

哈爾濱工業大學

# 畢業設計（論文）

題 目         基于視頻的          
        輸液瓶異物檢測方法        

專           業                                 

學           號                                 

學           生         王苒尘        

指 導 教 師         屈楨深        

答 辯 日 期                                 

哈爾濱工業大學

## 摘 要

医用输液瓶对瓶内液体的洁净程度要求非常高。但由于生产工艺或生产环境等方面的原因，少量输液成品中可能混入玻璃碎屑、铝屑、橡皮屑、毛发、纤维和不溶药质等微小异物。这些异物粒径微小严重危及病人的生命与健康。

中国药典规定在注射剂生产过程中，要对注射剂逐瓶进行不溶物检查。而传统的人工视觉检验方法，劳动强度大，增加劳动成本，且灯检人员长时间从事检测工作会产生视觉疲劳和质量波动，是自动化生产线上比较突出的问题。

目前，基于机器视觉的检测系统已经较为广泛的用在了各种生产环节的质量控制中。在输液瓶的异物检测领域，国内外的研究机构都进行过一定程度的研究工作，但由于国内外的医疗器械规格本身存在的差异，加之我国的制药生产标准和生产环境的不同，特别是针对于我国传统的大尺寸玻璃输液瓶，检测效果都不是很理想。因此，研究符合我国生产环境和制药标准的在线输液瓶异物检测方法的研究，有着重要的理论意义和实际的应用价值。

本毕业设计从实际应用出发，通过查阅相关材料，了解基于视觉的异物检测方法研究的进展和难点。在现有的基础上进一步对检测方法进行改进，通过计算机进行理论仿真。当仿真结果满足要求之后，开始编写程序对算法进行实现，并设计相应的硬件检测环境，在实际环境下对检测方法进行测试，对现场的测试结果和发现的各种问题进行分析总结，说明检测方法的优缺点，并撰写毕业设计论文。

**关键词：**医药大输液；异物检测；机器视觉；运动图像分割；blob 分析

## Abstract

Medical intravenous drip is a very important preparation for the pharmaceutical industry in China. However, some visible foreign substances may appear in the intravenous bottle during the processes of producing, filling, and packaging such as hair, fiber, insoluble drug quality, and other small objects. These foreign substances will turn out to be a serious threat to patients.

According to Chinese Pharmacopoeia, the injections should be checked on the production process. The traditional method is manual inspection, observed through the eyes. It's a high labor intensity method, considerably increasing the costs of the mass production process, and long time testing work will produce visual fatigue and quality fluctuations, it's a serious problem in the automated production lines. Therefore, the study of the online intravenous bottles foreign object detection methods of research has important theoretical significance and practical value.

The purpose of this graduation project is building an effective detection product. The workload includes going through relevant materials, understanding foreign object detection methods. Based on the basis of the existing detection methods, I further improved theoretical simulation results by computer vision algorithms. When the simulation results meet the corresponding requirements, I begin to implement the algorithm and design the appropriate hardware detection environment, test the detection methods in the real devices, describe the advantages and disadvantages, then write this thesis.

**Keywords:** Infusion bottle; Foreign object detection; Vision-based Inspection; Moving image segmentation; Blob analysis

# 目录

摘 要.....	I
Abstract.....	II
目录.....	III
<b>第 1 章 绪 论.....</b>	<b>1</b>
1.1 课题背景及研究的目的和意义.....	1
1.1.1 医用大输液异物检测简介.....	1
1.2 国内外发展的现状分析.....	2
1.3 机器视觉技术的研究与应用现状.....	4
1.3.1 机器视觉系统现状.....	4
1.3.2 微小目标的视觉检测技术.....	5
1.3.3 输液瓶中微小异物的检测技术.....	6
1.4 基于视觉的大输液异物检测系统的技术要求.....	8
<b>第 2 章 检测设备设计.....</b>	<b>10</b>
2.1 引言.....	10
2.2 系统总体结构.....	11
2.3 机械系统结构设计.....	11
2.3.1 旋转装置.....	12
2.3.2 间歇传动装置.....	17
2.4 电气系统设计.....	20
2.4.1 传送系统设计.....	20
2.4.2 摩擦轮系统设计.....	21
2.4.3 间歇运动旋转星轮设计.....	21
2.5 视觉系统设计.....	23
2.5.1 光源模块设计.....	23
2.6 图像采集系统设计.....	28
2.6.1 拍摄相机的分类与应用.....	28
2.6.2 软件系统设计.....	34
<b>第 3 章 瓶装液体检测方法研究.....</b>	<b>36</b>
3.1 引言.....	36
3.2 图像预处理.....	36
3.2.1 图像去噪.....	37
3.3 图像滤波.....	40

3.3.1 傅里叶变换与快速傅里叶变换.....	40
3.3.2 二维傅里叶变换.....	42
3.3.3 平滑的频率域滤波器.....	42
3.4 图像增强.....	44
3.4.1 直方图处理.....	45
3.5 图像背景提取.....	48
3.5.1 基于高斯的背景建模.....	49
3.5.2 基于中值的背景建模.....	50
3.5.3 基于核方法的背景建模.....	51
3.6 运动目标分割.....	52
3.6.1 光流法.....	53
3.6.2 相邻帧差法.....	54
3.6.3 背景差分法.....	56
3.6.4 边缘检测方法.....	58
3.6.5 小结.....	59
3.7 形态学图像处理.....	59
3.7.1 图像腐蚀.....	60
3.7.2 图像膨胀.....	61
3.8 运动目标判断与分类.....	62
3.8.1 Blob 分析.....	62
3.8.2 运动目标轨迹跟踪.....	65
3.9 输液瓶液位检测.....	68
<b>第 4 章 实验结果与分析.....</b>	<b>71</b>
4.1 引言.....	71
4.2 实验方案.....	71
4.2.1 实验变量.....	71
4.2.2 试验设计.....	72
4.2.3 实验方案.....	73
4.3 试验结果.....	74
4.3.1 异物颜色检测结果.....	75
4.3.2 异物密度检测结果.....	76
4.3.3 异物大小检测结果.....	78
4.4 性能分析.....	79
4.4.1 检测准确性分析.....	79
4.4.2 检测速度分析.....	79
4.5 本章小结.....	79

结论.....	81
参考文献.....	83
致谢.....	85

## 第1章 绪 论

### 1.1 课题背景及研究的目的和意义

#### 1.1.1 医用大输液异物检测简介

医用输液是我国药品中五大类重要制剂之一，是临床上应用十分广泛的药品。如今我国的输液年产量及年销售量分别达到 60 亿瓶和 45 亿瓶，位居世界榜首。但由于生产工艺或生产环境等方面的原因，少量输液成品中可能混入玻璃碎屑、铝屑、橡皮屑、毛发、纤维和不溶药质等微小异物。这些异物粒径微小，在静脉输液时，可能随输液进入人体，导致血管堵塞，造成囊肿现象，严重危及病人的生命与健康。因此，各国药典都明确规定：在注射剂的生产过程中，要对其逐支、逐瓶进行不溶性异物检查。我国在最新 2005 版的《中华人民共和国药典》附录中，给出了注射液中异物检查的规定：可见异物 (Visible Particle) 是指存在于注射剂、滴眼剂中，在规定条件下目视可以观测到的任何不溶性物质，粒径长度通常大于 50 微米。该规定与注射液不溶性微粒澄明度检查法相互衔接。同时，新版药典对输液中异物定量描述代替了 2000 年版中华药典中定性的描述，为实现自动机器检测创造了良好的条件。

医用注射剂瓶对瓶内液体的要求非常高。但由于生产工艺或生产环境等方面的原因，少量输液成品中可能混入玻璃碎屑、铝屑、橡皮屑、毛发、纤维和不溶药质等微小异物。这些异物粒径微小，在静脉输液时，可能随输液进入人体，导致血管堵塞，造成囊肿现象，严重危及病人的生命与健康。根据中国药典规定，在注射剂上生产过程中，要对注射剂逐瓶进行不溶物检查。而传统的检查方法是直接通过人工视觉方法进行检验，劳动强度大，已产生视觉疲劳和质量波动。通过实地参观走访制药生产企业，发现大输液瓶生产线上大约 30 人左右，其中有 15-20 人都处于异物灯检的工位，占据的整个生产线工人总数的 50% 以上。说明了灯检环节不光会消耗大量的人力，造成生产成本的上升，同时也是自动化生产线上的突出问题。



图 Error! No text of specified style in document.-1



图 Error! No text of specified style in document.-2

输

的微小异物的视觉检测算法并调整相应的参数，使之适合中国药典中对于注射液的制药标准和生产环境。对在线全自动智能输液异物检测器械有着重要的理论意义和应用价值。

## 1.2 国内外发展的现状分析

国外一些相关研究机构和医疗器械公司已经做过一些研究工作，并已经有了相应的产品。针对灌装产品质量的视觉检测，国外一些研究机构和器械公司已经做过一些研究工作，并取得了一定成效。在视觉检测设备生产厂商中，产品性能突出的有德国、意大利、同本等公司开发的灌装产品视觉检测设备。这些检测设备均采用了旋转急停等方式，通过对采集到的序列图像进行运动目标分析，来区分灌装产品中可能存在的异物与瓶身痕迹等干扰。系统检测速度快、精度高、误检率及漏检率小。

但是由于生产环境和制药标准不同，异物的类型不同，国内有少数制药公司引进的有关技术和设备，但是检测结果并不理想。



图 Error! No text of specified style in document.-3



图 Error! No text of specified style in document.-4



（大部分灯检机都是针对于尺寸较小的安瓿瓶，几何外形较规则）

其中的问题主要表现在以下几个方面

（1）不同的国家在药品的封装上特别是输液的封装瓶上的标准不同，而且现阶段最为成熟和大规模使用的基于视觉的异物检测技术主要是针对安瓿瓶。安瓿是用玻璃管烧制的，广泛运用于盛放注射制剂和必须隔绝空气高纯度化学药品。安瓿的乳头用明火封装以隔绝空气，瓶颈部标有记号，当施加压力时瓶颈会折断，以便提取药液，安瓿瓶的容量一般都在 1-25ml 的范围内。由于瓶体内径较小，加上水的表面张力和粘滞阻力，使得液体稳定，页面波动小。且瓶身较薄，使得瓶身的干扰因素比较小，通过灯检机的机械系统使得瓶身高速旋转，内部的液体直接挂壁，使得拍照的效果比较理想，后续的计算机视觉处理的算法和过程都比较简单，也可达到比较理想的检测率。现阶段欧洲制药公司还有一种针对大输液的检测设备是针对于塑料输液瓶的，即俗称的塑瓶。也已经达到了一定的水平，但误检率和漏检率还是没有达到安瓿瓶的标准，且国内还没有制药设备公司有过类似的成熟产品。而且，塑瓶是现场吹塑而成，全新的塑料瓶身使得表面非常光滑，没有缺陷，使得光照条件非常理想，容易进行处理。但是由于我国的国情，虽然一部分制药厂已经开始改用塑瓶生产线，但是还是有相当大的一部分制药厂使用传统的玻璃瓶生产线进行输液封装，并且在短期之内我国应该不会改变此种情况。

（2）现阶段的异物检测难点主要集中在较大输液瓶内的微小异物。现在已存在一些针对大尺寸的透明容器的异物检测设备，但主要针对的是食品等对异物尺寸要求标准较低的场合，比如饮水机水桶内异物的检测和瓶装水的异物检测。但是医用输液瓶由于本身的应用性质，对液体内的异物尺寸检出标准要求极高。根据中华人名共和国药典规定，一般要求在 50 微米左右的尺寸，在摄像头输出的图像上面的尺寸都只有几个像素大小，而且非常昏暗，人眼都很难看清，因此一方面对摄像头的拍摄质量和摄像头本身的噪音水平就有比较高的要求。另一方面也对视觉处理的算法提出了很高的要求。一方面需要克服摄像头原有的噪声信号，另外一方面又不能漏掉任何一个微小的像素，防止产品的漏检。因此针对于中国医用的输液瓶异物检测可靠的软件很少，很多软件或多或少都存在一定的缺陷。

(3) 对于颜色较深的药水或药瓶内异物的检测。由于颜色较深时，本身异物的特征很微弱，这对通过视觉的方法进行异物检测的难度要求有所增加，这也是现阶段异物检测比较难以解决的问题。

所以，研究输液中微小异物检测算法具有重要的理论意义：研制适合我国制药标准和生产环境的在线全自动智能输液异物检测系统能够大大提高检测的速度和效率，解放人力资源，具有很强的实用价值，市场需求广泛，具有巨大的经济效益和社会效益。

## 1.3 机器视觉技术的研究与应用现状

### 1.3.1 机器视觉系统现状

自动视觉检测技术是一种利用计算机视觉(Computer Vision, CV)代替人工视觉进行产品质量检测的新兴技术。自动视觉检测作为一种新兴的检测技术，它综合应用图像处理与分析、模式识别、人工智能、精密仪器等技术，具有速度快、精度高、非接触等优点。将其应用于工业领域，可以有效克服人工检测的不足，提高工厂生产的自动化程度与生产效率。因此，在现代自动化生产过程中，自动视觉检测系统被越来越多地用于工况监视、成品检验和质量控制等领域面向工业检测的自动视觉系统由于其明确的工程应用背景，与普通计算机视觉、模式识别、数字图像处理有着明显的区别，其中值得一提的特点有：

(1)自动视觉检测系统的工作环境一般事先确定。对于一个给定的系统，检测时的照明、位置、颜色、背景等条件都是需要仔细加以调试的。

(2)自动视觉检测系统往往具有专用性。作为一个面向特定问题的系统，一般并不需要对目标物体进行三维重建，只需针对某个具体明确的目标，设计特定的算法和设备，做出断决。

(3)由于检测环境可选择，检测目标明确，自动视觉检测系统可以得到更多已知知识的指导。知识应用在系统的各个层面，这一点既体现在算法的选择、目标特征的确定上，也体现在工业机器视觉的软件一般由在线和离线学习两部分组成，算法中的很多参数可以事先确定。

(4)工业视觉系统区别于普通视觉系统，不仅在图像处理等理论方法，而且在实现技术上要适合工业应用环境的特殊要求。这就决定了工业视觉检测系统除了光源和光学成像系统，摄像和图像处理系统，用于控制摄像、图像处理、图像分析的计算机外，还会包括更多子系统，如：与生产线同步的通信系统，测距、测速等辅助检测系统，标记、报警或机械操作等结果反馈系统。

(5)在一些数据量大、实时性要求高的场合，通用计算机的处理速度无法胜任，需要采用基于嵌入式处理器的实时图像处理系统。由于使用的是专用处理器，如数字信号处理器 DSP 等，其数字信号处理能力优越，可以很好地解决实时性问题。

本文主要针对自动视觉检测系统中的实时图像处理和模式识别算法进行研究。针对输液图像的特点，提出了一些针对性的输液中异物目标检测识别算法，算法设计时注重体现工业应用中自动视觉检测技术的要求和特点，强调了实时性、鲁棒性。在系统集成上，针对实际的生产目标，设计基于嵌入式处理器的视觉检测系统，强调合理组织图像处理流程。

### 1.3.2 微小目标的视觉检测技术

微小异物视觉检测技术的主要难点在于对输液图像中弱小异物目标的识别。弱小目标识别方面的研究始于 70 年代末期，经过近 30 年对小目标识别与检测问题的深入研究已经取得了不少成果，然而，针对小目标检测并没有形成成熟的理论。各种研究都是针对具体不同环境 and 应用背景提出的算法，而且大多数研究是针对军事、航空领域的远距离弱小目标，或者是针对红外弱小目标。而面向工业和医药行业的液体中弱小目标的研究目前还较少，本课题的研究将在液体中异物小目标检测领域增添新的研究成果。对于低信噪比图像中弱小目标检测的研究，起源于远距离搜索与监视，比如宽视场望远镜，红外搜索和跟踪系统以及其它基于小目标检测的监控系统。当运动目标距传感器较远时，或者目标本身就是非常小的物体，它们在传感器中的成像为信号幅度较弱的小目标。远距离的成像目标通常隐藏在背景杂波中，目标信号幅值相对于背景杂波和噪声很弱，具有很低的信噪比。通常，目标在成像平面上仅占几个至

几十个像素，没有形状、大小、纹理等特征可以利用。它的这种空间特性使得传统的利用目标大小、形状以及特性的图像处理技术无法得以应用，不能够从单帧图像中检测到目标，必须采用基于目标运动特征的序列图像处理方法，设法沿目标航迹积累航迹能量，提高信噪比，以达到抑制噪声、检测目标的目的。

由于弱小目标的信噪比低，使得在单帧图像上几乎不可能检测出目标，或即使检测出目标也常常伴随着大量的虚假目标。因此，目前的检测技术多采用多帧序列图像检测技术。从检测中应用弱小目标运动的短时间平稳特性的方式出发，可将多帧检测技术分为两大类：1)先检测后跟踪技术 **detection before track**；2)先跟踪后检测技术(**track. before. detection**)。前者首先根据目标的短时灰度特性对单帧图像进行灰度阈值判别，然后在分割后的二值化图像序列中根据目标的短时运动特性，寻找可能的目标轨迹，这种方法的计算相对简单，但要求一个高信噪比环境。而后者首先根据目标的短时运动特性，通过累积目标的所有可能的运动轨迹的亮度值，然后根据目标的短时灰度特性判别各条轨迹的后验概率，从而检测出真实的目标运行轨迹。对于微弱小运动目标的检测，通常采用先跟踪后检测方法。目前使用最广泛的微笑异物检测算法有以下几类：

- 1、基于三维速度匹配滤波器的检测算法。
- 2、基于像素统计的方法
- 3、多级假设检验方法
- 4、动态规划法

### 1.3.3 输液瓶中微小异物的检测技术

液体中的异物杂质检测在工业生产中有着非比寻常的意义。无论是在工业上还是民用上，杂质的存在将严重影响产品的质量，危及人们的健康。化学或生物的方法进行抽样检查，并不能完全保证产品的合格率，并或多或少地损坏样品，造成资源的浪费，而人工检查速度慢，依赖人的熟练程度和身体状

态，影响检测的效果。本课题所要研究的基于机器视觉的液体中杂质检测方法，效率高，可以扫描所有的产品，不会产生副作用，属于无损检测范畴，具有非常广泛的适用范围。液体中异物微粒检测技术不仅在医药生产中应用广泛，在食品、生物、化工、环境等领域也被广泛应用，不同应用环境有不同的检测精度、要求和标准。

目前，对于液体中异物微粒检测方法主要有光阻法、光散射法和光衍射法等。以下对其中几种常用方法做简要介绍：

### （1）基于光阻法原理的检测方法

光阻法(Light-Blocking)是国际上流行的微粒检测技术之一。美国药典、英国药典和 2000、2005 年版中国药典都收录了光阻法来进行注射液中微粒异物的检查。光阻法微粒检测技术的基本原理为：光源发出的光由于受到液体中粒子的遮挡，光强减弱，光电器件检测到这一信号的变化，形成光电脉冲，该光电脉冲的幅值大小与粒子的粒径存在一定的关系。通过判断该脉冲的幅值大小，即可得到粒子存在与否和其中粒径的信息。例如，美国太平洋科学仪器公司生产的 HIAC 系列激光光阻法传感器就是基于该原理的。

但是基于光阻法原理的检测方法很不稳定，因为一般光源自身误差都在 5% 左右变化，美国国家标准局(NIST)的校准光源在采用最稳定的电源供电时误差也达 3%，所以很难判定光强变化是光源引起的还是异物微粒引起的，结果误检率较高。

### （2）基于动态光散射原理的检测方法

基于动态光散射原理（Dynamic Light Scattering）的检测方法是利用液体中微粒的布朗运动所造成的多普勒效应对溶液的微粒进行测量，通过对某一固定空间位置上的微粒散射光强度随时间涨落现象的研究，来获取待测微粒的粒度信息的方法。动态光散射又称之为时间相关的光散射，是测量光强随时间起伏的变化规律。如果粒子处于无规则的布朗运动中，则散射光强度在时间上表现为在平均光强附近的随机涨落，它是由于从各个散射粒子发出的散射光场相干叠加而成的。悬浮液中的颗粒由于受到了周围进行布朗运动分子的不断撞

击，而不停地进行随机运动，在激光的照射下，运动颗粒的散射光强也将产生随机的波动，而且，波动的频率与颗粒的大小有关，在一定角度下，颗粒越小，涨落越快。动态光散射技术就是通过对这种涨落变化快慢的测量和分析，得到影响这种变化的颗粒粒径信息。基于动态光散射的微粒检测方法主要针对亚微米和纳米级的微粒粒径测量和检测。

基于动态光散射和光阻法原理开发的光电微粒检测仪器主要应用在实验室和质检所里，大多是离线的、抽样检测。

### （3）基于机器视觉的液体中异物微粒检测技术

基于机器视觉技术的液体中微粒检测，利用机器视觉技术获取待检测液体的图像序列，利用设计的图像处理和模式识别算法实现对液体视觉图像中的微粒进行自动识别检测。

基于机器视觉的液体中异物微粒检测技术在欧美、日本等国家已经开展了相应的研究，研发的全自动在线灯检系统已经在输液生产线上成功应用，但绝大部分都是针对于安瓿瓶的灯检系统，针对大输液的灯检系统较少而且并没有达到非常理想的效果。到目前为止，国内有关液体中异物微粒视觉检测的研究成果还很少，部分高校在理论方面做了一部分先期研究，但没有见到大输液生产企业使用全自动在线智能灯检器械报道。本课题的任务是基于机器视觉技术，研究医用输液中的异物微粒检测的模式识别和图像处理算法，并通过实际的工业设备，实现医用输液中微小异物的在线检测。

