

基于视觉技术的涂装车间应用研究

赵 晟, 吕朋辉, 高 瑞, 关海涛
(中国汽车工业工程有限公司, 天津 300113)

摘要: 随着芯片技术的快速迭代及各类算法的快速发展, 相较于早期, 视觉技术早已脱胎换骨, 其在工业生产中各方面的应用价值也越来越大。汽车生产过程中的涂装车间工艺复杂繁多, 设备之间存在多种耦合及交接, 需要人工参与的工序亦不在少数。本文旨在探讨基于视觉技术在涂装生产中的应用研究。通过对视觉技术的特点深入分析, 结合涂装车间的生产工序及特点, 发掘多种适配于涂装生产的场景, 进而提高涂装车间在生产过程中的稳定性和生产效率, 降低成本。

关键词: 涂装车间; 视觉识别; 图像处理; 算法; 智能制造

中图分类号: TQ639 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-9548(2026)01-0005-04

Research on the Application of Visual Technology in Painting Workshop

ZHAO Sheng, LYU Peng-hui, GAO Rui, GUAN Hai-tao
(Automotive Engineering Corporation, Tianjin 300113, China)

Abstract: With the rapid iteration of chip technology and the rapid development of various algorithms, compared to the early days, visual technology has already undergone a complete transformation, and its application value in various aspects of industrial production is also increasing. The painting workshop process in automobile production is complex and diverse, with various couplings and handovers between equipment, and there are also many processes that require manual participation. This article aims to explore the application research of visual technology in painting production workshops. Through in-depth analysis of the characteristics of visual technology, combined with the production processes and features of the painting workshop, various scenarios suitable for painting production are explored, thereby improving the stability and production efficiency of the painting workshop in the production process and reducing costs.

Key words: painting workshop; visual recognition; image processing; algorithm; smart manufacturing

0 引言

近年来,随着 AI 芯片性能的大幅提升以及深度学习、神经网络等技术的快速发展,使得视觉识别的准确率及在复杂场景下的识别应用能力得到明显提升。在工业制造过程中,能替代很多传统传感器,实现降低成本,甚至完成很多传统传感器无法胜任的任务场景。在解决生产过程中的难点痛点问题的同时,更好地助力企业实现智能制造。

收稿日期: 2025-12-01

作者简介: 赵晟(1992—),男,本科,工程师,主要从事与汽车涂装相关的信息化、智能化技术开发工作。E-mail: zhaosheng@chinaaie.com.cn。

在汽车生产的涂装过程中,存在很多设备及复杂机械结构的协同配合,通过视觉识别技术的介入能有效解决传统传感器无法处理的复杂场景。同时涂装生产过程中有很多需要质检的环节,传统方式往往依赖人工目视检查,不仅效率低下,而且容易受到主观因素影响,导致质检结果存在一定的偏差^[1]。工业视觉技术的引入,为涂装车间的质检环节带来了革命性的变化。通过高清相机和先进的图像处理算法,能够实现对涂装表面缺陷的自动识别与分类,大大提高质检的准确性和效率。

因此,开展基于工业视觉技术的涂装车间应用研究工作,对于提升汽车生产过程的质量和效率具有重要意义。

1 视觉识别系统构成

视觉系统通过相机或摄像头结合光学装置等传感器进行图像采集,得到图像或视频信号,传输到计算机端后采用某些特定的算法识别图像中的内容信息,最终按识别率给出判断结果^[2]。

视觉技术的主要意义是通过整套系统替代人眼,进行图像的采集、识别和处理,从而解放劳动力,提高生产效率和精度。其主要流程包含图像采集、特征提取、预处理、图像分析、决策与输出以及反馈与优化等,如图 1 所示。

