

DOI: 10.3901/JME.2013.07.130

医药输液视觉检测机器人关键技术综述*

王耀南¹ 吴成中¹ 张辉² 葛继³ 周博文¹ 赵科¹

- (1. 湖南大学电气与信息工程学院 长沙 410082;
2. 长沙理工大学电气与信息工程学院 长沙 410004;
3. 江西理工大学电气工程与自动化学院 赣州 341000)

摘要: 食品药品安全是重大的民生和公共安全问题,医用注射液在注入人体之前必须经过严格的质量检测,否则,将引发各种危害性疾病,甚至危及生命。目前,医药生产企业对注射液的检测方式多为人工检测,存在效率低、可靠性差、质量安全得不到保障等诸多缺点,所以视觉检测机器人替代人工检测是一种必然趋势。基于此,详细探讨视觉检测机器人开发过程中遇到的核心技术难题,从视觉检测方案、高精密机械结构设计、主从运动机构高度协同控制、高速高精度图像采集系统及微弱目标检测识别与分类方法等多个方面入手,具体阐述制约视觉检测机器人目前研发所遇到的瓶颈问题及可行性解决方案。并陈述视觉检测机器人的下一步发展趋势。

关键词: 视觉检测机器人 机器视觉 序列帧差法 微弱目标 高速高精度

中图分类号: TG391

Review on Key Technology of the Machine Vision Inspection Robot on Pharmaceutical Injection

WANG Yaonan¹ WU Chengzhong¹ ZHANG Hui² GE Ji³ ZHOU Bowen¹ ZHAO Ke¹

- (1. College of Electrical and Information Engineering, Hunan University, Changsha 410082;
2. College of Electrical and Information Engineering, Changsha University of Science & Technology, Changsha 410004;
3. College of Electrical Engineering and Automation, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou 341000)

Abstract: The food and drug safety is related to people's livelihood and public safety issues, so medical injection must be through quality and safety tested when using. Otherwise, it will cause a variety of diseases or even life-threatening. At present, pharmaceutical manufacturers still use artificial lighting inspection method to control the quality of injection. This inspection method has many defects, such as low speed, poor stability, low level of security. So in order to solve this problem and improve the level of drug security status, it is very necessary to introduce a type of robot based on machine vision technology to inspect pharmaceutical injection instead of people. Key technical problems encountered are discussed in the development process of the inspection robot, including overall solutions of the robot, the design of high precision mechanical structure, the synergistic control method of sever motors, the high-speed and high-precision image acquisition system and methods of weak target to detect, recognize and classify. The research and development bottlenecks which constraint the robot and feasible solutions are elaborated, and the next step in the development trend of the visual inspection robot is stated.

Key words: Visual inspection robot Machine vision Sequence frame differential method Small and weak target High speed and precision

0 前言

医用注射液的质量检测是制药过程中的一个

重要环节,是药品质量的安全保障,直接关系到人体用药安全和生命健康。在药液灌装过程中,由于瓶体清洗不彻底、过滤材质破损老化、高温灭菌时药液碳化、封盖时玻屑脱落、洁净等级不达标等诸多原因,导致玻璃屑、橡胶屑、毛发、纤维、色块等不溶性可见异物混入药液中,受上述异物污染的

* 国家高技术研究发展计划(863 计划, 2007AA04Z244)和国家自然科学基金重点(60835004)资助项目。20120621 收到初稿, 20130226 收到修改稿

药液一旦被注入人体，易引发血管栓塞、静脉炎、过敏、脑梗塞^[3]等不良反应，严重时将危及生命。因此，对医用注射液生产过程中实施高标准的质量检测，至关重要。

目前，国内医用注射液生产厂家多采用“人工暗室观测”检测方法对注射液逐瓶检测，如图 1 所示，该方法劳动强度大、速度慢、效率低，靠人的主观思想判断医用注射液是否合格，存在严重的漏检、误检等亟待解决的问题，难以满足国家药典对不溶性可见异物的规定(颗粒直径不超过 50 μm)。随着机器视觉技术的发展，越来越多的行业已经成功采用机器视觉质量检测机器人替代传统的人工检测方式^[1]，如图 2 所示，并且取得了很好的效果，在医药注射液质量检测行业中也已经开发出了替代人工检测的检测机器人，视觉检测机器人具有检测速度快、精度高、重复性好、低错误率等诸多优点，较好拟补人工检测的不足，备受广大医药注射液生产企业的青睐。



图 1 大输液生产线人工检测现场



图 2 德国 Seidenader 全自动视觉检测机器人

医药视觉检测机器人涉及机器视觉、机器人系统、机电一体化、光学成像系统、数字图像处理技术等多学科技术，是一个多学科高度交叉的复杂系统，目前，国内外对医药视觉检测机器人的研究尚停留在起步阶段，对玻璃安瓿、玻璃大输液等进行的视觉质量检测研究较多，而其他塑瓶安瓿、塑瓶大输液、软袋输液等进行的检测方法研究较少。为此，本文在简单介绍医用注射液视觉检测机器人研究过程取得成果的基础上，总结概述医用注射液视觉检测机器人的关键技术难题以及发展前景与趋势。

1 国内外研究现状

目前医药视觉检测机器人主要用于医药生产质量检测环节，20 世纪 60 年代，德国、美国、意大利、日本等国家先后推出了医药生产安全规范《国家药典》，其中强制规定医药生产企业采用机器视觉质量检测机器人对医药注射液中的不溶性异物进行检测，且不溶性异物最大直径不大于 50 μm 。《国家药典》^[2]的出现促使许多机械公司、机器视觉公司涉足医药检测行业，诞生了许多专业医药视觉检测企业，如德国的 BOSCH 公司、COMPUR 公司、BS 公司、Seidenader 公司，意大利 CMP 公司、Brevetti C.E.A 公司，日本 Eisai Co., Ltd、武田药品工业株式会社、谷工业株式会社等，开辟了基于机器视觉技术对医药质量检测研究的先河。

20 世纪 80 年代，国外已经成功开发出安瓿智能检测机器人，并应用于医药生产企业中，如 1982 年意大利 CMP 公司开发出的 CMP SA-10 智能检测系统，采用间歇式运动控制方案和机器视觉先进技术，满足 150 瓶/min 的检测速度，检测精度最小可达到 50 μm ；1985 年日本 Eisai Co., Ltd 开发出基于光阻法的异物检测设备，与 CMP 不同之处在于采用先进的线型传感器，通过检测安瓿中心轴面的光亮度变化检测异物，该设备最高检测速度可达到 1.8 万瓶/h；1988 年意大利 Brevetti C.E.A 公司推出了双轮盘摆动跟踪方式的智能检测设备，实现了不间断连续运动，进一步提高了设备的检测速率，并且选用了高帧率 CCD 传感器、多工位同步检测机制和伺服电动机驱动旋瓶方式等技术方案，进一步提高了检测精度，降低了误检率和漏检率。20 世纪 90 年代，该类设备开始被国外医药生产企业广泛接受，并逐步引入国内，但由于国内制药标准、包装材料、异物种类等差异以及生产速度需求、价格过高、维修复杂等多方面原因，国内 98% 以上的制药企业仍然沿用传统的人工检测方法，仅少数大型制药厂引入智能检测设备进行检测。随着新材料、新技术的发展，国外医药视觉检测机器人的检测方法和检测性能也不断更新与优化，并已向大输液、软袋、针剂等更复杂的检测领域发展。

