 所示。

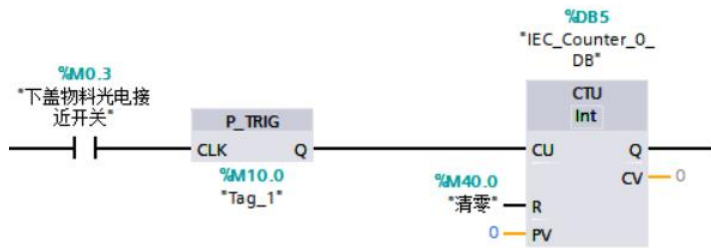


图 5-8 相机控制程序段 1

当试剂盒底盖到位检测到信号后，止动气缸升起，使用延时触发 1s 后上升沿置位“相机拍照”置位。

当检测到“拍照完成”信号上升沿后，PLC 记录相机所识别的工件信息，并记录程序延时 1s 后信号出现下降沿时，复位“相机拍照”和“止动气缸”，如图 5-9 所示。

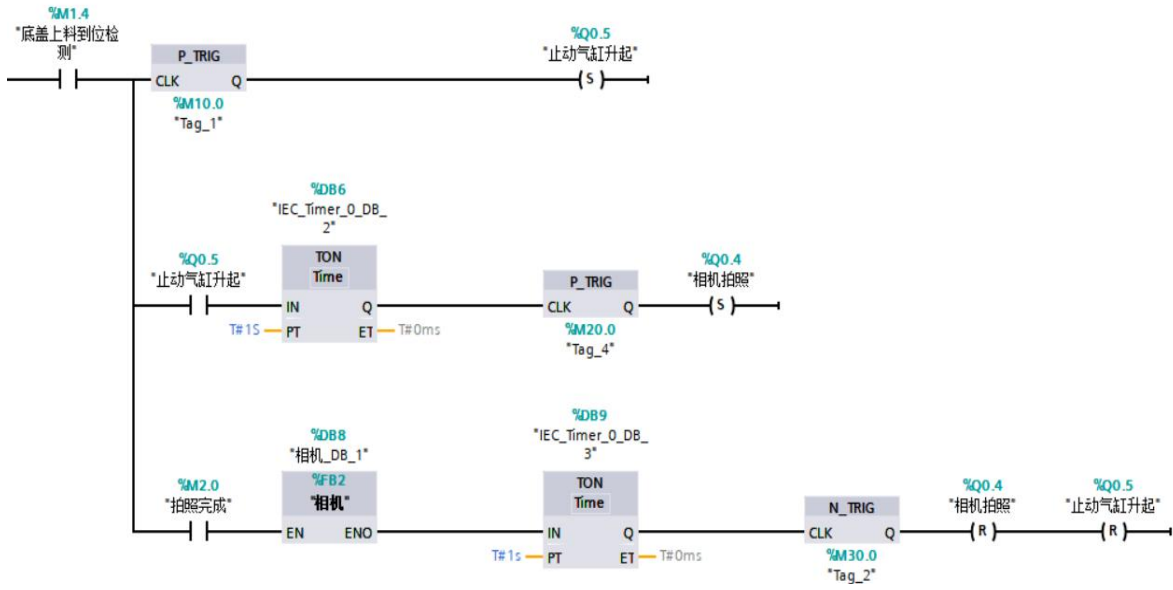


图 5-9 相机控制程序段 2

(5) 机械臂控制

如图 5-10 所示，为机械臂控制程序设计流程图。

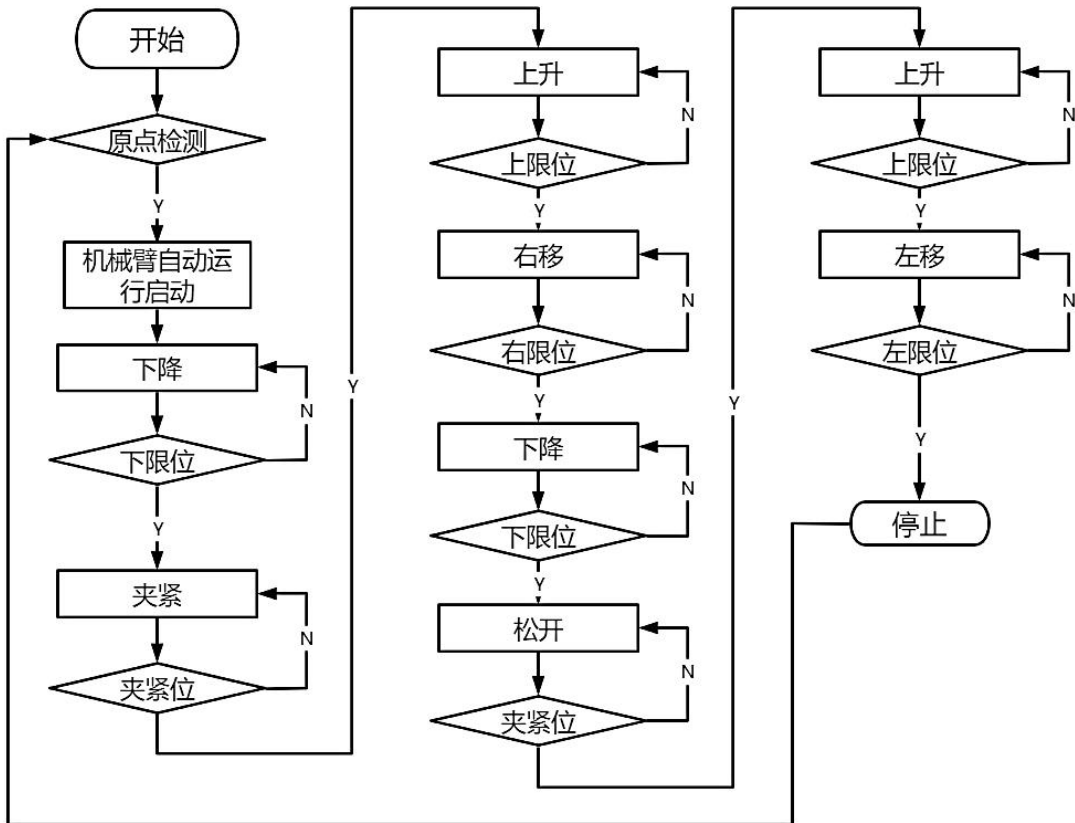


图 5-10 机械臂控制流程图

机械臂启动前先确定是否为原点，当检测机械臂在上限位和左限位，并且气缸手爪为夹紧状态时，输出原点指示指令。通过原点指示指令，并且手动开关处于闭合状态时，启动机械臂，机械臂开始自动运行。一旦机械臂手动模式打开或触发机械臂停止指令对机械臂自动运行程序进行复位。如图 5-11 所示。

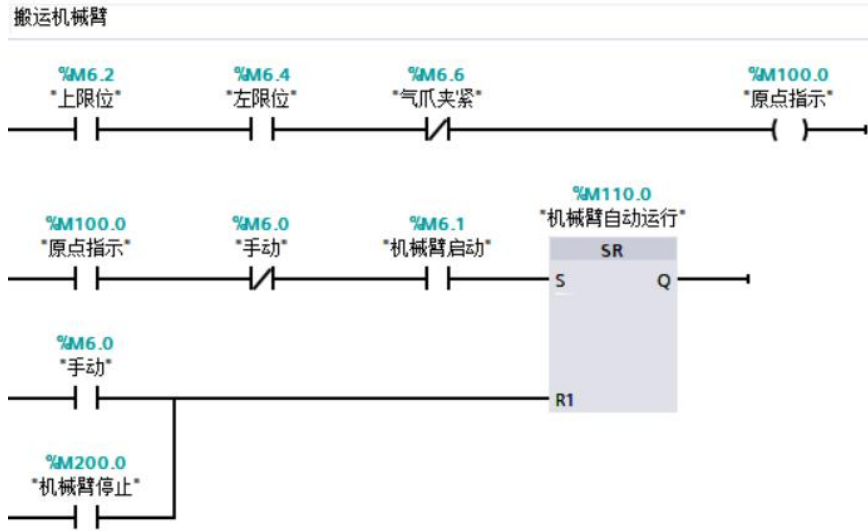


图 5-11 机械臂初始化程序段

当机械臂自动运行程序启动，扫描上升沿得到信号触发机械臂下降指令，机械臂开始下降运动，到达下限位时触发下限位开关执行夹紧动作，同时对下降指令进行复位。如图 5-12 所示。

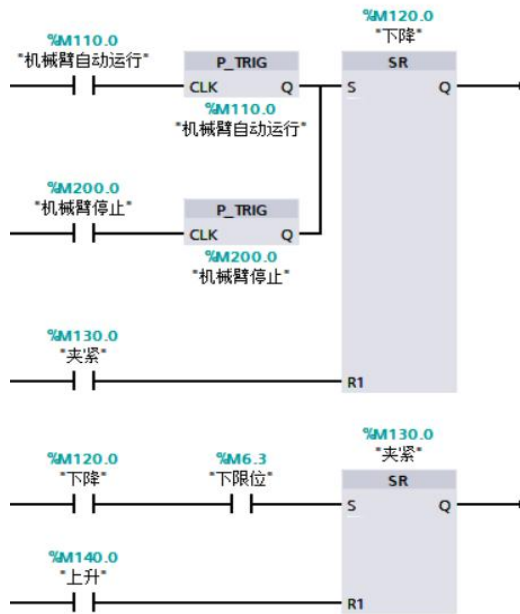


图 5-12 机械臂下降并夹紧物料程序段

当机械臂执行夹紧以后，气爪夹紧开关触发PLC得到信号执行机械臂上升指令，机械臂开始上升，到达上限位时触发限位开关执行右移，同时对上升指令进行复位，停止上升动作。当右移到达右限位，开始执行下降动作并复位右移。如图 5-13 所示。

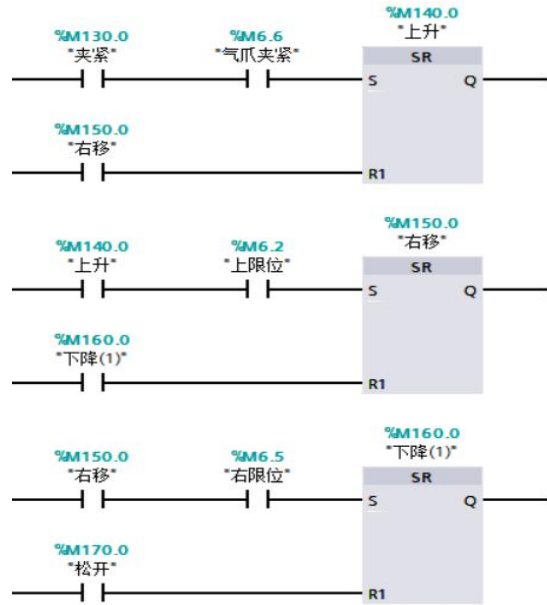


图 5-13 机械臂移动放置物料程序段

下降完成后到达下限位，开始执行松开指令同时复位上一步下降指令，气爪夹紧限位为松开状态，触发第二次上升指令到达上限位后，机械臂开始左移回到初始原点。抵达右限位后机械臂停止，复位机械臂自动运行程序，完成一次循环操作。如图 5-14 所示。

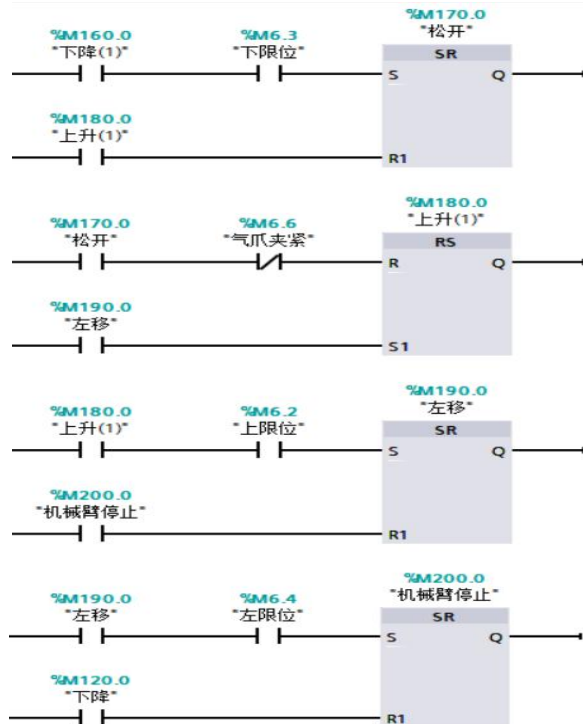


图 5-14 机械臂完成放置回原点程序段

通过建立输出点关联来进一步完善控制程序，完成机械臂的上下，左右移动以及气缸手爪的夹紧松开动作。如图 5-15 所示。



图 5-15 机械臂输入输出关联程序

5.2 图像处理程序

与上文讨论内容相同，图像处理程序内容主要包括初始化的设置、图像增强、图像分割、图像特征（纹理分析：取骨架、连通性）、模板匹配、图像变换（空域与频域、几何变换、色度变换、尺度变换）、图像分类（识别）等七部分组成。如图 5-16 所示，为常用的几种图像处理算法的结构图。