## 1.4 基于视觉的大输液异物检测系统的技术要求

多年来，针对军事小目标，如雷达小目标、红外小目标、航空小目标、海空背景下舰船小目标的视觉检测已经相继提出了一些方法。这些算法都是针对具体环境提出的，针对性都很强，还没有一种可以应用于任何环境下、普遍使用的小目标检测算法。特别是在医药、食品等领域内有关液体中微小异物检测的研究更少。

本文是针对医用输液中微小异物目标进行识别检测研究的。根据中国药典对输液澄明度和可见异物的检查规定，结合输液中可能存在的异物以及成像系统的分辨率，实现输液中微小异物目标在线实时检测主要有以下技术难点：

#### （1）对灯检系统检测可靠性的要求

由于大输液瓶属于医用器材，且输液直接进入到血液。因此如果实际产品中存在异物，将会对患者的健康和制药公司和信誉带来严重的影响。但是若将没有异物的输液瓶进行误判，可再次通过人工方式再次进行判断，不会有太大损失，且通过此种方法同样可以达到减小人工劳动力的作用。因此软件的异物检测部分的设计应以尽可能减少漏检率为侧重，在此基础上减小误检率以进一步减小人力成本。

#### （2）对灯检系统检测速度的要求

由于灯检机使用的场合为工业自动化生产线，一般的生产速度为 150-300 瓶/分钟，因此对检测处理的时间有比较高的要求。根据实际的应用现场，大体要求是每分钟检测 120-180 瓶。平均每瓶的总时间（包括传送、拍照、处理、传出）不能超过 500ms，因此对图像处理与识别过程的算法复杂度和拍照过程中图像数据的传输、保存等都提出了比较高的要求。

#### （3）对灯检系统软件可靠性的要求

由于灯检系统需要在自动化生产线上长时间工作，某些情况下是全天 24 小时不间断工作，且灯检环节是整个生产线上的关键环节，一旦出些问题只能暂停整个生产线的生产工作，且药业的生产涉及到化工过程，一旦停止将对整个生产线造成巨大的损失。因此对于灯检系统的软件可靠性提出了较高的要求，需要灯检系统可以长时间工作，软件开发的过程中一定要避免内存泄露等错误。并且在软件故障的条件下，要可以快速进行恢复。

## 第2章 检测设备设计

### 2.1 引言

医用输液瓶对瓶内液体的洁净程度要求非常高。但由于生产工艺或生产环境等方面的原因，少量输液成品中可能混入玻璃碎屑、铝屑、橡皮屑、毛发、纤维和不溶药质等微小异物。这些异物粒径微小，在静脉输液时，可能随输液进入人体，导致血管堵塞，造成囊肿现象，严重危及病人的生命与健康。

因此，各国药典都明确规定：在注射剂的生产过程中，要对其逐支、逐瓶进行不溶性异物检查。我国在最新2005版的《中华人民共和国药典》附录中，给出了注射液中异物检查的规定：可见异物(Visible Particle)是指存在于注射剂、滴眼剂中，在规定条件下目视可以观测到的任何不溶性物质，粒径长度通常大于50微米。该规定与注射液不溶性微粒澄明度检查法相互衔接。同时，新版药典对输液中异物定量描述代替了2000年版中华药典中定性的描述，为实现自动机器检测创造了良好的条件。

而传统的检查方法是直接通过人工视觉方法进行检验，劳动强度大，已产生视觉疲劳和质量波动。通过实地参观走访制药生产企业，发现大输液瓶生产线上大约30人左右，其中有15-20人都处于异物灯检的工位，占据的整个生产线工人总数的50%以上。一方面说明了灯检环节不光会消耗大量的人力，造成生产成本的上升。另一方面，人工检测带有很大的主观性，长时间进行灯检工作容易产生视觉疲劳和情绪变化，引起检测的速度变化和检测质量波动，是大规模自动化生产线上的突出问题。

根据此实际问题并参考国外医药溶液检测方法和系统的基础上，提出了基于视觉的输液瓶异物检测研究，并设计医用自动化视觉检测机器人。通过研究输液中的微小异物的视觉检测算法，使之适合中国药典中对于注射液的制药标准和生产环境。对在线全自动智能输液异物检测器械有着重要的理论意义和应用价值。



## 2.2 系统总体结构

医用自动化灯检机的总体结构由机械、电器、控制、视觉、软件部分组成。其中的机械结构包括输入传送带，旋转星轮，压紧装置和间歇运动装置组成。电气部分由，变频器，交流电动机，交流伺服电动机，气泵和气动活塞组成。控制部分主要由可编程逻辑控制器 PLC，编程计算机和扩展部分组成。视觉部分由光源，光源控制器，工业摄像机，图像处理计算机和 I/O 卡组成。软件部分主要由工业控制计算机和相应的应用程序组成。

机械结构部分主要用来传入待检测的溶液瓶，固定瓶身，对瓶身进行轴向旋转，静止并等待视觉检测部分拍照完毕，传出瓶身等步骤。

电气部分主要由变频器，交流电动机，交流伺服电动机，气泵和气动活塞组成。其中的交流电机和交流伺服电动机主要为旋转瓶身的机构和间歇运动机构提供动力。变频器主要用来控制运动过程的速度特性，可以使得间歇运动过程对瓶身的扰动降到最小，减小瓶内液面的波动情况，减小干扰。气泵和气动活塞用来进行踢瓶操作。

视觉部分由光源，光源控制器，工业摄像机，图像处理计算机和 I/O 卡组成，主要用来控制工业摄像机对待检测的溶液瓶进行连续多帧拍照，并通过相应的控制器控制背光光源和底光光源间隔打开，产生不同的光照环境。图像处理计算机将采集到的连续多帧图像进行相应的处理，对异物进行识别并分类，最终确定待检测目标是否合格，并通过 I/O 卡反馈结果到灯检机的控制系统。

软件部分主要由工业控制计算机和相应的应用程序组成。用于运行相应的软件，接受来自控制系统的信号，控制摄像头对待检测目标进行拍照，根据图像处理结果实时反馈检测结果到控制系统。同时提供一个完善的人机交互界面，实时显示处理结果，方便技术人员对检测参数进行及时修改和测试。

## 2.3 机械系统结构设计

机械结构部分主要用来传入待检测的溶液瓶，固定瓶身，对瓶身进行轴向旋转，静止并等待视觉检测部分拍照完毕，传出瓶身等步骤。对应的机械结构如图 **Error! No text of specified style in document.-5** 所示：

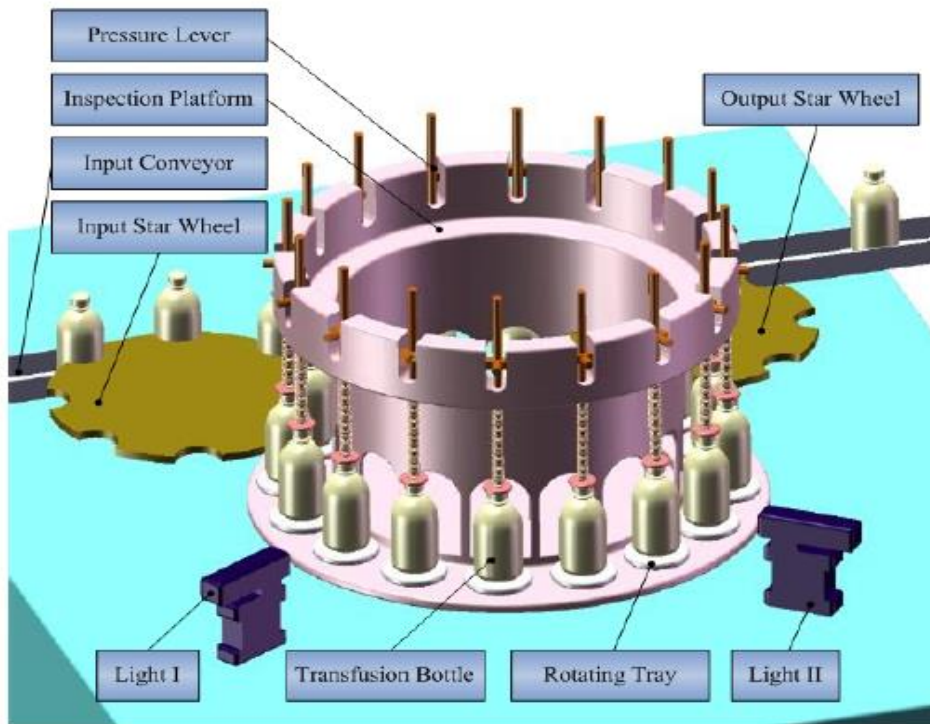


图 Error! No text of specified style in document.-5

待检测的大输液瓶通过旋转星轮转送，并通过中央的大旋转星轮通过间歇运动，进入检测工位，检测完成后继续通过旋转星轮传出溶液瓶。

### 2.3.1 旋转装置

旋转过程是通过机械装置使瓶身沿轴向进行旋转，由于瓶内液体本身的粘滞阻力的作用，会带动瓶内的液体一起旋转，使得瓶内的液体旋转起来，便于视觉检测系统对瓶内的异物进行视觉分离。

旋转过程的精度是整个装置中比较重要的一部分。如果轴向旋转出现偏差，会造成瓶内的液体旋转不均匀，使得液面产生不规则的运动漩涡，产生较大的杂散光干扰。同时，由于对于大输液玻璃瓶而言，由于本手的加工过程是通过高温液态玻璃模具中注塑而成，因此内径尺寸本身存在一定的偏差，如果旋转过程中再次引入一个较大的偏差，会造成最后的液面波动更加剧烈，最终的杂散干扰更加强烈。在某先极端的条件下，不规则的锥形液面会将液面上方的部分空气向下带入液体内部，有时气泡会随着水流的带动继续向下运动，因此旋转过程对轴向的精度要求较高，需要尽可能保证瓶身沿轴向旋转。

因此再设计对应的机械结构时，需结合瓶身的具体结构进行设计，对于医用大输液瓶，我国标准的大输液玻璃瓶有很多规格，如 **Error! Reference source not found.**、**Error! Reference source not found.**所示为 1000ml-100ml 的医用输液瓶的外形：



图 **Error! No text of specified style in document.-7**



图 **Error! No text of specified style in document.-6**

其中，本课题所针对的是 250ml 的医用大输液瓶进行的研究，对于 250ml 的医用输液瓶的实际外形如图 **Error! No text of specified style in document.-9**、图 **Error! No text of specified style in document.-10** 所示：



图 **Error! No text of specified style in document.-9**



图 **Error! No text of specified style in document.-8**

针头  $\phi 1.5$  mm，对应的内径为  $\phi 1.5$  mm，同时由于玻瓶的生产工艺中的脱模需要，因此玻瓶的底面直径相对瓶身直径较小。通过瓶身的几何尺寸的特点，在上下压紧装置中设计一个与瓶口和瓶底匹配的

凹槽，凹槽表面使用光滑材料填充。当装置对瓶身进行压紧时，可以保证瓶身完全匹配到凹槽内部，此时瓶身的轴向和旋转轴向最大限度的重合，对应的结构图 **Error! No text of specified style in document.-10** 下所示，对应的实物图如图 **Error! No text of specified style in document.-11** 所示。

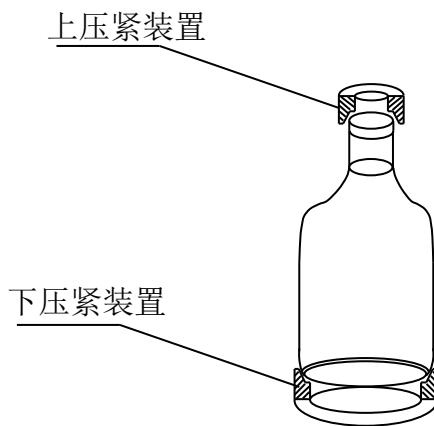


图 **Error! No text of specified style in document.-10**



图 **Error! No text of specified style in document.-11**

从瓶身静止到被机械装置带动一起旋转，有一个加速过程。同时由于瓶内液体的粘滞阻力作用，液体并不会随着瓶内液体的旋转而马上以相同的速度旋转起来，因此需要将瓶身的旋转状态维持一段时间，使得瓶内的液体有充足的加速时间。

若直接将瓶身的转速加速到最大转速，在开始的时候由于流体力学的原因，高速旋转的瓶壁会将液面上方的部分空气带入液体中，形成气泡。若气泡进入了视觉检测区域，就会对检测结果造成干扰。因此瓶身的旋转应按照一定的加速过程进行。

因此，可以先通过粘滞阻力的关系式，对瓶内液体的减速旋转过程进行计算。牛顿在 1687 年用在流体中拖动的平板，做了粘性流动实验。两块板的面积均为  $\Delta S$ ，相互间距为  $h$ ，上板以速度  $V$  运动，下板静止不动，板间的流体运动为层流。牛顿通过实验测定板所受到粘滞阻力的大小。实验结果是：阻力  $f$  的大小与物体的截面积  $\Delta S$ 、流体的粘性系数  $\eta$ 、流体的速度梯度  $(dv/dy)$  存在线性关系，粘滞阻力为  $f = \eta \Delta S (dv/dy)$ 。

设瓶身的旋转速度为  $\alpha$  恒定不变，瓶身的内径半径为  $R$ ，对应的示例图如

图 Error! No text of specified style in document.-12 所示:

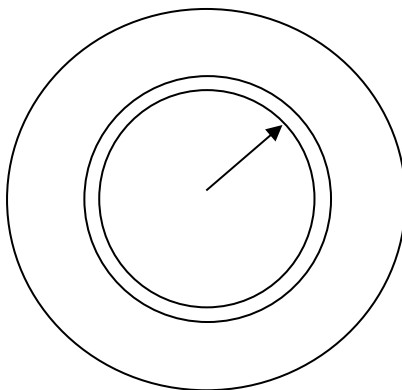


图 Error! No text of specified style in document.-12

从瓶内的液体静止开始起旋。设瓶身在很快的时间之内达到需要的速度 $\alpha$ ，因此可忽略瓶身起旋过程的时间。此时瓶内的液体由于本身的粘滞阻力的作用开始旋转。靠近瓶身的环形区域的液体起旋快，也靠近中心的液体起旋较慢。

可通过计算机仿真对最终的结果进行判断，在起旋达到一定的时间之后，对应瓶内液体的转速如图 Error! No text of specified style in document.-13 所示:

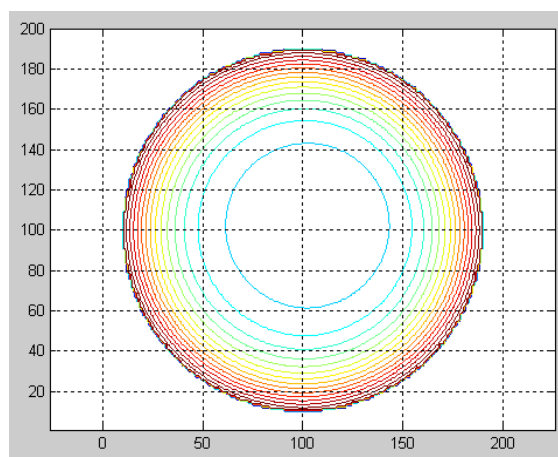


图 Error! No text of specified style in document.-13

因此，为了既让瓶内的液体在较短的时间之内达到所需的转速，又要确保在起旋尽可能减缓瓶身内壁与瓶内液体的摩擦强度，以减小带入的气泡对瓶内



液体的扰动。因此，瓶身的起旋过程应该以一条加速度曲线进行加速。

对应的角加速度曲线和角速度曲线如图 Error! No text of specified style in document.-15、图 Error! No text of specified style in document.-14 所示：

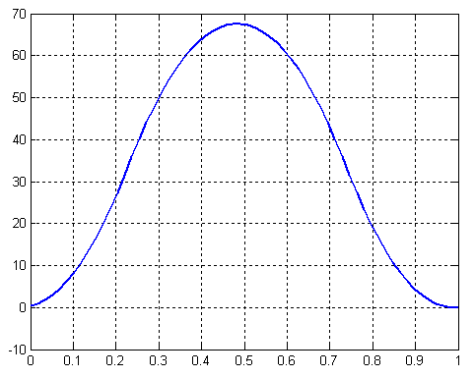


图 Error! No text of specified style in document.-15 角加速度曲线

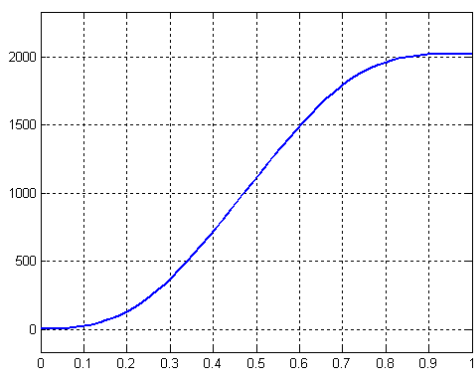


图 Error! No text of specified style in document.-14 角速度曲线

Error! No text of specified style in document.-17 所示。发现使用相应的加速度曲线进行加速后的液面更加平稳，同时液体的旋转据运行更好。

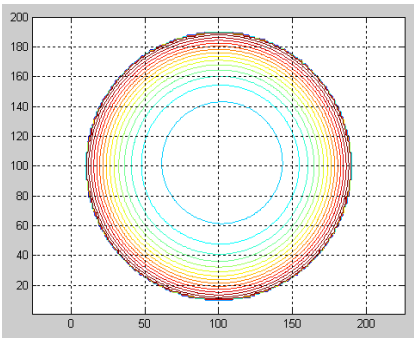


图 Error! No text of specified style in document.-16 原先加速结果

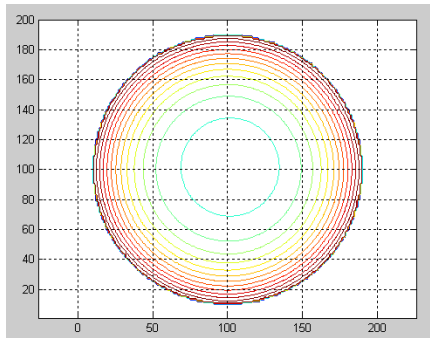


图 Error! No text of specified style in document.-17 改进加速结果

对比结果图 Error! No text of specified style in document.-18 所示：

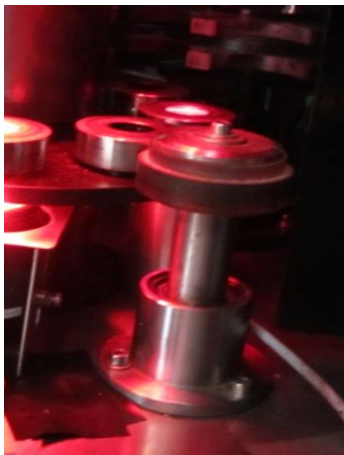


图 Error! No text of specified style in document.-18

### 2.3.2 间歇传动装置

间歇运动是用来将待检测的输液瓶送入检测工位，同时送出以检测完毕的输液瓶的运动过程，整个过程通过旋转星轮实现。间歇运动过程中如果加速、减速过程对瓶身的冲击较大，会使得瓶内旋转的液体受到的冲击过大，造成锥形液面的过大波动，同样会造成液面的杂散光干扰过大，造成检测的准确性降低。

因此，为了减小间歇运动过程中对瓶内液体的冲剂。要使用均匀加速和均匀减速过程，使得瓶身所受到的加速度尽可能小，同时要在尽可能小的时间内间歇运动到检测工位，因此使用等加速度的运动方式最好。

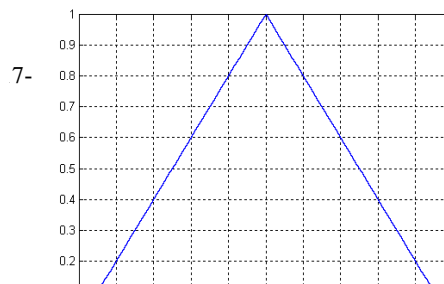
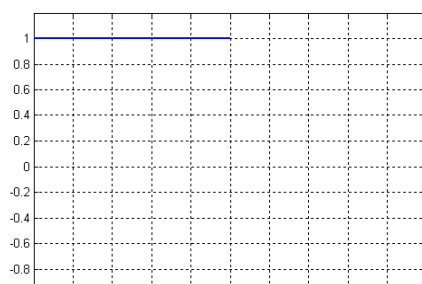
假设一个旋转星轮中共有  $n$  个工位，则每两个工位之间相对旋转轴向的夹角为  $\frac{360}{n}$ ，假设两个工位之间的运动时间设定为  $t$ ，运动过程中的角加速度的大小相同，都为  $\theta$ ，则可得到方程：

$$\frac{1}{2} \cdot \theta \cdot \left(\frac{t}{2}\right)^2 \cdot 2 = \frac{2\pi}{n} \quad (\text{Error! No text of specified style in document.-1})$$

可解得：

$$\theta = \frac{8\pi}{n \cdot t^2} \quad (\text{Error! No text of specified style in document.-2})$$

当以如下的加速度进行间歇运动时，对瓶身的冲剂最小，对应的运动曲线下如图 Error! No text of specified style in document.-19、图 Error! No text of specified style in document.-20 所示：