国内对于医药视觉检测机器人的研究刚刚起步，2006 年湖南千山制药机械股份有限公司与湖南大学共同承担国家高技术研究发展计划——863 项

目“大型高速医药自动化生产线上的产品检测包装智能机器人”的研究,开启了医药智能视觉检测设备研发的序幕,随后长沙楚天科技有限公司、湖南正中制药机械有限公司、上海新特精密机械有限公司等制药机械企业开始涉足医药检测行业,先后开发出了各自的试验样机和前期产品,并已在多家制药企业中进行现场测试。但总体来说,国内对于医药视觉检测设备的研究仍然处于起步阶段,检测精度和检测性能仍不能完全满足高速制药生产的需求,稳定性和重复性不高,距离国外同类产品仍有较大差距,图 3 为国内自主研发的不同类型的全自动视觉灯检机,目前正处于测试、试用阶段。

2 医药注射液检测机器人关键技术

医药注射液质量检测机器人^[3]是集光学照明、机械制造、自动化控制、图像处理等多学科技术的复杂系统,每一个环节都极大地约束了检测系统的整机性能,使其不能正常工作。因此,在研发医药注射液质量检测机器人过程中需要突破多方面瓶颈技术的限制,解决检测系统高速联动协调控制与快速异物视觉成像、识别、检测等系列技术难题,提高检测系统整机性能,完全替代医药生产中人工检测环节。

2.1 视觉方案设计

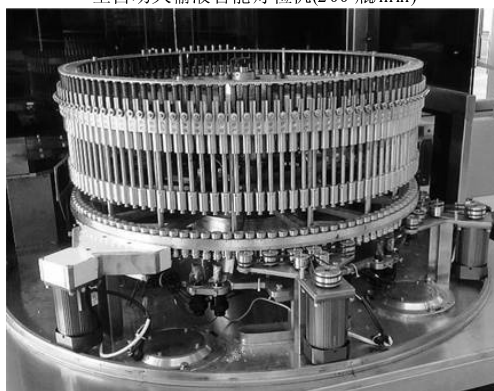
现有医药注射液质量检测机器人的基本检测过程大致相同,都经过快速旋瓶、紧急急停、光源照明、图像采集、图像检测识别及正次品分拣等几个主要步骤^[4],如图 4 所示,首先通过机械装置将注射液瓶体固定,并在一种动力装置的带动下使瓶体沿自身中心轴线高速旋转,维持高速旋转一段时间后,通过制动装置快速停止瓶体转动,此时,瓶中注射液和可见异物仍维持运动状态,沿瓶体中心轴线旋转,CCD 图像传感器高速采集连续多帧序列图像,并通过差分算法消除背景影响,检测、识别出运动异物,通知分拣机构进行剔除。

2.1.1 可见异物来源及对象特征分析

尽管制药企业千方百计控制可能的污染源,但是在实际生产过程中,安瓿注射剂中出现可见异物仍然不可避免。究其原因,主要来源于以下几种情况^[4]:① 超声波洗瓶、灌装参数设置不当;② 隧道烘干环节;③ 安瓿注射剂的碳化现象;④ 人员参与;⑤ 运输过程等。可见异物主要来源及分类情况如下表所示。



(a) 湖南千山制药机械股份有限公司
全自动大输液智能灯检机(200 瓶/min)



(b) 湖南千山制药机械股份有限公司
全自动安瓿智能灯检机(600 瓶/min)



(c) 楚天科技股份有限公司
全自动安瓿智能灯检机(300 瓶/min)



(d) 湖南正中制药机械有限公司
全自动安瓿智能灯检机(300 瓶/min)

图 3 国内自主开发的全自动视觉检测机器人

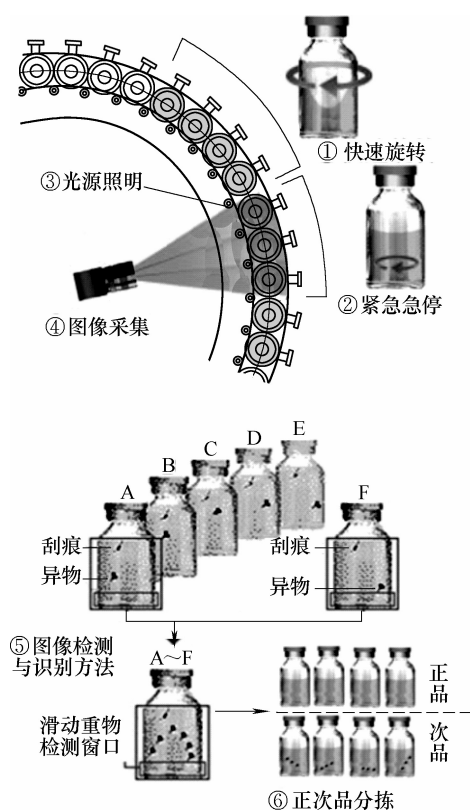


图4 医药注射液基于帧差法的视觉解决方案

表 可见异物的来源及分类

类型	颜色	来源	图例
橡胶	白色	瓶口包装	
玻璃屑	白色	灌装、碰撞	
化学纤维	白色	清洗过程	
色点	随机	包装过程	
毛发	黑色	操作人员	

对异物的反光性分析, 橡胶、玻璃屑、色块等异物表面凹凸不平, 对光的反射能力较强, 橡胶、色块等异物比玻璃屑表面更为粗糙, 且多为颗粒状, 所以反射光的方向在空间分布较为均匀, 而玻璃屑形状及不规则, 局部反射面接近水平镜面, 其反射光性质具有空间不均匀性, 在图像采集过程中易出现目标丢失现象且统一目标形态变换多样, 对于毛发、纤维等细长外形异物, 由于最小直径较细, 反射光亮度较小。

对异物的分布层次分析, 不同类型的异物在液体中分布的位置不同, 如大玻璃屑、重物等会沉落到

瓶体底部, 撮瓶过程中, 随溶液在瓶体滑动, 称之为静态异物, 对于质量较小和密度比药液密度大的物体, 将散布在药液各个部位, 随药液旋转, 称之为悬浮异物, 对于质量很小且密度比药液小的物体将漂浮在液体表面, 四处漂游, 称之为漂浮异物。