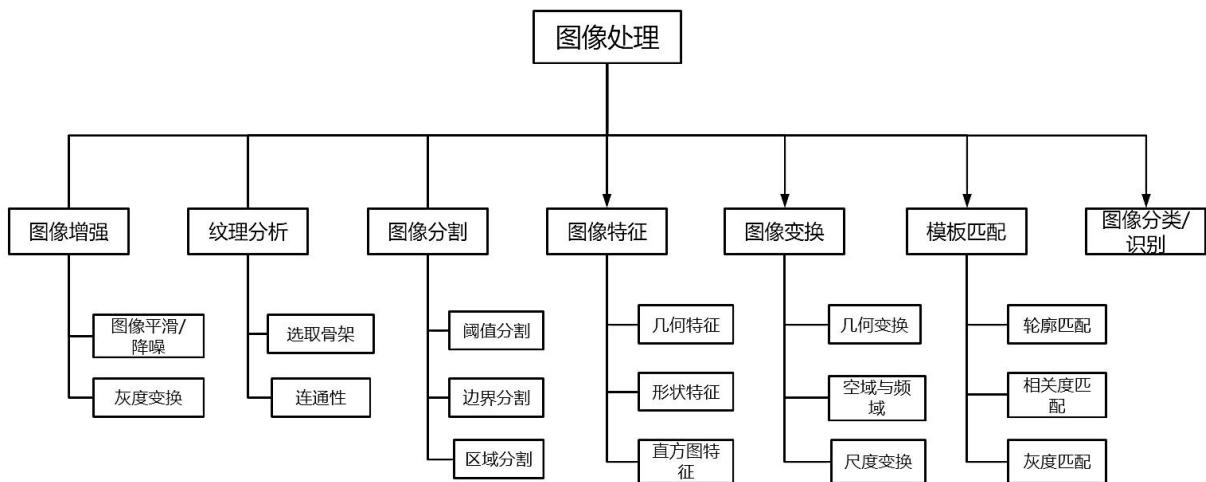


图 5-16 图像处理算法

因试剂盒上下盖以及组装完成后的产品的处理过程相似，仅有提取特征不同，这里不在赘述，以上盖为例对程序编写进行阐述。根据第四章对图像处理的方法以及检测要求分析所得，针对抗原检测试剂盒的图像处理部分程序如下：

5.2.1 试剂盒识别检测程序

(1) 图像处理前首先对窗口进行初始化，读取图像，得到图像尺寸数据。设置线型以及线宽。初始化程序如图 5-17 所示。注释：下文所有程序中星号“*”后为注释内容，主要对下一步骤，需要完成的内容做解释。

```
dev_update_off ()
* 选择第1张图像创建形状模板
dev_clear_window ()
dev_open_window (0, 0, 512, 512, 'black', WindowHandle)
read_image (Img20230226144026, 'H:/Users/Desktop/试剂盒上盖/IMG_20230226_142349.jpg')
get_image_size (Img20230226144026, Width, Height)
dev_set_draw ('margin')
dev_set_line_width (3)
dev_display (Img20230226144026)
```

图 5-17 窗口初始化

(2) 接着需要对图像进行图像增强、图像分割、图像特征处理。目的是为了使图像的特征更明显，突出重点，最后选取合适的ROI进行下一步处理。程序如图 5-18 所示。

```
* 灰度处理
rgb1_to_gray (Img20230226144026, GrayImage)
threshold (GrayImage, Regions, 130, 247)
mean_image (GrayImage, ImageMean, 11,11)
fill_up_shape (Regions, RegionFillUp, 'area', 1, 20000)
connection (RegionFillUp, ConnectedRegions1)
select_shape (ConnectedRegions1, SelectedRegions, 'area', 'and', 3.34961e+06, 3.70117e+06)
* 把感兴趣的区域抠出来，原则上范围越小越好，因为这样创建模板时干扰会少很多
reduce_domain (ImageMean, Regions, ImageReduced)
union1 (SelectedRegions, RegionUnion1)
*获得轮廓
gen_contour_region_xld (RegionUnion1, Contours, 'border_holes')
*平滑轮廓
smooth_contours_xld (Contours, SmoothedContours, 47)
*直线拟合
fit_line_contour_xld (Contours, 'tukey', -1, 0, 5, 2, RowBegin, ColBegin, RowEnd, ColEnd, Nr, Nc, Dist)
```

图 5-18 图像增强

```
* 创建形状模板
create_shape_model (ImageReduced, 'auto', rad(0), rad(360), 'auto', 'auto', 'ignore_local_polarity', 'auto', 'auto', ShapeModelID)
* 获得抠图区域的中心，这是参考点
area_center (SelectedRegions, Area, Row, Column)
*仿射变换
vector_angle_to_rigid (Row, Column, Area, Row, Column, Area, HomMat2D)
affine_trans_contour_xld (SmoothedContours, ContoursAffineTrans, HomMat2D)
*仿射变换后的区域
dev_display (Img20230226144026)
dev_display (ContoursAffineTrans)
```

图 5-19 创建模板

(3)根据提取的ROI以及特征点,创建模板,获取图形中心点数据通过`vector_angle` 和 `affine_trans`算子进行仿射变换。`vector_angle`是刚性的仿射变换 根据点对应关系进行计算,可以同时旋转和平移组成的变换,并将其作为齐次变换矩阵`HomMat2D`返回。`affine_trans`可以将任意 2D图像进行缩放、旋转、平移将提取的轮廓与图片位置一一对应。具体程序如图 5-19 所示。

(4) 使用`find_shape_model`对创建好的模板进行查找匹配, `Grayimage`为要搜索的图像, `ShapeModelID`为模板,搜索的角度范围为`rad(0)`到`rad(360)`,最小匹配分数为 0.5,对在图像上允许搜到的模板数为 1, 'least_squares' 为使用最小二乘法进行计算精度的设置。金字塔层数为 3, 贪婪系数 0.8 (系数越高速度越快)。程序如图 5-20 所示。

```
*模板匹配
find_shape_model (GrayImage1, ShapeModelID, rad(0), rad(360), 0.5, 1, 0.5, 'least_squares', 3, 0.8, Row, Column, Angle, Score)
*匹配结束, 释放模板资源
clear_shape_model (ShapeModelID)
*匹配识别
if (|Score|==1)
dev_set_color ('yellow')
*对识别到的物体标十字
gen_cross_contour_xld (Cross, Row, Column, 200, Angle)
disp_cross (WindowHandle, Row, Column, 200, 0)
dev_display (GrayImage1)
```

图 5-20 模板匹配

(5) 最后将识别到的图像进行分类,完成检测输出分类信息,判断结果。此处使用差分的方法对比寻找差值选出错误点。具体程序如图 5-21 所示。程序处理完毕的结果如图 4-10 所示。

```
dyn_threshold (GrayImage1, GrayImage1, RegionDynThresh, 5, 'dark')
* 分开, 获得单个联通域,
connection (RegionDynThresh, ConnectedRegions)
* 按照面积特征, 特征直方图选择区域
select_shape (ConnectedRegions, ErrorRegions, 'area', 'and', 500, 99999)
*计算每个输入区域的边界
boundary (ErrorRegions, RegionBorder, 'inner')
* 计算选择出来的区域个数
count_obj (ErrorRegions, NumErrors)
union1 (ErrorRegions, RegionUnion)
difference (RegionAffineTrans, RegionUnion, RegionDifference)
area_center (RegionUnion, Area1, Row2, Column2)
dev_set_color ('pink')
dev_display (ErrorRegions)
* 如果选择的区域大于0, 则说明存在缺陷区域
* 选择出来的区域, 面积都是大于正常区域的
if (NumErrors > 0 )
dev_set_color ('red')
disp_message (WindowHandle, 'not OK', 'image', 30, 30, 'red', 'true')
else
dev_set_color ('green')
disp_message (WindowHandle, 'OK', 'image', 30, 30, 'green', 'true')
endif
else
dev_display (Img20230226142424)
disp_message (WindowHandle, 'none', 'window', 30, 30, 'black', 'true')
endif
```

图 5-21 图像分类及检测

5.2.2 试剂条识别检测程序

(1) 同样首先进行初始化设置线型线宽以及窗口状态，读取图像进行灰度化等初步处理。如图 5-22 所示。

```
dev_update_off ()
* 选择第1张图像创建形状模板
dev_clear_window ()
dev_open_window (0, 0, 512, 512, 'black', WindowHandle)
read_image (Img20230226144026, 'H:/Users/Desktop/试剂条/试剂条.jpg')
get_image_size (Img20230226144026, Width, Height)
rgb1_to_gray (Img20230226144026, GrayImage1)
mean_image (GrayImage1, ImageMean, 11, 11)
dev_set_draw ('margin')
dev_set_line_width (3)
```

图 5-22 窗口初始化

(2) 其次对试剂条图像进行ROI的绘制以及图像分割，纹理分析提取轮廓。程序如图 5-23 所示。

```
* 绘制ROI
draw_rectangle1 (WindowHandle, Row12, Column12, Row22, Column22)
gen_rectangle1 (Rectangle, Row12, Column12, Row22, Column22)
set_system ('border_shape_models', 'false')
threshold (ImageMean, Regions, 105, 255)
fill_up (Regions, RegionFillUp)
*腐蚀
erosion_rectangle1 (RegionFillUp, RegionErosion, 5, 5)
*扣取图像，减少运算量
reduce_domain (GrayImage1, Rectangle, ImageReduced)
*轮廓提取
gen_contour_region_xld (RegionErosion, Contours2, 'border')
select_shape_xld (Contours2, SelectedXLD, 'area', 'and', 15000, 99999)
*分割轮廓
segment_contours_xld (SelectedXLD, ContoursSplit, 'lines', 5, 4, 2)
*选择特定形态的轮廓
select_shape_xld (ContoursSplit, SelectedXLD1, 'phi', 'and', -0.01, 0)
*显示区域
dev_display (ImageReduced)

*平滑轮廓
smooth_contours_xld (Contours2, SmoothedContours, 9)
```

图 5-23 选取 ROI 及图像处理

(3) 与其他零部件不同，试剂条外形结构简单。这里为了得到更准确的形状模板，通过创建一个新的空白图像的方式，将提取到的试剂条图像骨架取出放入空白图像，并设置成模板。程序如图 5-24 所示。

```
*无效set_system ('init_new_image', 'false')这一步是为了进行格式的转化，得到一个比较干净的轮廓进行下一步创建模板
gen_region_contour_xld (SmoothedContours, Region, 'filled')
gen_image_const (NewImage, 'byte', Width, Height)
*创建一个图像与指定的常数灰度值
gen_image_proto (NewImage, ImageCleared1, 255)
*将区域绘制到图像中
paint_region (Region, ImageCleared1, ImageResult, 0, 'fill')
write_image (ImageResult, 'jpeg', 0, 'D:/1111.jpg')
gen_image_proto (NewImage, ImageCleared2, 255)
*覆盖图像中的区域
overpaint_region (ImageCleared2, Region, 0, 'fill')
```