如上图所示为别为间歇运动过程的加速度和速度曲线，间歇运动过程开始时以恒定的加速度进行加速运动，运动角速度均匀上升。在运行到两个工位中间时，角加速度方向反向，此时的运动速度均匀下降，到达下一个工位的时候正好停止。

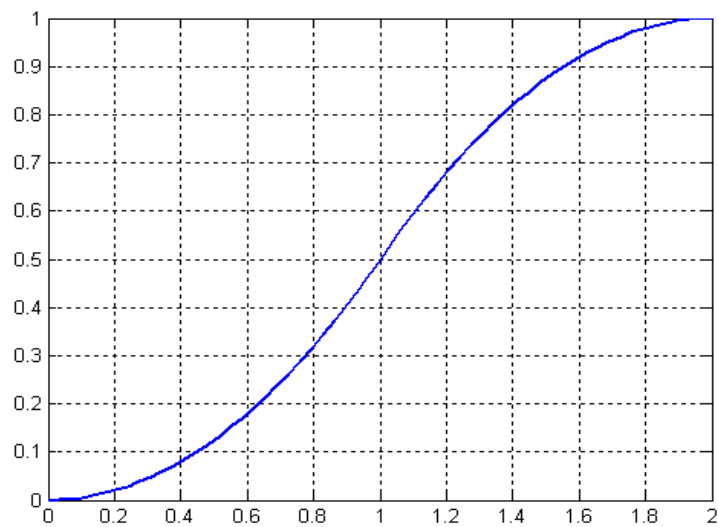


图 Error! No text of specified style in document.-21

间歇运动的角度与时间的关系如图 Error! No text of specified style in document.-21 所示。从上图可以看出，通过此种均匀加减速的方式进行间歇运动，可以使得瓶身走过的轨迹尽可能平稳。同时保证在正确的检测工位停止。

在硬件实现上，通过交流伺服电机、变频器和编码器完成对星轮的运动过



程的自动控制。首先变频器输出相应频率的交流电到交流伺服电动机，电动机旋转过程中通过编码器实时反馈转角，并通过相应的控制率最终控制变频器的频率。最终结果是确保旋转星轮准确的按照需要的间歇过程进行运动。

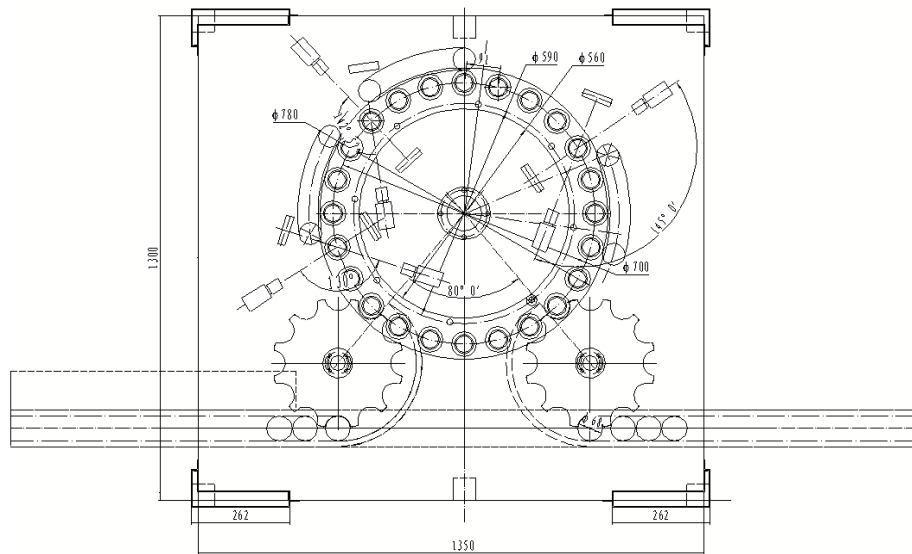


图 Error! No text of specified style in document.-22 传送机构机械图

如图 Error! No text of specified style in document.-22 所示为对应的机械结构，两边的小型轮将直线传送带上的溶液瓶送入和送出中央旋转星轮。当溶液瓶进入中央选装星轮后，通过上下压紧装置将瓶身固定，并通过周围伺服电机驱动的摩擦皮带对瓶身进行加速，当瓶内的液体被加速到一定的程度以后，进入到视觉检测工位，此时瓶身停止旋转，相对于相机静止。当相机进行连续多帧拍摄后，溶液瓶随中央旋转星轮的运动送入一侧的小型星轮，并通过直线型的传送带将检测后的溶液瓶送出。

对应的实物图如图 Error! No text of specified style in document.-23 下所示：



## 2.4 电气系统设计

控制系统部分主要作用是对传送装置、间歇运动星轮、摩擦轮等部件的驱动过程进行控制。每一部分由于对于转速和精度的控制需求不同，因此选择不同的硬件方案搭配使用。

### 2.4.1 传送系统设计

传送系统的主要作用是将待检测的输液瓶传送到间歇运动的旋转星轮中进行检测。其中包含了接收前一个生产工位传送进入的瓶子和临时缓冲输液瓶的作用。由于传送过程中只需要保持旋转的托盘以一定的角速度匀速旋转即可，最终的目的是将最外侧的输液瓶传送到旋转星轮中。因此，对托盘的转速精度并没有较严格的要求，因此选择普通的交流电机即可，外加变频器通过变频器中的电位器手动进行调速，形成开环控制。

传出系统使用传送带进行，检测完成之后，间歇旋转星轮将输液瓶放入传送带中，传送到机器外部。传送带可以连接到输液生产线上的其他设备继续进行生产上的其他环节。

对应的实物图如图 **Error! No text of specified style in document.-24**、图 **Error! No text of specified style in document.-25** 所示：



图 Error! No text of specified style in document.-25

## 2.4.2 摩擦轮系统设计

摩擦轮的作用是加速旋转瓶身，使得瓶内的液体和异物运动起来，方便进行运动目标的检测。根据 2.3.1 的选装速度设计，需要使得旋转过程中的转速的角加速度需要按照一定的曲线进行加速运行。因此，选用交流伺服电机对摩擦轮的转速进行控制，伺服电机和摩擦轮同轴，所以使用交流伺服电机内部的编码器对转速进行反馈即可。

摩擦轮部分对应示意图和实物图如图 Error! No text of specified style in document.-26、图 Error! No text of specified style in document.-27 下所示：

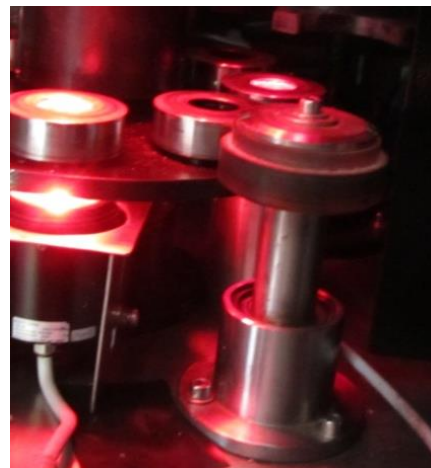
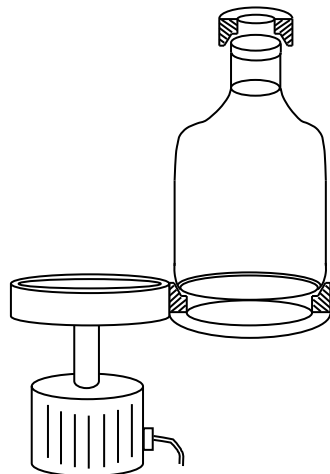


图 Error! No text of specified style in document.-26

图 Error! No text of specified style  
in document.-27

### 2.4.3 间歇运动旋转星轮设计

中央星轮的间歇运动过程需要将待检测的输液瓶送入旋转工位加速旋转、加速后送入检测工位，间歇停止检测，检测完成之后再旋转送出，完成整个检测过程。由于中央旋转星轮的绝对位置直接影响到待检测输液瓶定位的准确性。同时，由于中央旋转星轮需要同时带动多个工位进行同步旋转，因此对旋转运动的转速要求较低，但是对于转矩和转动精度要求较高。

为了得到较大的转矩，如果选择转矩较大电机，由于对于转速要求并不高，因此可能造成成本浪费，并提高控制系统的设计难度。因此，使用小功率的交流伺服电动机和减速器进行配合是一个比较好的方式。同时，由于电机上的编码器一般是增量式的编码器，而且通过减速器后并不能保证良好的精度。因此，在间歇运动星轮的主轴上外加绝对值式的编码器，则可以确保编码器直接测量的是间歇运动行星轮的绝对位置，保证输液瓶定位的准确性。

对应的结构图和实物图如图 Error! No text of specified style in document.-28 图 Error! No text of specified style in document.-29 所示：

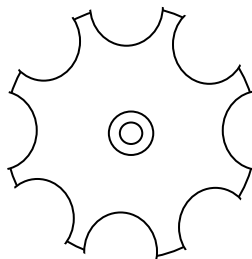


图 Error! No text of specified  
style in document.-28

图 Error! No text of specified style in document.-29



## 2.5 视觉系统设计

照明系统设计是视觉检测系统的关键部分，对整个系统的实现方案和能否正确对产品进行检测起到了举足轻重的作用。

在视觉检测的实际应用中，使用光源的主要作用是将光线照射在待检测的物体上，从而提高图像的亮度 and 对比度，光源与照明方式的配合尽可能的突出需要检测的物体的特征，特定的光照条件可以在机器视觉检测算法上可以增加系统的约束条件，减小干扰并减小检测算法的复杂度和运算量，提高系统的运算速度和可靠性，对于在线检测过程有很高的使用价值。

由于待检测的溶液瓶一般为无色透明的玻璃瓶，待检测的溶液也是无色透明的液体，光线可直接穿透不发生反光现象。但是，瓶内的异物一般存在有玻璃碎屑、铝屑、橡皮屑、毛发、纤维和不溶药质等微小异物，有的对光线有反射特性，有的对光线有吸收特性。所以在光源的使用和照明方式上要进行大量的研究和测试工作。

因此，设计的基于机器视觉的检测方法是通过相应的照明条件，使得对应的各种不同的异物在光照条件下呈现出相应的光学特点，并通过工业相机对溶液瓶进行连续多帧拍照，并将得到的图片通过相应的视觉检测算法进行异物判断，最终得到检测结果。

通过使用不同的光照环境，如背光光源和底光光源。在异物吸光特性较强时使用背光光源检测。反光特性较强时使用底光光源检测。同时通过调节相机和光源、待检测目标之间的相对距离和夹角等几何参数，找到最佳的配合方式。最大限度的避免杂散光线的干扰，提高异物检测的准确性。

### 2.5.1 光源模块设计

#### 2.5.1.1 光源模块的分类与应用

在使用光源进行照明的过程中，一般要考虑光源照明之后检测特征的如下几个参数的变化情况：

对比度：视觉检测过程中光源的主要目的就是使待检测的目标物的特征与

区域的背景和干扰噪音之间产生较为明显的特征差异，其中对比度即为最重要的一个参数，产生较大的对比度后可以使得待检测的目标异物易于区分。

**亮度：**要适量提高待检测物体本身的亮度。若光源亮度较弱，则外界杂散光源的干扰就会将弱小异物的特征淹没在干扰背景中，同时，由于相机本身存在一定的随机噪声，如果待检测的目标本身亮度较小，则相机需要加大光圈或者提高相机增益提高图像的亮度，但是加大光圈会减小景深，加大增益会放大噪音。所以，需要额外的光源增加检测目标物本身的亮度。

**鲁棒性：**光源的效果好坏需要看光源的亮度是否受部件位置的影响，当光源和图像采集设备处于不同的位置时，图像的效果会随之改变，好的光源可以在不同的应用环境下，达到基本相同的光照效果。

**使用寿命和衰减：**现阶段的光源大部分使用的是 LED 照明设备，但是 LED 照明设备在长时间使用的过程中会出现亮度衰减的问题，长时间使用之后会使得照明的亮度变暗，因此需要使用频闪方式工作，在采样过程完成之后停止照明，减少照明总时间，减小发热和衰减问题。

使用频闪的工作方式，还可以使得运动物体在采样的过程中“静止”，是运动图像采集过程中的常用方法。高速运动物体要拍摄清楚，避免拖影，必须较小摄像头的曝光时间。由于 LED 光源本身的特性，采用频闪的照明方式，可以在较短的时间内获得足够的通光量。同时，需要注意频闪的开启、关闭时间和工业摄像头的电子快门的开启和关闭时间配合好，得到理想的拍摄效果。

光源选择后，不同的照明方式对检测的结果又有很大的影响，以下为不同的照明方式的种类：

**直接照明：**光源发出光直接照射在物体表面，得到清晰的高对比度的物体的图像。

**暗视场照明：**光源发出的光按照一定的角度投射到物体表面，其结果是倾斜的散射光投射到物体表面，使得表面的纹理和其他高角特征得到突出。

**背光照明：**通过把 LED 发出的光扩散之后，形成均匀明亮的发光表面，使得物体的边缘轮廓清晰可见。因此背光源比较适合透明物体的检测。

**散射照明：**提供一个全向的柔和的散射光，散射光源适合高反射的和曲面

的物体的照明。

同轴照明：通过垂直平面光源发出的变化散射光，照射到一个使光向下的分光镜上，摄像机从上面通过分光镜看物体。这种类型的光源对检测高反射的物体特别有帮助。

由于待检测的输液瓶中同时存在反光特性较强的白色异物和吸光特性较强的黑色异物。因此，在选择照明光源的时候选择了同轴光源，通过透镜组对发出的光线进行调制，照射到透明的液体内部，检测高反射的异物。使用背光平面散射照明，从瓶身的另一面检测待检测的目标瓶身，用来检测吸光特性较强的黑色目标。

为了实现采集图像的高对比度，检测过程在封闭遮光的环境下进行。同时，为了减小杂散光源的干扰，将光源周围的机械结构用黑色的吸光涂层进行涂抹，最大限度的降低干扰。

#### 2.5.1.2 底光照明模块设计

为了检测高反射的异物，需要直接照射到异物表面。由于所检测的输液瓶为圆柱形玻璃瓶，上方有瓶塞阻挡，侧面由于为圆柱形，光线不能均匀的照射在瓶内的所有区域，因此选择瓶底作为光线的入口，选择玻璃瓶底部进行照射。对应的示意图如图 **Error! No text of specified style in document.-30** 所示：

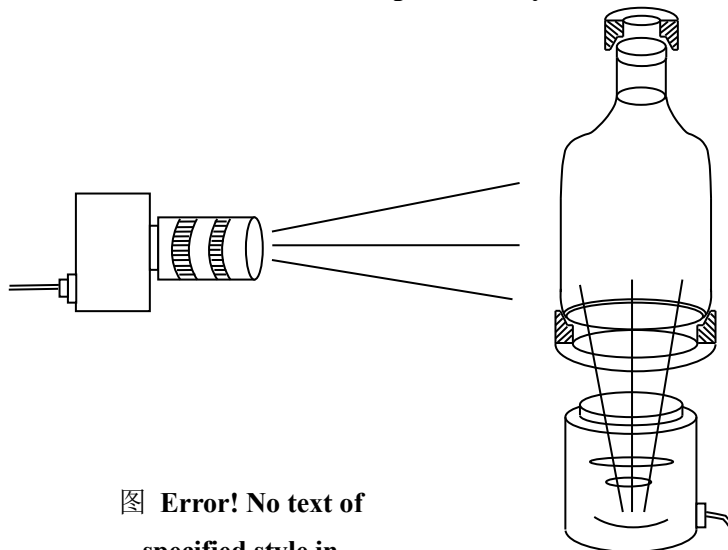


图 **Error! No text of specified style in document.-30**



在进行底部光源照射过程中，还有两种光线的照射方式，即直接照明和散射照明。通过实验发现，散射照明由于光线不集中，部分光线会照射在瓶身表面并在瓶身表面发生全反射现象，光线没有衰减的照射到瓶内液体表面，之后经过多次反射进入摄像头，产生较多的杂散光干扰，减小检测准确性。

因此，使用直接照明方式，光源内部为一个面积较小的 LED 阵列，因此可以看成是一组点光源，并通过一组透镜组，将 LED 光源发出的光线进行光路调整，使得光路以 20-30 度夹角的圆锥形照射到瓶身内部。此时，可以较大限度的减小光源的散射，并集中光源的能量，提高异物反射光强，增加对比度。

底光源对应的实物图如图 Error! No text of specified style in document.-31、图 Error! No text of specified style in document.-32 下所示：

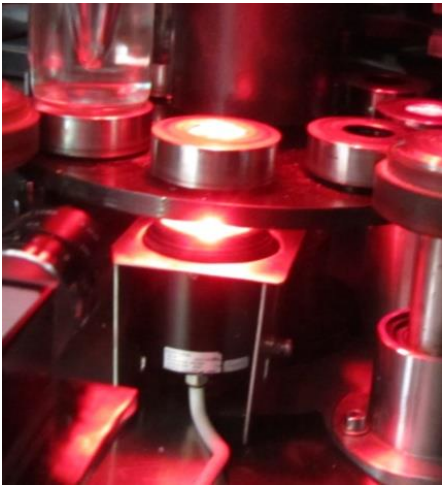


图 Error! No text of specified style in document.-31



图 Error! No text of specified style in document.-32

底光源对应的实物图如图 Error! No text of specified style in document.-33、图 Error! No text of specified style in document.-34 所示：

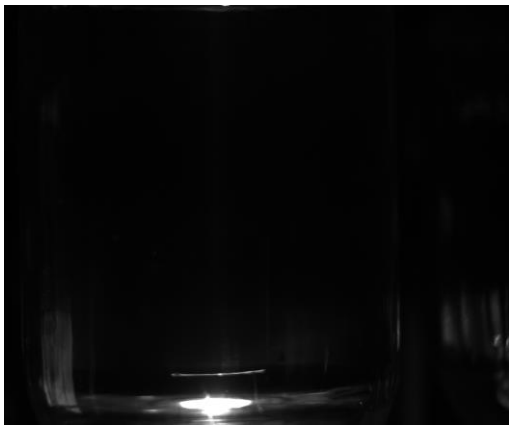
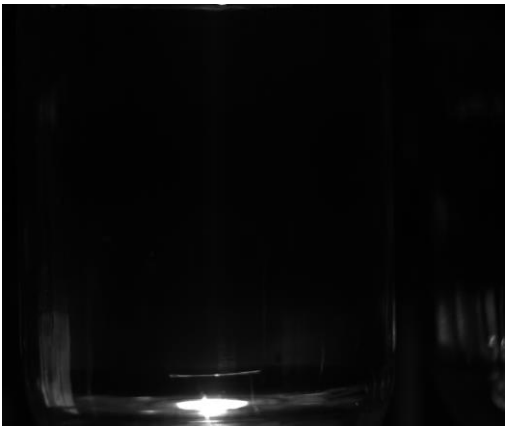


图 Error! No text of specified style in document.-33

图 Error! No text of specified style in

如图 Error! No text of specified style document.-34 t of specified style in document.-34 所示，图像中可以很清晰的看出其中的反光纤异物，说明低光照射对反光特性较强异物的特征提取有效。

### 2.5.1.3 背光照明模块设计

对于吸光特性较强的黑色异物，底光光源照射后得不到较好的反射光特征。因此，需要使用背光光源进行照射，吸光特性强的黑色物体会在相机拍摄的图像中形成黑色的运动斑块，可以突出黑色异物的特征，方便进行图像处理和特征提取。

背光光源设计使用平面 LED 散射光源进行照明，从待检测输液瓶瓶身的一侧进行照射，摄像头从相对的一侧进行拍摄。对应的结构示意图如图 Error! No text of specified style in document.-35 所示：

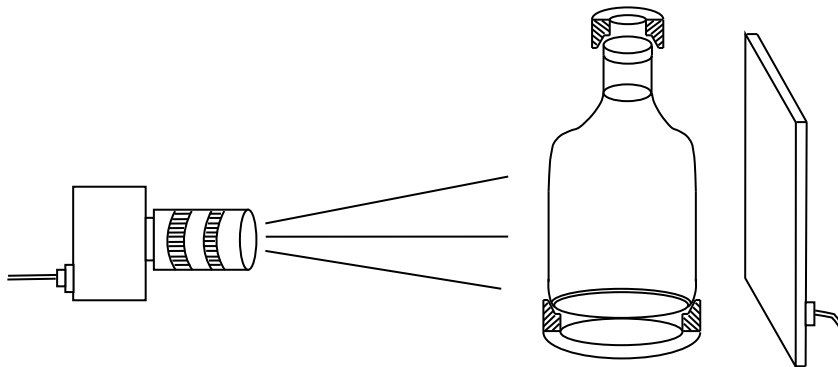


图 Error! No text of specified style in document.-35

当待检测的输液瓶进入拍摄工位之后，通过光源控制器开启背光光源，当 LED 光源达到稳定亮度之后，通过相机对代价侧输液瓶进行拍照。并将采集到

的连续多帧照片送入计算机进行图像处理。

背光光源照明的拍摄原始图像如图 Error! No text of specified style in document.-36、图 Error! No text of specified style in document.-37 所示：