对异物的颜色特征进行分析, 玻璃屑、微型颗粒颜色较浅, 如果在白色背景下成像, 容易被背景淹没, 而对于色块、橡胶屑、大异物等在白色背景下可清晰成像。

2.1.2 光学成像方式

针对于上述异物特征分析, 医药注射液质量检测机器人常采用背部打光和底部打光两种方式^[3]。

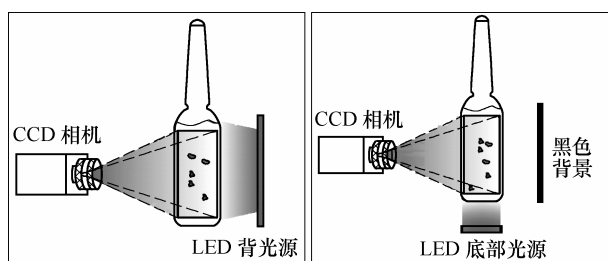
(1) 背光给光方式。如图 5a 所示, 为背部打光光学成像方案的示意图, 采用平面工业 LED 光源, 其中, CCD 图像传感器和 LED 光源分别分布在医药注射液瓶体两侧, CCD 图像传感器的视场覆盖整个药液区域, 可捕捉漂浮异物、悬浮异物和底层静态异物, LED 背光源采用平面高亮光源, 具有较为均匀的光亮度, 光线照射到药液中。

背光给光方式的优点是对颜色较深、透光性较差的异物(如橡胶屑、铝屑等)成像效果较好, 目标与背景的对比度明显, 易于图像处理与检测。但仍存在一些不如意, 如不宜用于透明度较强(如玻璃屑)和小尺寸(毛发、纤维), 因为透明度较强的异物对背部光源的遮挡程度较低, 经 CCD 传感芯片成像后前景与背景对比度较小, 难以区分, 而小尺寸异物难以采用背光检测方式的主要是由光的衍射性和波动性决定, 光具有躲过微小细丝障碍物的特点。

(2) 底部给光方式。底部打光方式如图 5b 所示, 该打光系统由 CCD 传感芯片、黑色背景和 LED 光源组成, 光源从瓶体底部入射, 若药液中无任何异物, 则 CCD 相机采集信息为黑色背景, 当异物中存在异物运动时, 异物将底部入射光反射到 CCD 相机中, 生成图像。该种打光方式相对于背光给光方式而言, 不受光的衍射特性的影响, 可以对微小物体的进行高精度测量, 且底部打光方式所采集的图像对比度高, 适合药液中常见的玻璃屑、毛发、纤维、橡胶屑等异物的检测, 因此, 目前现有的医药注射液质量检测机器人均采用了底部打光方式作为主要检测方式。

2.2 医药注射液质量检测机器人机械结构设计

机械结构是医药注射液质量检测机器人中重要的组成部分, 是根据视觉检测系统方案和检测机器人整体性能要求进行开发设计的, 视觉检测系统机械设计要满足以下几个方面的要求: ① 视觉检测



(a) 背部给光成像方案

(b) 底部给光成像方案

图 5 医药注射液主要成像方案

系统与注射液输送系统分离,在图像传感器高速数据采集过程中,视觉系统与输送系统同步,保证序列图像中输液瓶体在图像传感器视场中位置不变;

② 机械系统能够使注射液柔性无硬力方式进出检测系统,避免安瓿、口服液等薄壁玻璃包装材料在输送过程中破裂;

③ 在高速旋瓶过程中,输液瓶中心轴线应与旋转轴线重合,保持配置参数的一致性;

④ 能够快速、准确、柔性地剔除不合格产品,防止输液瓶在提出过程中破裂与爆破。为满足上述检测需求,几乎所有的输液检测机器人生产厂家都采用圆盘式主体框架结构,然后增设不同的功能实现模块,满足主动力传输方式、瓶体固定方式、旋瓶方式、视觉方案等的需求。

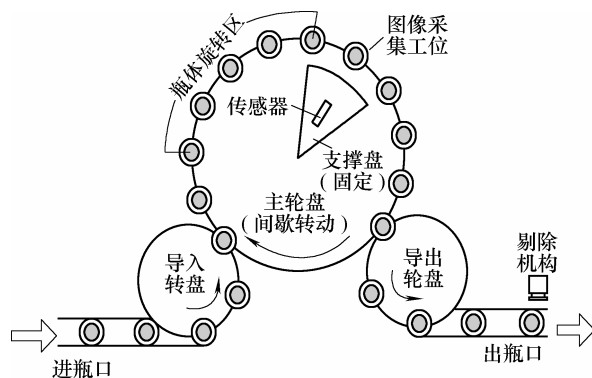
2.2.1 动力传输

可靠的主动力供给机制是设备长期稳定运行的基本要求,也是视觉方案正常实施的前提,主动力传输的方式主要取决于视觉系统方案,视觉检测系统要求在图像传感器高速采集图像期间,视觉系统与检测对象相对静止,保证图像传感器有足够的时间连续拍摄 n 帧图像,因此,常见的主动力传输方式分为两种:间歇式动力传输方式和跟踪式动力传输方式。

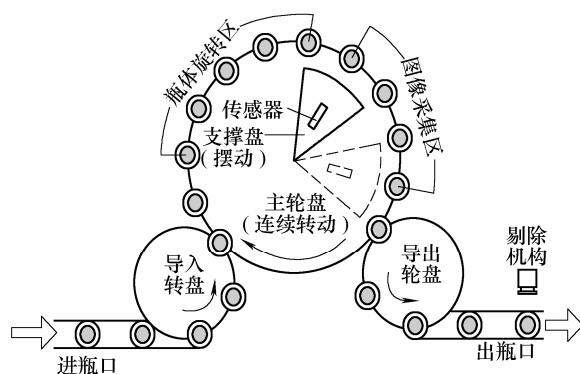
(1) 间歇式动力传输方式^[5]。如图 6a 所示,主轮盘按照“转-停-转-停”方式周期性运动,视觉系统固定在支撑盘上方,且固定不动,当传感器高速采集图像时,主轮盘由转动周期进入停止周期,图像传感器与瓶体静止,保证图像传感器在静态场景中采集数据,当本次检测完成后,主轮盘转动一个工位,进入下一个检测周期。间歇式动力传输方式是在静止场景中进行取像,提高了帧间图像背景的一致性,减少了因加工、装配精密度因素带来的机械振动影响,且机械结构简单,运动控制方式较易实现;但该种实现方式瓶体旋转过程与图像采集检测过程串行执行,受旋转周期、图像采集周期、检测处理周期等参数的影响,整机的检测速度难以提升,不能续接到输液灌装生产线后实时检测,只能采用离线检测的方式,但该种检测方式抖动效果小,

