

面向智能制造的喷油嘴标识自动识别与精准定位技术研究

赵典秋

浙江巴腾动力系统有限公司 浙江 温州 325409

【摘要】在智能制造向汽车零部件生产深度渗透的背景下，喷油嘴作为发动机核心部件，其全生命周期追溯与装配精度控制对产品质量至关重要，而传统人工标识识别与机械定位方式存在效率低、误差大、适应性差等问题，难以满足柔性生产需求。本文针对喷油嘴标识的自动识别与精准定位展开研究，旨在构建一套适配智能制造场景的一体化技术方案。

【关键词】智能制造；喷油嘴；标识自动识别；精准定位

DOI:10.12417/2705-0998.25.21.067

1 引言

在当今全球制造业竞争日益激烈的背景下，智能制造作为制造业转型升级的核心方向，正引领着新一轮工业革命的浪潮。智能制造通过将先进的信息技术、自动化技术、人工智能技术与制造工艺深度融合，实现生产过程的智能化、自动化、柔性化，从而大幅提高生产效率、产品质量和企业竞争力。喷油嘴作为汽车发动机燃油喷射系统的关键部件，其性能和质量直接影响发动机的动力性、经济性和排放性能。在智能制造的大趋势下，实现喷油嘴标识的自动识别与精准定位技术具有至关重要的意义。

此外，喷油嘴标识自动识别与精准定位技术的研究和应用，还有助于推动汽车制造业向智能化、数字化方向发展。通过与企业的生产管理系统（MES）、企业资源计划系统（ERP）等信息化平台的集成，实现生产数据的实时共享和协同管理，为企业的智能化决策提供数据支持，进一步提升企业的整体竞争力。

综上所述，面向智能制造的喷油嘴标识自动识别与精准定位技术研究，对于提高汽车发动机制造行业的生产效率、产品质量和智能化水平具有重要的现实意义，同时也为智能制造技术在其他制造业领域的推广应用提供了有益的借鉴。

2 喷油嘴标识自动识别技术研究

2.1 喷油嘴标识特点分析

喷油嘴作为汽车发动机燃油喷射系统的核心部件，其标识对于产品质量追溯、生产过程监控以及售后服务管理起着关键作用。喷油嘴标识的类型丰富多样。二维码标识以矩阵式的黑白方块排列组成，能够存储大量信息，如喷油嘴的型号、生产日期、生产批次、生产厂家等详细数据。它具有信息密度高、纠错能力强的特点，即使部分二维码受到轻微磨损或污渍遮挡，仍可通过纠错算法恢复完整信息。

喷油嘴标识的位置分布但大多集中在喷油嘴的头部、颈部或侧面等易于观察和扫描的部位。二维码标识在识别时，由于其图案精细，对图像采集设备的分辨率要求较高。若分辨率不足，可能导致二维码的部分细节丢失，无法准确解码。同时，

二维码表面的反光、油污或轻微划伤，都可能干扰图像采集的质量，影响解码的准确性。字符标识的识别难点在于字符的字体多样、大小不一，且可能存在字迹模糊、笔画残缺等问题。

2.2 图像采集与预处理

工业相机具有高分辨率、高帧率、稳定性强等特点，能够满足喷油嘴生产线上快速、准确的图像采集需求。根据喷油嘴标识的尺寸大小和识别精度要求，选择分辨率为 500 万像素的工业相机，其像素尺寸为 $2.2 \mu\text{m} \times 2.2 \mu\text{m}$ ，能够清晰捕捉到喷油嘴标识的细微特征。

图像灰度化是图像预处理的第一步，其目的是将彩色图像转换为灰度图像，简化后续图像处理的复杂度。采用加权平均法进行灰度化处理，根据人眼对红、绿、蓝三种颜色的敏感度不同，赋予不同的权重。这种方法能够较好地保留图像的亮度信息，符合人眼视觉特性，有利于后续的图像处理和分析。

经过灰度化和滤波处理后的图像，可能存在对比度较低、标识细节不明显等问题，需要对图像进行增强处理，以提高图像的质量和标识的可辨识度。采用直方图均衡化算法对图像进行增强。直方图均衡化是通过对图像的灰度直方图进行调整，使图像的灰度分布更加均匀，从而增强图像的对比度。

2.3 标识识别算法研究

在喷油嘴标识识别领域，传统识别算法和深度学习算法都有各自的应用场景和特点。传统识别算法主要基于手工设计的特征提取和分类方法。深度学习算法，尤其是卷积神经网络（CNN），在喷油嘴标识识别中展现出了独特的优势。CNN 通过构建多个卷积层、池化层和全连接层，能够自动从大量的标识图像数据中学习到复杂的特征表示，无需人工手动设计特征提取算法。

