计算机视觉在工业自动化检测中的应用策略

王法卓
上海宝信智矿信息科技有限公司，上海 201900
DOI: 10.61369/TACS.2026070054

摘　　要： 工业自动化检测是智能制造体系的核心环节，传统人工检测、常规传感检测存在效率低、精度有限、稳定性差、人工成本高等诸多短板，难以适配高精度、高节拍、智能化的现代工业生产需求。计算机视觉技术依托非接触式感知、高速图像处理、精准特征识别的核心优势，已广泛渗透到工业缺陷检测、尺寸测量、工况监控、产品分拣等场景，成为工业检测智能化升级的核心驱动力。本文系统梳理计算机视觉工业检测的核心技术体系，剖析其在工业自动化检测中的典型应用场景，针对复杂工业光照干扰、缺陷特征微弱、实时性适配不足、场景泛化性弱等行业痛点，提出分层适配、技术迭代、场景定制、软硬协同、运维优化的全方位应用策略，并结合工业落地实践分析现存问题与优化路径，展望技术未来发展趋势。研究旨在为制造业企业落地计算机视觉检测系统、提升工业自动化检测精度与效率、推进智能制造转型升级提供理论支撑与实践参考。

关 键 词： 计算机视觉；工业自动化；缺陷检测；智能制造；应用策略；深度学习

Application Strategies of Computer Vision in Industrial Automation Inspection

Wang Fazhuo
Shanghai Baoxin Intelligent Mining Information Technology Co., Ltd., Shanghai 201900

Abstract: Industrial automation inspection stands as a pivotal component of the intelligent manufacturing system. Traditional manual inspection and conventional sensing methods suffer from numerous drawbacks, including low efficiency, limited accuracy, poor stability, and high labor costs, making them ill-suited for the demands of modern industrial production characterized by high precision, high tempo, and intelligence. Leveraging its core advantages of non-contact sensing, high-speed image processing, and precise feature recognition, computer vision technology has been extensively integrated into various industrial scenarios such as defect detection, dimensional measurement, condition monitoring, and product sorting, becoming a key driving force for the intelligent upgrade of industrial inspection. This paper systematically reviews the core technological framework of computer vision in industrial inspection, analyzes its typical application scenarios in industrial automation inspection, and addresses industry pain points such as complex industrial lighting interference, subtle defect features, inadequate real-time adaptability, and weak scene generalization. It proposes comprehensive application strategies encompassing hierarchical adaptation, technological iteration, scene customization, software-hardware synergy, and operation and maintenance optimization. Additionally, it analyzes existing issues and optimization paths based on industrial implementation practices, and looks ahead to future technological development trends. The research aims to provide theoretical support and practical references for manufacturing enterprises to implement computer vision inspection systems, enhance the accuracy and efficiency of industrial automation inspection, and advance the transformation and upgrading of intelligent manufacturing.

Keywords: computer vision; industrial automation; defect detection; intelligent manufacturing; application strategies; deep learning

引言

随着工业4.0与智能制造战略的深度推进，制造业生产模式逐步向高速化、精密化、智能化转型，产品质量检测、生产工况监控、设备状态排查等检测环节的自动化、智能化水平，直接决定企业生产良品率、生产效率与核心竞争力。传统工业检测模式主要依赖人工目视检测与接触式传感检测，人工检测易受疲劳、情绪、经验影响，存在误检、漏检率高、检测标准不统一等问题，且无法适配微小缺陷、高速流水线检测场景；接触式传感检测易对精密工件造成损伤，检测维度单一，难以实现全域、多维检测，已然无法满足现代工业

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

高质量发展需求。

计算机视觉技术通过工业相机、光学成像设备完成工业场景图像信息采集，依托图像处理、特征提取、智能识别算法实现目标检测、缺陷判定、尺寸计量、工况识别，具备非接触、高精度、高速度、可量化、可追溯的技术优势，可有效弥补传统检测方式的短板。近年来，随着深度学习、轻量化模型、三维视觉技术的迭代升级，计算机视觉突破了传统机器视觉依赖人工特征设计的局限，在复杂工业场景的适配性大幅提升，检测准确率可达97% 以上，处理帧率可达40-60FPS，广泛应用于电子制造、机械加工、汽车零部件、纺织、焊接等多个工业领域。但在实际落地过程中，仍存在场景适配性不足、复杂环境抗干扰能力弱、小样本场景识别精度低、软硬件协同性差、落地成本高等问题，缺乏系统化、可落地的应用策略支撑。