图像采集过程中,相机与检测物体相对静止,抖动误差小。

(2) 连续式动力传输方式^[9]。该传输方式与间歇式传输方式的不同之处在于其瓶体旋转过程与图像采集、处理过程并行执行,极大提高了检测速度。如图 6b 所示,为连续式动力传输方式,传感器支撑盘并非固定不动,而是在动力源驱动下沿主动盘轴线一定角度内往返摆动,在图像采集过程中,主轮盘以固定角速度匀速转动,支撑盘作为跟踪轮盘与主轮盘以相同角速度转动,保证两轮盘运动过程中相对静止,图像传感器在跟踪过程中获取图像,当图像采集完成后,跟踪轮盘快速返回到初始状态,进行下一组输液瓶的检测,连续式动力传输方式采用流水线式并行运行机制,极大提高了检测速度,但对机械的加工、动力传输、系统控制的要求较高,且在运动过程中获取的图像中,瓶体位姿发生微小的偏移,图像检测过程中,需要采用相关的去抖算法进行拟补^[5]。



(a) 间歇式机电设计方案



(b) 连续式机电设计方案

图 6 医药注射液视觉检测机器人机电设计方案

连续式传动方式的动力源实现有两种方式:一种方式是采用分割器作为动力转换机构,将一个动力输入源转换成两个动力输出源,一个动力输出源驱动主轮盘以固定角速度连续转动,另一动力输出

源驱动跟踪轮盘一定角度范围内往返式运动, 动力的转换主要通过凸轮机构来实现, 根据凸轮曲线定制两动力源间的函数关系, 该种方式跟踪轮盘与主轮盘同步性能较好, 系统运行稳定, 可靠性强, 跟踪轮盘在往返运动过程中状态切换平滑, 引入的抖动小, 但对分割器的机械加工、凸轮材质、润滑油封等技术要求较高, 开发周期较长。另外一种动力源实现方式是采用两个高精度大功率伺服电动机分别驱动主轮盘和跟踪轮盘, 实现主轮盘、跟踪轮盘的双轴同步控制, 在跟踪轮盘伺服电动机控制过程中, 需要重点突破跟踪轮盘往返换向时伺服电动机扭矩、负荷量剧变及跟踪轮盘轨迹柔性控制等技术难题; 该种动力源实现方式较为容易, 开发周期短, 可根据实际状况调节配置参数和控制方式, 但较分割器方式, 系统控制较为复杂。

2.2.2 瓶体固定装置

医药注射液质量检测机器人中破瓶率是衡量机械稳定性的一个重要指标, 是机械长时间正常运行的基础保证, 因此, 必须设计合理的进出瓶机构和瓶体固定装置, 避免瓶体因硬力作用破裂。当瓶体通过导入轮盘进入主轮盘时, 首先需要对瓶体进行固定, 保持瓶体轴心轴线和旋转中心轴线重合, 避免瓶体旋转过程中中心轴线不重合产生离心力, 使瓶体飞出检测装置, 造成不可预知破坏, 另外, 保持两轴线重合的同轴性可以避免瓶体旋转过程中引入大量气泡, 增加气泡误判为异物的概略。常见的瓶体固定装置主要有压杆式^[5]和机械手^[6]两种形式。

(1) 压杆式瓶体固定方式。如图 7 所示, 为医药注射液质量检测机器人中的压杆式瓶体固定装置, 其结构主要包括压杆、套筒、压缩弹簧、压头、瓶托和旋转轮, 图 7 为同轴压杆式瓶体固定与旋转

机械方案图, 主要描述了安瓿瓶的进入、导出动作过程, 其中, 固定凸轮板是进出瓶机构的重要组成部分, 是降低破瓶率的关键所在, 固定凸轮板最关键的设计在于其凸轮曲线的形状, 图 7 中压杆从位置 6 运动到位置 10 的过程为安瓿瓶的进瓶过程, 在进瓶过程中压杆必须缓缓竖直下降, 并逐渐矫正瓶体的纵向偏移量, 使其与压杆轴心共线, 当压杆脱离固定凸轮板时, 安瓿头部完全被套入压头孔中, 完成进瓶动作, 但压杆脱离固定凸轮板如果过于迅速, 安瓿头部在较大力作用下被矫正, 易造成碎瓶, 因此, 在设计固定凸轮板曲线形状时, 需要根据医药检测机械的最高检测速率、瓶体的外形结构和握瓶最高速等多因素进行综合考虑。安瓿瓶的导出动作过程与进入动作过程类似, 在此就不多陈述。

(2) 机械夹手固定方式。机械夹手是另外一种固定方式, 如图 8 所示, 为机械手夹持式瓶体固定与旋转机械方案, 其采用机械手夹持瓶体, 在动力传输机构(通常为伺服电动机、步进电动机)的带动下高速旋转, 通过控制机械手的开合以及旋转角度, 实现瓶体的进入与导出动作。机械手与瓶体接触部位采用柔软的橡胶材料, 在夹瓶过程中起到柔性缓冲作用, 避免瓶体夹碎。

机械手夹瓶方式相比压杆固定方式更能够降低破瓶率, 机械夹手与瓶体的接触面较少, 且接触面采用柔性材料作缓冲, 进一步降低了破瓶概率, 压杆通过锥形压头的曲面将瓶体滑入中心轴线处, 对于顶部不对称、尖头或者歪头的瓶体, 瓶体的头部的平滑性较差, 易造成硬力下压导致破碎, 而机械夹手夹瓶方式无须与瓶头进行接触, 不会产生瓶头破裂的问题^[7]。