为了进一步提高 CNN 模型在喷油嘴标识识别中的性能，对模型进行优化。一方面，采用数据增强技术。通过对原始标识图像进行旋转、缩放、平移、添加噪声等操作，生成大量新的图像样本，增加训练数据的多样性，提高模型的泛化能力。另一方面，优化模型的超参数。采用自适应学习率调整策略，在训练初期设置较大的学习率，加快模型的收敛速度。通过多

次实验，确定了批处理大小为 64，在这个参数设置下，模型在训练过程中能够充分利用计算资源，同时保持较好的训练稳定性。此外，还引入了正则化技术，如 L2 正则化，在损失函数中加入正则化项，防止模型过拟合，提高模型的泛化性能。

2.4 识别系统性能测试与优化

为了全面评估喷油嘴标识识别系统的性能，建立了专门的测试平台。经过测试发现，识别系统在处理标识存在严重磨损和大面积遮挡的喷油嘴样本时，准确率和召回率明显下降。针对这一问题，提出以下优化策略：一是进一步优化图像预处理算法，针对磨损和遮挡的标识图像，采用更复杂的图像修复算法，对受损的标识区域进行修复，提高图像质量；二是增加训练数据集中包含磨损和遮挡标识的样本数量，并对这些样本进行更细致的标注，让 CNN 模型能够学习到更多关于受损标识的特征模式；三是对 CNN 模型的结构进行微调，在模型中增加一些注意力机制模块，使模型能够更加关注标识图像中的关键区域，提高对受损标识的识别能力。

实施优化策略后，再次对识别系统进行性能测试。测试结果表明，优化后的识别系统在处理标识存在严重磨损和大面积遮挡的喷油嘴样本时，准确率从原来的 70% 提高到了 85%，召回率从 65% 提高到了 80%，F1 值从 67% 提高到了 82%，识别系统的整体性能得到了显著提升，能够更好地满足智能制造中喷油嘴标识自动识别的实际需求。

3 喷油嘴精准定位技术研究

3.1 定位原理与方法选择

对于喷油嘴的定位，综合考虑多方面因素后，选择基于视觉的定位方法更为合适。首先，喷油嘴的尺寸相对较小，结构复杂，表面存在各种细微特征，基于视觉的方法能够利用图像的高分辨率和丰富细节，精确地捕捉喷油嘴的形状、标识等特征，从而实现高精度的定位。

3.2 定位算法设计与实现

基于特征点匹配的定位算法是喷油嘴定位的关键技术之一。该算法首先利用 SIFT（尺度不变特征变换）算法对喷油嘴图像进行特征点提取。在提取特征点后，建立特征点描述子，用于描述每个特征点的局部特征信息。然后，将实时采集到的喷油嘴图像中的特征点与预先存储的标准喷油嘴图像特征点数据库进行匹配，采用欧氏距离作为匹配度量标准，寻找最相似的特征点对。通过匹配得到的特征点对，利用 RANSAC（随机抽样一致性）算法去除误匹配点，提高匹配的准确性。最后，根据匹配得到的正确特征点对，计算喷油嘴在图像中的位置和姿态，实现喷油嘴的精确定位。基于模型的定位算法则是通过建立喷油嘴的三维模型，将模型与实时采集到的图像进行匹配，从而确定喷油嘴的位置和姿态。

为了验证定位算法的精度和稳定性，进行了一系列实验。

实验结果表明，基于特征点匹配的定位算法在不同光照和姿态变化条件下，平均定位误差小于 0.1mm，能够满足大多数喷油嘴生产场景的精度要求；基于模型的定位算法平均定位误差小于 0.05mm，精度更高，但计算复杂度较大，对硬件性能要求较高。两种算法在稳定性方面都表现良好，能够在长时间的连续定位过程中保持较高的定位精度，为喷油嘴的精准定位提供了可靠的技术支持。

3.3 定位精度影响因素分析与补偿

不同的光照强度和光照角度会导致喷油嘴表面的反光和阴影情况发生变化，从而影响图像的质量和特征点的提取准确性。为了补偿环境光的影响，采用自适应光照调整算法，使采集到的喷油嘴图像始终保持在最佳的光照条件下。同时采用直方图均衡化、形态滤波等算法对图像进行增强处理，进一步提高图像的对比度和清晰度，减少光照变化对定位精度的影响。

机械振动也是影响喷油嘴定位精度的一个关键因素。为了减小机械振动的影响，采用隔振装置将定位系统与振动源隔离开来，减少振动的传递。在定位算法中，引入了运动补偿机制。通过在定位系统中增加加速度传感器和陀螺仪等惯性测量单元（IMU），实时监测喷油嘴的振动情况。当检测到振动时，根据 IMU 采集的数据，对定位算法进行实时调整，补偿因振动引起的喷油嘴位置和姿态变化，从而提高定位精度。