图 5-24 纹理分析程序图

(4) 进行模板创建，金字塔层数为 4，角度 $0\sim 360^\circ$ ，旋转步长 1° ，模板优化和模板创建方法默认，匹配方法使用 ‘ignore_local_polarity’ 忽略环境，局部对比度改变也能找到模型。模型对比度最小设置为 10。具体程序如图 5-25 所示。

```

*创建模板
create_shape_model (ImageCleared2, 4, rad(0), rad(360), rad(1), ['none','no_pregeneration'], 'ignore_local_polarity', [30,30,0], 10, ModelID)
*获取模型轮廓
get_shape_model_contours (ModelContours, ModelID, 1)
*得到几何位置进行仿射变换
area_center (Region, Area, Row, Column)
vector_angle_to_rigid (0, 0, 0, Row, Column, 0, HomMat2D)
affine_trans_contour_xld (ModelContours, ContoursAffineTrans, HomMat2D)
*显示模型轮廓
dev_display (GrayImage1)
dev_set_color ('green')
dev_set_draw ('margin')
dev_display (ContoursAffineTrans)
stop ()

find_shape_model (GrayImage1, ModelID, rad(0), rad(360), 0.5, 1, 0.5, 'least_squares', 0, 0.9, Row5, Column5, Angle, Score)

*匹配:将模型轮廓变换到检测位置
dev_display (GrayImage1)
for I := 0 to |Score| - 1 by 1
    hom_mat2d_identity (HomMat2D)
    hom_mat2d_rotate (HomMat2D, Angle[I], 0, 0, HomMat2D)
    hom_mat2d_translate (HomMat2D, Row[I], Column[I], HomMat2D)
    affine_trans_contour_xld (ModelContours, TransContours, HomMat2D)
    dev_set_color ('green')
    dev_display (TransContours)
    stop ()
endfor
*释放模型句柄
createMetrology_model (MetrologyHandle)

```

图 5-25 模板创建

(5) 使用测定助手工具对模型进行测量后得到数据参数，进行模型参数的设置。设置测量卡尺的寻找范围为图像尺寸范围内，将给定参数赋值后执行找矩形。绑定测量卡尺到模型上以便于后期直接调用检测。程序如图 5-26 所示。

```

*设置模板测定得到的模型参数
createMetrology_model (MetrologyHandle)
Row1 := 1328.06
Column1 := 1747.42
Length1 := 3461.14/2
Length2 := 175.087/2
*获取偏转幅度
orientation_region (Region, Phi1)
Phi := Phi1
Interplation:='nearest_neighbor'
setMetrology_model_image_size (MetrologyHandle, Width, Height)
*添加找矩形工具，给定参数，显示过程卡尺
addMetrology_object_rectangle2_measure (MetrologyHandle, Row1, Column1,Phi, Length1, Length2, 30, 5, 1.5, 70, 'measure_interpolation', 'nearest_neighbor', Index)
getMetrology_object_model_contour (Contour, MetrologyHandle, 0, 1.5)
getMetrology_object_measures (Contours, MetrologyHandle, 'all', 'positive', Row4, Column4)
dev_set_color ('cyan')
dev_display (Contour)
*执行找矩形并显示结果
applyMetrology_model (ImageReduced, MetrologyHandle)
getMetrology_object_result (MetrologyHandle, 0, 'all', 'result_type', 'all_param', Parameter)
getMetrology_object_result_contour (Contour1, MetrologyHandle, 0, 'all', 1.5)
dev_set_line_width (3)
dev_set_color ('red')
dev_display (Contour1)
stop()
clearMetrology_model (MetrologyHandle)
*绑定测量卡尺到形状模板上
setMetrology_model_param (MetrologyHandle, 'reference_system', [Row5, Column5,0])

```

图 5-26 创建测量卡尺

(6) 设置好测量卡尺与模型后, 读取另一幅图形进行检测识别, 并得到试剂条矩形轮廓以及相应的长, 宽, 角度。查找模型及目标识别检测的程序如图 5-27 所示。

```

* 读取另一幅图片
read_image (Image1, 'H:/Users/Desktop/试剂条/IMG_20230226_142304.jpg')
rgb1_to_gray (Image1, GrayImage)
threshold (GrayImage, Regions1, 80, 173)
area_center (Regions1, Area1, Row3, Column3)
find_shape_model (GrayImage, ModelID, rad(0), rad(360), 0.5, 1, 0.5, 'least_squares', 0, 0.9, Row2, Column2, Angle1, Score1)
*对齐模板
alignMetrologyModel (MetrologyHandle, Row3, Column3, Angle)
*添加矩形的坐标和角度, 大致的测量范围
addMetrologyObjectRectangle2Measure (MetrologyHandle, Row3, Column3, rad(1), 2907.59/2, 148.159/2, 20, 5, 1, 80, [], [], Index1)
*计算
applyMetrologyModel (Image1, MetrologyHandle)
getMetrologyObjectResultContour (Contour3, MetrologyHandle, 0, 'all', 1.5)
*显示矩形的边缘轮廓
getMetrologyObjectModelContour (Contour2, MetrologyHandle, 'all', 1.5)
*得到矩形的测量范围
getMetrologyObjectMeasures (Contours1, MetrologyHandle, 1, 'positive', Row3, Column3)
*得到矩形的长和宽
getMetrologyObjectResult (MetrologyHandle, 'all', 'all', 'result_type', 'all_param', Parameter1)
getMetrologyObjectResult (MetrologyHandle, 'all', 'all', 'result_type', 'all_param', Parameter2)
getMetrologyObjectParam (MetrologyHandle, 'all', 'length2', GenParamValue)
message1:='length='+GenParamValue[1]

*这里的70指的是pix也就是试剂条宽度的像素大小
if ((GenParamValue[1]>=70)and( GenParamValue[1]<=80))
  * dark :选择出来的是小于等于ImageMean-5
  dynThreshold (GrayImage1, RegionDynThresh, 5, 'dark')
  * 分开, 获得单个联通域,
  connection (RegionDynThresh, ConnectedRegions)
  * 按照面积特征, 特征直方图选择区域
  selectShape (ConnectedRegions, ErrorRegions, 'area', 'and', 500, 99999)
  *计算每个输入区域的边界
  boundary (ErrorRegions, RegionBorder, 'inner')
  * 计算选择出来的区域个数
  countObj (ErrorRegions, NumErrors)
  union1 (ErrorRegions, RegionUnion)
  dev_set_color ('pink')
  dev_display (ErrorRegions)
  * 如果选择的区域大于0, 则说明存在缺陷区域
  if (NumErrors > 0 )
    dev_set_color ('red')
    disp_message (WindowHandle, '宽度: '+message1+' \n '+'NOT OK', 'window', 30, 30, 'red', 'true')
  else
    dev_set_color ('green')
    disp_message (WindowHandle, '宽度: '+message1+' \n '+'OK', 'window', 30, 30, 'red', 'true')
  endif
else
  dev_display (Image1)
  disp_message (WindowHandle, '宽度: '+message1+' \n '+'NG', 'window', 30, 30, 'red', 'true')
endif

```

图 5-27 查找模型及目标检测

5.2.3 试剂条装配检测程序

(1) 如图 5-28 所示, 为识别试剂条组装质量, 判断试剂条相对试剂盒偏移角度的程序。程序包含初始化设置, 图像增强、分割、创建测量模板等内容。

```

dev_close_window ()
dev_update_off ()
read_image (Img20230226144026, 'H:/Users/Desktop/试剂条位置/IMG_20230216_210415.jpg')
get_image_size (Img20230226144026, Width, Height)
dev_open_window_fit_image (Img20230226144026, 0, 0, -1, -1, WindowHandle)
dev_set_line_width (2)
dev_set_draw ('margin')
set_display_font (WindowHandle, 16, 'mono', 'true', 'false')
* 增加显示图像的代码
dev_display (Img20230226144026)
rgb1_to_gray (Img20230226144026, GrayImage1)
mean_image (GrayImage1, ImageMean, 11, 11)
* 把感兴趣的区域抠出来, 原则上范围越小越好, 因为这样创建模板时干扰会少很多
draw_rectangle1 (WindowHandle, Row12, Column12, Row22, Column22)
gen_rectangle1 (Rectangle, Row12, Column12, Row22, Column22)
* 只能在ROI内选取
set_system ('border_shape_models', 'false')
reduce_domain (ImageMean, Rectangle, ImageReduced)
* 第一个模板, 获得抠图区域的中心参考点
area_center (Rectangle, Area, Row, Column)
* 设置颜色
dev_set_color ('cyan')
* 试剂条中线
draw_line (WindowHandle, Row11, Column11, Row21, Column21)
* 试剂盒平行边
draw_line (WindowHandle, Row13, Column13, Row23, Column23)
get_image_size (ImageReduced, Width, Height)
* 创建形状模板
create_shape_model (ImageReduced, 'auto', rad(0), rad(360), 'auto', 'auto', 'ignore_local_polarity', 'auto', 'auto', ModelID)
find_shape_model (ImageReduced, ModelID, rad(0), rad(360), 0.5, 1, 0.5, 'least_squares', 0, 0.8, Row, Column, Angle, Score)
* 获取参考点
RowRef:=Row
ColumnRef:=Column
* 获得测量模板
createMetrologyModel (MetrologyHandle)
addMetrologyObjectLineMeasure (MetrologyHandle, [Row11,Row13], [Column11,Column13], [Row21,Row23], [Column21,Column23], 20, 5, 1, 30, [], [], Index)
getMetrologyObjectMeasures (Contours, MetrologyHandle, 'all', 'all', Row3, Column3)
setMetrologyModelParam (MetrologyHandle, 'reference_system', [RowRef,ColumnRef,0])
* 读取图片
read_image (Image, 'H:/Users/Desktop/试剂条位置/IMG_20230216_210415.jpg')
rgb1_to_gray (Image, GrayImage1)
area_center (Rectangle, Area1, Row8, Column8)
find_shape_model (GrayImage1, ModelID, Angle, Angle, 0.5, 1, 0.5, 'least_squares', 0, 0.9, Row7, Column7, Angle2, Score1)
vector_angle_to_rigid (Row7, Column7, Angle2, Row7, Column7, Angle2, HomMat2D)
affine_trans_contour_xld (Contours, ContoursAffineTrans, HomMat2D)
* 捕捉到参考点, 并使测量模型跟随
alignMetrologyModel (MetrologyHandle, 0, 0, Angle2)
applyMetrologyModel (GrayImage1, MetrologyHandle)
getMetrologyObjectMeasures (Contours3, MetrologyHandle, 'all', 'all', Row5, Column5)
getMetrologyObjectResultContour (Contour, MetrologyHandle, 'all', 'all', 1.5)
getMetrologyObjectResult (MetrologyHandle, 'all', 'all', 'result_type', 'all_param', Parameter)
intersection_lines ( Row11, Column11, Row21, Column21,\
                    Row13, Column13, Row23, Column23,\
                    Row4, Column4, IsOverlapping)
gen_cross_contour_xld (Cross3, Row4, Column4, 6, Angle2)
* 两线夹角
tuple_length (Row11, Length)
tuple_length (Row13, Length2)
if (Length==1 and Length2==1)
angle_ll (Row11, Column11, Row21, Column21, Row13, Column13, Row23, Column23, Angle2)
else
disp_message (WindowHandle, '没有找到线段', 'window', 12, 180, 'black', 'true')
endif
stop ()
if((Angle2>=-1.5)and(Angle2<=1.5))
disp_message (WindowHandle, '两线的夹角:'+deg(Angle2), 'window', 48, 12, 'black', 'true')
else
disp_message (WindowHandle, 'NG', 'window', 12, 180, 'black', 'true')
endif

```

图 5-28 试剂条装配图像处理程序

(2) 试剂盒装配识别方法在第四章 4.5 进行了详细讨论，此处试剂条位置亦可采用测量卡尺对试剂条的进行位置和角度进行测定，但考虑试剂条实际特征点较小，程序应尽量简洁有效以及实际生产的适应性容错率等问题，故采用以容忍度为基准的检测方法。具体程序如图 5-29 所示。

```

*在特征点原点处生成一个初始的测量矩形，得到测量句柄.形成一个测量区域的句柄
gen_measure_rectangle2 (2778, 4250, rad(90), 300, 400, Width, Height, 'bilinear', MeasureHandle)
*允许的偏差值为70个像素，>70说明有问题
Tolerance := 70
* 读取图像
    read_image (Image, 'H:/Users/Desktop/试剂条位置/IMG_20230216_210415.jpg')
    *定义数组
    ColumnEdges := []
    *定义分界线数组
    FillLevelHeight := []
    * 模板匹配，此步骤是为了定位每一个试剂条中心点坐标，为后续确定分界线的位置做准备
    *寻找模型
    find_shape_model (Image, ModelID1, rad(0), rad(360), 0.5, 1, 0.5, 'least_squares', 0, 0.8, Row, Column, Angle, Score)
    * 对找到的所有目标，行坐标求平均值，求模板纵坐标的平均值
    MeanRow := mean(Row)
    meanColumn:=mean(Column)
    * 确定试剂条分界线位置：以模板匹配获得的各行坐标平均值为基准，
    * 获得分界线的基准参考位置
    RefLevel := MeanRow
    RefLevel1 :=meanColumn
    *查看参考点的高度是多少
    gen_cross_contour_xld (Cross1, RefLevel, Column[0], 100, Angle)
    dev_set_line_width (1)
    dev_set_color ('blue')
* 以基准容忍度为准，生成带方向的矩形
    gen_rectangle2 (AcceptLevel, mean(Row), RefLevel1, 0, Tolerance, 150 + (max(Row) - min(Row)) / 2)
    dev_display (AcceptLevel)
    dev_set_line_width (3)
    Errors := 0
    for Idx := 0 to |Score| - 1 by 1
        * 平移MeasureHandle句柄对应的测量对象,因为图像是横着摆放的所以在Y方向上匹配【idx】
        translate_measure (MeasureHandle, Row[Idx], meanColumn)