一、计算机视觉工业检测核心技术体系

（一）图像采集与预处理技术

计算机视觉的基本原理在于通过摄像头或传感器捕获图像，利用图像处理技术提取特征，再通过模式识别技术对特征进行分类和识别。[1] 图像采集是工业视觉检测的基础，核心依托工业相机、高清镜头、光源控制系统构建成像体系。高质量的图像是准确识别的前提。[2] 针对工业车间光照不均、粉尘干扰、工件反光等复杂环境，需搭配定制化光学方案，通过环形光源、条形光源、同轴光源适配不同工件表面成像需求，保障图像清晰度与特征完整性。图像预处理是提升检测精度的关键前置环节，主要解决原始图像存在的噪声、对比度不足、边缘模糊等问题。在计算机视觉技术的应用背景下，所获得的图像具有画质清晰的特点，此时，相关系统通过应用该技术，可以从海量图像信息中，获取有价值的信息内容，并存储和管理所提取的图像信息。[3] 工业场景常用预处理算法包括自适应中值滤波算法，可有效去除粉尘、光线干扰产生的椒盐噪声，完整保留缺陷边缘信息；Gamma 校正、直方图均衡化算法可提升工件本体与缺陷区域的对比度，强化0.1mm 级细微缺陷的可识别性；边缘检测、图像分割算法可精准划分检测区域，剔除无效背景干扰，为后续特征识别提供高质量图像数据。随着科技的不断发展进步，计算机信息化技术得到了日益广泛的应用，在具有自动识别功能的人工智能化计算机系统之中，计算机视觉技术是最重要的技术，它取代了人工识别的方式，在很多行业中提高了生产效率，最大程度保障了产品的质量。[4]

（二）传统机器视觉检测技术

随着社会的发展，科技的进步，计算机的应用范围也越来越广，人们开始试图建立利用计算机来代替人类进行自动识别的人工智能系统，而要想建成这种系统一项必不可少的技术就是计算机视觉技术。[5] 传统机器视觉技术以人工特征设计为核心，依托OpenCV 等视觉开源库，通过阈值分割、轮廓提取、模板匹配、灰度分析等算法实现检测任务。该技术架构简单、运算速度快、稳定性高、无需大量标注数据，适配工况稳定、缺陷特征规则、检测标准统一的标准化工业场景，如标准零件尺寸测量、规整外观瑕疵检测、产品有无分拣等。在以往的工厂生产中，大多都是人工进行缺陷检测，但是人工检测需要花费较多时间，且误判、漏判的情况时有发生。[6] 在精密零件检测中，传统视觉技术可实现±0.02mm 级别的尺寸精度检测，能够满足基础工业质控需求。但该技术高度依赖人工特征设计，对不规则缺陷、复杂纹理缺陷、多变工况场景的适配性较差，泛化能力薄弱。

（三）三维视觉与多模态融合技术

如若以计算机的理论视角入手来分析视觉技术，需要借助于要素图、维图以及三维模型表像来进一步探索。[7] 传统平面视觉仅仅能够采集二维影像数据，没办法去探测工件方面的厚度变化、立体凹陷以及空间尺寸差异等三维缺陷，双眼立体视效协同结构光照仪以及激光扫描仪来提取工件的三维坐标以及形貌数据，集成了多尺度边缘辨识网络，得以实现弱纹理瑕疵的精确定位，并且完成三维量化评估，广泛应用于精密电子元器件、汽车零部件、焊接成型件的立体缺陷检测与尺寸校准。抗干扰能力以及识别稳定性在复杂工业场景下的检测系统当中得到了提升。这种提升的缘由在于进行了视觉图像、传感数据以及生产工况数据的整合。对这些数据开展的整合工作构成了多模态融合技术的核心内容。

二、计算机视觉在工业自动化检测中的典型应用场景

（一）工件尺寸与精度检测

精密机械零件、电子元器件、五金配件等工业产品对尺寸精度要求极高，传统卡尺、投影仪检测效率低下，无法适配流水线批量检测需求。比如南京造币厂是我们国家重点指定的印刷造币机器的生产厂，因为印刷造币机器是直接用来进行货币制造印刷的，因此对其生产工艺的要求极为严格，不允许有任何一丝一毫的差错存在，为了保证印刷造币机器的完全合格，必须对生产的成品进行十分精确的检测，因此印刷造币机器对计算机视觉技术的要求是极高的。[8] 计算机视觉检测系统通过高清成像与亚像素级边缘算法，可快速完成工件长度、宽度、孔径、间距、平整度等多维尺寸参数的自动化测量，实时判定产品尺寸是否符合公差标准。该检测方式非接触、无损伤，检测速度较传统方式提升10倍以上，精度可达 ±0.02mm，完美适配精密制造行业的高精度、高节拍检测需求。