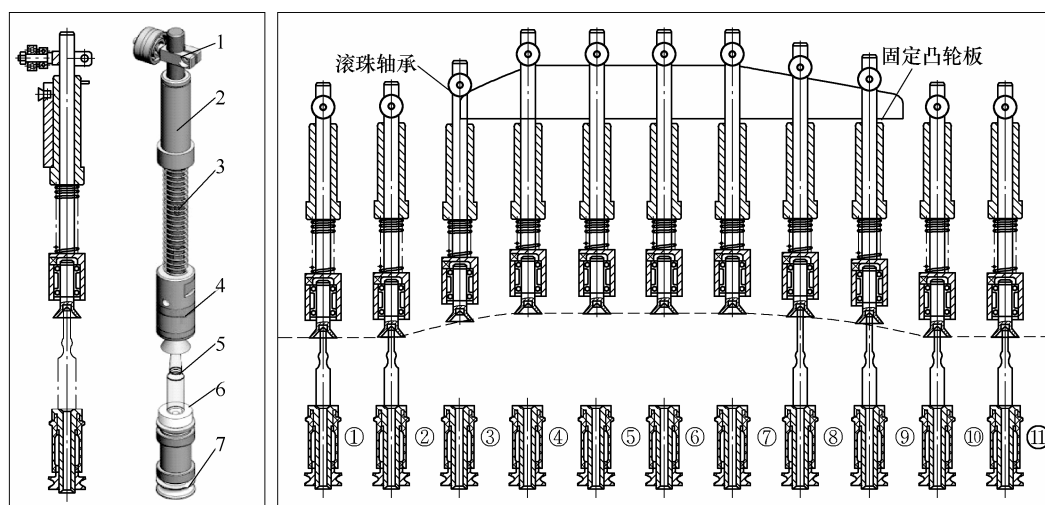


图 7 同轴压杆式瓶体固定与旋转机械方案

1. 压杆 2. 固定于转笼的套筒 3. 可压缩弹簧 4. 可旋转压头 5. 安瓿瓶 6. 瓶托 7. 旋转轮

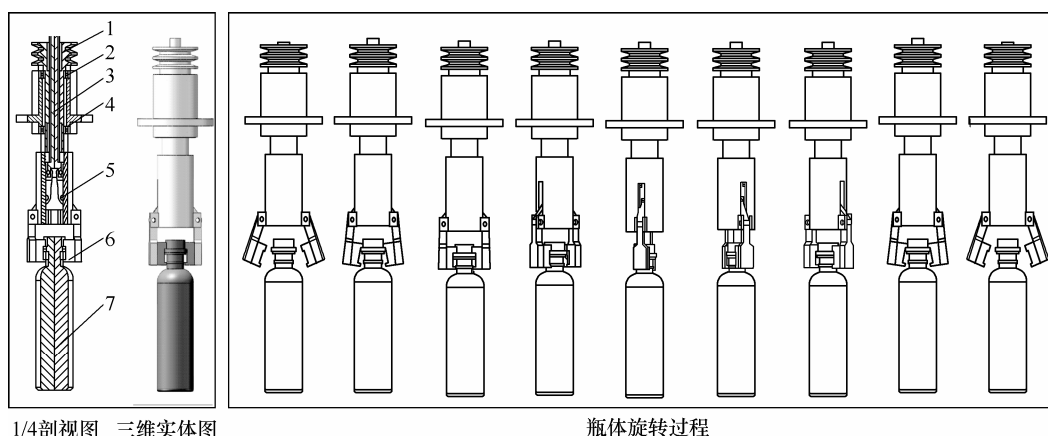


图8 机械手夹持式瓶体固定与旋转机械方案

1. 皮带槽 2. 轴承 3. 驱动杆 4. 固定台 5. 机械手支架 6. 弹性塑料材质 7. 输液瓶体

2.2.3 搓瓶机构

在图像采集之前,将瓶中异物高速旋转起来是至关重要的一个环节,直接影响图像检测算法的可行性、鲁棒性,因此,选择合理的搓瓶方式和搓瓶机构至关重要。医药注射液中的异物种类多样、轻重不一,有质量较大的玻屑、铝屑,也有质量较小的毛发、纤维等异物,因此,需要设置执行机构旋转过程相关的速度、时间以及加减速等参数,将大部分异物旋转起来。

常见的搓瓶机构有两种方式,一种是皮带式搓瓶机构^[8],另一种是伺服电动机驱动式搓瓶机构。

(1) 皮带式搓瓶机构。皮带式搓瓶机构主要针对于压杆式瓶体固定方式设置的搓瓶机构,如图9所示,为安瓿智能检测系统的皮带式搓瓶机构,搓瓶机构位于图像采集区域的上方,当主轮盘转动时,待检测的工位逐一与皮带接触,在皮带的摩擦带动下高速旋转。可以通过改变与检测工位接触的搓瓶皮带长度,调整瓶体旋转的时间,通过调整皮带转动的速度调整最高搓瓶速度。

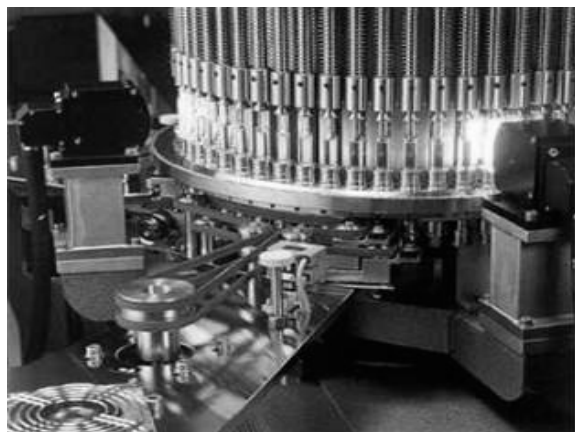


图9 双皮带高速搓瓶装置

(2) 伺服电动机驱动式搓瓶机构。伺服电动机驱动式搓瓶机构是为了满足机械夹手的位姿控制而

设计的,可以保证瓶体旋转固定的圈数后,机械夹手处于瓶体输出时的姿态,避免爆瓶。如图10所示,为伺服电动机驱动搓瓶机构,伺服电动机通过同步带驱动机械手旋转,以个伺服电动机可以同时驱动2~3个机械夹手,机械夹手闭合和张开的动力来源于气缸的推动力。

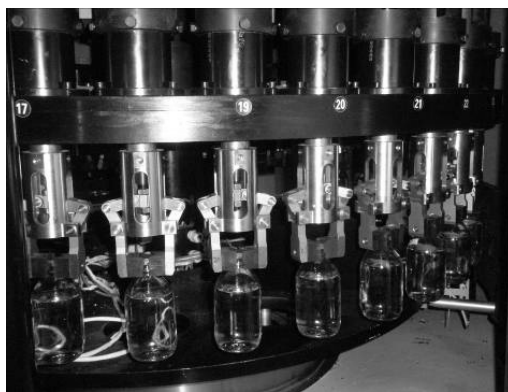


图10 机械手伺服驱动高速旋瓶装置

搓瓶机构是检测系统重要的组成部分,直接影响整机的检测效果,是现有医药检测设备生产厂家遇到的技术瓶颈之一。皮带式搓瓶机构结构简单、控制方便、成本低,但其开发难度却远远高于伺服电动机驱动搓瓶方式,主要体现在以下几个方面:① 难以一次性确定机械设计参数,需要根据实际需求反复修改;② 皮带长度、安装松紧度需满足实际要求,并降低皮带引入的机械振动;③ 主轮盘加工装配需具有较高的一致性,保证皮带与工位接触力大小一样;④ 皮带采用耐磨耐高温材料,可以长期使用。与皮带搓瓶机构相比,伺服电动机驱动搓瓶方式能够提供更高质量的搓瓶效果,并且缩短开发周期,通过调整伺服电动机的控制信号,可以直接调整加减速时间和最高转速,因此,在研发过程中不需要改变机械装置,只要配置伺服电动机的控制参数即可,但伺服电动机驱动搓瓶方式需要伺服电

动机数量较多, 成本较高, 且控制方法难度大。

2.2.4 分拣机构设计

当医药注射液视觉检测系统对药液图像检测识别处理以后, 输出正品、次品以及次品分类的信息, 在次品分拣工位, 进行精确的剔除。因为瓶体是用薄壁玻璃制作而成, 所以极易破裂, 所以, 在剔除过程中需要控制剔除力和速度, 解决剔除机构与瓶体碰撞过程中破瓶、碎瓶等关键问题。

