

基于机器视觉的全自动应变片贴装系统的研究与实现

□王燕勇 顾佳捷 杨陈新 程菲

浙江天璇智控科技有限公司

【摘 要】本文介绍了一种应变片高精度检测定位与贴装方法。该方法利用机器视觉检测应变片位置及贴装位置，并利用机械臂自动化地执行应变片拾取、喷胶及粘贴流程。该方法能够在开放的工况场景下保持高精度、高可靠性。

【关键词】应变片贴装；机器视觉；机械臂；自动化

文献标识码：A

文章编号：1003-1870（2025）08-0015-04

Research and Implementation of Fully Automatic Strain Gauge Bonding System Based on Machine Vision

【Abstract】This paper introduces a high-precision detection, positioning and bonding method for strain gauges. This method uses machine vision to detect the position and bonding position of strain gauges, and uses a mechanical arm to automatically perform the processes of strain gauge picking, glue spraying and bonding. This method can maintain high accuracy and reliability in open working conditions.

【Keywords】strain gauge bonding; machine vision; mechanical arm; automatic

引言

在工业生产、智能制造与精密测量等高端制造领域，传感器的测量精度直接决定生产效能与产品品质。应变片作为传感器核心敏感元件，其贴片质量对传感器的可靠性、灵敏度及长期稳定性起着关键作用。然而，当前主流的应变片贴片工艺仍以手工操作为主，该方式存在流程繁琐、作业强度大等弊端，导致贴片精度离散性高、批次一致性差，严重制约传感器测量性能的提升。同时，人工操作易受疲劳因素影响，致使贴片位置偏移、粘贴气泡等质量缺陷频发，加之传统工艺对洁净度、环境温湿

度及操作人员技能水平要求严苛，进一步推高了生产成本。随着工业4.0与智能制造战略的深入推进，传感器制造正加速向自动化、高精度方向转型。在此背景下，研发应变片自动精密贴片系统不仅是突破传统工艺瓶颈、提升行业制造水平的关键路径，更是推动制造业向智能化、高质量发展的重要技术支撑。

针对当前应变片贴装过程中存在的问题与痛点，本文提出一种融合机器视觉技术的应变片智能检测定位与精准贴装方法。该方法通过构建高精度视觉测量模型与自适应控制算法，实现应变片贴装

全过程的自动化闭环控制，不仅有效解决了人工操作的不确定性与传统工艺的局限性，更能显著提升应变片安装的位置精度、角度精度及批次生产一致性，为推动传感器制造向标准化、智能化方向发展提供重要技术方案。

1 需求分析及方案设计

1.1 需求分析

在传感器应变片贴装过程中，对于贴装过程中参数的准确率、作业效率以及合格率等相关参数的需求如下表所示。通过需求分析，系统需要具备视觉检测、精确拾取、搬运、贴膜和质量检测等功能模块。每个模块的设计需基于实际应用场景，满足工业生产

中的高速度、高精度和稳定性等实际需求。

1.2 方案设计

基于上述需求，本文提出一种融合机器视觉检测技术、运动控制技术与机器人控制技术的一体化控制方案。该方案通过传送带实现工件运动的精准调控，同时借助机器视觉检测技术，对工件上应变片的贴装位置及应变片自身位置进行高精度识别，确保系统可适配不同型号的传感器，赋予系统柔性生产能力，显著提升复用性。系统基于视觉算法提供的准确坐标数据，由机械臂自主执行应变片贴片流程，大幅减少人工干预，有效提升贴片效率与一致性水平。

表 应变片贴装需求指标及参数

应变片方向识别准确率	参数要求
应变片贴片位置误差	≥99.9%
负压吸附末端执行器重量	≤0.1 mm
负压吸附末端执行器功耗	≤5 kg
负压吸附末端执行器压力	≤10 W
作业效率	≤10 KPa
贴片合格率	≤10 秒/ 孔位
贴片合格率	≥99%

2 自动贴装的工艺流程

本系统的设计目标是实现传感器组装过程中，从检测应变片位置到精准贴装过程的全流程自动化。其具体系统组成如图1 所示。该系统硬件由传送带、距离传感器、喷胶执行器、机械臂（末端集成贴