（二）生产线工况与物料监控

在自动化生产流水线中，计算机视觉可实时监控生产线运行状态，实现物料有无检测、物料定位分拣、工件装配合规性检测、流水线异常工况识别。通过视觉与 PLC 控制系统协同联动，可实时反馈生产异常，自动分拣不良品与合格品，实现生

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

产、检测、分拣全流程自动化。同时，可监控生产过程中工件装配错位、漏装、多装等问题，保障生产线装配精度，降低装配次品率。

三、计算机视觉工业自动化检测落地核心难题

（一）复杂工业环境抗干扰能力弱

工业环境常常恶劣，可能受到高温、湿度、震动等条件的影响，因此嵌入式系统必须具备出色的耐用性和可靠性，以保持正常运行。[9] 工业生产现场存在光照强弱不均、工件反光、粉尘遮挡、振动干扰、温度湿度波动等复杂工况，易导致采集图像出现过曝、欠曝、模糊、噪声过多等问题，严重影响缺陷识别精度。同时，同一品类工件存在表面纹理差异、颜色偏差、摆放角度偏移等情况，进一步增加特征识别难度，导致通用模型检测稳定性下降。

（二）缺陷样本稀缺且场景泛化性差

工业生产良品率普遍较高，缺陷样本数量稀缺、类型不均衡，难以满足深度学习模型大规模标注训练的需求，易导致模型过拟合、小概率缺陷漏检等问题。同时，不同生产线、不同品类工件的缺陷特征差异较大，单一模型难以适配多场景检测需求，模型泛化能力不足，定制化改造成本较高。

（三）精度与实时性难以平衡

现代工业流水线生产节拍快，对检测实时性要求极高，部分高速生产线要求检测帧率不低于50FPS。高精度深度学习模型结构复杂、算力消耗大、推理速度慢，难以适配高速流水线实时检测需求；而轻量化模型虽实时性达标，但存在细微缺陷识别精度不足的问题，难以实现精度与速度的双向平衡。

（四）软硬件协同适配性不足与运维成本高

部分工业视觉检测系统存在软硬件适配脱节问题，高清成像硬件与算法模型不匹配、视觉系统与生产线 PLC 控制系统联动性差，导致检测数据无法实时反馈、无法实现生产闭环控制。同时，定制化视觉检测系统部署成本较高，且后期场景迭代、工件更新后，模型优化、系统调试运维难度大，对技术人员专业能力要求较高，中小企业落地门槛较高。

四、计算机视觉工业自动化检测系统化应用策略

（一）分层适配技术选型策略

基于工业场景复杂度、检测精度、实时性需求，实行分层技术选型，避免技术冗余或能力不足。优化图像预处理算法，如采用自适应滤波、图像增强等技术提高图像质量；改进特征提取算法，如利用深度学习技术提取更具区分性的特征；[10] 针对工况稳定、缺陷规则、标准化批量生产场景，优先采用传统机器视觉技术，依托成熟的模板匹配、阈值分割算法，搭建轻量化检测系统，兼顾检测速度与稳定性，降低落地成本；针对缺陷类型复杂、细微缺陷多、工况多变的高精度检测场景，采用深度学习轻量化模型，结合模型压缩、剪枝、量化技术，在保障97% 以上检测精度的同时，满足高速流水线实时检测需求；针对三维尺寸、立体缺陷检测场景，采用三维视觉成像技术，结合像素级语义分割算法，实现立体缺陷精准量化检测；针对小样本缺陷场景，引入迁移学习、Few-shot 学习技术，依托预训练模型快速完成小样本模型迭代，解决缺陷样本稀缺难题。

（二）工业环境抗干扰优化策略

从硬件成像与算法预处理双向优化，提升系统环境适应性。硬件层面，搭建定制化光学成像方案，根据工件材质、形态匹配专用光源与镜头，搭配遮光、防尘、防抖装置，规避光照、粉尘、振动干扰，保障成像质量稳定；算法层面，优化图像预处理流程，采用自适应滤波、动态 Gamma 校正、图像归一化算法，统一复杂工况下的图像质量，消除环境噪声干扰。同时，引入多帧融合、背景差分算法，剔除动态背景干扰，强化缺陷特征提取能力，提升复杂场景检测稳定性。