```

图 5-29 试剂条装配识别程序

(3) 最后对图像进行识别分类，显示图像参数判断是否合格。程序如图 5-30 所示。

```

*测量前准备
AmplitudeThreshold := 1
RoiWidthLen2 := 127.5
set_system ('int_zooming', 'true')
*:测量01[0]线的坐标
LineRowStart_Measure_01_0 := 2268.18
LineColumnStart_Measure_01_0 := 4284.3
LineRowEnd_Measure_01_0 := 2268.18
LineColumnEnd_Measure_01_0 := 4610.11
*将坐标转换为矩形类型
TmpCtrl_Row := 0.5*(LineRowStart_Measure_01_0+LineRowEnd_Measure_01_0)
TmpCtrl_Column := 0.5*(LineColumnStart_Measure_01_0+LineColumnEnd_Measure_01_0)
TmpCtrl_Dr := LineRowStart_Measure_01_0-LineRowEnd_Measure_01_0
TmpCtrl_Dc := LineColumnEnd_Measure_01_0-LineColumnStart_Measure_01_0
TmpCtrl_Phi := atan2(TmpCtrl_Dr, TmpCtrl_Dc)
TmpCtrl_Len1 := 0.5*sqrt(TmpCtrl_Dr*TmpCtrl_Dr + TmpCtrl_Dc*TmpCtrl_Dc)
TmpCtrl_Len2 := RoiWidthLen2
*创建测量01
gen_measure_rectangle2 (TmpCtrl_Row, TmpCtrl_Column, TmpCtrl_Phi, TmpCtrl_Len1, TmpCtrl_Len2, 7548, 4246, 'nearest_neighbor', MsrHandle_Measure_01_0)
*在测量对象上设置模糊函数
FuzzyThreshold := 0.6
create_func_t_id_pairs ([173.189,175.689,180.689,183.189], [0,1,1,0], TmpCtrl_FunctionPosition)
set_fuzzy_measure (MsrHandle_Measure_01_0, 'position', TmpCtrl_FunctionPosition)
copy_obj (Img20230226144026, Image, 1, 1)
fuzzy_measure_pos (Image, MsrHandle_Measure_01_0, 1.9, AmplitudeThreshold, 0.6, 'positive', Row_Measure_01_0, Column_Measure_01_0, Amplitude_Measure_01_0, Score_Measur
* 下面的代码作用：显示各个试剂条上特征点分界线的位置，并且标识出是OK还是NG
* 判断的标准是：测量获得药水线高度坐标与药水线参考高度之间不能超过设置的容忍范围(此处容忍范围是70) 超过容忍范围，为NG
* 把每个测量纵标放在数组里面
FillLevelHeight := [FillLevelHeight, Row_Measure_01_0]
*得到的行的坐标也放在数组容器里面
ColumnEdges := [ColumnEdges, Column_Measure_01_0]
* 识别到的特征点处生成十字标注
gen_cross_contour_xld (Cross, Row_Measure_01_0, Column_Measure_01_0, 100, 0)
* 以分界线中心点位置为基础生成矩形，小矩形
gen_rectangle2 (FillLevel, Row_Measure_01_0, Column_Measure_01_0, 0, 150, 150)
* 如果分界线超出可容忍范围，那么认为试剂条不合格，计算出的距离-根据试剂条实际参考线的距离，与设定的容忍度70个像素做比较
if (abs(ColumnEdges[Idx] - RefLevel1) >= Tolerance)
* 生成矩形，此矩形覆盖整个药水瓶。将液体的检测区域画出来，就是和前面的24行的gen_measure_rectangle2一致。这里为了显示更清晰，将高度写成了90个像素
gen_rectangle2 (ChamberSingle, Row[Idx], meanColumn, 0, 35, 90)
* 试剂条的实际检测到的水平线处生成十字交叉
gen_cross_contour_xld (Cross, FillLevelHeight[Idx], ColumnEdges[Idx], 15, 0)
* 生成包括十字交叉的小矩形
gen_rectangle2 (FillLevel, FillLevelHeight[Idx], ColumnEdges[Idx], 0, 28, 20)
dev_set_color ('red')
dev_display (ChamberSingle)
* 显示NG的信息
disp_message (WindowHandle, 'NOT OK', 'image', FillLevelHeight[Idx] - 50, ColumnEdges[Idx] - 10, 'red', 'false')
else
* 显示OK的信息
disp_message (WindowHandle, 'OK', 'image', FillLevelHeight[Idx] - 50, ColumnEdges[Idx] - 10, 'green', 'false')
disp_message (WindowHandle, '两线的夹角:'+deg(Angle2)+' \n '+ 'OK', 'window', 48, 12, 'black', 'true')
dev_set_color ('green')
endif
dev_display (FillLevel)
dev_display (Cross)
endfor

```

图 5-30 试剂条装配检测分类程序

5.3 软件系统开发

VS2022 软件中可以添加基于C#的窗体应用程序，并根据需要制作软件检测的可视化界面。Visual Studio2022 是微软公司开发的基于 Windows 的开发环境，支持多种语言进行编程，如 C++、Python、C#等，并且HALCON与C#联合编程操作简单，Visual Studio 通过配置环境调用HALCON图像处理库完成图像相关算法的实现导出C#代码，可读性强便于操作。

故本文使用Visual Studio2022 作为整体的开发环境，使用C#作为编译语言。因此本文为完成视觉检测的功能，通过调用摄像机设备来完成视觉检测的功能。为了能够对PLC进行访问，采用了S7 通讯协议，使用时，只需在C#引用中添加S7 通讯协议引用即可。系统软件操作界面如图 5-31 所示。



图 5-31 人机交互界面

软件包含图像显示区、产品信息监测区，以及系统控制区。其中，图像显示区可以显示当前相机拍摄图像和处理效果图像；产品信息监测区可以实时监测产品质量位置匹配程度等信息；系统控制区则分别可以对系统中图像处理、相机开关、相机标定，也可以手动操作修改采集方式，并且在操作按键下可以调起单独设置某一工序的调试功能，在需要修改模板特征时，可以对图形模板进行重新设置和也可以选择使用本地图像或者相机采集图像，如图 5-32 所示。



图 5-32 模板创建界面

在系统上完成试剂盒上盖处理的结果如图 5-33 所示。



图 5-33 运行显示界面

5.4 机器人编程软件

当计算机传出位置信息后，机器人开始将目标物体放置于指定位置。在此过程中，必须要保证机器人与计算机所传输的数据之间具有较高的准确性和实时性。TCP/IP协议被广泛地应用于计算机和机器人的数据传输和接收，可以实现高效的数据传输和处理。最后使用Robot Studio软件，实现ABB工业机器人的离线操作。机器人的控制程序由软件编写完成，而机器人的运动则由硬件执行。RAPID语言是ABB工业机器人所采用的编程语言。在实际的操作中，通常需要利用示教器进行编程，然后通过Robot Studio配合来实现机器人动作的控制。示教器和Robot Studio 编程界面如图 5-34 所示。

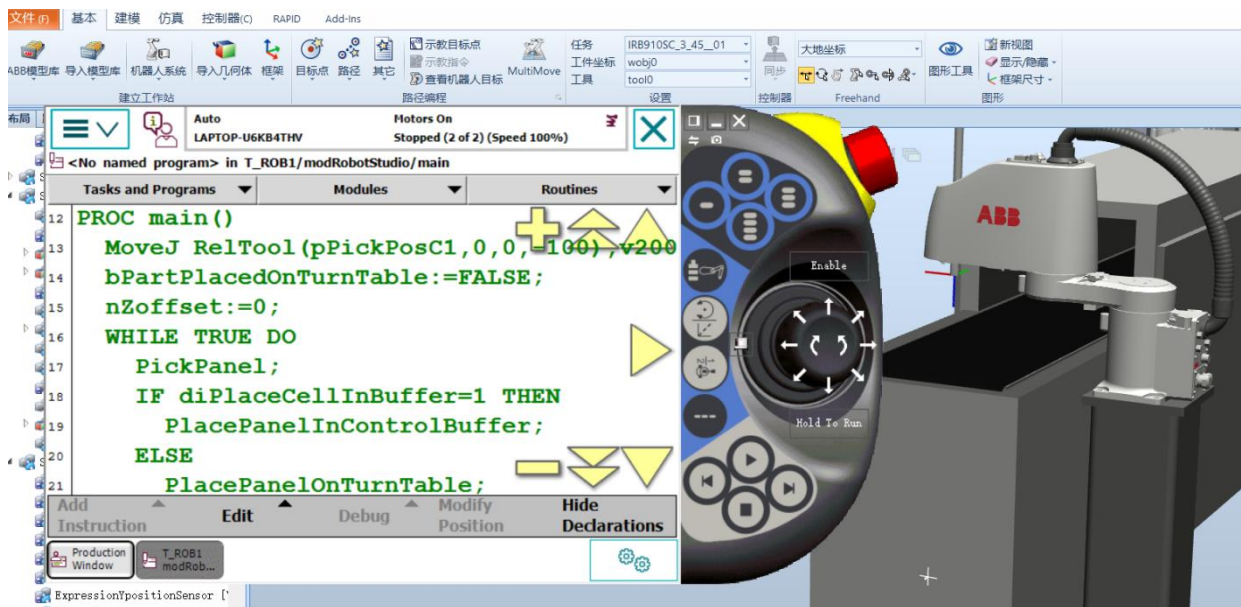


图 5-34 机器人编程界面

在第四章已讨论了相机标定的方法，描述了如何获得相机的内部和外部参数，完成机器人手眼系统的标定并获得转换矩阵。

基于机器视觉的工业机器人目标识别和定位系统工作流程如下：

- (1) 将相机和手眼系统进行标定，获取相机的内部和外部参数，并生成相应的变换矩阵。

- (2) 相机进行拍照。
- (3) 对图像进行灰度和畸变校正。
- (4) 进行边缘检测和目标识别。
- (5) 得到图像几何中心坐标，获得转换坐标。
- (6) 通过数据传输引导机器人进行放置。
- (7) 机器人在物料台进行抓取放置试剂盒物料。

5.5 小结

本章主要对系统的软件部分进行了设计，确定了PLC程序设计的主要功能框架，进行了PLC程序的编写。对试剂盒、试剂条的图像处理程序进行了说明，确定了软件开发的平台使用Visual Studio2022 进行人机交互界面的设计和开发。使用Robot Studio进行工业机器人的编程。

第六章 系统仿真与调试

在软件与硬件部分设计完成后，需要对系统进行进一步的仿真调试。以便及时发现系统错误及时调整。

6.1 PLC 程序仿真调试

PLC部分的程序调试使用TIA Portal（Totally Integrated Automation Portal）软件进行仿真调试。TIA Portal是西门子公司开发的一款全集成自动化工程软件，包含PLC编程、HMI编程、驱动编程等多种功能。