2.3 控制系统设计

医药注射液视觉检测机器人是一个非常复杂的光机电系统, 其长时间稳定运行需要一个高可靠性的电气控制系统^[10], 该系统包括可编程逻辑控制器(Programmable logic controller, PLC), 控制单元、动力输出模块、光学成像模块、图像采集模块、图像处理单元、以太网数据传输网络、数据显示及打印模块、远程故障诊断与维护模块等, 如图 11 所示。控制系统以服务器和 PLC 控制单元为核心部件, 相互协调各执行模块的运行, 同时, 服务器和 PLC 控制单元保持实时通信, 同步监控控制系统所有单元的运行状态, 当系统单元发生异常时, 及时响应异常处理和发出报警信息。

PLC 控制单元是整个运动控制系统的核心器件, 其完成主伺服电动机和跟踪伺服电动机的高精度同步运行, 其需要解决的关键问题如下: ① 主从

伺服跟踪过程中, 相对运动不超过 0.01° ; ② 跟踪伺服电动机往返方向切换尽量平滑, 降低机械抖动; ③ 意外故障时, 主从伺服电动机能够回归至原始位置, 每次回归原始位置的重复定位误差不超过 0.1° ; ④ 主伺服驱动器和跟踪伺服驱动器可根据同步数据线, 根据各自编码器控制信号, 实时纠正控制脉冲信号。PLC 控制单元的高精度伺服控制是运动过程中采集图像时摄像机坐标系不变性的保证。视觉成像与采集系统在图像处理过程中的核心部分, 是制约整个检测机构执行速度的瓶颈, 因此, 在保证检测质量的前提下, 选取合适的视觉成像与图像采集方案, 对检测系统执行速度的突破具有重要意义。检测系统根据异物的多目标检测需求, 常采用多工位并行图像采集方式, 检测系统采用主从分布式系统, 一台服务器下设有多个检测工控机, 每个检测工控机安装多个图像传感器。如图 11 所示, 为一台工控机连接两台千兆网相机的采集方案, 图像采集卡安装在检测工控机中, 检测工控机对图像进行处理后, 发送检测结果数据包到服务器程序。另外, 控制系统中还设有打印、显示以及远程诊断与维护等功能, 方便用户做后续数据处理, 远程诊断与维护模块提供了远程协助接口, 为客户与生产商之间的产品维护和学习交流提供了接口。

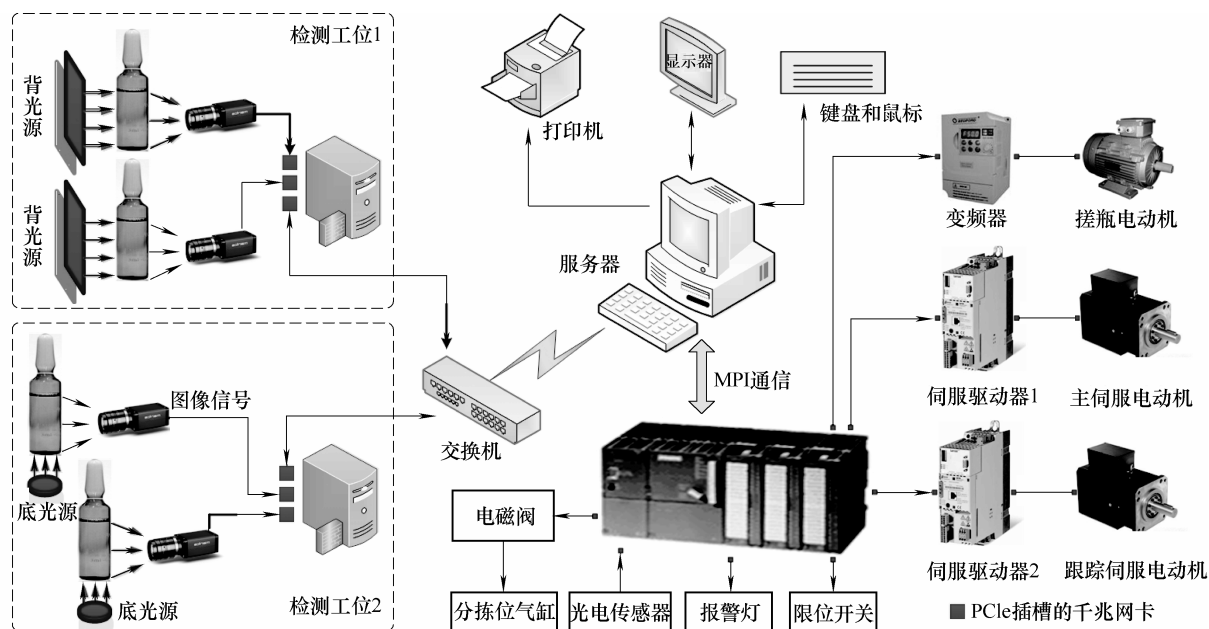


图 11 视觉检测机器人控制系统

2.4 图像处理方法

图像处理是完成异物检测、识别、分类过程最重要的环节是医药检测系统智能处理的部件, 与人工检测过程中的大脑处于等同的地位。为满足图像高速处理的需求, 目前几乎所有的医药药液在线检

测机器人采用的核心算法基本相同, 都采用了序列帧差分的方法^[7, 9], 通过相邻两帧图像作差, 消除两帧图像中相同的因素, 既消除背景, 提取出运动目标, 该方式较其他的方法更简洁、快速、准确度高, 其异物检测主要处理步骤如图 12 所示, 包括图像预

处理、确定感兴趣区域、消除抖动、帧差分算法、轨迹关联、特征提取与分类和正次品决策等。

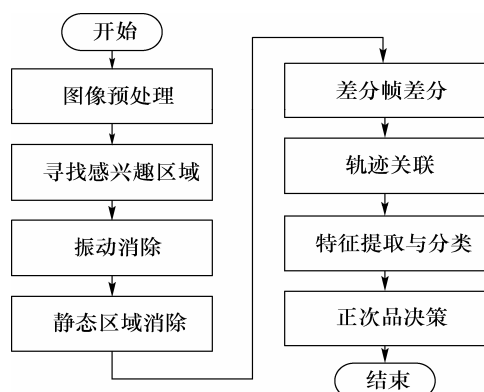


图 12 视觉检测机器人异物检测基本步骤

2.4.1 影响图像质量的挑战性难题及预处理方法

经高速图像传感器采集的序列图像，往往因随机噪声、机械振动、跟踪误差、外界干扰光等因素的影响^[11]，可能会导致图像中药液瓶体的姿态发生改变，并包含类似于异物特征的噪声信息，若直接采用差分算法进行处理，将难以达到较好的背景消除效果，因此，在进行序列帧差分算法之前，首先需要对序列图像进行一些相关的预处理，补偿机械振动、噪声、外界干扰光源等引入的图像误差，误差种类主要分为以下几个方面。