经过对环境光和机械振动等影响因素采取相应的补偿措施后，再次进行定位精度测试。测试结果表明，采取补偿措施后，喷油嘴定位系统在不同环境光和机械振动条件下，定位误差明显减小，平均定位误差从原来的 0.1mm 降低到了 0.05mm 以内，定位精度得到了显著提升，能够更好地满足智能制造中喷油嘴生产对高精度定位的要求。

4 自动识别与精准定位系统集成与应用

4.1 系统总体架构设计

面向智能制造的喷油嘴标识自动识别与精准定位系统总体架构融合多关键模块，实现高效准确生产流程。图像采集模块作为前端感知，由工业相机、镜头和光源组成，能快速捕捉喷油嘴标识图像，光源采用特定照明减少反光和阴影影响，提供高质量图像数据。

图像识别模块是核心之一，接收图像数据，先预处理（灰度化、滤波、增强等）提高质量，再用深度学习算法（如 CNN）识别喷油嘴标识，将结果传后续模块。

定位模块基于机器视觉定位技术，根据标识位置信息确定喷油嘴精确位置和姿态，采用特征点匹配或基于模型的定位算法计算参数。

控制模块协调各部分工作，根据定位信息控制执行机构（如机械手臂、传送带），使机械手臂准确抓取喷油嘴并放置

指定位置。

数据交互流程上，图像采集模块将数据传图像识别模块，识别模块将结果和特征信息传定位模块，定位模块计算位置姿态数据传控制模块，控制模块生成指令传执行机构，实现精准操作。

4.2 系统软件设计与开发

用户界面是交互窗口，操作人员可方便设置系统参数。软件数据处理能力强，能对原始图像快速准确预处理，运用深度学习算法识别喷油嘴标识并校验纠错，根据定位算法计算喷油嘴精确位置和姿态。实时更新并显示定位结果。通信控制功能是系统软件重要组成部分，实现系统与外部设备通信及协同工作。系统软件通过以太网、串口等接口与工业相机、运动控制卡、生产线其他设备及企业生产管理系统（MES）通信。与工业相机通信时，软件实时获取图像数据并远程控制相机参数；与运动控制卡通信，软件发送控制指令精确控制执行机构。

软件开发工具和技术上，选用 Visual Studio 作为主要开发平台，其有丰富工具和库函数，支持多语言，便于开发调试。图像处理和分析用 OpenCV 库，含大量算法和函数，能快速实现图像预处理、特征提取、目标识别等功能。深度学习算法实现用 TensorFlow 框架，计算和模型构建能力强。通信控制利用 Windows Sockets 编程技术实现以太网通信，确保系统与外部设备稳定高效通信。

5 结论

本研究围绕面向智能制造的喷油嘴标识自动识别与精准定位技术展开，取得重要成果。

在喷油嘴标识自动识别技术方面，剖析了喷油嘴标识特点，对比传统与深度学习算法，选择并优化卷积神经网络（CNN）算法。通过数据增强、自适应学习率调整和引入 L2 正则化技术优化模型，提高了准确率和鲁棒性。测试显示，优化后的识别系统准确率超 85%、召回率超 80%、F1 值超 82%，能满足高精度要求。

在喷油嘴精准定位技术方面，基于常见定位原理和方法研究，结合喷油嘴特点与生产环境，选择基于视觉的定位方法。精心设计定位系统硬件，采用高精度直线导轨和伺服电机驱动运动控制平台，实现精确定位和移动。研究基于特征点匹配和基于模型的定位算法，验证了精度和稳定性，前者平均定位误差小于 0.1mm，后者小于 0.05mm。针对影响因素提出补偿措施，使定位精度提升到 0.05mm 以内。

在自动识别与精准定位系统集成与应用方面，设计总体架构，涵盖多个关键模块，实现数据交互和协同工作。开发系统软件，选用 VisualStudio 结合 OpenCV 库和 TensorFlow 框架，具备友好界面、高效数据处理和稳定通信控制等特点，实现了高效开发和运行。

参考文献：

- [1] 周文良.柴油机高压共轨喷油嘴孔径设计对喷雾形态及燃烧效率的影响[J].今日自动化,2025(4):125-127.
- [2] 龙永长.汽车燃油喷射系统中喷油嘴堵塞故障的诊断与修复方法研究[J].现代制造技术与装备,2024,60(9):35-37.
- [3] 袁文涛.高压共轨系统轨压波动特性研究和喷油嘴流场分析及优化[D].齐鲁工业大学,2024.
- [4] 张俊红,李晨阳,裴国斌,等.喷油嘴内流特性与喷雾特性研究及结构优化[J].内燃机工程,2022,43(2):41-48.