系统调试主要包含运行前准备，编译程序，运行调试等步骤。

1.运行前准备

首先单击TIA Portal软件菜单界面，启动仿真。如图 6-1 所示①为编译及下载功能，②为启动仿真按钮，③为CPU的运行和停止按钮，④为启动/禁止监控按钮。



图 6-1 TIA Portal 软件菜单界面

启动后如图 6-2 所示，打开PLC仿真组件，连接成功后，此时CPU处于stop状态。



图 6-2 西门子 PLC 仿真组件

2.编译程序

查找到设备后将软件装载到CPU如图 6-3 所示，这里采用无动作模式启用如图 6-4 所示。最后回到主程序菜单界面，点击启用/禁用监视按钮。



图 6-3 启动仿真

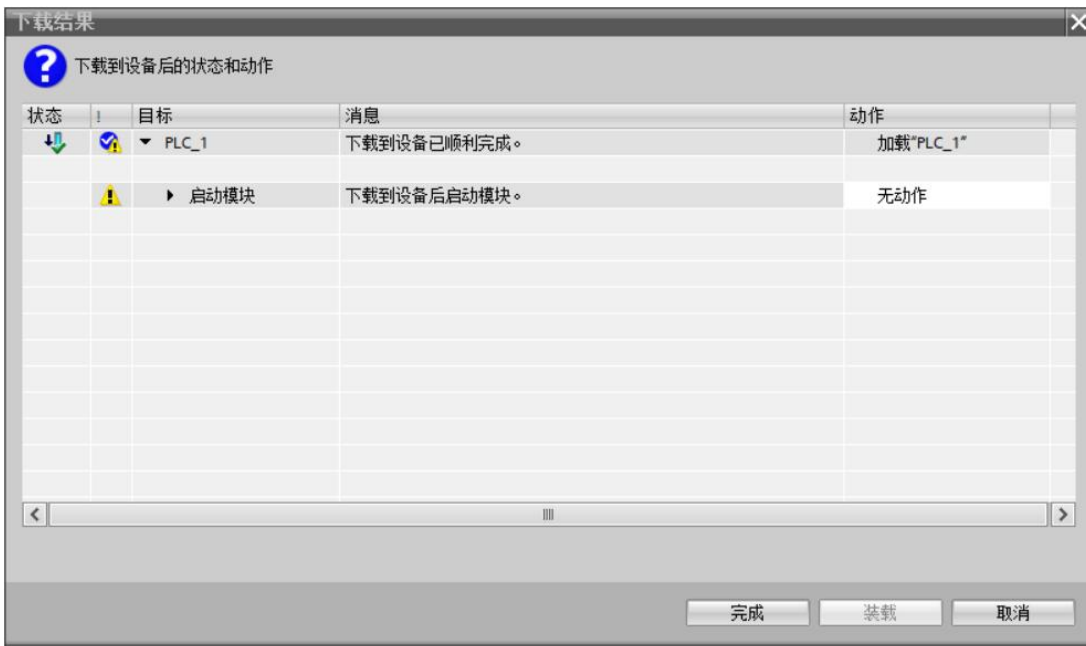


图 6-4 编译装载界面

3.运行调试

程序编译无问题后，将CPU切换到RUN状态，开始运行调试。当程序需要更改时重新进行编译下载到设备后再次启用监视。通过更改修改触点信号为 0→1 进行逐步调试。如图 6-5 所示。

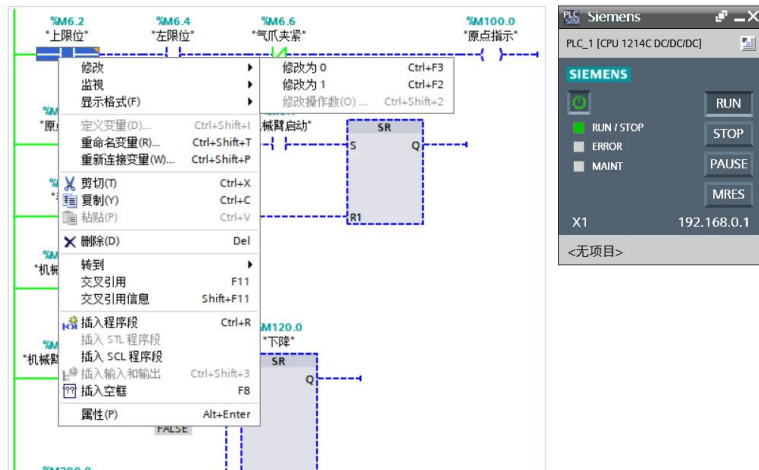


图 6-5 运行调试

亦可以打开监控表，输入需要监控的变量，此方法更易于观测变量状态。如图 6-6 为将启动和总启动按钮赋值为 1 后监控表所示。如图 6-6 所示。

名称	地址	显示格式	监视值	强制值	F	注释	变量注释
"1号相机拍照"	%M0.5	布尔型	<input type="checkbox"/> FALSE		<input type="checkbox"/>		
"底盖上料到位..."	%M1.4	布尔型	<input type="checkbox"/> FALSE		<input type="checkbox"/>		
"底盖上料到位..."	%M1.4	布尔型	<input type="checkbox"/> FALSE		<input type="checkbox"/>		
"机械臂夹取完..."	%M0.7	布尔型	<input type="checkbox"/> FALSE		<input type="checkbox"/>		
"机械臂启动"	%M6.1	布尔型	<input type="checkbox"/> FALSE		<input type="checkbox"/>		
"机械臂停止"	%M200.0	布尔型	<input type="checkbox"/> FALSE		<input type="checkbox"/>		
"机械臂自动运..."	%M110.0	布尔型	<input type="checkbox"/> FALSE		<input type="checkbox"/>		
"卡托到位接近..."	%M0.4	布尔型	<input type="checkbox"/> FALSE		<input type="checkbox"/>		
"启动"	%M0.1	布尔型	<input checked="" type="checkbox"/> TRUE		<input type="checkbox"/>		
"总启动"	%M0.0	布尔型	<input checked="" type="checkbox"/> TRUE		<input type="checkbox"/>		
"无缺陷"	%M1.2	布尔型	<input type="checkbox"/> FALSE		<input type="checkbox"/>		
"停止"	%M0.2	布尔型	<input type="checkbox"/> FALSE		<input type="checkbox"/>		
"流水线控制_D..."		布尔型	<input type="checkbox"/> FALSE		<input type="checkbox"/>		作业已完成
"流水线控制_D..."		布尔型	<input type="checkbox"/> FALSE		<input type="checkbox"/>		