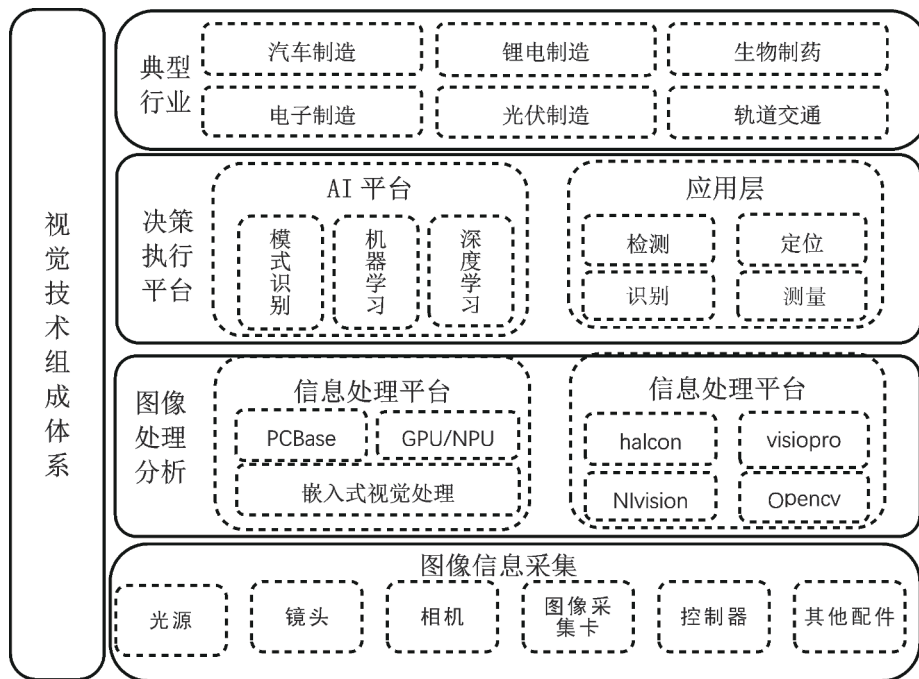


图1 视觉技术组成体系

1.1 视觉识别系统的硬件组成

实现工业视觉识别的硬件主要包含工业相机、镜头、光源、光源控制器、视觉识别控制器等。

1)工业相机:由相应的图像传感器、处理芯片等构成,是视觉系统获取图像数据的主要元器件,主要分为线阵相机和面阵相机^[3]。面阵相机由二维矩阵式感光元件构成,因此单次曝光可获取完整的平面图像,适合低速动态或静态场景。线阵相机由一维线性排列的感光单元构成,在物体与相机的相对运动时实现逐行扫描,其成像分辨率极高,适合高精度测量场景。相机的主要参数有识别分辨率、曝光方式、帧频和接口等。工业相机的主要接口类型有 USB3.0、CXP-6/CXP-12 接口、GigE。

2)镜头:主要参数包括焦距、放大倍数等,影响成像距离和范围。

3)光源:在视觉识别的图像采集过程中,光源会影响到图像的各个方面,因此其作用非常重要。不包含亚像素处理手段的情况下,通常背光测量 1~2 个像素的精度。目前的视觉光源大多采用 LED 型光源,主要考

虑其光效、结构、亮度、功率等性能。为突出对象目标的特征,同色打白,降低背景的干扰,需要选择合适颜色的光源,增加色彩还原度。根据不同场景需求,光源分为角度照射、垂直照射、背光照射、条光照射等多种类型,需根据场景需求选择对应的照射光。

4)光源控制器:为光源提供稳定电源,同时可实现光源的亮度强弱调节等。

5)视觉控制器:作为视觉系统的核心部件,主要实现图像识别处理、模型运行、PLC 通讯、相机信号接入等功能,其硬件性能直接决定整个视觉系统的运行速度及稳定性。

1.2 视觉识别相关算法

针对不同应用场景,视觉算法种类繁多,主要包含图像分类算法、目标检测与识别算法、语义分割算法等。

图像分类主要用于对不同类型的图像目标进行分类,可以基于图像纹理的分类、基于图像形状的分类、基于图像色彩索引特征的分类等,常用于安防监测、图像标注、物体识别等场景^[4]。

目标检测用于在控制器收到的图像信息中，识别出预先标注的目标物体并进行标注，常用的算法模型如下所示。

Faster R-CNN: 深度神经网络驱动的目标检测架构,其创新在于整合了区域提议网络(RPN)机制,通过锚点(预设参考框)的引入优化候选区域生成效率,并配合 RoI 池化模块实现多尺寸目标的特征归一化处理,最终在保证精度的同时显著提升检测速率。

YOLO(单一视角检测):该模型开创了单阶段检测范式,将目标识别与定位整合为端到端的回归任务,依赖卷积神经网络直接输出目标类别概率及边界框坐标,实现“一次扫描完成检测”的高效处理模式。

SSD(单次多框探测器):同样采用单阶段检测策略,其核心优势在于多尺度特征融合,通过在卷积网络的不同层级特征图上预置多样化尺寸与长宽比的先验框(prior boxes),使模型能够自适应匹配不同尺度目标的检测需求,实现精准且高效的多尺寸目标识别。

语义分割适用于对图像精细分割及像素级别的分类场景,把图像的各个像素标记为语义类别,为每个像素分配标签。常用模型包括 DeepLab V3+、FCN(Fully Convolutional Network)、U-Net 等。

