

# 磁传感技术在工控视觉定位系统中的应用研究

谢 明

(西南应用磁学研究所, 四川 绵阳 621000)

**摘 要** 在工业控制领域中, 视觉定位系统是实现设备精准操控、提升生产效率的核心支撑, 但在复杂工控环境下易受光照变化、粉尘干扰、遮挡等因素影响, 存在定位精度不足、稳定性差、响应滞后等问题, 难以满足高端工控场景的精准定位需求。本文以磁传感技术为核心优化手段, 结合工控视觉定位系统的应用难点, 系统分析磁传感技术与工控视觉定位的适配性, 设计基于磁传感技术的工控视觉定位系统, 涵盖总体框架、硬件、软件及抗干扰模块, 以为工业控制领域精准定位提供实践参考。

**关键词** 磁传感技术; 工控视觉定位; 定位精度; 抗干扰设计; 工业控制

中图分类号: TP212; TP242

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.17.009

## 0 引言

传统的基于工控机的视觉定位方法多采用图像采集 + 图像处理的方式进行定位, 然而在工业生产中不可避免地会受到光线变化、灰尘影响、机械阻挡以及磁场等因素的影响, 从而造成定位不稳定、速度慢等问题, 并容易发生失准情况, 无法满足高精度装配、机器人流水线等对定位精确性要求较高的应用需求<sup>[1]</sup>。磁传感具备抗干扰强、定位稳定、响应快、不依赖于光照及遮挡等特点, 这正好满足了对工控视觉定位系统进行改进的需求。基于此, 本文围绕磁传感技术在工控视觉定位系统中的应用展开研究, 通过系统设计与实践验证。

## 1 工控视觉定位系统现存问题

传统工控视觉定位系统以图像采集模块、图像处理模块、定位算法模块为核心, 依赖图像特征提取与匹配实现定位, 在复杂工控场景中暴露出诸多核心问题, 严重制约定位性能与工程应用效果。(1) 环境适应性差, 工业现场的光照波动会导致图像采集对比度下降、特征点模糊, 粉尘污染会遮挡图像采集镜头、干扰图像质量, 设备遮挡则会造成图像特征缺失, 三者均会导致定位算法误判, 降低定位精度, 甚至引发定位失效。(2) 定位精度与响应速度矛盾突出, 为提升定位精度需增加图像像素与特征点数量, 导致图像处理数据量激增, 响应延迟延长, 难以满足高速工控场景中设备实时操控的需求, 而降低数据量则会导致定位精度下降, 无法适配高端制造的精准定位要求。(3) 抗电磁干扰性能差, 工控现场有许多高频设备, 其电

磁波会对图像采集及传输产生干扰, 造成图像数据缺失、畸变, 引起定位算法不稳, 并且系统本身的图像处理部分电磁兼容性不高也会造成定位抖动<sup>[2]</sup>。(4) 鲁棒性不够强, 传统的定位算法对于工件的姿态变化以及表面纹理的变化适应性不够好, 在工件发生偏斜、磨损的情况下, 图像特征难以获取, 定位精度下降较大, 不能满足工业现场工件种类多、环境复杂的需求。

## 2 基于磁传感技术的工控视觉定位系统设计

### 2.1 系统设计总体框架

基于磁传感技术的工控视觉定位系统采用“分层架构、模块化设计”理念, 构建“感知层—传输层—处理层—应用层”四级总体框架, 各层级独立运行且协同联动, 实现磁传感信号与视觉信号的融合定位, 具体如图 1 所示。

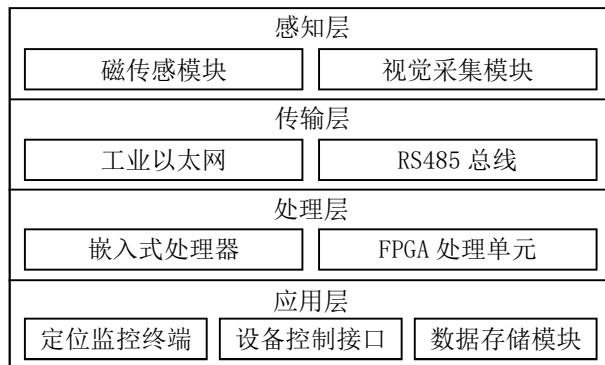


图 1 基于磁传感技术的工控视觉定位系统框架

感知层作为系统数据采集核心, 包含磁传感模块与视觉采集模块, 磁传感模块选用高精度磁传感器阵

作者简介: 谢明 (1991-), 男, 硕士研究生, 工程师, 研究方向: 自动化设备控制。

列,负责采集工控场景中的磁场强度、方向等特征信号,为定位提供基准位置信息;视觉采集模块由工业相机、镜头及补光单元组成,负责采集工件及设备的图像信息,提取图像特征点。传输层采用工业以太网与RS485总线结合的双传输模式,工业以太网负责传输大数据量的图像数据,确保传输速率与稳定性;RS485总线负责传输磁传感信号及控制指令,具备抗干扰强、传输距离远的优势,适配工控现场复杂布线需求。处理层是系统的核心运算单元,采用嵌入式处理器与FPGA协同架构,嵌入式处理器负责系统整体控制、数据融合算法运行及指令下发;FPGA负责图像特征快速提取、磁传感信号实时处理,提升数据运算效率,解决传统系统响应延迟问题。应用层完成定位结果的输出、显示以及反馈功能,包括定位监视终端、设备控制接口和数据保存单元,能够对定位位置、定位精度等进行实时展示,并将定位的结果返回到工业控制设备上,从而实现对工业控制设备的精确定位操作,而数据保存单元则用来记录定位的数据,便于后期故障处理和系统性能提升<sup>[3]</sup>。