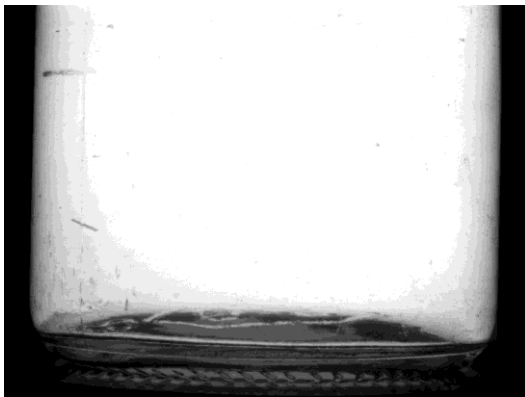


图 Error! No text of specified style in document.-36

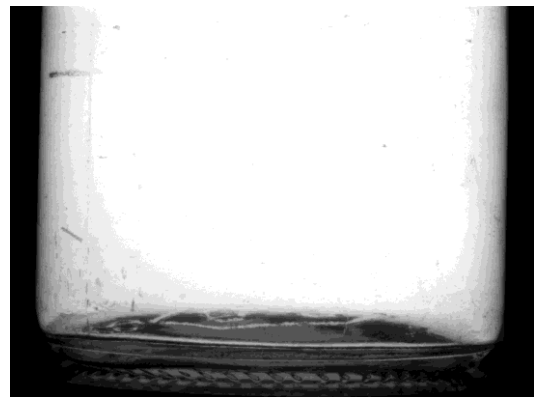


图 Error! No text of specified style in document.-37

如图 Error! No text of specified style in document.-36、图 Error! No text of specified style in document.-37 所示，通过背光光源照射可以清晰地看到其中存在的黑色纤维异物。说明背光照明系统对黑色异物的特征提取有效。

## 2.6 图像采集系统设计

### 2.6.1 拍摄相机的分类与应用

由于此应用本身应用在工业生产领域，属于工业质量控制范畴，而且由于检测设备本身包含有伺服电机、变频器、工业控制计算机等电子设备，因此相机需要工作在较强电磁扰动和存在一定震动的环境中正常可靠工作。所以不能因为成本考虑而是用民用相机，需要选择标准工业相机，保证图像采集的稳定性和可靠性。

工业相机相对于普通民用相机有如下的几个优势：

- (1) 工业相机的性能稳定可靠易于安装，相机结构紧凑结实不易损坏，连续工作时间长，可在较差的环境下使用，一般的数码相机是做不到这些的。例如：让民用数码相机一天工作 24 小时或连续工作几天肯定会受不了的。

- (2) 工业相机的快门时间非常短，可以抓拍高速运动的物体。例如，把名片贴在电风扇扇叶上，以最大速度旋转，设置合适的快门时间，用工业相机抓拍一张图像，仍能够清晰辨别名片上的字体。用普通的相机来抓拍，是不可能达到同样效果的。
- (3) 工业相机的图像传感器是逐行扫描的，而普通的相机的图像传感器是隔行扫描的，逐行扫描的图像传感器生产工艺比较复杂，成品率低，出货量少，世界上只有少数公司能够提供这类产品，例如 Dalsa、Sony，而且价格昂贵。
- (4) 工业相机的帧率远远高于普通相机。工业相机每秒可以拍摄十幅到几百幅图片，而普通相机只能拍摄 2-3 幅图像，相差较大。
- (5) 工业相机输出的是裸数据(raw data)，其光谱范围也往往比较宽，比较适合进行高质量的图像处理算法，例如机器视觉(Machine Vision)应用。而普通相机拍摄的图片，其光谱范围只适合人眼视觉，并且经过了 mjpeg 压缩，图像质量较差，不利于分析处理。
- (6) 工业相机(Industrial Camera)相对普通相机(DSC)来说价格较贵。

工业相机的种类很多，按照曝光方式、拍摄原理、内部结构、光谱响应等。  
表 Error! No text of specified style in document.-1 为常见的几类工业相机：

分类方式	相机类型	
芯片结构	CCD 摄像头	CMOS 摄像头
传感器结构	线阵摄像头	面阵摄像头
扫描方式	隔行扫描	逐行扫描
输出信号方式	模拟摄像头	数字摄像头
输出色彩	黑白摄像头	彩色摄像头
触发方式	同步触发	异步触发

表 Error! No text of specified style in document.-1

### 2.6.1.1 相机技术指标分析

根据系统的设计技术指标，至少需要在 1 秒钟的时间里处理两个瓶子即 500ms/瓶，根据实际情况的不同，对于每个待检测溶液瓶需要采集 5-10 帧连续图像。同时，还要考虑到瓶身从旋转工位运动到拍摄检测工位的时间和计算机进行图像处理和分析的时间。因此，每一个瓶子的拍摄时间不能超过 300ms，因此，连续拍摄过程中的拍摄速度需要达到 30ms/帧，即 30 帧/s。

同时，按照国家强制标准，输液瓶内的异物尺寸不能超过 50 微米，可以通过成像原理计算出摄像头的最小像素尺寸。

由于现阶段试验样机使用的是 250ml 的输液瓶，输液瓶的外径尺寸为 55mm，假设相机的拍摄范围正好包含整个瓶身区域。则在横向上若要检测到尺度为 50 微米的异物，则异物在所拍摄的图像上需要占有一个像素的尺寸。如下示意图图 Error! No text of specified style in document.-38 所示：

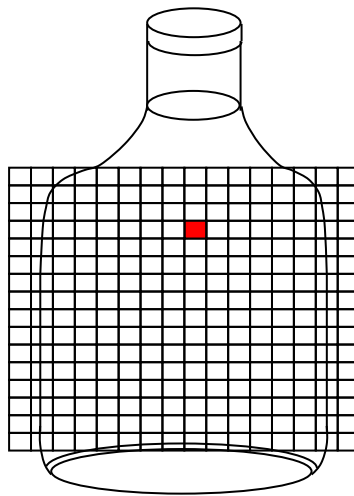


图 Error! No text of specified style in document.-38

因此，可以得到在横向上的像素个数至少为：

$$N = \frac{\text{瓶身外径}}{\text{检测异物最小尺寸}} = \frac{55\text{mm}}{50\mu\text{m}} = 1100 \quad (\text{Error! No text of specified style in document.-3})$$

并且由于是进行工业检测，对异物的颜色并不进行特定的筛选和判断，因此没有必要选择彩色摄像头。选择黑白摄像头即可。

在采样深度方面，由于是对有光照条件的待检测输液瓶进行检测，其中的异物通过特定的光照条件已经有了比较明显的光学特征，同时由于液面的杂散光源干扰本身较大。因此不需要选择采样深度过高的摄像头，一方面可以减小图像处理的运算强度，另一方面可以减小摄像头传输的数据量，增加采样速度。因此，选择采样深度为 8 位的灰度图像进行输出即可。

2.6.1.2 相机选择

通过对技术指标进行分析，可以选择 Basler 公司的摄像头。德国 Basler 公司秉承了德国公司一贯的严谨，认真负责的工作作风，生产的工业摄像头以稳定可靠的性能和优质的技术服务畅销全世界，Basler 的工业摄像头产品在工业自动化，产品质量检测，航空航天，农业资源勘察，印刷质量分析、科学研究等领域有着广泛的应用。



图 Error! No text of specified style in document.-39 Ace 工业摄像头

图 Error! No text of specified style in document.-40 Ace 工业摄像头

选择的摄像头为 ace 系列中的 ace (Gige vision) 系列摄像头，对应的型号为 acA1300-30gm/gc。所选择的的摄像头对应的参数如表 Error! No text of specified style in document.-2 下所示：

黑白/彩色	黑白
-------	----

接口	千兆网(Gige Vision)(1000Mbit/s)
视频输出格式	黑白: Mono 8
同步	外部触发、软件触发或自由运行模式
曝光控制	外部触发控制或通过相机 API 编程
外壳尺寸	42.0mm*29.0*29.0
外壳温度	最高温度 50 摄氏度
镜头接口	C/CS
I/O 控制	一路光耦隔离输入口，一路光耦隔离输出口
电源要求	PoE(可通过以太网线供电 802.3af)
认证	CE,FCC,IP30,RoHS,PoE(802.3af),GigE,Vision,GenlCam
软件驱动	BaslerpylonSDK(包含过滤器驱动，运行驱动)
分辨率	1296*966
感光芯片	Sony ICX445
芯片读出	逐行扫描 CCD
芯片尺寸	1/3"
像素尺寸(μm)	3.75*3.75
帧速率	30
功率	~2.5W
重量	~90g

表 Error! No text of specified style in document.-2 摄像头参数一览表

通过表 Error! No text of specified style in document.-1 可得，所选用的摄像头基本满足技术指标的要求。

2.6.1.3 镜头选择

镜头一般由光学透镜和机械装置两部分组成，其中的光学系统是镜头的核心，由若干透镜组成，通过透镜组在 CCD 上获取清晰的像。机械部分包含固定光学元件的零件、镜头调节机构等。

镜头的主要参数如下：

焦距：焦距是光学镜头的重要参数，镜头焦距决定了成像目标在图像传感器上的大小，当采用不同焦距的镜头对同一位置的物体进行成像时，焦距越大，所成的像越大。

光圈：镜头的光圈大小用相对孔径 $F = \frac{D}{f}$ 来表示，其中的 D 为镜头中光线能通过的圆孔直径，f 为焦距。

镜头尺寸：镜头尺寸可以分为 1”、2/3”、1/2”、1/3”、1/4”等规格，对应的参数如表 Error! No text of specified style in document.-3 所示：

尺寸	1”	2/3”	1/2”	1/3”	1/4”
高度	9.6mm	6.6mm	4.8mm	3.6mm	2.7mm
宽度	12.8mm	8.8mm	6.4mm	4.8mm	3.6mm

表 Error! No text of specified style in document.-3





图 Error! No text of specified style in document.-41

图 Error! No text of specified style in document.-42

由于选用的工业摄像头的芯片尺寸为 1/3 英寸，同时针对于 250ml 的输液瓶，对应的外径为 55mm。为了减小检测设备的体积，同时为了保证拍摄的照片能完整包含瓶身并且不发生图像畸变。因此，镜头到待检测输液瓶之间的距离控制在 200-300mm 之间。则通过镜头选型决定使用日本 FUJINON 定焦手动光圈镜头，对应型号为 HF6HA-1B。即可得到清晰的像。

最终的拍摄系统的实物图如图 Error! No text of specified style in document.-43、图 Error! No text of specified style in document.-44 所示：

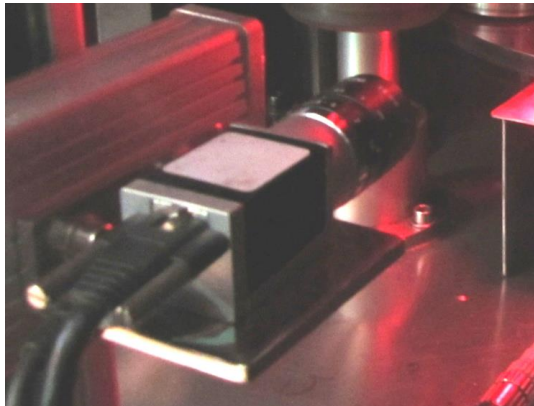


图 Error! No text of specified style in document.-43



图 Error! No text of specified style in document.-44

如上图所示为拍摄系统的实物图，摄像头和镜头连接后，通过摄像头固定在可调节支架上，通过调节支架的位姿旋钮，可以使摄像头对准待检测输液瓶，调节摄像头的光圈和焦距，使得摄像头采样到清晰的像。

摄像头的位置基本保持水平，高度与瓶身的待检测区域持平。同时，相机与瓶身之间的距离调节到正好使瓶身在 CCD 中所成的像正好占满 CCD 区域为宜。一方面可以充分利用照相机的像素，另一方面可以减小照相机到待检测溶液瓶之间的距离。

摄像头链接千兆网线并通过 GigE Vision 协议将采集到的图像传输到计算机进行图像处理，完成整个图像处理过程。

## 2.6.2 软件系统设计

软件部分的主要内容分为软件界面的设计、图像处理算法的实现和与控制系统之间的通讯三部分组成。

软件界面部分：软件界面通过 MFC 进行实现，实现软件检测参数和配置的友好的人机交互界面，同时通过两个显示窗口，即时显示处理的图像，方便对各种检测参数进行调试。

图像处理算法部分：由于处理过程需要对较大分辨率的图像进行在线处理。因此对算法运行效率提出了较高要求，所以，图像处理算法部分使用 C 语言和部分开源图像处理库函数实现。已提高运算效率。

通讯部分：由于整个视觉系统部分与灯检机之间的通讯并不需要太多带快，按照现阶段的情况，通过电平触发的方式即可达到要求。因此，控制系统通过相机本身的外触发端给输入信号。进行图像处理部分的计算机处理完之后，将结果通过一块 I/O 卡也以触发电平的形式输出到控制系统。完成两部分之间的通讯过程。

对应的软件界面如图 Error! No text of specified style in document.-45 下所示：



图 Error! No text of specified style in document.-45



## 第3章 瓶装液体检测方法研究

### 3.1 引言

机器视觉就是用机器代替人眼来做测量和判断。机器视觉系统是指通过机器视觉产品（即图像摄取装置，分 CMOS 和 CCD 两种）将被摄取目标转换成图像信号，传送给专用的图像处理系统，根据像素分布和亮度、颜色等信息，转变成数字化信号。

数字化的图像传送给专用的图像处理系统，根据像素分布和亮度、颜色等信息，转变成数字化信号，图像处理系统对这些信号进行各种运算来抽取目标的特征，如面积、数量、位置、长度，再根据预设的允许度和其他条件输出结果，包括尺寸、角度、个数、合格 / 不合格、有 / 无等，实现自动识别功能。

机器视觉系统的特点是提高生产的柔性和自动化程度。在一些不适合人工作业的危險工作环境或人工视觉难以满足要求的场合，常用机器视觉来替代人工视觉；同时在大批量工业生产过程中，用人工视觉检查产品质量效率低且精度不高，用机器视觉检测方法可以大大提高生产效率和生产的自动化程度。而且机器视觉易于实现信息集成，是实现计算机集成制造的基础技术。

在中国，视觉技术的应用开始于 90 年代，因为行业本身就属于新兴的领域，导致以上各行业的应用几乎空白。国内大多机器视觉公司基本上是靠代理国外各种机器视觉品牌起家，随着机器视觉的不断应用，公司规模慢慢做大，技术上已经逐渐成熟。国内也开始意识到机器视觉的重要性，开始研发自己的机器视觉产品。当然，技术上跟国外的品牌还存在一些不足。

### 3.2 图像预处理

由于直接采集的原始图像一般含有杂散光干扰和相机本身的噪声，并不适合直接进行运算和结果判别。需要先将图像进行一些滤波处理、图像增强处理等过程，抽取检测目标的特征。此步骤成为图像的与处理过程。

针对于灯检机系统在检测的过程中，噪音有如下几个来源：

（1）相机本身的噪音：虽然所使用的相机的信噪比较小，但是仍然存在部分噪声。而由于异物和背景之间的几何和亮度关系，可确定在图像上的频域分布基本分布在高频段内，而大多数干扰噪音分布在低频段，所以使用滤波器对图像进行预处理。

（2）杂散光源干扰：虽然对底光光源的照射角度已经进行了调整，但是仍旧有部分光线照射到检测设备的机械结构上。同时，光线照射到液面上后会再次反射，都会形成杂散光源干扰。

（3）外部噪声：瓶子在传送过程中，外部会有少许光线进入瓶身内部，在内部多次反射之后进入摄像头，也会带来噪声干扰。

### 3.2.1 图像去噪

而由于异物和背景之间的几何和亮度关系，可确定在图像上的频域分布基本分布在高频段内，而大多数干扰噪音分布在低频段，所以使用滤波器对图像进行预处理。

图像的边缘和其他尖锐的变化（如噪声）在图像的灰度级中主要出于傅里叶变换的高频部分。因此，平滑（模糊）可以通过衰减指定图像傅里叶变换中高频成分的范围来实现。

#### 3.2.1.1 平滑空间滤波器

平滑滤波器由于对图像进行模糊处理和减小图像的噪声。模糊处理将常用语预处理，比如在提取目标之前去除小的噪点。通过线性滤波器和非线性滤波器的模糊处理可以减小噪声。

平滑线性空间滤波器的输出是包含在滤波掩膜领域内像素的平均值，因此这种滤波器也被称作均值滤波器。均值滤波器的概念非常直观，用滤波掩膜确定的像素平均值去代替原有图像上的每一个像素点的值。由于典型的随机噪声由灰度级的尖锐变化组成，因此，此种平滑处理最大的作用就是降低图像噪声。对应的关系式为：

$$R = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N z_i$$

(Error! No text of specified style in document.-4)

在实际使用的过程中，由于需要检测的异物本身的尺寸也比较小，因此，如果掩膜面积过大，像素点过多，均值之后真实的异物特征有可能被剔除，因此，掩膜的大小需要进行测试，经过测试，发现十字星型的掩膜在进行处理的过程中效果较好，对应的掩膜结构如图 Error! No text of specified style in document.-46 所示：

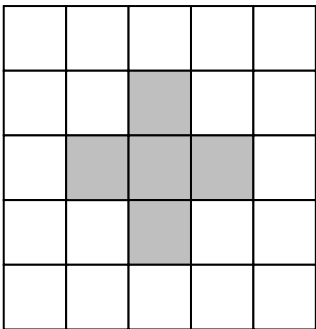


图 Error! No text of specified style in document.-46

如下图所示为背光光源 Error! No text of specified style in document.-48 和平滑后图 Error! No text of specified style in document.-47 的图像。



图 Error! No text of specified style in document.-48

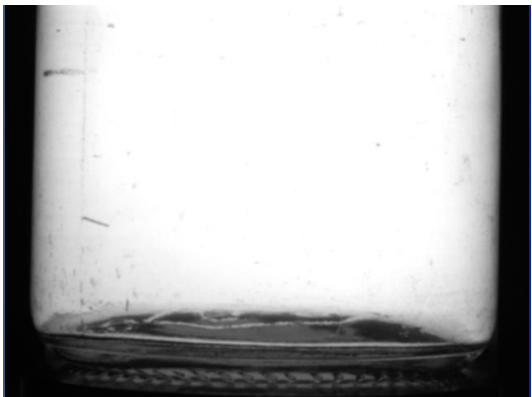


图 Error! No text of specified style in document.-47

通过对平滑之后的结果图像进行分析可以看出，平滑之后的图像噪音明显较少，特别是在瓶身两侧区域部分的孤立噪点个数明显下降。同时，相应的异物（图中左下方的黑色纤维）并没有被明显的滤除，特征仍然比较明显。

### 3.2.1.2 统计排序滤波器

统计排序滤波器是一种非线性滤波器，他的输出图像基于图像滤波器包围的图像区域中像素的排序，然后由统计排序结果决定的值代替中心像素的值。统计滤波器总最常见的例子就是中值滤波器。是将像素领域内灰度的中值代替该像素的值。中值滤波器的使用非常普遍，这是因为对于一定类型的随机噪声，提供了一种优秀的去噪能力，比小尺寸的线性平滑滤波器的模糊程度明显要低。

所谓的中值滤波器是用的最广泛的统计滤波器，但这并不是唯一的。所谓中值就是一系列像素值的 50% 的值，但同时可以对参数进行修改，可以去其他值，可以针对不同的应用环境得到较好的结果。

通过中值滤波的图像如图 **Error! No text of specified style in document.-49**、图 **Error! No text of specified style in document.-50** 所示：

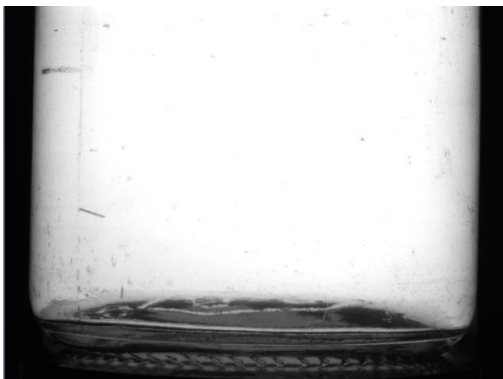


图 **Error! No text of specified style in document.-50**

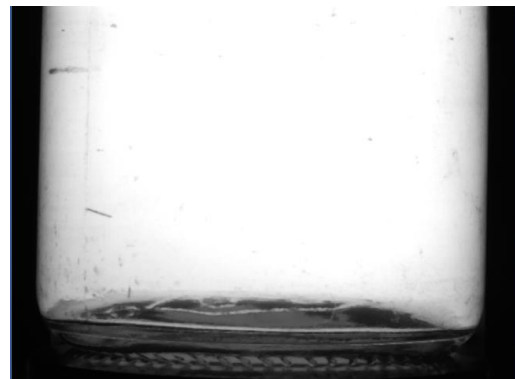


图 **Error! No text of specified style in document.-49**

将实际的滤波结果进行比较，发现两种滤波的结果各长处。其中的平滑滤波可以较为快速的进行滤波，消除噪声，而且异物的特征仍然得到较好的保留。但是除非增加掩膜的面积，否则仍旧有部分噪音不能被完全剔除。中值滤波却可以非常好解决噪音的问题，使得图像上的噪音个数极少。但是，中值滤波中优势会将非常微弱的异物特征信号同时剔除。由于使用的中值法的非线性

滤波，对于异物特征为 2-3 个像素大小的情况，有时候会被完全滤除。但是只要像素数变为 4-5 个，则滤波后异物的特征可以得到较好的保留。

因此，中值滤波适合异物尺寸稍微大一些的异物，可以得到良好的效果。平滑滤波适合于异物尺寸较小的情况，但还会保留一部分噪声信号，因此后续还需要进行若干步信号处理过程。