(1) 机械振动引起图像坐标系不统一，瓶体在图像中发生偏移和旋转，直接影响帧差分算法的可行性，因此，需要通过软件算法进行纠正。针对图像中瓶体的位姿变化比较小，像素偏移在 2 个单位以内的情况，可以通过形态学算法的膨胀、腐蚀、开操作、闭操作等算子进行相应处理，但是当图像中瓶体的位姿变化超过 2 个或者多个像素时，简单的形态学就难以起到良好的效果，需要采用特征匹配、定位、尺度变换等进一步的算法处理。

(2) 主轮盘与跟踪轮盘跟踪不同步，引起序列图像中清晰度的不统一。序列图像帧差分算法中清晰度是一个非常重要的指标，统一的清晰度可以增加背景变化的区分尺度，降低背景误判为目标和目标误判为背景的概率，图像的清晰度与图像传感器的曝光时间有关，一般情况下，CCD 传感器采集一帧图像的时间保持在 10 ms 以内，而此时若相机镜头视场内的目标发生轻微的振动，则同一坐标点发出的光能量会分布到 CCD 传感器的多个像元中，生成低清晰度图像。从低清晰度图像中恢复原始图像信息非常困难，且算法复杂，为此，在实际应用中，常计算单帧图像的清晰度参数，并从序列图像中移除低清晰度图像，保证检测的稳定性。

(3) 瓶壁中污垢、擦痕、玻包等因素易误判为异物。药液瓶体在图像检测之前，已经经过洗、灌、封等多个环节，易造成瓶体表面轻微的擦痕，并沾有污垢，此类特征在光源的照射下能够清晰成像，若在图像采集过程中，瓶体位置发生偏移或晃动，则差分处理以后会出现边缘或空隙，特征与杂质相似，易造成误判，降低准确率。因此，在图像决策之前需要根据异物的形态、轨迹、位置分布等特征区分杂质与瓶避静态干扰。常用的方法有能量累积法、多帧图像局部特征比对法等。

(4) 杂质的尺寸需要符合国家药典规定，最大不超过 50 μm 。医药药液检测要求十分严格，需要严格保证微粒尺寸，大于 50 μm 的异物一旦被注入人体，易造成血栓、梗塞等疾病，但 50 μm 的检测检测精度仅靠高分辨率图像采集传感器难以实现，因为图像传感器分辨率越高，数据传输量越大，检测速度越低，与客户的需求不符。在实际的检测过程中，常采用亚像素图像处理方法，最高精度可以达到 1/40 像素。

2.4.2 异物检测与识别算法

异物检测与识别算法是医药药液异物视觉检测机器人最核心的部分，其分析图像中是否包含可见杂质，并根据杂质的特征进行分类与最大直径测量，最终给出正次品结果与次品分类信息。检测算法除了保证检测效果外，还必须兼顾算法执行时间、稳定性以及鲁棒性，保证检测设备的高速稳定运行。目前，几乎所有的医药药液异物视觉检测机器人都采用序列帧图像差分算法，序列帧图像差分算法的典型流程图如图 13 所示。

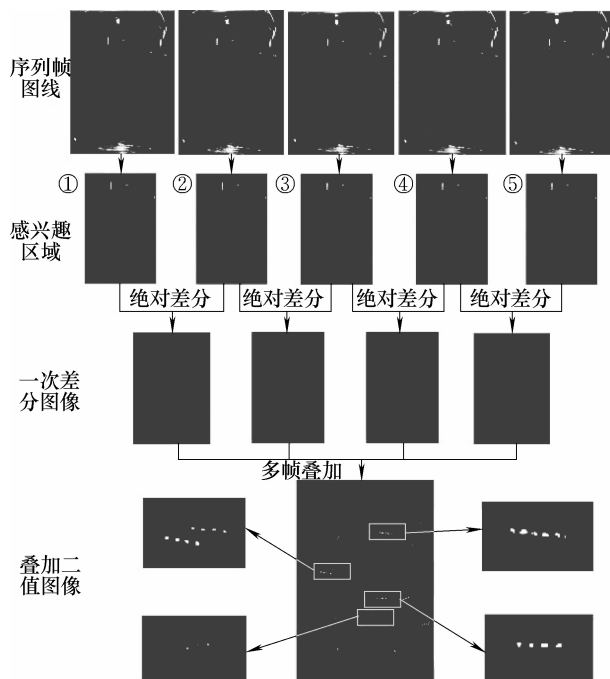


图 13 序列帧图像差分算法流程图

序列帧图像差分算法具有算法简单、效果明显、运算速度快等优点^[13], 成为医药视觉检测的主要处理算法, 通过该算法处理后, 能够得到异物的多个特征信息, 方便了后续异物的检测与识别。在图像采集过程中, 由于序列图像帧间隔时间较短, 最终叠加图像中异物的运动轨迹趋于线性, 而瓶壁污迹与擦痕的运动轨迹随机振动随意变化, 因此, 在实际检测过程中, 将运动轨迹的线性度作为分辨运动异物与静态干扰的主要指标, 目前, 搜索异物运动轨迹常用的方法有几何法、局部区域 hough 变换法以及最小二乘法、神经网络和支持矢量机^[14]等。

但是, 序列帧图像差分方法对微弱异物、高速运动异物、絮状外形异物的检测效果较差, 主要原因为: 微弱异物的像素亮度值几乎与背景相同, 二值化过程中, 易因阈值选区不当, 被误划分为背景; 高速运动异物因 CCD 传感器曝光时间内相对非静止, 造成灰度低, 形状不规则等, 难以进行特征检测与识别; 絮状外形异物具有亮度不均匀性, 易在图像预处理过程中被消除, 特征弱化。

因此, 为达到最优序列帧图像差分算法的处理效果, 需要着重从以下几个方面入手: ① 对感性区域进行直方图均衡化, 增强背景与目标的区分尺度^[15]; ② 提取连通域特征, 根据长宽比识别高速运动特征^[16]; ③ 对絮状异物连通域进行密度特征分析^[17], 建立絮状异物的特征库, 提高絮状异物检出的正确率, 避免误检、漏检。

3 结论

随着药液视觉检测机器人研究的不断深入, 目前一些技术已经取得了较大的发展, 并研制出了多台药液视觉检测机器人样机, 现已投入到各医药制造厂家中使用, 然而, 当前仍有较多关键问题需要突破, 距离国际先进智能灯检机水平仍存在一定差距。为加快研发具有自主知识产权的医药注射液智能检测机器人, 打破国外技术垄断, 未来可结合以下几方面展开研究。

(1) 优化机械模型设计, 增强机械的稳定运行。不断地完善和改进智能检测机器人的机械设计, 是提高整机检测速度和稳定性能的重要手段, 随着我国逐步进入老龄化社会, 对医药的需求量将逐年加大, 医药生产厂家对检测装备的速度和功能要求也越来越高, 因此, 需要在影响力学性能的关键难题进行技术突破。