1.3 视觉识别过程

1)图像采集过程

由 PLC 给出触发信号后,视觉控制器触发相机对相应的场景拍照,将拍摄到的图像导入到模型中进行训练,训练完成后可直接由模型输出所需的结果,进而通过 PLC 控制生产。视觉识别过程如图 2 所示。

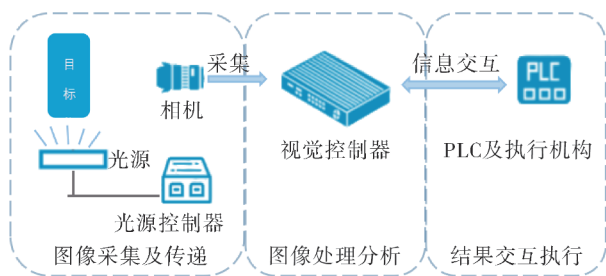


图 2 视觉识别过程

2)模型训练环节

样本体系通常由正样本(含目标对象)或负样本(无目标对象)共同组成。视觉系统通过算法对原始样本执行特征筛选与提取操作,最终训练生成分类器模型。由于样本量通常达数万级,提取特征数量更呈倍增态势,为优化训练效率,常会引入知识库机制(预先向系统植入规则知识)或设置约束条件以缩小特征搜索范围。视觉模型训练过程如图 3 所示。

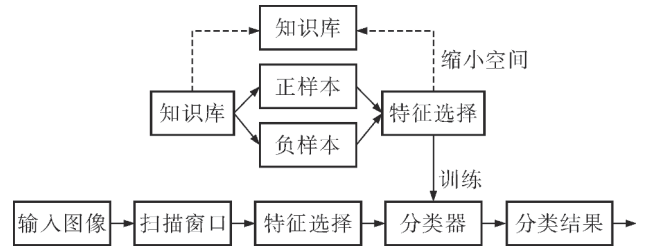


图 3 视觉模型训练过程

3)图像识别流程

首先对输入图像进行信号转换、噪声抑制等预处理操作,随后调用训练成熟的分类器实施目标检测。具体检测时采用滑动窗口策略,在待检测图像上移动固定尺寸的子窗口,每移动至新位置便计算该区域特征值,再通过分类器评估特征值,判定当前区域是否包含目标对象。

2 视觉技术的应用范畴

当前视觉识别系统的主要应用范畴如下所示。

1)识别:针对目标物体的特征进行甄别,如目标的形状、颜色、字符条码等,在特定的图形场景识别及 OCR 识别功能中有很多重要实用的应用场景,其关键在于精准和快速。

2)测量:获取到对应的图像信息后,通过转换为常用的度量衡单位,精确计算相应的几何尺寸,这一功能在误差测量、尺寸标注等场景中有广泛的应用价值。

3)定位:获取到目标的二维或三维信息后,通过视觉定位,引导机械臂等生产设备进行精确定位或移动,通过高精度快速定位增加机器人等设备运行的灵活性和柔性化。

4)检测:通过图像分析算法,对目标产品的外观进行检测,如缺陷检测、尺寸检测等。

3 视觉技术在涂装车间的应用

汽车涂装的生产过程工艺复杂,需要多种输送及转接系统之间相互配合,同时在很多工序中需要人工参与和检测,为了实现生产的降本、提质增效,将视觉识别技术结合在涂装生产中有很多合适的场景^[9]。

3.1 设备安全监测

涂装车间生产过程中工序复杂且存在多种设备交接等过程,而设备交接是否完全交接到位,受限于机械结构及安装形式等因素往往无法实现有效检测。在生产过程中车身与滑橇,滑橇与部分输送设备之间均需要处于完全锁紧的可靠状态,才能实现各个工艺过程的准确运行,准确的定位对于涂胶机器人和喷漆机器人的运行也非常重要^[9]。而该过程依靠传统的光电类传感器难以实现有效检测判断,通过引入视觉技术实

现辅助判断,进而释放人力资源,大大减少由此引发的生产停线故障等。通过对机械类结构的图像采集、标注、模型建立部署等流程,将对应的硬件及软件系统进行部署后,可以实现有效的生产辅助。