### 3.3 图像滤波

图像分析和还原的关键工具是傅里叶变换。傅里叶变换的作用是判定一个给定信号中每一种可能的频率的发生次数，最早用于进行声学 and 电磁信号的分析，后来，傅里叶变换的适用范围逐渐扩大为其他类型的数据和信号。

卷积操作可以直接运用在一幅图像中，方法是移动卷积矩阵，使其中的点依次位于图像中的每一个像素，然后将对应的元素相乘，最后累加乘积。对应的操作可以通过傅里叶变换进行加速。变换就是从一组坐标系变换到另一组坐标系，例如旋转变换。

傅里叶变换就是把空间坐标转换为，任何曲线或表面都可以表达为一定的数目的正弦函数和余弦函数的两个参数为振幅和频率。图像可以转换为频域这件事表明图像可能包含的高频信息和低频信息；事实确实如此。如果图像中某个部分的灰阶沿着某个方向缓慢变化，则在评语中就可以表示为一个低频的正弦或余弦函数。有些部分变化迅速，例如图像中的边缘，这些部分就带有高频分量。

#### 3.3.1 傅里叶变换与快速傅里叶变换

傅里叶变换是将图片上的信号分解为一组正弦分量和余弦分量，并将对应的分量进行分离。若将复数写为实部和虚部的形式，则典型的复数可以写为：

$$z = (x, jy) = x + jy$$

虚部的指数幂可以表示为正弦和余弦的和，对应结果如下：

$$e^{j\theta} = \cos \theta + j \sin \theta$$



之后可以采用极坐标的形式，在一维平面上，对应的连续函数 $f(x)$ 的傅里叶变换如下所示：

$$F(\omega) = \int_{t=0}^{\infty} f(t)e^{-j\omega t} dt \quad (\text{Error! No text of specified style in document.-7})$$

如果这个函数的采样为离散模型，则将上述的积分替换为对这个采样点求和即可，对应关系式如下：

$$F(\omega) = \sum_{k=0}^{N-1} f(k)e^{\frac{2\pi j\omega k}{N}} \quad (\text{Error! No text of specified style in document.-8})$$

上述变换称为离散傅里叶变换，对于像图像这样的采样数据来说，使用的就是离散傅里叶变换。如果函数 $f(k)$ 为采样的正弦曲线，那么傅里叶变换 $F(\omega)$ 应该产生一个表示曲线参数的点。

在进行傅里叶变换的过程中，如果使用上式所述的傅里叶变换方法，每一个像素点所进行的计算量将非常大。虽然计算机的速度很快，但是对于图像的 130 万或 500 万像素的处理量级来说，也需要消耗大量的时间。按照现有的 PC 机的速度，需要秒量级的时间才能处理完。因此，就需要使用快速傅里叶变换加快处理时间。

快速傅里叶变换（FFT），只是一种更快的计算傅里叶变换的方法，其本身并不是一种新的或不同的变换。加速计算所需的优化一部分为标准的编程技巧，另一部分为数学技巧。第一个优化是将指数计算转移到内循环之外。这是通过预先计算所有的  $N$  个乘积完成的：

$$F(\omega) = \sum_{k=0}^{n-1} f(k)e^{(-\frac{2\pi j}{n})(\omega k)} f(k) = \sum_{k=0}^{n-1} \text{pre}[\omega k \bmod(n)] f(k) \quad (\text{Error! No text of specified style in document.-9})$$

下一个步骤使用了数学方法：偶数项和奇数项分开计算。当  $n$  为偶数的时候，可以减小一半的乘法运算。偶数系数通过下式得到：

$$f(2a) = \sum_{k=0}^{n/2-1} e^{(-2\pi j/n)(ak)} \text{Sum}[k]$$

$$\text{Sum}[k] = \frac{f(k) + f(k + m)}{2}$$

(Error! No text of specified style in document.-10)

其中 a 的取值为 0 到  $\frac{n}{2} - 1$ ，类似的奇数项通过下式得到：

$$f(2a + 1) = \sum_{k=0}^{n/2-1} e^{(-2\pi j/n)(ak)} \text{Diff}[k]$$

$$\text{Sum}[k] = \frac{f(k) + f(k + m)}{2}$$

(Error! No text of specified style in document.-10)

Sum 数组和 Diff 数组可以事先计算出来。傅里叶变换的奇数部分和偶数部分可以独立计算，然后再合并进入一个公共矩阵 F。使用快速傅里叶变换之后，可以将运算速度提高 5-10 倍。OpenCV 提供了一组方便的函数用于计算图像和信号的傅里叶变换，方便在图像处理过程中调用。

### 3.3.2 二维傅里叶变换

由于图像是排列的二维数组或矩阵，所以需要将一维的傅里叶变换扩展到二维平面上。对应的关系如下所示：

$$F(u, v) = \frac{1}{\sqrt{nm}} \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{k=0}^{m-1} e^{(-2\pi j(ui+vk))/nm} f(i, k)$$

(Error! No text of specified style in document.-12)

对图像 f 进行傅里叶变换的方式为：首先计算每一行的傅里叶变换，得到中间过程图像 f'。然后再对 f' 图像的每一列进行变换，得到 F，即为原图像傅里叶变换之后的变换图像。同时，为了提高计算机进行运算的速度，可以使用 3.3.1 中讨论过的一维 FFT 的方法进行二维变换的计算。

### 3.3.3 平滑的频率域滤波器

而由于异物和背景之间的几何和亮度关系，可确定在图像上的频域分布基

本分布在高频段内，而大多数干扰噪音分布在低频段，所以使用滤波器对图像进行预处理。

图像的边缘和其他尖锐的变化（如噪声）在图像的灰度级中主要出于傅里叶变换的高频部分。因此，平滑（模糊）可以通过衰减指定图像傅里叶变换中高频成分的范围来实现。

基本的滤波模型为：

$$G(u, v) = H(u, v)F(u, v) \quad (\text{Error! No text of specified style in document. -15})$$

其中的 $F(u, v)$ 是被平滑的图像的傅里叶变换。目标是选择一个滤波器变换函数 $H(u, v)$ ，以通过衰减 $F(u, v)$ 的高频成分产生 $G(u, v)$ 。这里考虑三种滤波器：理想滤波器、巴特沃斯滤波器和高斯滤波器。这三种滤波器涵盖了从非常尖锐的噪声信号到非常平坦范围的滤波器函数。

### 3.3.3.1 理想低通滤波器

理想的最简单的低通滤波器是“截断”傅里叶变换中所有高频的成分，这些成分处在距变换原点的距离比指定距离 $D_0$ 要远的多的位置。这种滤波器称为二维理想低通滤波器，对应的变换函数为：

$$H(u, v) = \begin{cases} 1 & D(u, v) \leq D_0 \\ 0 & D(u, v) > D_0 \end{cases} \quad (\text{Error! No text of specified style in document. -15})$$

其中的 $D_0$ 是指定的非负数值， $D(u, v)$ 是 $(u, v)$ 点距离频率矩形原点的距离。理想滤波器的名称表明在半径为 $D_0$ 的圆内，所有频率没有衰减的通过滤波器，而在圆以外的区域的所有频率被完全衰减。

### 3.3.3.2 高斯低通滤波器

对于高斯低通滤波器，对应的二维表达式如下所示：

$$H(u, v) = e^{-D^2(u, v)/2\sigma^2} \quad (\text{Error! No text of specified style in document. -15})$$

其中， $D(u, v)$ 是距离傅里叶变换原点的距离， $\sigma$ 表示高斯曲线扩展的程度。

### 3.4 图像增强

经过了滤波之后，可以有效的显效图像上的噪声。但是由于所检测的部分异物本身的光学特征在滤波之后已经比较微弱，因此需要通过图像增强的算法提高异物的特征。

增强图像中的有用信息，它可以是一个失真的过程，其目的是要改善图像的视觉效果，针对给定图像的应用场合，有目的地强调图像的整体或局部特性，将原来不清晰的图像变得清晰或强调某些感兴趣的特征，扩大图像中不同物体特征之间的差别，抑制不感兴趣的特征，使之改善图像质量、丰富信息量，加强图像判读和识别效果，满足某些特殊分析的需要。

图像增强可分成两大类：频率域法和空间域法。前者把图像看成一种二维信号，对其进行基于二维傅里叶变换的信号增强。采用低通滤波（即只让低频信号通过）法，可去掉图中的噪声；采用高斯滤波法，则可增强边缘等高频信号，使模糊的图片变得清晰。具有代表性的空间域算法有局部求平均值法和中值滤波（取局部邻域中的中间像素值）法等，它们可用于去除或减弱噪声。图像增强的方法是通过一定手段对原图像附加一些信息或变换数据，有选择地突出图像中感兴趣的特征或者抑制(掩盖)图像中某些不需要的特征，使图像与视觉响应特性相匹配。在图像增强过程中，不分析图像质量的原因，处理后的图像不一定逼近原始图像。图像增强技术根据增强处理过程所在的空间不同，可分为基于空域的算法和基于频域的算法两大类。基于空域的算法处理时直接对图像灰度级做运算基于频域的算法是在图像的某种变换域内对图像的变换系数值进行某种修正，是一种间接增强的算法。

### 3.4.1 直方图处理

直方图是多种空间域处理技术的基础。直方图操作能有效的用于图像增强。

图像对比度增强的方法可以分成两类:一类是直接对比度增强方法;另一类是间接对比度增强方法。直方图拉伸和直方图均衡化是两种最常见的间接对比度增强方法。直方图拉伸是通过对比度拉伸对直方图进行调整,从而“扩大”前景和背景灰度的差别,以达到增强对比度的目的,这种方法可以利用线性或非线性的方法来实现;直方图均衡化则通过使用累积函数对灰度值进行“调整”以实现对比度的增强。

#### 3.4.1.1 直方图均值化

考虑一个连续函数并且让  $r$  代表待增强的图像的灰度级。在前面的讨论中,假设  $r$  被归一化到区间 $[0,1]$ ,且  $r=0$  表示黑色及  $r=1$  表示白色。然后,考虑一个离散公式并允许像素值在区间 $[0,L-1]$ 内。

对于任何满足上述条件的  $r$ ,我们将注意力集中在变换形式上:

$$s = T(r) \quad 0 \leq r \leq 1$$

在原始图像中,对于每一个像素值  $r$  产生灰度值  $s$ 。显然,可以假设变换函数  $T(r)$ 满足一下条件:

- (a)  $T(r)$ 在区间 $0 \leq r \leq 1$ 中为单值且单调递增
- (b) 当 $0 \leq r \leq 1$ 时,  $0 \leq T(r) \leq 1$

一幅图像的灰度级可被视为区间 $[0,1]$ 的随机变量。随机变量的一个最重要的基本描述是其概率密度函数。令 $P_r(r)$ 和 $P_s(s)$ 分别代表随机变量  $r$  和  $s$  的概率密度函数,此时的 $P_r$ 和 $P_s$ 代表不同的函数。通过基本的概率理论得到一个基本结果:如果 $P_r(r)$ 和 $P_s(s)$ 已知,且 $T^{-1}(s)$ 满足条件(a),那么变量  $s$  的概率密度函数 $P_s(s)$ 可以通过下面的简单的函数得到:

$$P_s(s) = P_r(r) \left| \frac{dr}{ds} \right|$$

因此,变换变量  $s$  的概率密度函数由输入图像的灰度级 PDF 和所选择的变量函数决定。

在进行图像处理的过程中较为重要的一个变换关系式如下所示：

$$s = T(r) = \int_0^r p_r(\omega) d\omega$$

其中的 $\omega$ 是积分变量，右边位随机变量  $r$  的累积分布函数。因为概率密度永远为正值，并且函数积分是一个函数曲线下的面积，所以它遵循该变换函数是单值单调增加的条件，因此，满足条件(a)。类似的，区间 $[0,1]$ 上变量的概率密度函数的积分也在区间 $[0,1]$ 上，因此，也满足条件(b)。

对应于上限的定积分的导数就是该上限的积分值，对应的关系式如下：

$$\frac{ds}{dr} = \frac{dT(r)}{dr} = \frac{d}{dr} \left[ \int_0^r p_r(\omega) d\omega \right] = p_r(r)$$

用这个结果可以用来代替 $\frac{dr}{ds}$ ，得到对应的关系式为：

$$P_s(s) = p_r(r) \left| \frac{dr}{ds} \right| = p_r(r) \left| \frac{1}{p_r(r)} \right| = 1$$

由于 $P_s(s)$ 是概率密度函数，在这里可以得出，区间 $[0,1]$ 以外它的值为0，这是因为它在所有  $s$  值上的积分等于 1。由于图像数据为离散的信号，对于离散值，处理的是对应概率密度的和，而不是概率密度函数与积分。一幅图像中的灰度级出现的概率近似为：

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

将对应的函数变换为离散形式对应的结果为：

$$S_k = T(r_k) = \sum_{j=0}^k p_r(r_j) = \sum_{j=0}^k \frac{n_j}{n} \quad k = 0, 1, 2, \dots, L - 1$$

上式给出的方程直方图均值化或者直方图线性化。覆盖整个灰度范围的灰度级的值有许多优点。除了产生有这样趋势的灰度级，刚才推导的方法还具有另一个优点，即它完全“自动化”。也就是说，已知一幅图像，直方图均值化处理

过程仅仅涉及执行上式，能直接从已知的图像中提取信息，不需要更多的参数说明。

如下图所示为图像均值化后的效果：



图 Error! No text of specified style in document.-51



图 Error! No text of specified style in document.-52

如上图所示，通过图像均值化处理可以提高开物仕其中的特征，使得后续的计算可以更加方便的将其中的运动异物进行分离。

#### 3.4.1.2 直方图匹配

如前所述，直方图均值化能自动的确定变换函数，该函数寻求产生有均匀直方图的输出图像。当需要自动增强时，可以很方便的进行调用。但是有时使用均匀的直方图并不能达到最好的效果，因此希望能指定处理图像的直方图的形状，此种方法乘坐直方图匹配或直方图规定化处理。

对于连续的灰度级  $r$  和  $z$ ，令  $P_r(r)$  和  $P_z(z)$  为它们对应的连续概率密度函数。这里的  $r$  和  $z$  分别代表输入和输出（已处理）图像的灰度级。从输入图像估计  $P_r(r)$ ，而  $P_z(z)$  为希望输出图像具有的规定概率密度函数。

令  $s$  为随机变量，则有：

$$s = T(r) = \int_0^r p_r(\omega) d\omega \quad (\text{Error! No text of specified style in document.-20})$$

其中的积分变量为  $\omega$ 。定义随机变量  $z$  有：

$$G(z) = \int_0^z p_z(t) dt = s \quad (\text{Error! No text of specified style in document.-21})$$

其中  $t$  为积分变量。有这两个等式可得到  $G(z)=T(r)$ ，因此， $z$  必须满足条件：

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

根据前述关系式，则有：

$$S_k = T(r_k) = \sum_{j=0}^k p_r(r_j) = \sum_{j=0}^k \frac{n_j}{n} \quad k = 0, 1, 2, \dots, L-1$$

$$V_k = T(z_k) = \sum_{i=0}^k p_z(z_i) = s_k \quad k = 0, 1, 2, \dots, L-1 \quad (\text{Error! No text of specified style in document.-22})$$

如连续的情况，可以寻找满足等式  $z$  的值。可将下式变换为离散形式：

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

$$z_k = G^{-1}[T(r_k)] = G^{-1} \quad k = 0, 1, 2, \dots, L-1$$

对于直方图均值化和直方图匹配之间的比较发现。直方图均值化的基础上，进行直方图匹配的改进是很有意义的。注意到，原始的直方图通过适度的改变在图像增强中得到有效的改进是很有必要的。

### 3.5 图像背景提取

对于运动目标的分割有多种方法，其中较为常用的即为通过背景和原始帧间的差分寻找运动目标，使用此种方式就需要在连续的多帧图像上建立背景图像。



所谓背景建模，就是根据输入的视频图像信息，通过建模的方式，共建一个参考背景图像。虽然针对于背景建模的研究提出了很多不同的算法，但大致的过程基本相同。其中包含了连续图像序列的获取，背景模型的建立，背景差分，运动目标的检测，差分有效性的判断等步骤。目前，共有三种较为实用的背景提取方法，分别为基于高斯的背景建模、基于中值的背景建模、基于核方法的背景建模。

### 3.5.1 基于高斯的背景建模

基于高斯的背景建模算法是一种被广泛应用的递归算法。很多早期的算法假设视频图像中的每个像素点满足单一高斯分布，然而，这种算法仅仅在静态场景中能够得到很好的检测效果。对于背景也是动态变化的情况，如晃动的树叶，漂浮的云朵等情况，单一高斯无法得到准确的检测结果。自适应高斯混合模型由于其解析表示和理论基础，而被选择来对动态场景进行建模。

高斯混合模型假设图像中每个像素点灰度序列都符合多峰分布模型，可以看成是由多个高斯分布的加权求和来表示，满足如下分布模型：

$$p(\mathbf{x}) = \sum_{q=1}^k w_q G(\mathbf{x}; \boldsymbol{\mu}_q, \boldsymbol{\Sigma}_q) \quad (\text{Error! No text of specified style in document.-23})$$

其中  $k$  为分布数量， $w_q$  为对应第  $q$  分量的权值， $G$  为关于均值和协方差阵的高斯函数。

Chris Stauffer 在监控系统的应用条件下，提出一种在线的基于递推性滤波 EM 近似估计算法，并被应用训练混合背景模型。这种方法被广为引用，几乎成了一种标准方法。这种算法自适应率依赖一个全局参数  $\alpha$ ， $\alpha$  的取值从 0 到 1。为了保持足够合理的模型学习和训练的时间，通常取一个很小的常值。因此存在一个权衡的问题。 $\alpha$  取值太小，建立的混合高斯模型收敛缓慢，算法很难检测和适应背景的突变，背景更新缓慢。相反，如果学习率取一个很大的值，学习的过快，缓慢移动的前景像素将会被吸收到背景模型中，同时模型对噪声会非常敏感，导致很高的误检率。

Friedman 和 Russell 在运动监督的应用中，用一种 EM 算法的变化形式训练算法，混合参数被充分统计量的增量进行更新计算，所建立的模型反应了一个长时间的积累分布，依靠指数遗忘计算来自适应分布的变化。在初始学习阶段利用期望充分统计量来更新方程，目的是提高收敛性。在采取足够多的样本后，

切换到递推滤波的方式来更新方程。然而这种方法在后期新的前景目标学习中会产生不利影响，会导致模型的发散。McKenna 为跟踪视频中的目标提供了训练混合模型一个推导，但是这种方法要求一个和存储能力成比例的窗口大小，使得它不适合应用在以像素为基础的建模和时间窗口很宽的算法中。自适应混合学习再赋值机制和由 Sato 和 Ishii 提出为了归一化高斯网络在线 EM 算法很相似。他们为增加、减少和分裂高斯提出一个动态分布机制，这个过程和高斯再赋值过程相似，自适应可以通过控制一个折扣因子完成。但是如何定义折扣因子来实现视频监控的要求，并没有很清楚的交代。另外，算法除了需要存储模型参数，还需要对充分统计量进行存储。在这种情况下视频数据模型是一个很大的开销。

### 3.5.2 基于中值的背景建模

基于中值的背景建模算法是一种非递归的算法。中值滤波背景建模算法利用视频序列先前帧的信息，建立一个统计背景模型。针对拥挤的地下平台检测系统，第一次提出中值背景更新技术。Cucchiara 指出这种算法提供了一个是适当的背景模型，能够对场景中的突变做出立即的反应。在帧率比较高和有限存储能力的应用中，这种算法能够提供一个可接受的准确结果。因此成为倍受欢迎的背景建模算法之一。

对于视频序列中的第  $k$  帧图像，中值  $I_{Med}(x, y, k)$  有如下公式获得：

$$I_{Med}(x, y, k) = Med(I(x, y, k-1), I(x, y, k-2), \dots, I(x, y, k-N))$$

其中， $I(x, y, k-1), I(x, y, k-2), \dots, I(x, y, k-N)$  代表在图像坐标  $(x, y)$  处的像素值。N 代表滤波窗口宽度。适当的选择中值滤波背景建模的窗口，在实时应用中会有更好的运动检测结果。Med 代表求取中值的操作。最简单的情况就是将窗口中的像素灰度值排序，选取处于中间位置的值作为参考背景图像的像素值。还有一种方法是利用直方图求取中值，统计一段时间内上各个像素点的亮度值，根据不同亮度值出现的次数构建直方图，直方图中最大值就是背景图像的亮度值。直方图法需要的大量的运算，在场景环境复杂，有大量运动目标通过，背景可能被长期覆盖的情况下，很难满足实时应用的要求。

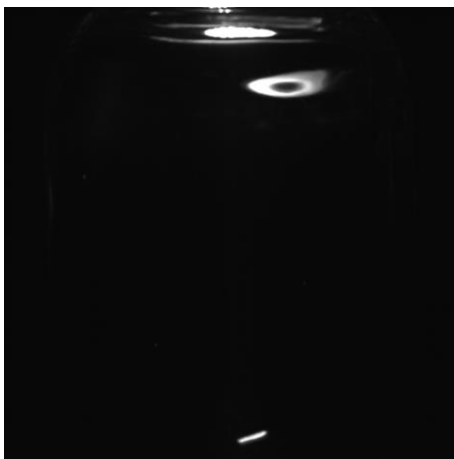


图 Error! No text of specified style in document.-54

图 Error! No text of specified style in document.-53

如上图所示为通过中值法，在 6 帧图像中提取的背景图像。从图像中可以看出，其中的最明显的异物和右下侧的异物都得到了明显的剔除。同时提取出的背景的灰度值并没有任何影响。说明使用中值法进行背景提取是比较有效的一种方法。