图 6-6 变量监控

初始启停程序详细仿真运行界面如图 6-7 所示。

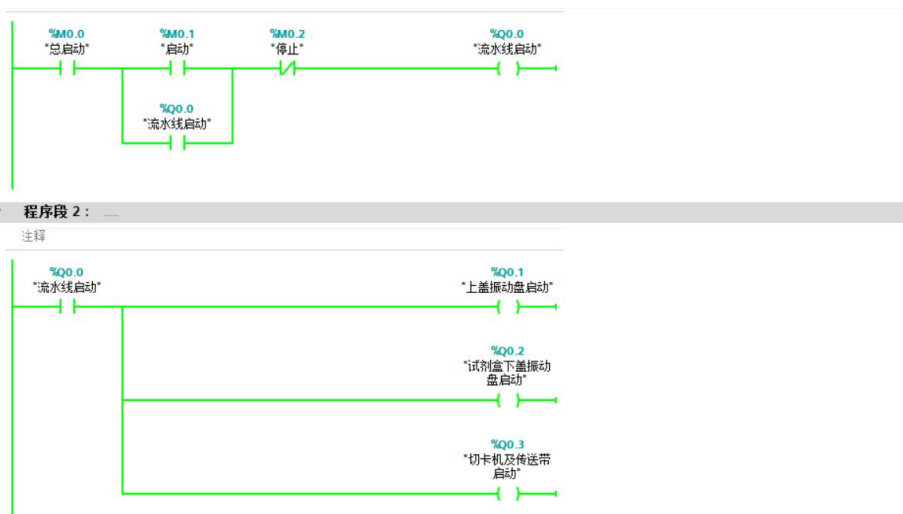


图 6-7 启停程序运行

如图 6-8 所示为相机控制仿真运行。

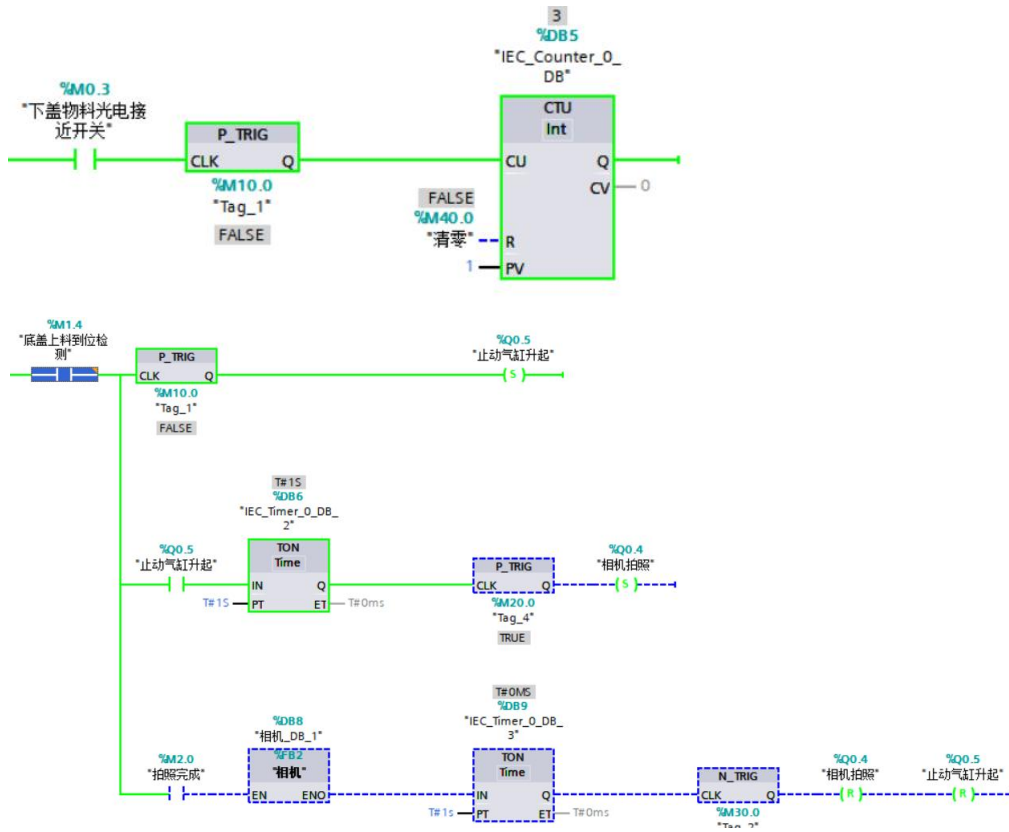


图 6-8 相机程序运行

如图 6-9,6-10,6-11 所示,为机械臂仿真运行后部分程序画面。实现功能在第五章 5.1.1 进行了详细阐述,此处不再复述。

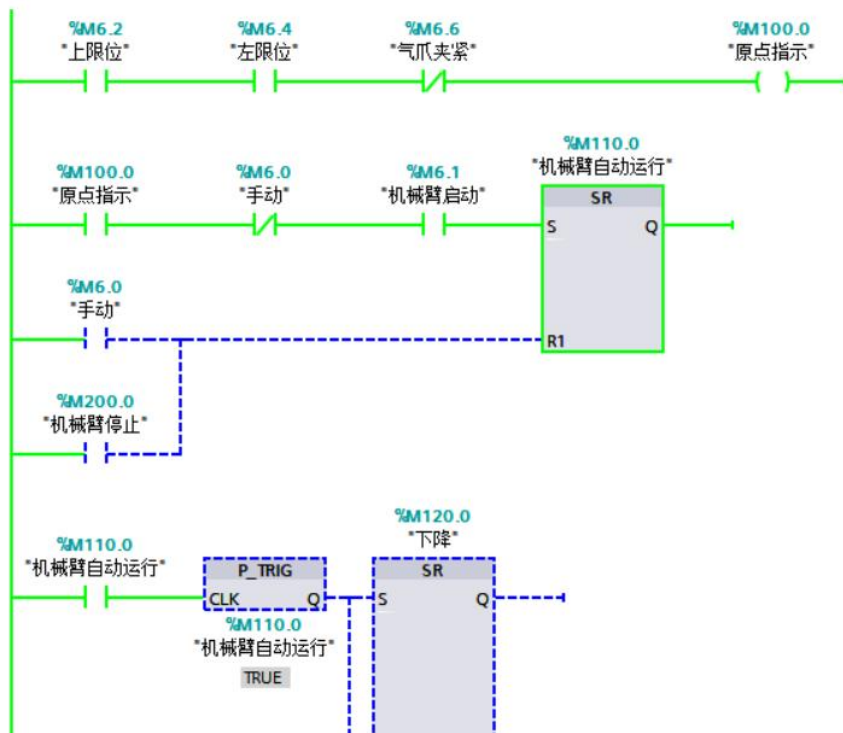


图 6-9 机械臂程序运行程序段 1

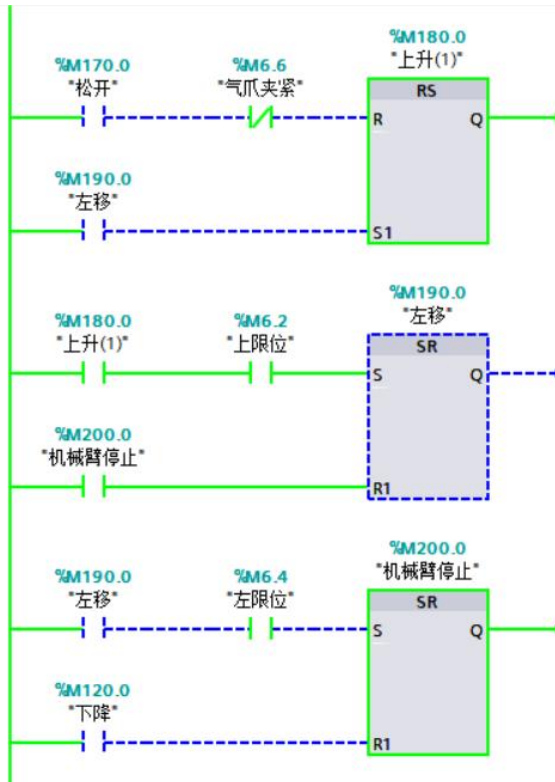
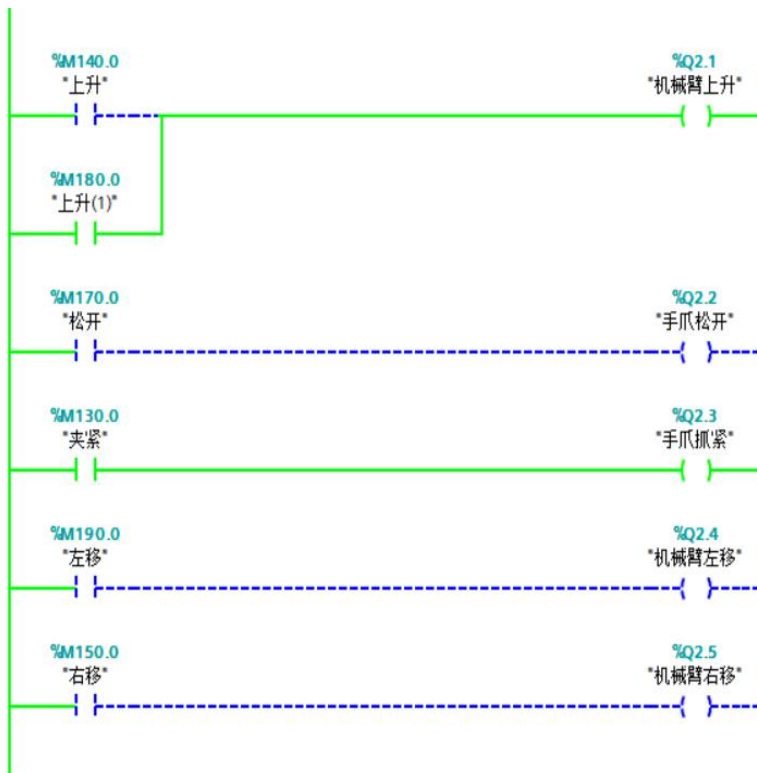


图 6-10 机械臂程序运行程序段 2



续图 6-11 机械臂程序运行程序段 3

6.2 图像处理程序/系统运行调试结果

本系统的图像处理使用C#与HALCON联合编写，图像处理原始程序在HALCON环境下进行运行调试。

选择窗口画面实时更新，监控变量，运行程序，以便及时发现错误。如图 6-12, 6-13, 6-14 所示，分别是试剂盒上盖，试剂条，试剂条组装识别程序在HALCON上运行调试的结果。

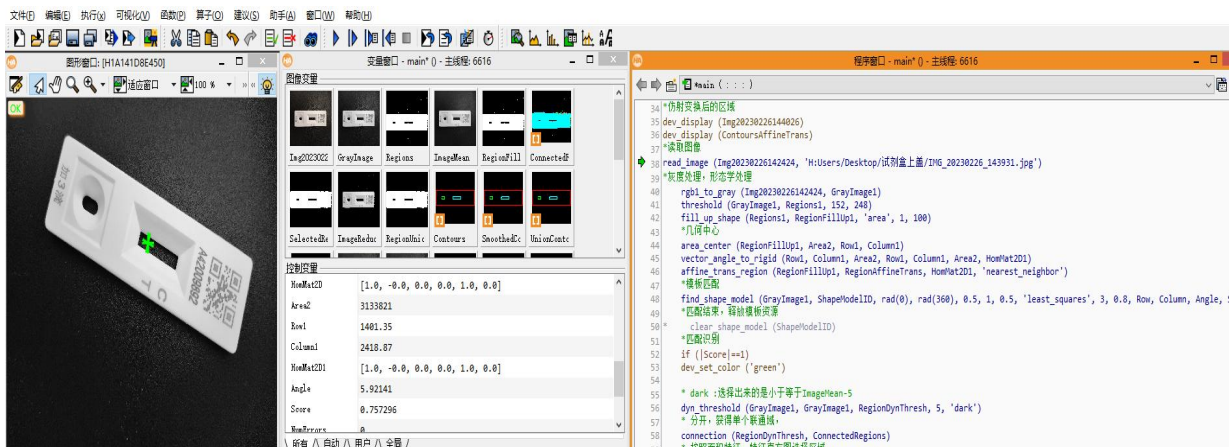


图 6-12 试剂盒上盖程序调试界面

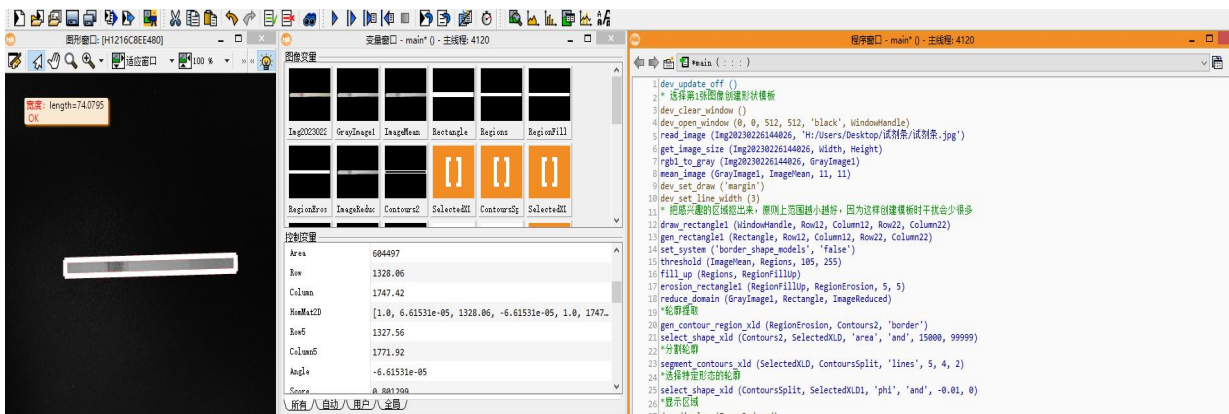


图 6-13 试剂条程序调试界面

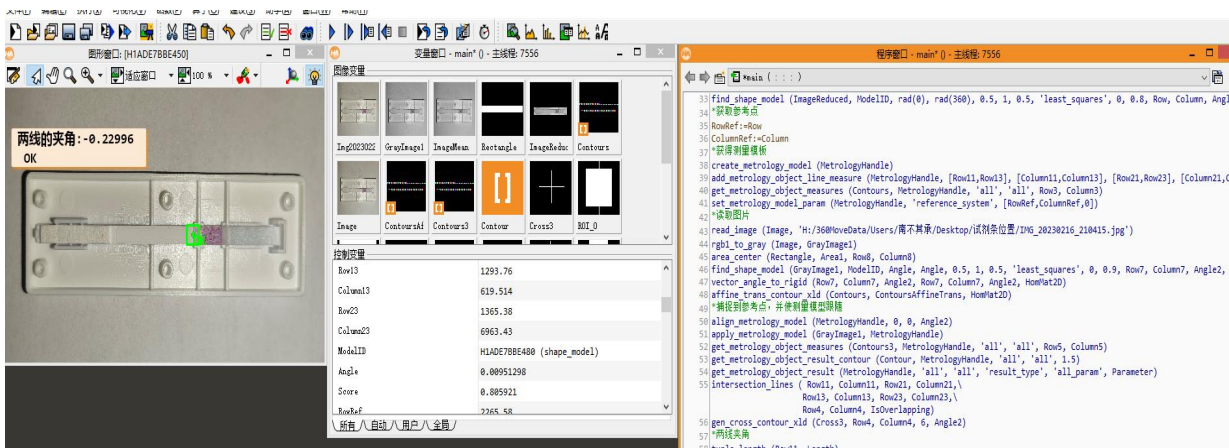


图 6-14 试剂条组装程序调试界面

系统运行结果如下图所示，前期配置好环境后，启动运行系统。第一步选择读取图像，将会弹出提示窗口“选择需要打开的图片”如图 6-15 所示。

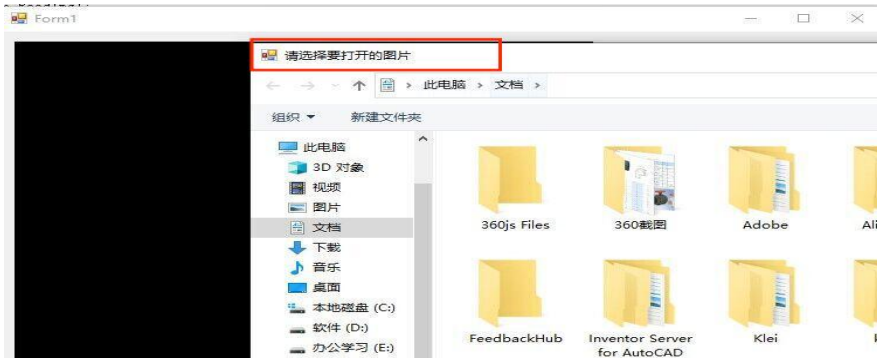


图 6-15 读取图像弹出界面

选择图片读取后，点击建立模板窗口出现矩形框，框选物体，右键确认。窗口内容如图 6-16 所示。



图 6-16 建立模板运行界面

最后定位目标成功，输出位置信息、角度以及相似度得分结果在右上角信息栏。如图 6-17 所示。



图 6-17 定位目标运行界面

6.3 视觉检测实验

试剂盒识别检测选用 25 个样本，合格与缺陷样品混合随机检测。实测在一次循环检测下，合格品产品全部正确识别，不合格品因图片存在部分遮挡，以及拍摄质量不佳的原因存在误检，合格品与不合格品平均识别的正确率为 90%，识别正确率 96%。详细检测情况如表 6-1 所示。

表 6-1 试剂盒检测实验

	数量	检出	正确率
合格品	20	20	100%
不合格品	5	4	80%
共计	25	24	96%

试剂条的装配识别同样选用 25 个样品。其中有 2 个合格样品图片存在其他相似干扰项的情况下仍然可以被正确识别。合格品识别率 95%，不合格产品识别率 80%，总体错误率在 8% 以下。详细检测情况如表 6-2 所示。

表 6-2 试剂条检测实验

	数量	检出	正确率
合格品	20	19	95%
不合格品	5	4	80%
共计	25	23	92%

6.4 小结

本章主要对系统 PLC 的程序进行仿真调试过程进行说明，对系统图像处理部分的程序进行运行调试，最终验证系统实际检测正确率达到要求满足预期。

第七章 总结与展望

7.1 总结

针对国内抗原试剂盒需求以及产能不足，行业自动化程度不高的问题，本文根据抗原试剂盒组装的工艺流程，提出了基于机器视觉的抗原试剂盒自动装配控制系统，该系统可以自动化的进行试剂盒的识别以及产品缺陷检测问题。能够大大提高生产效率，达到基本实现组装过程全流程的自动化，本文针对抗原检测试剂盒的自动控制装配系统，主要基于机器视觉中的图像处理结合系统的控制环境进行设计，主要完成了以下内容：

(1) 完成抗原试剂盒结构的分析，针对抗原试剂盒的结构特点确定了抗原试剂盒生产线的工艺流程。总体布局采用环形布局，顺序加工的方式完成试剂盒生产的上下料，检测剔除和组装。

(2) 设计抗原试剂盒生产线的硬件部分内容，包括相机，镜头，光源，PLC以及机器人的选型和安装方式。根据电气控制系统的设计原则，绘制了系统电气控制图。

(3) 根据系统视觉检测流程，分析试剂盒各个部分的结构特点，对采集到的图片进行图像处理。确定基于形状的模板匹配方式进行识别，采用blob分析+特征检测+差分的方法进行缺陷检测。