（三）场景定制化迭代优化策略

针对工业场景差异化需求，建立“场景调研 - 模型定制 - 测试迭代 - 落地优化”的闭环迭代机制。落地前充分调研生产线节拍、工件特征、缺陷类型、检测精度标准，定制专属检测模型与系统参数；落地后搭建常态化数据采集机制，实时积累生产线缺陷样本，通过数据增强、样本均衡算法优化数据集，持续迭代模型参数，提升模型场景泛化能力。针对多品类、小批量生产场景，搭建模块化视觉检测系统，支持模型快速切换、参数灵活调整，适配多品类工件检测需求，降低定制化成本。

（四）软硬件协同联动策略

构建“视觉采集 - 算法检测 - 数据传输 - 设备联动”的全链路协同体系。硬件选型遵循适配性原则，根据算法算力需求匹配工业相机、算力终端、控制器设备，保障硬件性能与算法需求高度契合；打通视觉检测系统与生产线 PLC、MES 系统的数据接口，实现检测数据实时传输、异常信号即时反馈，针对不良品自动完成分拣、停机预警、数据记录，实现检测、生产、质控全流程闭环控制。同时，统一数据传输协议，保障系统实时同步，降低数据延迟、传输异常带来的检测误差。

（五）低成本运维与规模化落地策略

针对中小企业落地门槛高、运维难度大的问题，推行轻量化、模块化、标准化落地模式。采用开源视觉算法框架搭配通用工业硬件设备，替代全定制化系统，大幅降低部署成本；搭建可视化运维平台，简化模型调试、参数修改、数据查询操作，降低运维技术门槛；建立标准化检测流程与评价体系，统一检测精度、误检率、响应速度等核心指标，实现视觉检测系统标准化落地。

五、结束语

计算机视觉技术凭借非接触、高精度、高效率的核心优势，彻底革新了传统工业自动化检测模式，有效解决了人工检测与传统传感检测的诸多短板，是智能制造质量管控升级的核心技术支撑。本文通过梳理计算机视觉工业检测核心技术体系，剖析多场

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

景应用现状，针对复杂环境抗干扰弱、泛化性差、精度实时性失衡、落地运维成本高等行业痛点，构建了分层技术选型、环境抗干扰优化、场景定制迭代、软硬件协同、低成本运维的全方位应用策略体系。该策略可有效适配不同行业、不同工况的工业自动化检测需求，能够显著提升工业检测的智能化、标准化水平。未来，需持续推进视觉技术与工业场景的深度融合，优化算法模型与硬件架构，降低落地门槛，推动计算机视觉检测技术在制造业规模化普及，为工业智能制造高质量发展提供坚实技术保障。

参考文献

[1] 陈运财 . 计算机视觉在工业自动化检测中的应用 [J]. 造纸装备及材料 ,2024,53(7):17-19.

[2] 汪健 , 王远爱 , 熊鑫 . 计算机视觉在烟叶自动解包工序中的应用研究 [J]. 电脑知识与技术 ,2024,20(19):111-114.DOI:10.14004/j.cnki.ckt.2024.1037.

[3] 彭炜轩 . 计算机视觉技术在自动化中的应用探究 [J]. 数字技术与应用 ,2023,41(10):103-105.DOI:10.19695/j.cnki.cn12-1369.2023.10.31.

[4] 柴媛媛 . 计算机视觉技术及其在自动化中的应用 [J]. 信息与电脑 (理论版),2018,(15):27-28+31.

[5] 崔天依 . 计算机视觉技术及其在自动化中的应用 [J]. 电脑知识与技术 ,2016,12(3):242-243.DOI:10.14004/j.cnki.ckt.2016.0414.

[6] 徐浩 . 基于机器视觉的工业产品表面缺陷检测算法研究 [D]. 苏州科技大学 ,2023.DOI:10.27748/d.cnki.gszkj.2023.000028.

[7] 江浩 . 计算机视觉技术在自动化中的应用探析 [J]. 科技创新与应用 ,2020,(14):179-180.DOI:10.19981/j.cn23-1581/g3.2020.14.075.

[8] 秦峰 . 计算机视觉技术及其在自动化中的应用 [J]. 信息通信 ,2015,(5):100-101.

[9] 聂芳 , 王艺鑫 , 庞文成 , 等 . 基于深度学习的嵌入式智能视觉系统在工业自动化中的应用研究 [C]// 延安市教育学会 . 第五届创新教育与发展学术会议论文集 (三) .[出版者不详],2023:137-145.DOI:10.26914/c.cnkihy.2023.092053.

[10] 王平岗 , 运现钦 . 信息化技术对推动工业自动化检测方法优化策略 [J]. 现代工业经济和信息化 ,2025,15(3):82-83.DOI:10.16525/j.cnki.14-1362/n.2025.03.025.

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.