### 3.5.3 基于核方法的背景建模

基于核方法的背景建模是一种非参数估计的建模方法。算法过程简要描述为：假设  $x_1, x_2, \dots, x_N$  是一个像素点的  $N$  个采样值，那么，在  $t$  时刻观测到像素灰度值  $x_t$  的概率可用核函数的密度估计来计算：

$$P_r(x_t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{1}{(2\pi)^{\frac{d}{2}} |\sigma|^{\frac{1}{2}}} e^{-\frac{1}{2}(x_t - x_i)^T \sigma^{-1} (x_t - x_i)} \quad (\text{Error! No text of specified style in document.-25})$$

其中， $P_r$  概率密度函数， $N$  代表采样个数， $\sigma$  代表带宽。通过设定阈值，当  $P_r$  在阈值范围内时，当前像素点为背景。否则判断为运动目标。

Elgmmal 等提出这种鲁棒的、非参数的基于彩色空间的背景建模方法，是核方法的最重要的文献。核方法需要首先得到待估计量的一个训练样本，Elgmmal 等人直接将视频序列中像素的每一帧灰度或色彩值作为样本。然而，不可避免的，一些样本是属于前景目标的，这种做法势必将运动点作为背景点带入算法计算。研究人员提出很多方法将这些前景目标点从样本中剔除。

核方法的背景建模能够处理非静态的场景，以高敏感性检测运动目标。它通过直接利用过去的样本值估计亮度密度的方式来进行背景建模，模型的主要特征是描绘了一个和真实场景非常接近的参考状态，同时能够很好的适应场景

的快速变化。然而，非参数技术不能用于长时间的监督中。占据内存大，处理数据量增大。

### 3.6 运动目标分割

运动是人类和动物使用的一种将重要的对象从不想管的背景细节中提取出来的强有力的提示。在视觉检测领域，运动是通过感觉系统和视觉场景之间的相对位移而形成的，比如机器视觉中的机器人的应用、自主导航和动态视觉分析等等方面都是如此。

运动目标检测是指从序列图像中将变化区域从背景中分割出来。它的基本任务是从图像序列中检测出运动信息，简化图像处理过程，得到所需的运动矢量，从而能够识别与跟踪物体。它是数字图像处理技术的一个主要部分，由于运动目标的正确检测与分割影响着运动目标能否被正确识别和分类，因此成为视频监控系统研究中的一项重要课题。

在不同的实际应用背景下，摄像机和场景的相对运动情况的不同，需要进行检测的目标的运动情况也不尽相同。根据视频图像中摄影机和场景是否运动可将目标的运动划分为四种模式：

(1).摄像机静止-目标静止，这实际上就是静态图像，采用图像处理的技术对其进行分割、识别等分析。

(2).摄像机静止-目标运动，摄像机通常处于一个静止位置，而目标则在场景中运动，这是最常见的一种应用模式，一般用来进行运动目标检测、目标轨迹跟踪、目标分割等，主要用于城市交通监控、卫星自动定位和许多军事应用等场合。

(3).摄像机运动-目标静止，这主要用于卫星地图的自动生成、从多幅图像或序列中自动提取场景的三维信息和移动机器人智能导航等场合。

(4).摄像机运动-目标运动，实际应用中，经常会遇到不仅目标是运动的，摄像机也会发生运动或旋转的情况。例如，云台控制摄像头做水平或垂直方向往返运动、抖动视频序列的稳定、图像拼接等领域，这是运动目标的检测和跟踪最复杂的一种情况。本文着重针对第2种和第4种情况进行了探讨。

针对于输液瓶异物检测，由于异物会随着输液瓶内的液体的旋转而运动。

因此可以通过运动分割的相关算法找到其中的运动目标。同时，为了简化算法复杂度并加快计算速度，因此使用摄像机静止-目标静止的拍摄方式。使用间歇运动星轮在瓶身静止时再对其进行多次拍摄，得到连续多帧图像。因此，可使用对应的算法对运动目标进行分割。

### 3.6.1 光流法

光流是空间运动物体被观测面上的像素点运动产生的瞬时速度场，包含了物体的表面运动的结构。

光流是一种简单实用的图像运动的表达方式，通常定义为一个图像序列中的图像亮度模式的表观运动，即空间物体表面上的点的运动速度在视觉传感器的成像平面上的表达。这种定义认为光流只表示一种几何变化。光流的研究是利用图像序列中的像素强度数据的时域变化和相关性来确定各自像素位置的“运动”，即研究图像灰度在时间上的变化与景象中物体结构及其运动的关系。一般情况下，光流由相机运动、场景中目标运动或两者的共同运动产生的相对运动引起的。光流计算方法大致可分为三类：基于匹配的方法、频域的方法和梯度的方法。

(1) 基于匹配的光流计算方法包括基于特征和基于区域两种。基于特征的方法不断地对目标主要特征进行定位和跟踪，对大目标的运动和亮度变化具有鲁棒性。存在的问题是光流通常很稀疏，而且特征提取和精确匹配也十分困难。基于区域的方法先对类似的区域进行定位，然后通过相似区域的位移计算光流。这种方法在视频编码中得到了广泛的应用。然而，它计算的光流仍不稠密。

(2) 基于频域的方法，也称为基于能量的方法[3]，利用速度可调的滤波组输出频率或相位信息。虽然能获得高精度的初始光流估计，但往往涉及复杂的计算。另外，进行可靠性评价也十分困难。

(3) 基于梯度的方法利用图像序列亮度的时空微分计算 2D 速度场（光流）。由于计算简单和较好的效果，基于梯度的方法得到了广泛的研究。虽然很多基于梯度的光流估计方法取得了较好的光流估计，但由于在计算光流时涉及到可

调参数的人工选取、可靠性评价因子的选择困难，以及预处理对光流计算结果的影响，少量帧中噪声的存在以及图像采集过程中形成的频谱混叠都将严重影响基于梯度的方法的结果精度[3]。

光流法检测运动物体的基本原理是：给图像中的每一个像素点赋予一个速度矢量，这就形成了一个图像运动场，在运动的一个特定时刻，图像上的点与三维物体上的点一一对应，这种对应关系可由投影关系得到，根据各个像素点的速度矢量特征，可以对图像进行动态分析。如果图像中没有运动物体，则光流矢量在整个图像区域是连续变化的。当图像中有运动物体时，目标和图像背景存在相对运动，运动物体所形成的速度矢量必然和邻域背景速度矢量不同，从而检测出运动物体及位置。采用光流法进行运动物体检测的问题主要在于大多数光流法计算耗时，实时性和实用性都较差。但是光流法的优点在于光流不仅携带了运动物体的运动信息，而且还携带了有关景物三维结构的丰富信息，它能够在不知道场景的任何信息的情况下，检测出运动对象。

对于视频监控系统来说，所用的图像基本都是摄像机静止状态下摄取得，所以对有实时性和准确性要求的系统来说，纯粹使用光流法来检测目标不太实际。更多的是利用光流计算方法与其它方法相结合来实现对目标检测和运动估计。

然而，在实际应用中，由于遮挡性、多光源、透明性和噪声等原因，使得光流场基本方程的灰度守恒假设条件不能满足，不能求解出正确的光流场，同时大多数的光流计算方法相当复杂，计算量巨大，不能满足实时的要求，因此，一般不被对精度和实时性要求比较高的监控系统所采用。

### 3.6.2 相邻帧差法

相邻帧差法是在运动目标检测过程中使用较多的一种方法。基本原理就是讲前后两帧图像对应的像素值相减，在环境亮度变化不大的情况下，如果对应像素值之间的差距较小，可以认为此处的物体是静止的，如果图像区域某处的像素值变化很大，可以认为这是由于图中物体运动引起的，将相应的区域进行标记，就可确定运动目标之间的运动关系。由于目标的大小、背景亮度的区别、

对差分图像的分割方法也不尽相同，同时，目标有阴影干扰时也要进行相应的处理。

相邻帧差法对于动态环境具有较强的适应能力，鲁邦特性较好，能够适应各种动态环境，但是有时不能提取出所有的相关特征像素点，在运动物体的内部有时会出现空洞的现象。

此方法主要运用了运动物体在图像序列中会产生较明显的差值图像而将前景与背景区分。此方法相对简单，但是对于抖动噪声等环境下的检测效果不佳。设差分的序列图像为 $D_k(x,y)$ ，第 $k+1$ 与第 $k$ 帧图像像素在 $(x,y)$ 分别为 $I_{k+1}(x,y)$ 与 $I_k(x,y)$ ，二值化之后的结果为 $T(x,y)$ ，则相应的差分方法的运算关系式为：

$$D_k(x,y) = |I_{k+1}(x,y) - I_k(x,y)|$$

$$T_k(x,y) = \begin{cases} 1 & D_k(x,y) \geq T \\ 0 & D_k(x,y) < T \end{cases} \quad (\text{Error! No text of specified style in document.-26})$$

相对帧差法需要背景绝对静止或基本无变化，噪声较小，目标运动速度不为零，目标区域内亮度变化较为明显。这就要求对于动态背景下的目标跟踪，必须采用其他的改进方法，如双差分法、区域差分方法等。双差分方法在差分图像的基础上再进行一次像素相乘处理，利用噪声在时间域难以重复的特点，相乘处理就是滤除了噪声产生的孤立噪点。双差分方法的运算关系式如下所示：

$$D_{k-1}(x,y) = |I_k(x,y) - I_{k-1}(x,y)|$$

$$D_k(x,y) = |I_{k+1}(x,y) - I_k(x,y)|$$

$$T_k(x,y) = \begin{cases} 1 & D_k(x,y) \geq T \cap D_{k-1}(x,y) \geq T \\ 0 & D_k(x,y) < T \end{cases} \quad (\text{Error! No text of specified style in document.-27})$$

区域差方法不是针对于某一个像素点的差分处理，而是在某一模板上做差分，利用空间信息消除噪声的影响。其对应的运算关系为：

$$S_k(x,y) = \sum_{(x,y) \in A} I_k(x,y)$$

$$D_{k-1}(x,y) = |S_k(x,y) - S_{k-1}(x,y)|$$

其中， $S_k(x,y)$ 为模板区域内的视频图像像素灰度值之和， $A$  为模板区间，一般选取 3\*3 的田字模板或者十字模板。

针对于帧间差分方法，如下图所示为其中对应的检测结果：

如图 Error! No text of specified style in document.-55、图 Error! No text of specified style in document.-56 所示为使用相邻帧差法进行背景提取的结果：

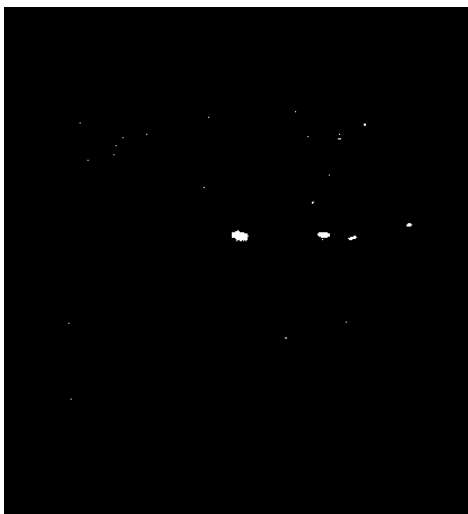


图 Error! No text of specified style in document.-55



图 Error! No text of specified style in document.-56

对应于上图中面积较大的白斑就是运动目标在相邻帧间的投影。但是由于噪声的原因，阈值化之后会产生较多的孤立点噪声，需要继续进行处理来消除其中的由于噪声所产生的孤立点。

### 3.6.3 背景差分法

背景差分法是常用的目标检测方法之一。他的基本思想是将输入的图像与背景模型进行比较，通过判断灰度等特征的变化，或用直方图等统计信息的变化来判断异常情况的发生和分割运动目标。简单常用的方式为：直接抽取饰品系列中的某一幅图像，或计算多幅图喜爱那个的平均值作为背景。



背景提取一般能够提供最完整的特征数据，但是对于动态场景的变化，如对于光照等干扰条件特别敏感。最简单的背景模型是时间平均图像，大多数研究人员目前都致力于开发不同的背景模型，以期减小动态场景变化对于运动分割的影响。

背景差分法的实现较为简单，并且能够完整的分割出运动目标，对于背景已知的运行情况，背景差分法是一种比较有效的运动对象检测方法。

在背景差分方法中预先保留着背景图像，利用当前帧与背景帧的差值图像对运动目标进行检测。若设视频序列中第  $k$  帧像素  $(x,y)$  处的灰度值为  $I_k(x,y)$ ，此处的背景灰度值为  $B_k(x,y)$ ，则背景差分图像  $D_k(x,y)$  和二值化之后的结果  $T_k(x,y)$  分别为：

$$D_k(x,y) = |I_k(x,y) - B_k(x,y)|$$

$$T_k(x,y) = \begin{cases} 1 & D_k(x,y) \geq T \\ 0 & D_k(x,y) < T \end{cases}$$

(Error! No text of specified style in document.-28)

与相邻帧差法不同的是，背景差分方法可以检测视频中停止运动的物体，运动目标的停止对于跟踪运动目标没有很大的影响。其缺点是背景的更新导致算法的复杂性增加，实时性变差。

如图 Error! No text of specified style in document.-57、图 Error! No text of specified style in document.-58 所示为使用提取后的背景进行背景差分阈值化之后的结果：



图 Error! No text of specified style in document.-57



图 Error! No text of specified style in document.-58

上图所示为使用提取后的背景进行背景差分阈值化之后的结果。从图像可以看出通过与背景之间的差分阈值化结果中，相较于相邻帧间，背景差分可以将每一帧中的运动目标进行分割。此时可以分割出每一帧中异物的运动轨迹。方便进行轨迹跟踪。同时，通过背景差分的方式得到的图像孤立的噪声点相对较少。但是还是不能完全消除，还是需要对孤立的噪声点进行处理。

### 3.6.4 边缘检测方法

图像的边缘为图像中灰度值发生急剧变化的区域，边界分为阶跃状和屋顶状两种类型。图像的边缘一般对应的一阶导数较大，二阶导数为零的点。常用到的边缘检测算法有 Robert 算子，Sobel 算子，Laplacian 算子等，其运算公式分别为：

（1）Robert 算子：

$$\begin{aligned}d_x &= I(x, y) - I(x + 1, y + 1) \\d_y &= I(x, y + 1) - I(x + 1, y) \\R(x, y) &= \sqrt{d_x^2(x, y) + d_y^2(x, y)}\end{aligned}$$

（2）Sobel 算子：

$$\begin{aligned}d_x &= I(x - 1, y + 1) + 2I(x, y + 1) + I(x + 1, y + 1) - I(x - 1, y - 1) \\&\quad - 2I(x, y - 1) - I(x + 1, y - 1) \\d_y &= I(x - 1, y - 1) + 2I(x - 1, y) + I(x - 1, y + 1) - I(x + 1, y - 1) \\&\quad - 2I(x + 1, y) - I(x + 1, y + 1) \\R(x, y) &= \sqrt{d_x^2(x, y) + d_y^2(x, y)}\end{aligned}$$

（3）Laplace 算子：

$$R(x, y) = I(x + 1, y) + I(x - 1, y) + I(x, y + 1) + I(x, y - 1) - 4I(x, y)$$

与帧差法、背景提取法相比较，边缘检测方法有利于邻近运动目标的区分和运动目标特征的提取，对背景噪声的鲁棒性很大，但其运算复杂度也相对较大。运动图像边缘的检测可以通过时间和空间上的差分来获得，空间上的差分

可以获得，空间上的差分来获得。空间上的差分可以使用已有的各种边缘检测算法，时间上的差分可以通过计算连续帧的差来获得，也可以通过计算当前图像与背景图像的差分图像然后求其边缘来计算。

### 3.6.5 小结

通过上述的对于实际图像的测试结果可以得出结论，其中的使用相邻阵间差分方法和背景差分法进行的图像运动分割，可以得到较好的效果。

同时，通过比较帧间差分和背景差分两种方式可以发现，其中的帧间差分的检测方法中，其中的帧间差分方法可以看出，在相同的阈值化参数的条件下，相应的噪声较多。在使用背景提取的过程中，出现的噪声点较小。但是，相应的背景提取过程方法较多，使用高斯背景建模方法和均值背景方法得到的背景相对比较稳定。但是，通过高斯方法得到的背景所需的时间较长，由于为实时检测，因此需要考虑到背景建立的时间。

## 3.7 形态学图像处理

形态学一词通常指生物学的一个分支，它用于处理动物和植物的形状和结构。在数学形态学的语境中也使用该词来作为提取图像分量的一种工具，这些分量在表示和描述区域形状（如边界，骨骼和凸壳）时是很有用的。此外，

我们还很关注用于预处理和后处理的形态学技术，如形态学滤波、细化和裁剪。

数学形态学的基本运算有 4 个：腐蚀、膨胀、开启和闭合。数学形态学方法利用一个称作结构元素的探针收集图像的信息，当探针在图像中不断移动时，便可考察图像各个部分之间的相互关系，从而了解图像的结构特征。在连续空间中，灰度图像的腐蚀、膨胀、开启和闭合运算。

对于从运动目标分割之后的图像进行图像形态学处理的过程中，主要使用的是腐蚀和膨胀两种运算。

### 3.7.1 图像腐蚀

腐蚀运算是基本的图像形态学运算。

对  $Z$  中的集合  $A$  和  $B$ ，使用  $B$  对  $A$  进行腐蚀，用  $A \ominus B$  表示，并定义为：

$$A \ominus B = \{z | (B)_z \subseteq A\}$$

这个公式说明，使用  $B$  对  $A$  进行腐蚀是所有  $B$  中包含  $A$  中的点  $z$  的集合用  $z$  平移。同膨胀的情况一样，上式并不是腐蚀的唯一形式。膨胀和腐蚀相对于集合求补运算和反射运算是彼此对偶的。即：

$$(A \ominus B)^c = A^c \oplus \hat{B}$$

为了说明形态学表达式有效性的典型方法，下面对这个结果进行正规的证明。从腐蚀的定义开始，有：

$$(A \ominus B)^c = \{z | (B)_z \subseteq A\}^c$$

如果集合  $(B)_z$  包含于集合  $A$ ，则  $(B)_z \cap A^c = \emptyset$ ，此时前述的公式可以变为：

$$(A \ominus B)^c = \{z | (B)_z \cap A^c = \emptyset\}^c$$

但是，满足  $(B)_z \cap A^c = \emptyset$  的  $z$  的集合的补集是满足  $(B)_z \cap A^c = \emptyset$  的集合。因此：

$$(A \ominus B)^c = \{z | (B)_z \cap A^c = \emptyset\}^c = A^c \oplus \hat{B}$$

图像腐蚀过程的作用可以消除图像中的不相关细节，同样也可以用来对小的噪声信号进行处理。将小的噪声信号可以通过腐蚀的方法从阈值化之后的背景中去除。

在进行腐蚀运算的过程中，也会将本身运动目标的差分结果也会腐蚀，最终的结果是运动目标的特征减小。但此时由于本身噪声的孤立点面积较小，

通过一次腐蚀基本已经完全消失，所以此时可以再次使用形态学的膨胀算法，将原有的面积缩小的运动目标进行膨胀，最终去除其中的噪声信号。对应的腐蚀和膨胀参数较为重要，特别是其中的腐蚀参数，既要保证其中的噪音信号基本消失，又要避免消除其中的运动目标信号。工程实际调节参数的过程中需要不断的进行试验。

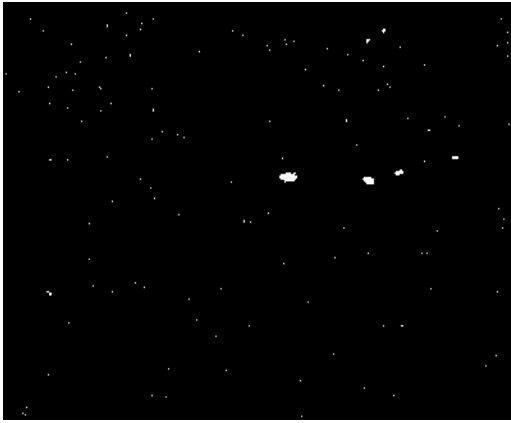


图 Error! No text of specified style in document.-59

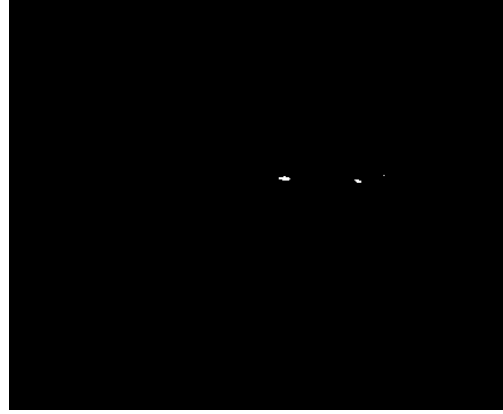


图 Error! No text of specified style in document.-60

如上图所示为腐蚀运算之前和之后的图像。通过图像可以看出其中的孤立的噪声点被比较明显的进行了剔除。留下的只有相应的异物。同时，在进行腐蚀操作的时候，需要调节  $z$  的区域。如果区域过大，则有可能使得分割之后的异物特征也被去掉。因此对于  $z$  区域的选取需要不断调试。