(4) 设计抗原试剂盒生产线的软件部分内容，根据系统功能要求和动作流程对系统的动作和操作要求进行分析，依据系统运动控制要求编写PLC控制程序完成I/O点的分配。完成图像处理程序的编写，对人机交互界面进行设计规划。通过VisualStudio2022 与HALCON等软件完成系统的软件平台的开发。

(5) 根据设计要求对系统程序进行仿真调试，对系统检测效果进行验证，最后统计了测试数据对系统检测效率进行分析。

7.2 展望与不足

本文对软件系统开发方面的知识比较薄弱，文中对基于视觉的一些硬件软件的关键部分进行了分析选型，虽然本文最终设计可以达到预期，但仍存在许多不足之处。

(1) 在选型以及硬件布置上需要加以优化，突出重点选择更经济适用的硬件设备，结合生产工艺对控制程序进行优化，提高生产线的生产效率和可靠性。

(2) 对于图像处理的算法选择上可以进一步的研究讨论，得到更为有效的处理方式提高系统检测的正确率，减少运算时间。

(3) 由于个人能力有限，以及实际生产过程中的复杂性，对PLC和系统平台开发部分的程序编写存在不足，后续可以通过增加输入输出点和反馈元器件提高运动控制的精确度，及时反馈错误警报。

(4) 在整个系统的调试过程中，因为缺少相关的专业知识，系统的运行稳定性还存在许多不足之处，仍需进一步完善系统功能，完善其逻辑，使系统更切合实际操作流程。人机交互界面更清晰，便于人员监视与操作，便于调试。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国家卫生健康委员会.新型冠状病毒肺炎诊疗方案(试行第九版)[J].中华临床感染病杂志,2022,15(02):81-89.
- [2] 中华人民共和国国家卫生健康委员会.《新型冠状病毒感染防控方案(第十版)》解读.[EB/OL].(2023-01-07).<http://www.nhc.gov.cn/xcs/fkdt/202301/34d7d68ed30a4d249be6da9a43e6a8d7.shtml>
- [3] 袁璐.新冠自测入户[N].北京日报,2022-04-14(012).
- [4] 潘扬.机器视觉:高速发展的新一代智能感知技术[J].杭州科技,2022,53(03):27-31.
- [5] 朱云,凌志刚,张雨强.机器视觉技术研究进展及展望[J].图学学报,2020,41(06):871-890.
- [6] 杨懿.车身焊点质量检测机器人视觉定位算法研究[D].湖南大学,2016.
- [7] MAMOONA ARSHAD, SAJID ULLAH BUTT, AHMED BAQAI.Optimization of Locators Placement for Minimum Workpiece Positing Error [C]//International Conference, 2017.
- [8] 黄山.基于机器视觉的机械臂分拣系统的研究[D].硕士论文.江苏科技大学,2016.
- [9] 徐家宝.基于视觉的机器人分拣系统[D].湖南大学, 2017.
- [10] Belan Peterson Adriano et al.Machine vision system for quality inspection of beans[J].The International Journal of Advanced Manufacturing Technology,2020,111(11-12):3421-3435.
- [11] L.Louw,M.Droomer, Development of a low cost machine vision based quality control system for a learning factory,Procedia Manufacturing,2019,31:264-269.
- [12] 汪琳.基于SCARA机械手的采茶机器人研究[D].中国科学技术大学,2020.
- [13] 韦志文.基于机器视觉的分拣机器人设计与研究[D].安徽理工大学,2022.
- [14] 赵佳冉,张爱华,姜超群,蒋群,李建军.基于机器视觉的运动目标识别与定位[J].智能计算机与应用,2022,12(11):117-121.
- [15] 刘仁瑞,张可洲,戴团结,黄小平,王守毅,黄春辉.基于机器视觉的卷烟封口胶量检测方法[J].机械设计与制造工程,2021,50(12):85-88.
- [16] Yu Wu and Yanjie Lu.An intelligent machine vision system for detecting surface defects on packing boxes based on support vector machine[J].Measurement and Control,2019,52(7-8):1102-1110.
- [17] 王诗宇.智能化工业机器人视觉系统关键技术研究[D].中国科学院大学(中国科学院沈阳计算技术研究所),2021.
- [18] 田中可.基于深度图像的零件识别及装配监测研究[D].青岛:青岛理工大学,2018.
- [19] Zhang B,Liu M,Tian Y,et al.Defect inspection system of nuclear fuel pellet end faces based on machine vision[J].Journal of Nuclear Science and Technology,2020:1-7.
- [20] 虞佳佳,张耀,何勇.基于机器视觉的铝镍钴磁性材料外观缺陷检测的研究[J].浙江工业大学学报,2022,50(2):143-148.
- [21] Gao Yiping,Li Xinyu,Wang Xi Vincent,et al.A review on recent advances in vision-based defect recognition towards industrial intelligence [J].Journal of Manufacturing Systems,2021,62:753-766.

- [22] 赵朗月,吴一全.基于机器视觉的表面缺陷检测方法研究进展[J].仪器仪表学报,2022,43(01):198-219.
- [23] Zheng Xiaoqing,Zheng Song, Kong Yaguang,et al.Recent advances in surface defect inspection of industrial products using deep learning techniques[J].The International Journal of Advanced Manufacturing Technology,2021,113(1):35-58.
- [24] 陈艾.基于机器学习的目标图像定位算法研究[D].杭州电子科技大学,2016.
- [25] 李焕杰,欧兰香,陈虹,陈健,耿军,高志鹏,王岩,丁兴龙,陈振,朱之炜,刘伦琴,汪运山.新型冠状病毒IgM-Ig抗体检测试剂盒的制备及对 15 例患者临床应用初试[J].山东大学学报(医学版),2020,58(10):120-126.
- [26] 刘艺.体外诊断试剂盒生产线视觉检测技术研究[D].天津大学,2014.
- [27] 张自力.生物检测卡柔性自动化生产线的设计与研究[D].河北工业大学,2019.
- [28] 聂云鹏.高帧率视频系统关键技术研究是实现[D].电子科技大学,2017.
- [29] 杨彩霞,唐邵旺,李文芳.基于机器视觉的绕包电磁线缺陷检测系统设计[J].电子制作,2019,No.385(21):90-91+71.
- [30] 聂鹏,王家明,李海伟等.基于机器视觉的铆接高度差检测方法研究[J].现代制造工程,2022,No.504(09):107-112.
- [31] 方建飞.基于机器视觉的汽车零部件表面缺陷及几何量检测[D].上海应用技术大学,2021.
- [32] 颀永鹏.基于机器视觉的工业机器人目标识别和定位研究[D].沈阳工业大学,2022.

致 谢

大学四年，充满了挑战，有过困难，也有遗憾，但最终还是走到了终点。在论文创作中，也不可避免地遇到了许多困难，有时候会感到疲惫不堪。所幸得遇良师，勉励完成。

时刻庆幸自己能够在专业里遇到众多有温度的老师。他们让我第一次意识到原来将专业知识运用于生活中可以是美好的有趣的。

万语千言总不达意，感谢我的导师，从论文选题至最终定稿期间无数次悉心指导，也许在我们的聊天记录里我对他的感谢已经不计其数了。但还是要感谢老师在撰写期间对我的肯定和鼓励，总能让我重拾希望，笔耕不辍。他的严谨治学，不仅让我学到了专业知识，更在潜移默化中影响着我受益匪浅，收获颇丰。高山仰止，景行行止。希望老师在今后的工作生活中喜乐安康，万事顺意。

感谢父母，长大后才知道遮风挡雨的不只有房子，还有父母。他们是我花心思最少，但最爱我的人。他们或许并不能完全理解我在忙什么，但是仍然一如既往的支持我做的所有决定。托起我的理想，让我拥有更多面对世界时的勇气。亦是我不断追求梦想的动力。

愿岁并谢，与友长兮。感谢这些年来的相遇，感谢这么多年来陪伴，不厌其烦的包容我我的缺点，抚平我的情绪。因为忙碌我们没有太多机会相聚，但我相信距离再远，也阻隔不了对彼此的惦念。无论是每天的晚霞还是清晨的朝露，分享的每一时刻都能让我感到温暖。有他们在我的内心会充满力量，从而拥有克服困难的勇气，因此获得人生真正的乐趣和自由。

行文至此，思绪万千。心中已过万重山。草木蔓发，春山可望，期望终会成真，春天终会来临。最后感谢不曾放弃的自己，无数个奋笔疾书的日夜，无数个含泪坚持的时刻，无数个自我治愈的瞬间。志之所趋，无远弗届。穷山距海，不能限也。心若有之向往，何惧道阻且长，希望以后每一个认为不自量力的时刻，都能像我曾经做到的那样坚持下去。可以更好，但这样也很好。希望自己能够继续保持热忱，坚定前行成为更好的人。

耳闻之不如目见之，目见之不如足践之。培育之恩，难以尽述。远路无轻担，惟愿师长友朋，银鞍照白马，飒沓如流星！

附录

附录一 中文译文

基于机器视觉识别的螺栓和螺母的自动装配

本研究基于计算机视觉技术，开发了一种螺母定位识别系统，完成了自动生产线的自动螺栓装配部分。该螺母的实际图像通过一台高速工业摄像机获得，并经过下边缘检测和霍夫圆变换进行处理。然后，在像素尺度上获得螺母的坐标。最后，将螺母的真实位置反馈给机械臂，并根据该位置完成螺栓的自动组装。该识别系统可以有效地提高螺栓、螺母自动装配的精度和效率。

2.实验设置



图 1 用于自动装配的螺母识别过程

图 1 显示了用于组装的螺母的识别过程。首先，使用工业高速摄像机来拍摄螺母的实际图像。然后，将 RGB 模型图像转换为灰度图像进行后续处理。为了突出图像的特征并减少冗余像素点对检测边缘的负面影响，通过使用高斯滤波和形态学梯度进一步进行了图像过滤和平滑处理。最后，通过 Hough 变换分离出螺母的轮廓。而螺母圆坐标和直径的参数是通过像素点的数量和实际尺寸之间的关系得到的。根据检测结果，确定了螺母的位置信息，根据该信息机械臂将自动完成螺栓和螺母的装配程序。

3.结果和讨论



图 2 两个不同大小的螺母图像

图 2 显示了在实际生产线上由高速摄像机拍摄的两个不同尺寸的螺母的图像。这种图像在流水线上非常常见，可以作为一个典型例子进行分析。由此可以发现生产线上出现了两个不同尺寸的螺母。检查的目的是为了确定数据，包括从图像中确定螺母的中心位置和直径，以便后续的自动装配。

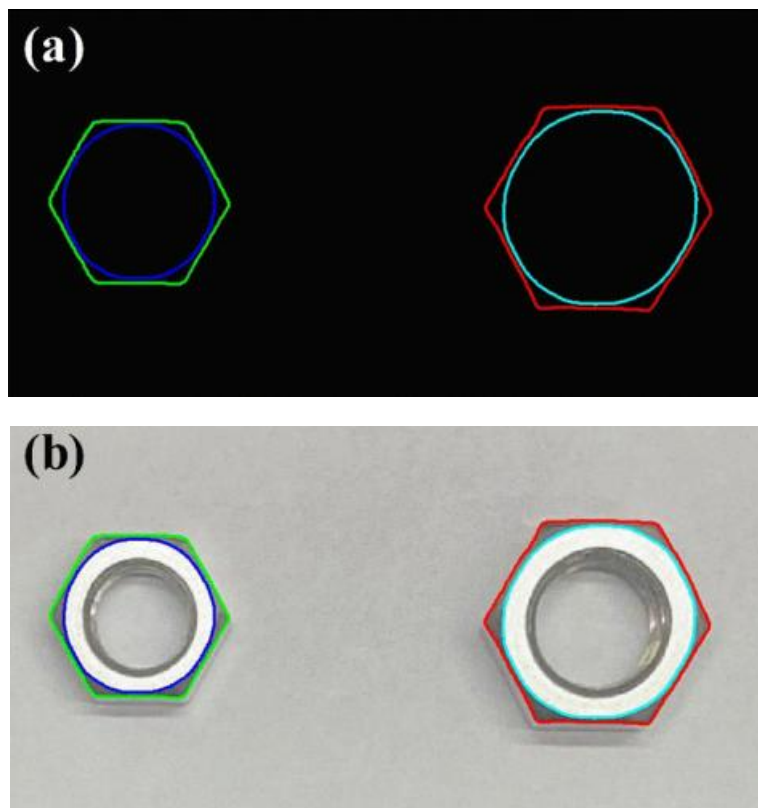


图 3 图像处理后的螺母轮廓

图 3 显示了机器视觉识别算法对螺母的处理结果。根据图 3 所示，RGB 格式的图像首先被转换为灰度图像。然后，通过高斯滤波对图像进行平滑处理，以减少噪声对图像识别的影响。之后，通过 Canny 边缘检测法对上述处理后的图像进行了边缘检测。在图 3(a)