片执行器）、覆膜执行器、摄像头、光源等组成。通过严谨的软件控制逻辑将输送子系统，执行器子系统和视觉子系统有机整合为一个整体，实现协同自动化控制。其整体控制工艺流程如图2 所示。

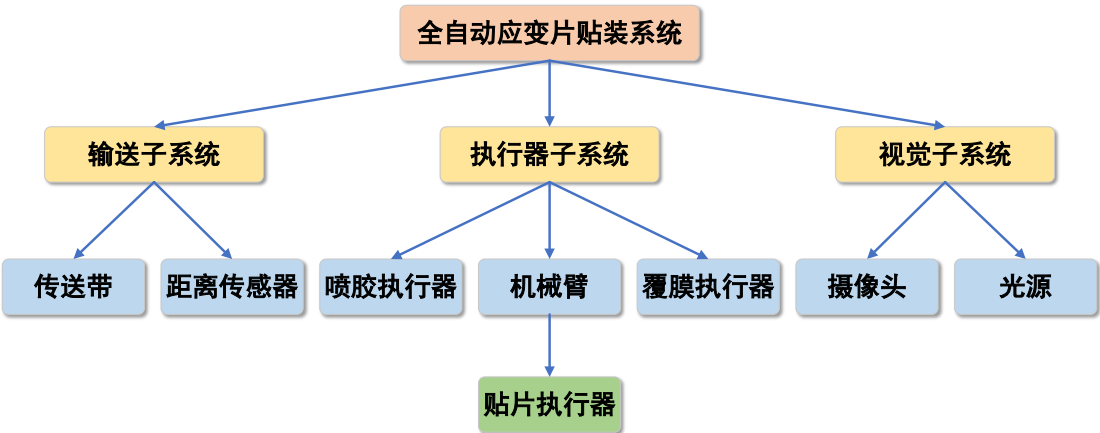


图1 基于视觉的传感器应变片贴装系统硬件结构

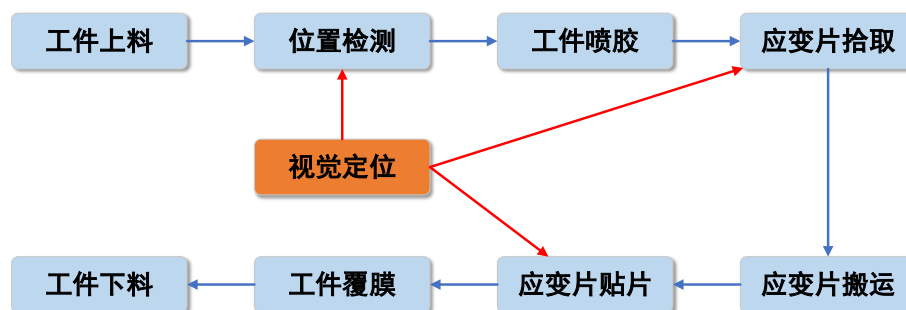


图2 应变片组装流程

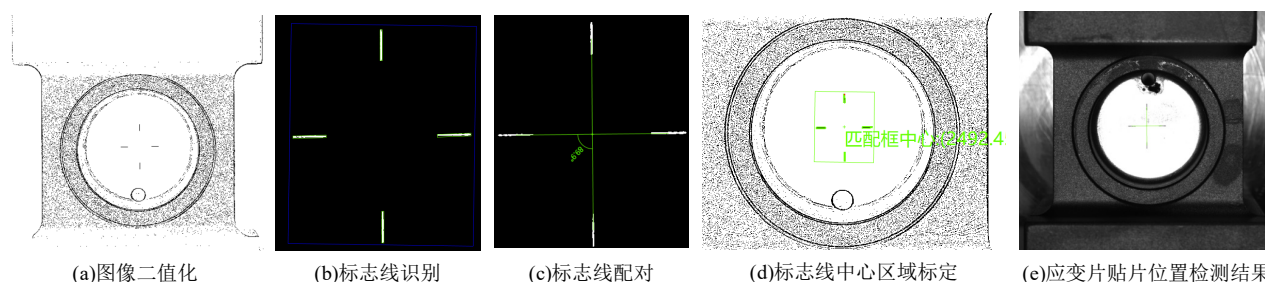


图3 贴片位置检测流程图

(1) 工件上料

通过人工将传感器工件摆放在传送带上，传送带在运行过程中设计有机械导流机构，用于调整工件姿态，为后续应变片的贴装做准备。

(2) 位置检测

本方案采用基于CCD 视觉识别的方法检测传感器工件孔的边缘和中心位置，通过图像处理算法计算出精准坐标，其检测流程如图3所示。具体方法为：视觉设备采集工件区域的原始图像后，首先进行二值化处理，通过阈值分割突出目标区域与背景的对比度。接着利用二值化图像采用模版匹配的方法匹配中心位置区域的标志线，基于标志线几何特征对标志线进行精准配对。随后，根据配对结果定位工件应变片贴装位置的中心区域，通过形态学运算优化区域轮廓。最后，基于区域轮廓中心点的像素坐标，结合相机标定参数解算出世界坐标系下的三维中心位置，为传感器本体激光加工及后续机械臂贴装，等作业提供亚像素级精度引导，确保工序执行的准确性与一致性。

(3) 工件喷胶

根据传感器检测工件的孔位坐标，驱动喷胶执

行器到达喷胶位置，执行喷胶操作。

(4) 应变片拾取