(2) 增加设备的智能化和集成化程度, 易于用

户操作与维护。智能检测机器人经常每天运行 20 h 以上, 若工作过程中出现故障, 将严重扰乱流水作业的进度, 因此, 智能检测机器人必须具备故障自诊断及修复的能力, 并能够通过网络手段通知设备维修人员, 保证在短时间解决故障。

(3) 开发功能更强大的视觉处理方案, 更高的检测精度、更低的漏检率和误检率等性能指标, 医药安全关系的人体的生命健康, 因此, 必须进行技术创新和突破, 从视觉解决方案、成像方案、检测算法、决策方法等多方面进行攻关, 不断地完善设备功能, 提高整体性能。

(4) 提升运行环境和检测产品的适应能力。医药产品种类多样, 外形各异, 各检测对象的目标特征不尽相同, 现有检测设备只能满足安瓿(2~10 mL)的检测, 而针对于大输液、软袋、塑瓶等高难度药液的检测仍处于起步阶段, 而该类药液是医药市场上的主要产品, 亟需检测设备。

(5) 形成统一的可见异物视觉检测标准。对现有多家设备厂家生产的视觉检测产品, 在检测速度、检测精度、检测对象以及误检率、漏检率、测试方法等方面形成统一的规范, 形成相同的国内药液检测设备行业规范。

参 考 文 献

- [1] 杜笑鹏. 机器自动灯检与人工灯检的比较[J]. 机电信息, 2010(29): 21-25.
DU Xiaopeng. Comparison of machine automatic particle inspection and artificial particle inspection[J]. Mechanical and Electrical Information, 2010(29): 21-25.
- [2] 郑筱萸. 中华人民共和国药典[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
ZHENG Xiaoyu. Pharmacopoeia of P. R. C.[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005.
- [3] 周博文, 王耀南, 葛继, 等. 基于机器视觉的医药注射剂智能检测系统研究[J]. 机器人, 2009, 31(1): 53-60.
ZHOU Bowen, WANG Yaonan, GE Ji, et al. A machine-vision-based intelligent inspection system for pharmaceutical injections[J]. Robot, 2009, 31(1): 53-60.
- [4] 张辉, 王耀南, 周博文, 等. 医药大输液可见异物自动视觉检测方法 & 系统研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2010, 24(2): 125-130.
ZHANG Hui, WANG Yaonan, ZHOU Bowen, et al. The detection algorithm for moving point target trajectory in image sequences[J]. Acta Electronica Sinica, 2010, 24(2): 125-130.
- [5] 毛镇华, 刘振, 李鹏程, 等. 用于自动灯检机的自转

- 驱动装置: 中国, 200910303965.7[P]. 2009-07-02.
- MAO Zhenhua, LIU Zhen, LI Pengcheng, et al. a rotation drive equipment used for automatic inspection machine: China, 200910303965.7[P]. 2009-07-02.
- [6] 陈国良, 黄心汉, 周祖德. 微装配机器人系统[J]. 机械工程学报, 2009, 45(2): 288-293.
- CHEN Guoliang, HUANG Xinhan, ZHOU Zude. Micro-assembly robot system[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2009, 45(2): 288-293.
- [7] 李群明, 高丹, 邓华. 重载夹持装置接触力的封闭性[J]. 机械工程学报, 2010, 46(11): 36-42.
- LI Qunming, GAO Dan, DENG Hua. The contact force-closure of heavy duty gripping mechanisms[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2010, 46(11): 36-42.
- [8] LI Hongcai, YAN Qingdong, XIANG Changle, et al. Analysis method and principle of dual-mode electro-mechanical variable transmission program[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2012, 25(3): 524-529.
- [9] 刘祥华, 张旭. 一种同步跟踪采集图像的自动检测机: 中国, 201010155372.3[P]. 2010-04-23.
- LIU Xianghua, ZHANG Xu. A automatic detection machine based on synchronous tracking and image acquisition: China, 201010155372.3[P]. 2010-04-23.
- [10] 葛继, 王耀南, 张辉, 等. 改进型 PCNN 的智能灯检机研究[J]. 仪器仪表学报, 2009, 30(9): 1866-1873.
- GE Ji, WANG Yaonan, ZHANG Hui, et al. Study of intelligent inspection machine based on modified pulse coupled neural network[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2009, 30(9): 1866-1873.
- [11] CHEN Jun, WANG Yaonan, WU Chengzhong. Research on real-time vibration-insensitive inspection and classification algorithms for automatic online vision-based inspector[C]// Transportation, Mechanical, and Electrical Engineering (TMEE), December 16-18, 2011, Man. and Cybernetics Society (SMC) and University of Jilin, Changchun, China. PACIA, 2011: 1737-1742.
- [12] 张兵, 卢焕章. 序列图像中运动点目标轨迹检测算法研究[J]. 电子学报, 2004, 32(9): 1524-1526.
- ZHANG Bing, LU Huanzhang. The detection algorithm for moving point target trajectory in image sequences[J]. Acta Electronica Sinica, 2004, 32(9): 1524-1526.
- [13] 张耀, 王耀南, 周博文. 异型瓶药液中可见异物的智能视觉检测机器人[J]. 仪器仪表学报, 2010, 31(5): 1058-1063.
- ZHANG Yao, WANG Yaonan, ZHOU Bowen. Intelligent visual inspector for visible foreign substance in special shaped bottled medical liquid[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2010, 31(5): 1058-1063.
- [14] GE Ji, WANG Yaonan, ZHOU Bowen, et al. Multi-scale shaft parts image edge detection and measurement based on wavelet transform[C]// 2008 IEEE Pacific-Asia Workshop on Computational Intelligence and Industrial Application, December 19-20, 2008, Wuhan University, Wuhan, Hubei, China. PACIA, 2008: 371-375.
- [15] 李杨果, 王耀南, 王威. 基于机器视觉的大输液智能灯检机研究[J]. 光电工程, 2006, 33(11): 69-74.
- LI Yangguo, WANG Yaonan, WANG Wei. Intelligent transfusion liquor inspector based on machine-vision[J]. Opto-Electronic Engineering, 2006, 33(11): 69-74.
- [16] ZHANG Jin, WANG Zhong, YE Shenghua, et al. Verticality detection algorithm based on local image sharpness criterion[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2012, 25(1): 173-178.
- [17] GE Ji, WANG Yaonan, ZHOU Bowen, et al. Intelligent foreign particle inspection machine for injection liquid examination based on modified pulse-coupled neural networks[J]. Sensors, 2009(5): 386-404.
-
- 作者简介: 王耀南, 男, 1957 年出生, 博士, 教授, 博士研究生导师。主要研究方向为智能控制、机器人控制和机器视觉。
E-mail: yaonan@hnu.edu.cn
- 吴成中(通信作者), 男, 1987 年出生, 博士研究生。主要研究方向为视觉检测与测量、视觉导航及机器人控制。
E-mail: hnurabbit2002@sina.com