中，螺母外圈的六边形边缘和内圈的圆形边缘可以被准确检测出来。图 3(b)则展示了边缘检测和原始图像的融合情况。

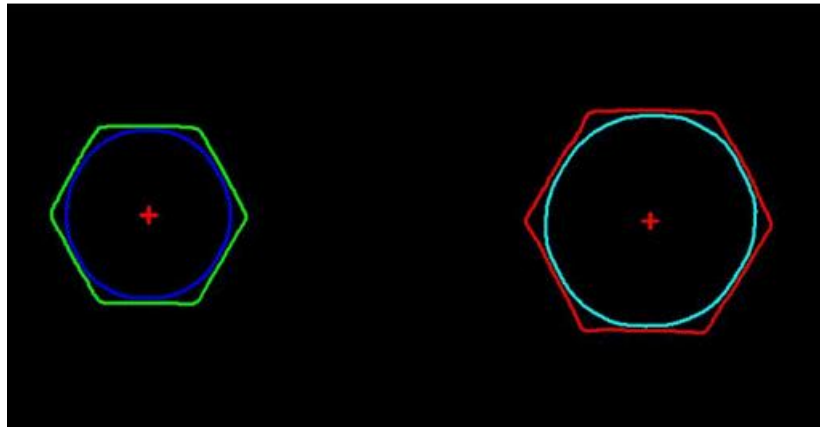


图 4 霍夫圆检测后螺母检测结果

在边缘检测之后，对图像进行了霍夫圆检测，如图 4 所示。根据图 4，可以看出，所有的螺母都被准确地检测出来。检测到的圆的两个中心，被标上了红叉，如图 4 所示。同时，这些圆的中心坐标分别为(843.028, 1231.625)和(3725.336, 1265.075)。为了达到高精度，像素坐标保留了圆心的三位小数。根据测试的螺母直径，将得到与坐标值相对应的长度值，用于计算实际位置。根据检测结果，确定了螺母的位置信息，据此，机械臂将自动完成螺栓和螺母的装配程序。由此，证明了所设计的基于计算机视觉的识别系统可以有效地提高螺栓和螺母自动装配的精度和效率。

4.总结

综上所述，本研究设计了一个基于计算机视觉的自动装配识别系统，以完成螺母的精确定位。高速摄像机可以完美地适应真实的装配线，并清晰地捕捉到每个螺母的各个图像。然后，通过图像的形态学处理和平滑处理，减少噪声影响，突出图像特征。之后，通过边缘检测完成对边缘的提取。最后，通过霍夫圆变换准确获得了螺母的参数。在自动检测系统的帮助下，生产效率和准确性可以得到显著提高。

附录二 外文资料

MCTE 2021

IOP Publishing

Journal of Physics: Conference Series

2113(2021) 012033 doi:10.1088/1742-6596/2113/1/012033

Automatic Assembly of Bolts and Nuts Based on Machine Vision Recognition

Haocheng He

College of Mechatronics and Control Engineering, Shenzhen University, Shenzhen, 518060, China

Author's E-mail: hehaochengliuxue@126.com

Abstract: In this study, based on the computer vision technology, we developed a recognition system for nuts positioning to complete the automatic bolt assembly part of the automatic production line. The actual image of the nut was captured by an industrial camera, which would be processed by the following edge detection and Hough circle transformation. After that, the coordinates of the nuts were obtained in the pixel scale. Finally, the real position of nuts would be fed back to the robot arm, according to which the automatic assembly of the bolt would be completed. This computer vision based recognition system is an indispensable part for the efficiency and accuracy improvement of automatic production line.

1. Introduction

Assembly is one of the important parts of machinery manufacturing, which occupies a considerable proportion in the whole manufacturing process [1-3]. The assembly process is usually divided into component assembly, component assembly, assembly stages, and so on. The threaded connection is a disassembled connection, which has the advantages of easy disassembly, good reliability and reusability, etc. Bolted connection is almost inevitable in all stages of assembly [4-6]. At present, in the traditional assembly line, the bolting and adjustment are still done manually. However, there are some problems such as high error rate, high labor intensity and low efficiency during manual work. With the continued requirements of high efficiency and low cost labor for the production line, the shortcomings of manual tightening operations become increasingly apparent.

In recent years, with the increasing demand for automation in industrial production, machine vision inspection technology has been used in a large number of industrial, medical, telemetry detection and intelligent transportation fields. Among them, online inspection and positioning of products is one of the most widespread applications of machine vision inspection technology. The use of machine vision-based positioning methods could significantly improve production efficiency and positioning accuracy, making the automation and intelligence of the production line greatly improved. For example, Z.A. Jaffery and his coworkers [7] proposed a method of emulating the visual ability of human operator for the automation of the process based on a machine vision approach, which has high reliability and robustness with less computational complexity. A.H.A. Mohammed and M.A. Alshameri [8] developed a novel automated engagement intelligent spanner which was capable of autonomously changing its jaws' size according to the diameters of the bolt's/nut's heads. Q. Geng et al [9] presented an automated visual inspection system based on space-scale normalization to inspect the status of fastening bolts on the sides of China Railway High-speed, which performs excellently in monitoring the missing fastening bolts.



Content from this work may be used under the terms of the Creative Commons Attribution 3.0 licence. Any further distribution of this work must maintain attribution to the author(s) and the title of the work, journal citation and DOI.

Published under licence by IOP Publishing Ltd

1

In this study, we developed a recognition system for nuts positioning to complete the automatic bolt assembly part of the automatic production line based on the computer vision technology. The actual image of the nut was obtained by a high speed industrial camera, which would be processed by the following edge detection and Hough circle transformation. After that, the coordinates of the nuts were obtained in the pixel scale. Finally, the real position of nuts would be fed back to the robot arm, according to which the automatic assembly of the bolt would be completed. This recognition system could effectively improve the accuracy and efficiency of automatic assembly of bolts and nuts.

2. Experimental Setup

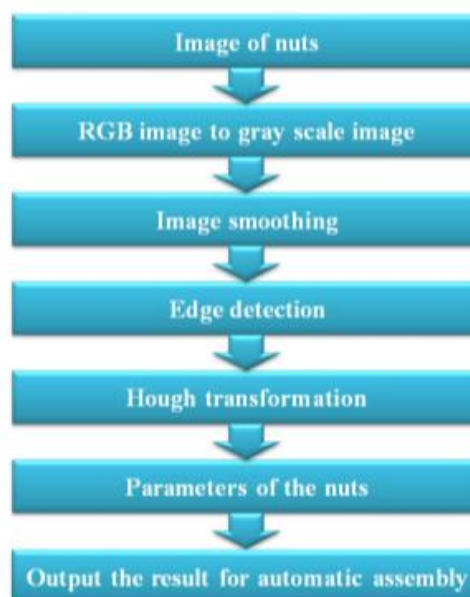


Figure 1. The identification process of nuts for automatic assembly.

Fig. 1 shows the identification process of nuts for assembly. First, an industrial high-speed camera was used to capture the actual image of the nuts. Then, the RGB model images were converted into the grayscale images for subsequent processing. In order to highlight the features of the image and reduce the negative impact of redundant pixel points on the detected edges, the image filtering and smoothing was further carried out by using Gaussian filtering and morphological gradients. Finally, the contour of the nuts was separated out by Hough transformation [10]. The parameters of the nuts circle coordinates and diameters were obtained with the relationship between the number of pixel points and the actual size. Based on the detection results, the location information of nuts was identified, according to which the robot arm would automatically complete the assembly procedure of bolts and nuts.

3. Results and discussion



Figure 2. The image of two nuts with different size.

Fig. 2 shows the image of two nuts with different size taken by a high-speed camera on the actual production line. This kind of image was very common on the assembly line, which could be used as a typical example for analysis. It is found that two nuts with different size lying in the production line. The purpose of the inspection was to determine the data including the location of the center and diameter of the nuts from the image for automatic assembly.

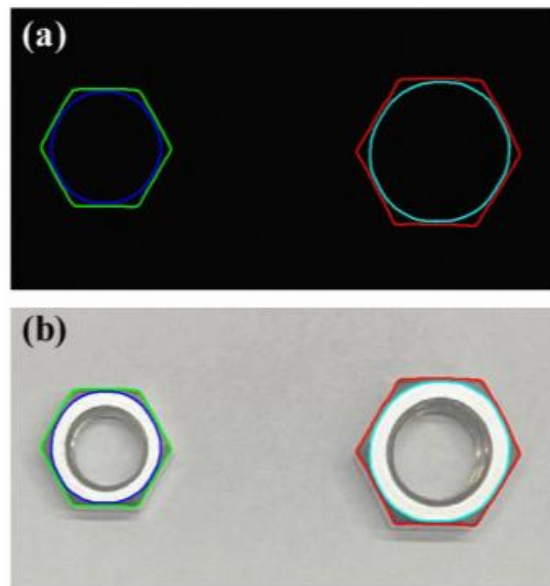


Figure 3. The contour of nuts after image processing.

Fig. 3 shows the processing results of nuts by the machine vision recognition algorithm. According to Fig. 3, the RGB format image was first converted into a grayscale image. Then, the image was smoothed by Gaussian filtering to reduce the effect of noise on image recognition. After that, the edge detection was performed on the above processing image by the Canny edge detection. It is found that

the hexagonal edges of the outer circle of the nuts and the circular edges of the inner circle were accurately detected in Fig 3(a). Fig. 3(b) presents the fusion of edge detection and original image.

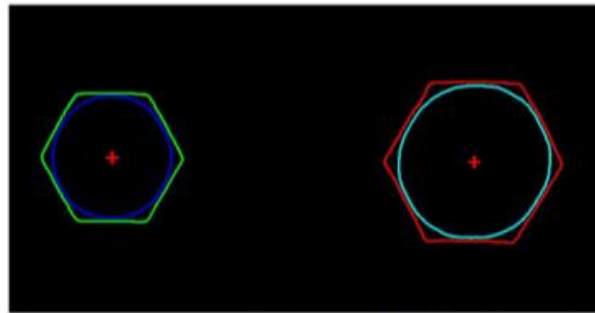


Figure 4. The detection result of nuts after Hough circle detection.

After edge detection, the Hough circle detection was carried out on the image, as exhibited in Fig.4. According to Fig. 4, it is observed that all the nuts were accurately detected. In order to detect two centers of the circle, the centers were marked by red cross, as revealed in Fig. 4. At the same time, the center coordinates of these circles were (843.028, 1231.625) and (3725.336, 1265.075), respectively. In order to achieve high accuracy, the pixel coordinates kept three decimal places for the circle centers. According to the tested diameters of nuts, the length value corresponding to the coordinate value would be obtained, which was used for the calculation of the real position. Based on the detection results, the location information of nuts was identified, according to which the robot arm would automatically complete the assembly procedure of bolts and nuts. Therefore, it is demonstrated that the designed recognition system based on computer vision could effectively improve the accuracy and efficiency of automatic assembly of bolts and nuts.

4. Conclusion

In summary, this study designed a recognition system based on computer vision for automatic assembly to complete the precise positioning of nuts. The high-speed camera could be perfectly adapted to the real assembly line and clearly capture the image of each nut. Then, the impact of noise was reduced and the image features were highlighted through image morphology processing and smoothing. After that, the extraction of edges was completed by edge detection. Finally, the parameters of nuts were accurately obtained by the Hough circle transformation. With the assistance of the automatic inspection system, the production efficiency and accuracy could be significantly improved.

Acknowledgement

This study was supported by the Scientific Research and Training Program.

References

- [1] Wang L., Mills J.K., Cleghorn W.L. (2008) Automatic microassembly using visual servo control. *IEEE T. Electron. Pack.*, 31(4), 316–325.
- [2] Das A.N., Murthy R., Popa D.O., Stephanou H.E. (2012) A multiscale assembly and packaging system for manufacturing of complex micro-nano devices. *IEEE T. Autom. Sci. Eng.*, 9(1), 160–170.
- [3] Liu S., Xu D., Zhang D., Zhang Z. (2016) High precision automatic assembly based on microscopic vision and force information. *IEEE T. Autom. Sci. Eng.*, 13(1), 382–393.

附录三 电气接线图