### 3.7.2 图像膨胀

膨胀运算是基本的图像形态学运算。

设  $A$  和  $B$  是  $Z^2$  中的集合， $A$  被  $B$  的膨胀定义如下：

$$A \oplus B = \{z | (\hat{B})_z \cap A \neq \emptyset\}$$

上述公式是以得到的  $B$  的相对于它自身原点的映射并且由  $z$  对映像进行位

移为基础的。A 被 B 膨胀是所有位移 z 的集合，这样  $\hat{B}$  和 A 至少有一个元素是重叠的。所以对样的上式可以写为：

$$A \oplus B = \{z | [(\hat{B})_z \cap A] \subseteq A\}$$

膨胀运算可以将断裂的桥连接起来，可以连接一些间断的结构。

针对于运动分割之后的图像，主要的作用有两部分。第一部分可以用来去除剩余的没有完全去掉的噪声信号。同时可以将检测到的单个异物连通起来，增加异物的特征。

对应的膨胀操作后的结果如下图所示：

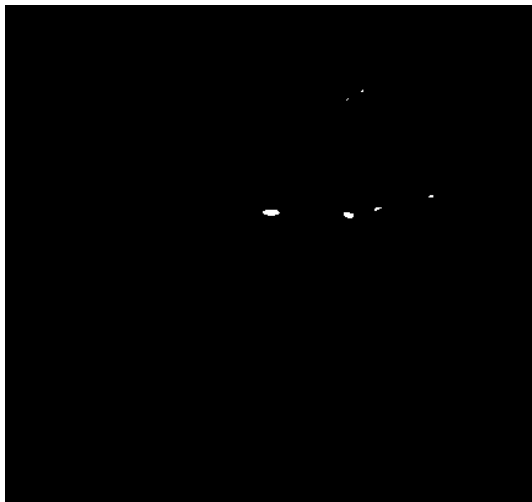


图 Error! No text of specified style in document.-62



图 Error! No text of specified style in document.-61

如上图所示，膨胀后可以突出异物的特征。将异物的面积进行一定程度的放大，并且可以将同一个异物有可能出现的缝隙进行连接。但是此操作同样会将噪声进行同等程度的放大，因此需要在去除噪声之后进行。

## 3.8 运动目标判断与分类

### 3.8.1 Blob 分析

团块分析分析称为 **Blob Analysis**，是对图像中相同像素的连通域进行分析，该连通域称为 **Blob**。团块分析可为计算机视觉应用提供图像中的团块数量、位置、形状和方向等各种几何参数，还可以提供相关斑点间的拓扑结构。**Blob** 分析主要适用于以下图像：二维目标图像、高对比度图像或二值图像、存在\缺席检测、数量范围和旋转不变性需求。

**Blob** 分析主要适用于以下图像：

- (1) 二维目标图像；
- (2) 高对比度图像；
- (3) 存在 / 缺席检测；
- (4) 数量范围和旋转不变性需求。

图像分割，因为 **Blob** 分析是一种对闭合目标形状进行分析处理的基本方法。在进行 **Blob** 分析以前，必须把图像分割为构成斑点和局部背景的像素集合。**Blob** 分析一般从场景的灰度图像着手进行分析。在 **Blob** 分析以前，图像中的每一像素必须被指定为目标像素或背景像素。典型的目标像素被赋值为 1，背景像素被 赋值为 0。有多种技术可将图像分割为目标像素和背景像素。这些技术包括：二元阈值、空间量化误差、软件二元阈值和像素加权、相关阈值、阈值图像。

连通性分析当图像被分割为目标像素和背景像素后，必须进行连通性分析，以便将目标图像聚合为目标像素或斑点的连接体。连通性分析的三种类型如下：全图像连通性分析，在全图像连通性分析中，被分割图像的所有的目标像素均被视为构成单一斑点的像素。

即使斑点像素彼此并不相连，为了进行 **Blob** 分析，它们仍被视为单一的斑点。所有的 **Blob** 统计和测量均通过图像中的目标像素进行计算；

连接 Blob 分析，连接 Blob 分析通过连通性标准，将图像中目标像素聚合为离散的斑点连接体。一般情况下，连接性分析通过连接所有邻近的目标像素构成斑点。不邻近的目标像素则不被视为是斑点的一部分；标注连通性分析，在机器视觉应用中，

由于所进行的图像处理过程不同，可能需对某些已被分割的图像进行 Blob 分析，而这些图像并未被分割为目标像素和背景像素。例如：图像可能被分为四个不同 像素集合，每一集合代表不同的像素值范围。这类分割称为标注连通性分析。当对标注分割的图像进行连通性分析时，将连接所有具有同一标注的图像。标注连通分析不再有目标和背景的概念。

Blob 工具是用来从背景中分离出目标，并测量任意形状目标物的形态参数。这个处理过程，Blob 并不是分析单个的像素，而是对图形的行进行操作。图像的每一行都用游程长度编码来表示相邻的目标范围。这种方法与基于像素的算法相比，处理速度能够加快。为了适应各种不同的需求，Blob 提供了很多过滤和分类模式来定义测量参数，而且有较好的操作性能。

团块分析后需进一步计算团块的基本参数，包括包围矩形，面积及重心（一阶矩）等，并根据计算结果滤除不满足要求的团块。下面给出一些基本参数的计算。

#### (1) 包围矩形

设某团块对应点集为  $\{x_i, y_i\}$ ， $i=1 \cdots N$ ， $N$  为点数；对应包围矩形的左上与右下定点坐标分别为  $(x_t, y_t)$  和  $(x_b, y_b)$ ，则有：

$$\begin{aligned} x_t &= \min_i \{x_i\}, & y_t &= \min_i \{y_i\} \\ x_b &= \max_i \{x_i\}, & y_b &= \max_i \{y_i\} \end{aligned}$$

(Error! No text  
of specified  
style in  
document.-33)

#### (2) 面积

$$S = \# \{I(x_i, y_i) \geq T\}$$

其中  $T$  为选定的阈值。通过  $T$  的选择可去除图像中灰度过弱的部分。

#### (3) 重心与形心

设团块中心坐标为  $(x_c, y_c)$ ，则有：



$$x_c = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}, y_c = \frac{\sum_{i=1}^N y_i}{N}$$

当使用包围矩形描述团块时，形心定义为矩形中心：

$$x_{c1} = \frac{x_t + x_b}{2}, y_{c1} = \frac{y_t + y_b}{2}$$

(Error! No text of specified style in document.-34)

如图 Error! No text of specified style in document.-63、图 Error! No text of specified style in document.-64 所示为 blob 分析之后的标记图像：



图 Error! No text of specified style in document.-63

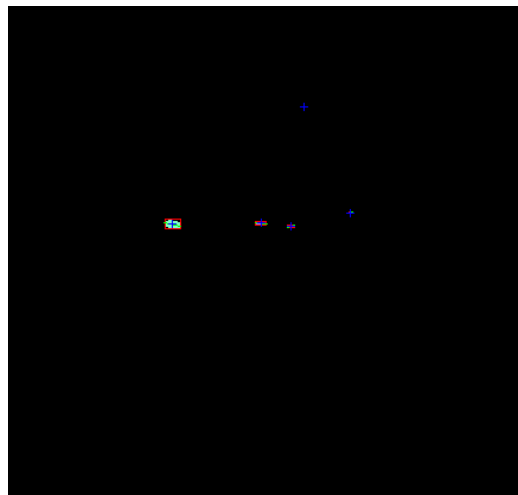


图 Error! No text of specified style in document.-64

如上图所示为进行 blob 分析之后的标记图像。图中显示了进行连通性分析的结果，将所有的连通像素进行了团块标记，并标记了中心位置，填充了团块面积和团块轮廓等信息。并通过相应的信息分析异物的大小和尺寸是否满足要求。对应的输液瓶是否合格。

### 3.8.2 运动目标轨迹跟踪

运动目标的识别主要通过轨迹跟踪，并确定对应的运动目标是不是气泡。

且由于异物检测过程中，异物在液体内的运动过程复杂多变，在对应的连续多帧图像中的几何形态和特征除了面积大小以外没有非常明显的特征。同时，由于需要检测的运动目标尺寸从厘米级到 50 微米级的尺寸都有，且主要集中在 100 微米级的尺寸。即使通过高分辨率的工业相机进行拍摄，最终的运动目标的图像也不是很清晰。这就为通过图像特征匹配进行运动轨迹跟踪增加了难度。

但是，由于运动目标都是在水中运动，因此有很强的轨迹可预测特性。此处，使用了一个比较经典的方法对多帧图像上的运动轨迹进行链接。

假设每帧拍摄的图像上有  $n$  个目标，因此，可以首先分析 1、2 帧图像上的异物的目标关系，如图 Error! No text of specified style in document.-65、图 Error! No text of specified style in document.-67 所示：

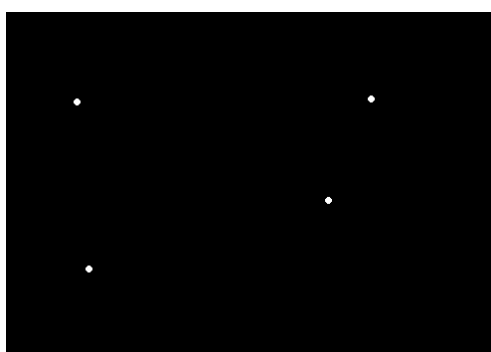


图 Error! No text of specified style in document.-65

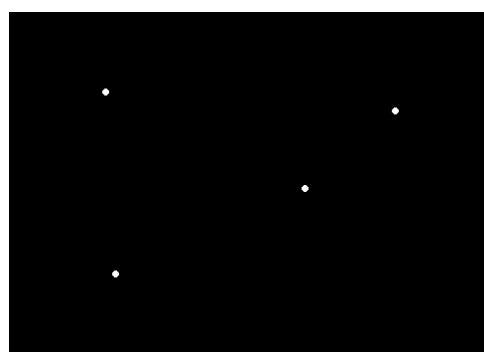


图 Error! No text of specified style in document.-66

设其中两帧上的团块的位置分别为  $P_k(x, y)$  和  $Q_k(x, y)$ ， $k$  为两帧图像上的团块的编号，编号之间没有对应关系，一般可认为编号是相互独立且随机的。则可得到两个像素点之间的距离：

$$S_{ij} = |P_i(x, y) - Q_j(x, y)| \quad (\text{Error! No text of specified style in document.-35})$$

此时，可将对应两帧的像素点进行一一匹配，并得到连线之间的总距离  $T$ ，如下图所示，标记了对应于四个像素点的过程中点的匹配过程中的所有组合。此时，从所有的  $T$  中找出其中的最小值，即为两帧图像上像素点之间的匹配关系。此种算法基于点的运动的距离和最小原则，适用于连续运动物体的轨迹跟

踪过程。且其中不涉及针对于目标本身的图像特征匹配，对于弱小目标的轨迹跟踪也可实现。

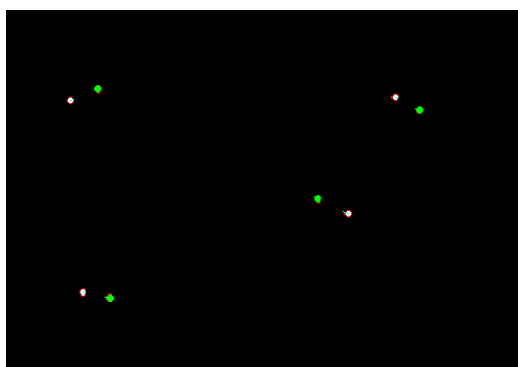


图 Error! No text of specified style in document.-67 两帧图像叠加

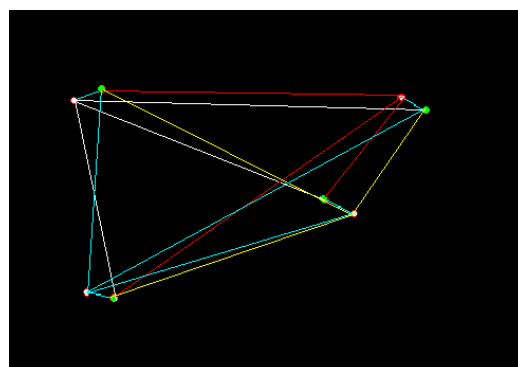


图 Error! No text of specified style in document.-68 轨迹组合匹配

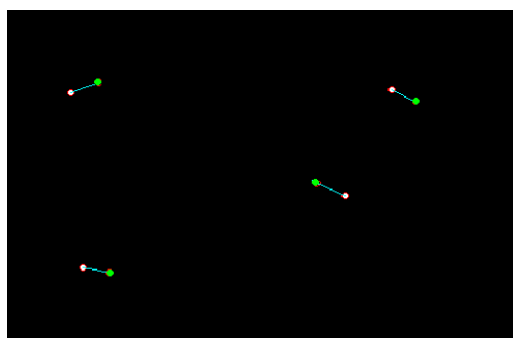


图 Error! No text of specified style in document.-69 两帧匹配结果

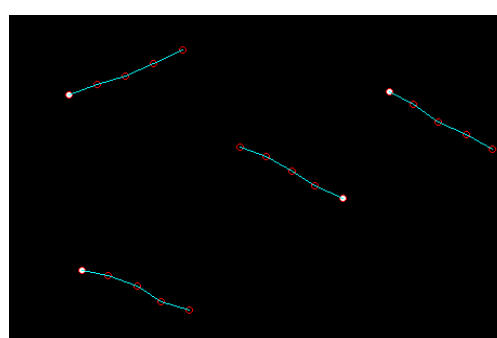


图 Error! No text of specified style in document.-70 多帧匹配结果

如上图所示为单帧匹配结果和5帧连续帧的匹配结果，从结果中可以看出匹配过程达到了预期的效果，可以比较理想的寻找到相应的目标运动关系。

使用此种算法进行目标匹配，可以最为方便，并且匹配的准确性较高。但是，算法对每一帧图像上的图块个数比较敏感，需要两帧图像之间的图块个数相同，若个数存在差异，则会出现匹配效果不理想或者匹配错误等问题。

在实际使用的过程中，发现针对于微小的气泡，在整个拍摄的过程中，气泡并不会出现明显的上浮移动的现象。大部分情况下，微小的气泡会随着内部旋转的液体一起进行运动，运动轨迹有可能上浮也有可能下沉。而且在进行

图像处理的过程中，微小气泡由于本身的直径较小，相对于异物本身的特征较小，通过图像预处理和形态学滤波已经去除了绝大部分微小气泡的干扰，剩下的都是较大的气泡干扰。较大的气泡，运动轨迹有明显的上升趋势，并且速度较快，因此可以通过轨迹判断的方式将对应的气泡干扰进行排除：

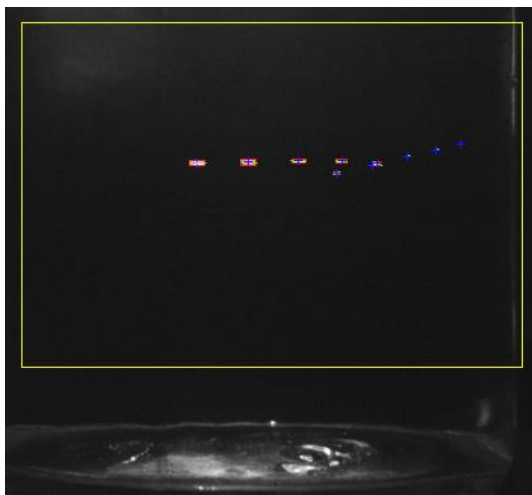


图 Error! No text of specified style in document.-71

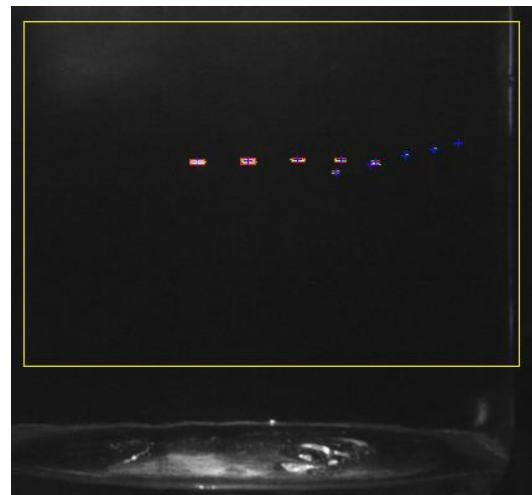


图 Error! No text of specified style in document.-72

应

的轨迹关系，可以根据运动轨迹的上浮速度，判断是否为异物或者气泡干扰。

### 3.9 输液瓶液位检测

在实际的检测过程中，由于检测过程检测范围是液面以下的区域，但是由

于在灌装过程中，每一瓶的液位高度都有可能发生变化。因此在检测前需要对瓶内液体的高度进行检测，并将检测区域划分到液面以下。为了提高检测速度，可以直接在背光源检测工位软件加入液位检测算法，直接使用摄像头采集到的第一帧图像进行处理即可。如下为处理过程：

通过对给光照明的图像进行分析可知，在液面处，由于光的散射和折射，光线强度减小，因此成像的灰度减小，因此可使用阈值化操作对液面进行特征提取，如图 **Error! No text of specified style in document.-73** 为原始图像。阈值化后的图像如图 **Error! No text of specified style in document.-74** 可清晰的看出其中对应的液面。

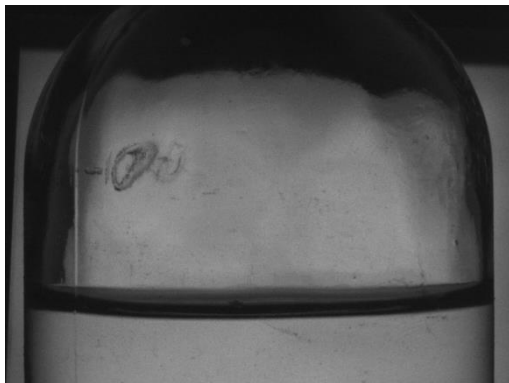


图 **Error! No text of specified style in document.-73** 原始图像

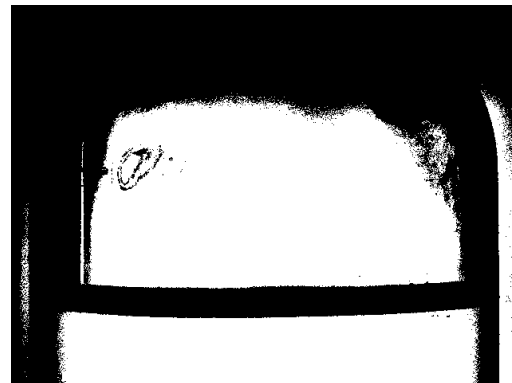


图 **Error! No text of specified style in document.-74** 阈值化图像

检测效果。因此需要将对应的数字消除。由于数字中有白色区域，同时相对于液面较为分散。因此可以使用图像形态学膨胀处理对文字进行消除。如图 **Error! No text of specified style in document.-75** 为原始图像，图 **Error! No text of specified style in document.-76** 为形态学处理后的图像。通过图像可以看出其中的文字和其他的干扰被完全消除。

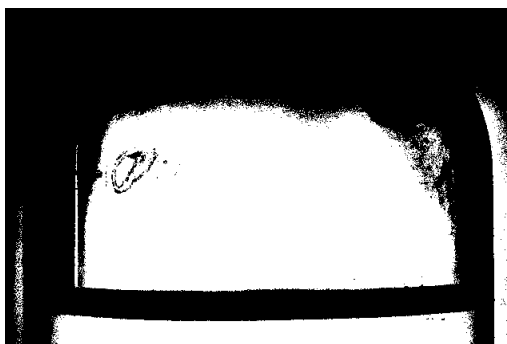


图 Error! No text of specified style in document.-76 形态学处理

之后，由于液面中央区域的液面高度较低，因此通过团块算法最终找到对应中央区域的液位团块，通过团块在图像中的高度判断液位。并设定合适的检测区域对异物进行检测。如图 Error! No text of specified style in document.-78 为最终的液位检测结果。

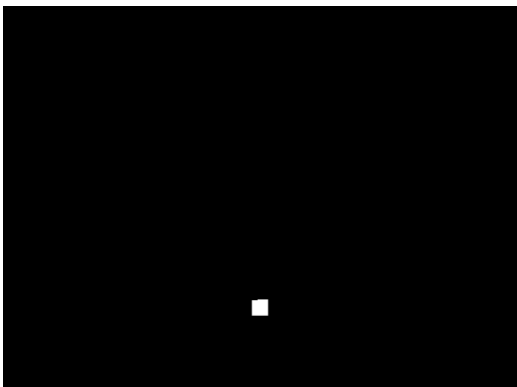


图 Error! No text of specified style in document.-77 中央区域提取

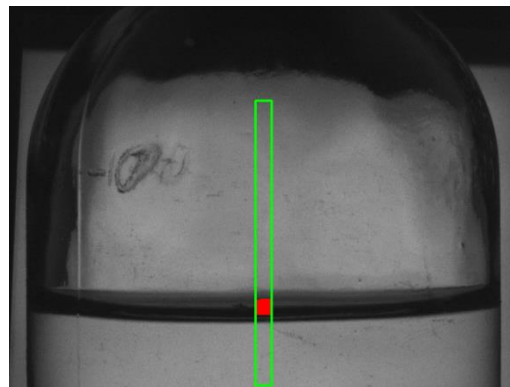


图 Error! No text of specified style in document.-78 检测结果

## 第4章 实验结果与分析

### 4.1 引言

前述的算法都是在理论的基础上对算法的有效性进行检验，而在实际应用中算法是否有效，需要在实际检测条件下进行检测率的测试。所以，在系统软件开发的过程中，也进行了相关硬件设备的制造，最终可以对算法的实际使用效果进行测试。