3.2 人员、环境安全监测

涂装车间生产过程中,会应用很多的移行机、升降机等大型移动类设备,在设备运行及维保操作过程中都需要相关人员对安全足够重视,传统的安全类设备通常是触发性检测^[7],如采用安全门、对射开关等形式,这些措施仅在对应设备处于触发状态时会连锁对应的设备停止。而在某些特殊情况下,如人员仍处在危险区域但安全设备已经被复位的情况下,则有可能造成安全事故等后果。通过视觉识别系统的介入,将危险区域进行视觉标定持续监测,只要人员仍然处于危险区域则一直存在报警信号。但该功能对视觉识别的准确性、实时性要求很高,而且通常情况下需要对相关产品有严格的安全认证,产品的性能需要得到有效认可。

安全作为工业生产的重中之重,将工业视觉技术与现有摄像头等整合,借助目标检测与场景分割等算法技术实现各类场景的及时预警,如车间液体泄漏监测、火灾监测、安全通道堵塞监控等。通过视觉技术实现 24 h 在线监测,监测到异常后发出预警,通过电话短信等形式及时通知应急团队,实现早发现早处理^[8]。

3.3 质量缺陷检测

车身喷涂质量是汽车生产涂装车间的重要指标,直接关系到车身的美观性和防腐保护等,在涂装车间生产过程中,由于各个工序多种因素的影响,如油漆供应的批次质量、生产过程的杂质、生产工艺及耗材的更替等因素都会对最终的喷涂质量造成不同程度的影响,在车身喷涂质量出现缺陷时,传统生产线往往依赖于质检人员反复检查标注,该过程完全依赖人工,人为的疲劳度等是影响交付进度的关键因素。将机器视觉技术进行引入后,大大降低人工工作量,提高检测效率。

通过将可调节光源、检测相机、处理器整合形成检测单元,配合机械臂实现车身的全方位扫描后,应用图像合成技术,对光源进行调节后将不同光照下的同一缺陷状态进行捕捉,实现其三维缺陷特征重建后将数据实时传输至服务器进行解析,最终将结果呈现在打磨工位供参考^[9]。

涂装生产过程中,有些工位需要对工艺孔进行堵塞,焊缝密封等操作,以实现密封、降噪等效果,但在少数情况下,由于操作人员的疏忽可能会出现漏堵、误

堵,进而对产品的交付造成影响;安排专门的质检人员排查又造成人力资源的浪费。将视觉系统引入后可以以较低的成本解决此类问题,更好地助力生产^[10]。

3.4 车身数据追踪及车型颜色识别

为实现精益化生产,在涂装车间的生产过程中通常设置 AVI 系统用于追踪生产过程中各工件的流通状态及生产过程的数据传递交互。现阶段大部分跟踪系统采用 RFID 无线射频技术,读取装配在滑橇上的无源载码体实现功能。但涂装生产过程存在各种液体浸泡及高温烤制,这些过程会使得载码体的寿命大幅缩短,对生产成本造成一定的提升,随着视觉技术的发展与完善,通过引入视觉识别,对车间的唯一编码滑橇号等进行识别后即可实现车身的追踪及数据传递等功能,进而减少生产过程的损耗,降低生产成本。通过视觉识别系统对通过的车身车型及颜色进行识别后可以实现数据传递及校验功能。

4 结语

计算机视觉为各行业及各种场景的优化带来了显著优势。在成本方面,它通过实现任务自动化,有效降低了运营成本,提升了生产力并减少了错误发生。从可扩展性角度看,计算机视觉系统部署后,能够轻松应对大规模数据的处理需求,尤其适合处于成长阶段的企业或需要大规模运营的场景。此外,其应用定制化特点也极为突出,企业可利用自身数据集对计算机视觉模型进行微调,从而获得高度贴合特定应用场景的专业化解决方案。

然而,视觉识别带来诸多优势的同时,也必须正视其成本及实施过程中的挑战。首先是数据隐私问题,特别在数据安全级别要求高的领域,如军工、医疗保健等敏感领域,视觉数据的使用可能引发隐私和安全方面的问题。同时,计算机视觉系统对运行环境有一定要求,在光线不足、图像质量欠佳或背景复杂等不利条件下,其性能可能会受到影响。另外,前期开发也需要一定的投入,需要配备专门的硬件、软件以及具备相关专业知识的开发人员,开发和实施计算机视觉系统的成本会相对较高,对相关技术人员各方面的技术能力要求也很高。

随着各类智能制造技术的快速发展,各行业越来越高的无人化率将成为发展的必然趋势。机器视觉技术目前在汽车涂装生产过程中的应用还相对较少,仍有广阔的应用场景有待发掘探索,其在生产过程辅助决策、人员行为分析等方面都存在很多应用优势。在工业智能化到来的时代,通过工业视觉技术的广泛应用,给制造赋能的同时,也成为 AI 等各项技术实现落地应用的重要方向。

(下转第 48 页)