应变片有序放置于料盘之上，料盘两侧配备光源，以保障充足且均匀地照明条件，如图4所示。视觉系统对料盘区域图像进行采集后，先运用模板匹配算法，初步确定应变片在料盘中的具体位置。基于此初始定位结果，进一步对包含应变片的区域图像实施裁剪操作，聚焦目标区域，随后通过二值化处理，有效区分应变片与背景，从而精准界定应变片的轮廓范围。接着，依据所获取的应变片区域尺寸信息，计算得出其几何中心位置，该中心位置将作为机械臂执行拾取操作的目标位置，确保拾取动作的准确性与可靠性。

(5) 应变片搬运

视觉系统将计算得到的中心位置坐标传输至机械臂控制系统。机械臂根据坐标移动至应变片上方，通过末端执行器完成拾取动作，确保拾取位置精确。

(6) 应变片贴片

根据传感器工件孔位的位置检测的结果，驱动机械臂到达该位置完成贴装操作。同时，通过二次

视觉校验确保位置精度。整个过程通过闭环反馈实现运动误差实时补偿，确保贴装位置偏差控制在0.1mm以内，满足传感器工件的高精度工艺要求。

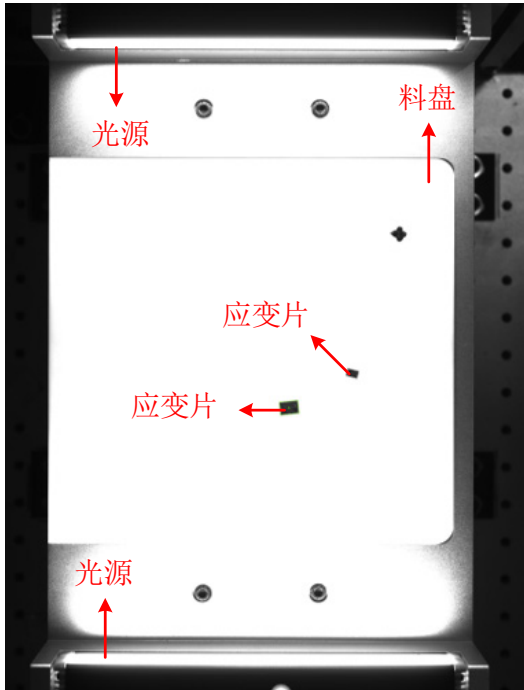


图4 料盘实物图

(7) 工件覆膜

机械臂完成应变片贴片操作后，随即进入贴膜工序。工件膜片预先放置于应变片贴装系统的指定固定工位，该工位配备定位基准以确保膜片位置精度。机械臂通过伺服驱动系统移动至膜片存放区域，其末端执行器采用负压吸附技术与膜片表面接触，通过压力控制系统形成稳定吸附力，完成膜片的精准抓取。

抓取完成后，机械臂基于预设的运动轨迹规划，携带膜片平移至应变片所在的贴片位置上方。在接近工件表面时，通过视觉引导系统进行二次位置校准，确保膜片与应变片的相对位置偏差 $\leq 0.1\text{mm}$ 。确认定位无误后，机械臂以恒定速度垂直下降，将膜片精确贴合于应变片表面，同时通过末端执行器的柔性接触机构控制贴装压力，避免损伤敏感元件。