### 4.2 实验方案

#### 4.2.1 实验变量

对检测的准确度进行实验测试的过程中，由于影响实际检测结果的因素非常多其中对检测结果有较明显影响的相机参数有如下参数：

- （1）相机的光圈参数
- （2）相机的曝光时间参数
- （3）光源的光线强度
- （4）相机的增益
- （5）镜头的焦平面位置
- （6）光照角度
- （7）差分阈值化参数
- （8）形态学处理参数
- （9）blob 分析处理参数

直接影响到检测准确性的异物特征参数有如下参数：

- （1）异物的颜色、反光特性与透光特性
- （2）异物的大小
- （3）异物的密度

#### 4.2.2 试验设计

在实际进行测试的过程中，由于对应的检测参数过多，因此，首先调整相机参数，然后小规模地测试若干输液瓶，根据输液瓶的检测结果，初步得到检测系统的内部参数。

之后，使用控制变量的方法控制异物的不同参数。

（1）控制异物的光学特征和密度，将光学特征和异物密度相同的大小不同的白色异物放入输液瓶中。测试不同大小的异物能否被检测出来，分析测量结果，调节相应的参数多次进行测试。异物的大小的范围从 3mm 的头发丝到 50 微米的细小纤维之间，较大的异物通过手工的方式直接放入即可，较小的异物样品由于很难进行手工放置，同时为了避免在放入的过程中引入其他的不确定异物，干扰检测数据的测量。因此，相应的检测输液瓶样品直接在药厂提取后进行检测，分析检测数据并调节相应的参数。

（2）控制异物的密度和大小，改变异物的光学特性。使用不同颜色的异物进行检测。使用从反光特性较强的白色异物到吸光特性最强的给色异物进行测试，同时还需要测试玻璃碎屑等透光物体的检测效果。

测试过程中白色的异物使用相应的白色纤维如棉花、塑料薄膜等材质即可，因为白色衣物的进入主要是由于在生产的过程中人员穿戴的工作服和口罩等会存在一定程度的脱落，进入的异物一般为纺织纤维。同时，在进行灌装的过程中，灌装装置前的过滤装置为纤维滤网或者半透膜渗透过滤，整个过程中也有可能存在脱落的情况。因此选用此种材质作为检测对象。

相应的黑色异物可以直接使用橡胶塞材质的黑色碎屑。一方面是由于使用橡胶塞材质的黑色碎屑的吸光特性本身就非常强烈，另一方面，在实际的输液瓶生产线上，绝大部分的黑色异物的进入本身就是由于在灌装压塞的过程中黑色的橡胶塞碎屑脱落而产生的。所以主要选择黑色橡胶作为检测对象。

相应的透光物体，主要是玻璃碎屑。直接使用打碎的输液瓶的玻璃渣进行测试即可。透明的异物最主要的来源就是在输液瓶生产的过程中，刚刚进行吹塑出来的输液瓶会有小部分存在内应力，在进行冲洗和罐装的过程中由于振



动和温度变化会有少许的玻璃碎屑脱落形成异物。因此主要使用相同材质的玻璃碎屑即可。

（3）控制异物的光学特性和大小，改变异物的密度。不同的密度主要体现在检测区域的不同和检测参数的不同变化。密度较大的异物比如玻璃碎屑基本上都会沉在瓶底，随着液体缓慢运动。密度中等的异物和水的密度相差不大，一般会随着水流在瓶身的中间区域来回旋转。密度小的物体，有时为漂浮的异物，会在浮力的作用下缓慢向上运动，同时随着水流旋转。

密度大的物体一般为橡胶和玻璃。虽然玻璃是透光的，但是由于玻璃和折射系数和水不完全相同，因此在底光源的照射下在某些棱角处会产生比较强烈的折射和全反射现象，实际观察的时候会发现比较明亮的亮点在瓶底移动。黑色的橡胶可以通过背光光源较好的进行检测。

密度和水相似的异物有很多，相应的毛发和棉花纤维即可。由于基本处于瓶身中间区域，此区域的光照条件最好，干扰最小。因此可以多进行一些测试和数据的采集。

对于密度比水小的异物，静止情况下会漂浮在水面。在旋转的过程中由于水流的作用会被卷入水中后缓慢的上升，可以进行检测。由于生产过程中有很多流程避免漂浮异物。漂浮异物主要是通过空气和人员身上的碎屑等方式进入，主要还是纺织物等，因此在实际的测试过程中使用密度较小的纺织物（以白色为主），进行测试。

#### 4.2.3 实验方案

根据上述的试验设计，可以进行试验。如图 **Error! No text of specified style in document.-80** 所示，实验中使用 45 个尺寸相同的输液瓶。其中的 15 瓶是有不同种类的异物的输液瓶。另外的 30 瓶是没有异物的输液瓶，之后反复在设备中轮流进行测试，得到最后的测试数据。测试现场如图 **Error! No text of specified style in document.-79**、图 **Error! No text of specified style in document.-80** 所示：



图 Error! No text of specified style in document.-79 输出统计



图 Error! No text of specified style in document.-80 随机放入

如图 Error! No text of specified style in document.-79 所示是将有异物和没有异物的输液瓶混合后随机放入灯检机中，为了方便统计将有异物的输液瓶使用蓝色瓶塞标记，没有异物的输液瓶使用红色瓶盖进行标记，并统计相应的检测结果。并且通过调节相应的参数，得到比较理想的检测结果。

通过相机进行采集的图像的清晰度和亮度，同时结合对相机曝光时间和采集时间的技术要求，可以首先对相机的物理参数进行确定。确定相机的物理参数以后，就可以通过前述的实验步骤进行试验，并通过不断的调节参数，最终得到实验结果比较理想的一组数据。

### 4.3 试验结果

按照前述的实验方案进行试验。实验过程每一种不同的变量分成不同的组，并针对与每一种不同的变量变化对实验结果的影响进行分析，判断其中检测性能的原因和改进方法。

### 4.3.1 异物颜色检测结果

如下表所示为异物颜色的不同对检测结果的影响，其中分为了黑色异物和白色异物两大类对其中的检测结果进行统计（两种异物都是漂浮异物）。并对统计数据进行分析。对应的统计数据如表 **Error! No text of specified style in document.-4** 所示：

测试变量		白色纤维、白色塑料薄膜	黑色橡胶、黑色塑料
异物颜色	测试结果		
	输液瓶总数	450	450
	合格数	300	300
	异物瓶数	150	150
	检出数（有异物）	144	148
	漏检数	6	2
	误检数	24	14
	漏检率	4%	1.3%
	误检率	8%	4.6%

表 **Error! No text of specified style in document.-4**

结果分析：

通过上述的统计参数可以发现，其中的黑色和白色的输液瓶的检测结果显示存在一定的差距。其中针对于白色异物的检测漏检数较多，误检较多。而是用背光光源的黑色异物的检测结果相对于白色异物比较理想。

针对于误检率存在的原因分析，一方面是由于在进行背光照明过程中，对应的杂散光源较多，容易形成干扰并被算法误识别为异物。而是用背光光源的黑色异物的检测过程中，由于对应的干扰光线比较少，而且黑色异物本身的吸光特性较强。因此，不容易形成相应的干扰。

针对于漏检存在的问题，根据最终的检测结果图像的分析。判断其中的漏检主要原因是由于在摄像头进行连续多帧图像采集的过程中，异物并没有进入到摄像头的视野范围内，可能正好运动在瓶身底部的折角区域，或者是在某个概率非常小的区域内光学特性非常不显著，不如薄膜型的异物，有可能在某个方向上没有明显的反光特性，光学特性不强，因此埋没在噪声中，相应的算法会以噪声的形式排出。解决相应问题的方法是使用两个摄像头设备从相差 90 度的方向对同一个检测工位、底光光源照明条件下的异物进行检测。此时可以确保没有检测死角，异物的位置和姿态不论如何变化，至少在一个摄像头中可以捕获到异物运动的比较明显的特征，进行检测。

#### 4.3.2 异物密度检测结果

针对于不同密度的异物的检测结果，使用两种不同密度的材料进行检测，一种是黑色的橡胶吸光材料和黑色漂浮塑料碎屑。对应的检测结果如下表所示：

测试变量		黑色橡胶碎屑	黑色漂浮塑料碎屑
异物颜色	测试结果		

	输液瓶总数	450	450
	合格数	300	300
	异物瓶数	150	150
	检出数（有异物）	142	146
	漏检数	8	4
	误检数	19	10
	漏检率	2%	1.3%
	误检率	6.3%	3.3%

表 Error! No text of specified style in document.-5

结果分析：

对应于密度不同的异物进行的检测结果可以发现，其中的密度较小的异物的检测结果相对于密度大的异物的检测结果比较更加理想。不论是误检率还是漏检率都比较好。

针对于误检率问题分析，密度较小的异物的漏检率结果比较理想的主要原因主要是由于密度较小的异物本身有一定的浮力，因此主要存在于瓶身的中间区域。而中间区域的光照条件较好，干扰较少。而密度较大的异物检测过程中可能只在瓶底运动，而针对于底光光源的照明，瓶底区域光线最强，同时瓶底在生产的过程中外侧一些防滑的花纹，瓶底要有相应的一些规格型号编号，因此产生的噪音较多，影响到检测的准确性。

针对于漏检率较高的问题，主要还是由于异物沉底后，处于折角处，而折角处的异物的运动特征更不明显，因此更难被检测出来。

针对于现阶段发现的问题，解决方法一方面是使用两个摄像头进行拍照。另一个就是规划两个检测区域，即 ROI 区域进行检测，一个区域是瓶身区域，另一个区域是瓶底区域，两部分区域使用不同的检测参数进行检测。由于

两部分的参数不同，既可以保证瓶身部分区域的检测灵敏度，又可以保证瓶底区域的干扰被较好的排除。

### 4.3.3 异物大小检测结果

针对于异物大小的检测结果，由于实验条件的限制，本身不具备相应的异物大小的测量装置。因此，直接对检测后的溶液瓶进行送检。使用专门进行异物检测的工具对相应的检测结果中的异物尺寸进行分析。

送检的单位是山东省药品检验所，针对于灯检机检验合格的输液瓶进行检测。检测的内容是输液瓶内含有的不溶性异物的粒径和个数。其中的异物尺寸共分为如下的四类：5-10 微米、10-20 微米、20-50 微米、大于 50 微米四个区间，相应的检测结果如表 **Error! No text of specified style in document.-6** 所示：

异物尺寸	5-10 微米	10-20 微米	20-50 微米	>50 微米
1	12	6	3	0
2	18	10	5	0
3	8	11	6	0
4	10	8	4	0
5	7	6	6	0

表 **Error! No text of specified style in document.-6**

结果分析：

由于根据国家药监所的规定，输液瓶内的异物大小不能超过 50 微米，因此根据现阶段的检测结果，相应的灯检机已经基本可已满足需要。由于在 50

微米以上的异物基本都已经可以被检出，因此可以认为检测的精度在已经小于 50 微米。

在进行了双摄像头的改进之后，可以进一步的提高检测准确性，同时有效的降低漏检率。

## 4.4 性能分析

### 4.4.1 检测准确性分析

从上述的数据分析可以看出，相应的检测过程的准确性较好。按照误检率 10% 计算，则对应于一个生产能力车间可以节省 90% 的人工成本，因此已经具备良好的使用价值。同时，针对于漏检率的问题，还有较大的改进空间，主要是可以通过加装摄像头，不同角度拍摄的方式对检测过程的准确性进行提高。根据目前的分析，希望可以将检测的漏检率降到 0.5%，并且保证没有较大的异物漏检。即可达到药厂批量化生产的要求。

### 4.4.2 检测速度分析

现阶段的试验样机的检测过程中的检测速度维持在 60-80 瓶/分钟，但是和整整的商业化的使用需求 240 瓶/分钟，相比较还有比较明显的差距。其中既涉及到机械结构的问题，同样还有计算方法优化的问题。

针对于机械结构的问题，可以通过增加检测工位，减少间歇运动停靠时间，使用并行检测机制等方式进行解决。

针对于算法部分的检测速度问题，可以通过优化程序代码、减少运算复杂度的方式进行解决。特别是针对于图像处理，有很多运算需要逐像素多次进行运算，因此针对于每一次运算的时间进行优化对于减少运算总时间非常有意义。现阶段进行图像采集和处理的总时间为 300-350ms，进行代码优化之后的总时间希望控制在 200ms 以内进行。

## 4.5 本章小结

通过设计实验，用来对最后算法的可靠性和精确性进行试验。得到相应的检测统计数据。通过得到的数据，对检测过程中出现的问题进行分析，提出相应的改进方案。并且通过调节检测参数，使得检测结果更加理想。并为以后的算法改进和性能提升做好准备。



## 结论

医用输液瓶对瓶内液体的洁净程度要求非常高，但由于生产工艺或生产环境等方面的原因，输液成品中可能混入玻璃屑、铝屑、橡皮屑、毛发、纤维或不溶药质等微小异物，严重危及病人的生命与健康。

在输液瓶生产过程中，要对输液瓶内的注射剂逐瓶进行不溶物检查，而传统的检查方法是直接通过人工视觉方法进行检验，灯检人员在一等的光照条件下，用人眼直接观察瓶装药液，发现是否存在异物并判断异物的大小，这种传统的方法劳动强度大，直接增加了大规模生产过程中的劳动成本，且灯检人员长时间从事检测工作会产生视觉疲劳和质量波动，是自动化生产线上比较突出的问题。

针对于大输液生产线上的质量检测需求，研发了异物检测算法和检测方式，并配合相应的硬件，对生产过程中大输液瓶中的不溶性异物进行检测。本论文主要针对于检测原理、检测过程中的光照条件、光照方式和对应的机械结构，图像采集方式和图像处理算法进行了研究，并对最终的检测技术的有效性和可靠性进行了检测。论文中的主要研究内容和研究成果包含以下内容：

- 1、介绍了大输液灯检的研究背景和研究意义，分析了我国制药过程中灯检设备的现状和大输液药品的生产制造流程，针对于制药过程中的人工灯检环节所存在的文集进行了说明。
- 2、根据国家药典对于大输液瓶内不溶性异物的检测要求，分析了基于机器视觉方式进行自动化灯检技术的可行性。分析和设计了视觉检测系统的检测原理。通过旋转方式带动瓶内的异物旋转，通过底光和背光的照明方式增强异物的光学特征，并通过连续多帧图像采集，进行图像处理，寻找其中的运动目标。在设计好的检测原理的基础上，具体进行了光照方式、光照条件、旋转加速过程、急停过程和采集方式等工程细节的设计。
- 3、通过相机采样后，图像处理算法对采集到的图像进行分析。其中对每一个处理步骤所用的算法在异物识别过程中的作用和相应的效果进行了分析，并通过设备实际采集到的图像，对相应的算法进行实现和验证。并

通过验证分析了每一种处理算法的优缺点。通过不同算法的组合找到了效果比较理想的处理步骤。并通过程序对相应的检测方法进行了实现。

- 4、通过设计实验，用来对检测方法的可靠性和精确性进行试验。得到相应的检测统计数据。通过得到的数据，对检测过程中出现的问题进行分析，提出相应的改进方案。并且通过调节检测参数，使得检测结果更加理想。并为以后的算法改进和性能提升做好准备。

本论文完成了基于计算机视觉的大输液异物检测系统的相关技术的设计实现工作。主要进行了检测原理、检测方式、检测部分机械结构、视觉算法、软件开发、运行与测试等工作。解决了很多工程实际问题。积累了很多工程经验，取得了一些科研成果。本文中所开发的异物检测系统已经在生产先生实际使用，在输液瓶异物检测环节发挥了很大的作用，具有很好地实用价值。

## 参考文献

- [1] 杨文凯. 序列图像中运动目标的检测[D], 西北工业大学硕士论文, 2004.
- [2] 章毓晋. 图像理解与计算机视觉, 北京: 清华大学出版社, 119-120.
- [3] 张辉, 王耀南, 周博文, 等. 基于机器视觉的保健酒可见异物检测系统研究与开发[D]. 仪器仪表学报. 2009, 30(5):974-975.
- [4] 曹丽, 汪亚明, 周维达, 黄文清. 基于动态图像序列的运动目标检测与跟踪. 计算机仿真. 2006, 23(5):194-196
- [5] 胡明昊. 复杂场景下运动目标的实时跟踪. 南京理工大学硕士论文. 2002:38-44
- [6] 章健, 王耀南, 鲁娟. 大输液在线视觉检测系统的研究[D]. 计算机工程与应用. 2010, 46(23):231-232.
- [7] 杨福刚. 输液中微小异物目标视觉检测技术研究[D]. 山东大学博士学位论文: 2008:1-4.
- [8] 毛灿, 基于机器视觉的保健酒质量检测技术研究[D]. 2010:1-19.
- [9] 张魏. 基于机器视觉的智能灯检机的研究[D]. 山东大学硕士学位论文. 2008:3-18.
- [10] Tordoff, Brray, DW. Guided sampling and consensus for motion estimation." European Conference n Computer Vision, 2002, 2350: 82-96.
- [11] Fischler, MA. Bolles, RC. Random Sample Consensus. A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography, Comm. Of the ACM 24, 1981, 24(6): 381-395.
- [12] S. J. McKenna, Y. Raja, S. Gong. Object Tracking Using Adaptive Color Mixture Models, Proc. Asian Conf. Computer Vision, 1998, 1: 615-622.
- [13] N. Friedman , S. Russell. Image Segmentation in Video Sequences: A Probabili stic Approach , Proc. 13<sup>th</sup> Conf. Uncertainty in Artificial Intelligence, 1997: 175-181.
- [14] C. R. Wren, A. Azarbayejani, T. Darrell, A. Pentland. Pfinder. Real-time tracking of the human body, IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell, 1997, 19(7): 780 - 785.
- [15] M.Hedayati, Wan Mimi Diyana Wan Zaki, Aini Hussain. Real-Time

- Background Subtraction for Video Surveillance: From Research to Reality, International Colloquium on Signal Processing & Its Applications (CSPA), 2010: 1 - 6.
- [16] 王家国. 瓶装啤酒异物在线检测关键技术研究[D]. 山东大学硕士学位论文. 2009:1-19.
- [17] 张辉, 王耀南, 周博文, 葛继. 医药大输液可见异物自动视觉检测方法及其系统研究. 电子测量与仪器学报[J]. 2010, 24(2):126-129.
- [18] 李扬果, 王耀南, 王威. 基于机器视觉的大输液智能灯检机研究. 光电工程. 2006, 33(11):69-74.
- [19] Stauffer, C., & Grimson, W. E. L. Learning patterns of activity using real-time tracking, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22(8): 747 - 757.
- [20] Ji Ge, YaoNan Wang, BoWen Zhou and Hui Zhang. Intelligent Foreign Particle Inspection Machine for Injection Liquid Examination Based on Modified Pulse-Coupled Neural Networks. Sensors[J]. 2009, 9:3386-3404.
- [21] George Bebis, Dwight Egbert, Mubarak Shah. Review of Computer Vision Education. IEEE Transactions on Education, 2003, 46(1): 2-21.
- [22] Huertas, R. Nevatia. Detecting changes in aerial views of man-made structures, Image and Vision Computing, 2000, 18(8): 583 - 596.
- [23] G. Nagy, T. Zhang, W. Franklin, E. Landis, E. Nagy, D. Keane. Volume and surface area distributions of cracks in concrete, Visual Form 2001 (Springer LNCS 2059), 2001: 759 - 768.
- [24] Guiliang Lu, Yu Zhou \*, Yao Yu \* and Sidan Du. A Novel Approach for Foreign Substances Detection in Injection Using Clustering and Frame Difference. Sensors[J] 2011, 11, ( 9121-9135).
- [25] Qi Dawei, ZHANG Peng, ZHANG Xuefei, JIN Xuejing. Proceedings of the 29th Chinese Control Conference[C]:2010(2375-2380).

## 致谢

在本文完成之际，我谨向多年来教导、帮助、支持和关心我的所有人表示最衷心的感谢。

首先，让我向尊敬的导师屈桢深老师致以衷心的感谢。感谢屈老师在学习上给与我的启发和教导，在生活上的关心，在科研上对我的设想和创新性的肯定，不论在学习还是在为人处世方面都让我受益匪浅。屈老师为人随和、治学严谨、实事求是，是我今后学习工作的榜样。再次衷心感谢屈老师的培养和帮助。

感谢学校的各位老师在教学过程中对我的帮助和指导。感谢马广程老师、马杰老师、史小平老师、金钊老师、刘丽萍老师、程燕平老师等，在学术上给予我的无私帮助。同时要感谢师兄师姐和同窗好友对我的关心和支持、感谢孔令超师兄、腊磊师兄、史书琴师姐，感谢张东、窝寓凯、张盛博、童浩、张恩泽、赖文杰等对我的帮厨和鼓励。

在以后的日子里，我将继续努力工作和学习，以此来回报社会，不负大家对我的关心和期望。