膜片贴装完成后，工件由传送带输送至压膜装置区域。该区域配备可编程压力模块，通过电动驱动方式对膜片施加均匀压力（压力范围可根据膜材特

性调整）。通过该工序，确保应变片与膜片之间无气泡残留，且粘贴牢固度满足工艺标准，最终形成稳定可靠的传感器组件。

(8) 工件下料

工件完成全部加工工序并检测合格后，由电动传输装置移送至下料工位，有工作人员完成下料操作。

3 效益分析

本文所设计的全自动应变片贴装系统，集自动喷胶、自动贴片功能于一体。在生产效率、产品质量、成本控制及行业适配性等方面展现出显著优势，其综合效益分析如下：

3.1 生产效率分析

传统手工贴片依赖操作人员的熟练度，单孔位贴片平均耗时约30–60秒，且受疲劳、操作节奏等因素影响，单日有效作业时长有限（通常 ≤ 6 小时）。本系统通过全流程自动化控制，将单孔位作业效率稳定控制在10秒以内，且可实现长时间（ >12 小时）连续运转，因此，整体生产效率相较于传统人工提升约6倍。

3.2 产品质量效益分析

传统手工贴片的位置误差普遍在0.5–1mm之间，合格率通常低于90%，且易因操作力度不均导致气泡、偏移等缺陷，直接影响传感器的灵敏度和稳定性。

本系统通过机器视觉亚像素级定位（位置误差 $\leq 0.1\text{mm}$ ）和机械臂精准控制，结合二次视觉校验机制，将贴片合格率提升至99%以上。同时，自动化喷胶与贴装力度的均匀性（负压末端执行器压力 $\leq 10\text{KPa}$ ）有效避免了气泡残留，使传感器的长期稳定性（温漂、零漂指标）提升20%以上，显著增强了产品的市场竞争力。

3.3 成本与经济效益分析

传统工艺需2–3名熟练工人配合完成刷胶、贴片、质检等环节年人工成本约15–22万元。本系统仅需1名工人负责上料与下料，年人工成本降至8万元，年节省人工成本超7万元。

此外，手工操作的低合格率导致应变片、胶水等材料损耗率约10%，而系统99%的合格率可将损耗率控制在1%以内。

4 结语

本文围绕传感器制造领域应变片贴装工艺的自动化与高精度需求,提出并实现了一种基于机器视觉的全自动应变片贴装系统。通过融合机器视觉检测、运动控制及机械臂自动化技术,构建了从工件上料、视觉定位、喷胶贴片到贴膜下料的全流程闭环控制方案。实验结果表明,该系统显著突破了传统手工贴片工艺的精度离散性与效率瓶颈,有效解决了人工操作导致的位置偏移、气泡缺陷等问题,同时通过柔性化设计实现了不同型号传感器的兼容生产,提升了系统复用性。研究成果为传感器制造向智能化、标准化转型提供了关键技术支持,对推动高端制造领域的自动化升级具有重要工程应用价值。

参考文献

- [1] 周德俭. 国产贴片机研发现状与分析 [C]//2015 中国高端SMT 学术会议论文集. 2015:1-6.
- [2] Bortolini M, Ferrari E, Gamberi M, et al. Assembly

system design in the Industry 4.0 era: a general framework[J]. Ifac-Papersonline, 2017, 50(1): 5700-5705.

- [3] 郑德春, 沈鸿康, 史健芳, 等. 一种基于机器视觉的应变片自动贴装系统[J]. 宁波工程学院学报, 2013, 25(02): 59-63.

- [4] de Almeida Junior V H, Geremia-Nievinski F. Computation of specular reflections on a sphere: Assessment and validation of algorithms based on special boundary cases[J]. Computers & Geosciences, 2023, 176: 105357.

- [5] 崔啸华, 李浩. 压电式动态称重传感器优化方法研究[J]. 中小企业管理与科技(中旬刊), 2015, (02): 323-324.

作者简介

王燕勇(1979—), 男, 现任浙江天璇智控科技有限公司高级研发工程师, 主要专注于高精度测力传感器研发、智能制造及自动化等领域的研究与实践。