## 2.2 系统硬件设计

系统硬件从感知层、传输层及处理层三个方面进行硬件设计,并兼顾其精确度、可靠性以及工业适用性,每个部分都根据实际工控环境选取了合适的硬件并进行了合理的设计。在感知层硬件中,针对磁传感模组,采用了MEMS高精度磁传感器,该磁传感器由4颗磁传感器构成,呈对称排列,部署在工控机执行终端,采用传感器量程 $\pm 10$  mT,精度达 $0.1 \mu\text{T}$ ,采样率100 Hz的方式对磁场信息即时采集及初级过滤,保障了信息采集准确性;图像采集部分采用工业级CCD摄像头,尺寸大小 $2048 \times 1536$ ,速率30 fps,配合定焦镜头以及红光增亮组件,补光模块能够根据外界光线情况智能控制补光灯的亮度,防止因光线变化造成图像采集不稳定现象的发生,相机采用千兆以太网口,保证了图像信息的快速传输。传输层硬件使用工业级以太网交换机以及RS485收发器,以太网交换机速率达千兆级别,并具有防电磁干扰功能,可以实现多个终端的同时传输;RS485收发器采用隔离型芯片,通信距离达1 000 m,并使用屏蔽电缆,可以防止在工业控制系统环境中受到电磁辐射的影响,可靠地传递磁传感器的信号以及控制命令。处理层硬件采用STM32H743嵌入式处理器与EP4CE6F17C8 FPGA芯片协同设计,STM32H743处理器主频高达480 MHz,具备强大的数据处理能力,负责运行数据融合算法、系统控制逻辑及与应用层的交互;FPGA芯片负责图像特征快速提取、磁传感信号滤波与运算,运算速度可达100 MIPS,有效降

低数据处理延迟,提升系统响应速度。在接口方面,有USB接口、以太网接口以及RS485接口,能够方便地与工业控制设备或者监控终端进行连接,增强了系统的通用性和灵活性<sup>[4]</sup>。

## 2.3 系统软件设计

系统软件设计与硬件架构对应,采用模块化设计思路,分为感知层采集软件、传输层通信软件、处理层核心算法软件及应用层交互软件,各软件模块协同运行,实现定位数据的采集、处理、融合与输出,注重软件的实时性、稳定性与可扩展性。感知层采集软件负责磁传感信号与图像信号的采集与预处理,磁传感采集软件采用卡尔曼滤波算法,对采集到的磁场信号进行降噪处理,去除工控现场电磁干扰导致的信号噪声,提取磁场特征参数并转换为数字信号;图像采集软件负责控制工业相机的拍摄参数,实现图像自动采集、曝光调节与预处理,通过高斯滤波算法去除图像噪声,采用直方图均衡化算法增强图像对比度,为后续特征提取奠定基础。传输层通信软件采用TCP/IP协议与Modbus-RTU协议,TCP/IP协议用于图像数据的高速传输;Modbus-RTU协议用于磁传感信号与控制指令的传输,实现处理层与感知层、应用层的双向通信。处理层核心算法软件是系统定位精度的关键,包含磁传感定位算法、视觉定位算法与数据融合算法,磁传感定位算法采用磁场梯度定位算法,通过分析磁传感器阵列采集的磁场信号,计算设备与工件的相对位置坐标;视觉定位算法采用SIFT特征提取算法,提取图像中的工件特征点,通过特征匹配实现初步定位;数据融合算法采用加权融合算法,根据磁传感定位与视觉定位的精度权重,对两类定位结果进行融合校正,进一步提升定位精度,降低定位误差<sup>[5]</sup>。

## 2.4 系统抗干扰设计

为应对工控现场复杂的环境(电磁干扰、灰尘等)因素的影响,本系统在硬件、软件及结构上进行相应的抗干扰处理,在复杂环境中确保系统的正常工作。首先,磁传感模块中的传感器被装入高屏蔽金属材料屏蔽罩内,并将所有信号接入端口设置成差分输入方式以减小传输过程产生的干扰。对于视觉部分,对摄像头进行了密封防尘处理并将其电源线与其他电路分开布线,同时为了避免相互之间的电磁干扰,相机及补光灯由独立的电源供电。在硬件方面,处理层、传输层硬件接地(接地电阻 $\leq 4 \Omega$ ),选用工业级抗干扰芯片;在软件方面,使用CRC和奇偶校验来防止数据失真,卡尔曼、高斯滤波来消除噪声,并配合看门狗定时器以防死机;在结构设计上,将硬件进行模

块化封装及设置屏蔽隔板，在外部增加金属外壳以实现电磁屏蔽及散热的功能。避免靠近工频感应源、相机避开工频感应源；屏蔽电缆避开强电线路铺设<sup>[6]</sup>。从多个方面防止外界影响对定位系统的影响，确保系统的精准性和可靠性，在工业控制中可以放心使用。

### 3 系统实践应用验证

#### 3.1 实践验证方案

实验环境以高精度智能化产线中的工业控制机器人精确定位应用为例，在产线中某一数控车床夹取工位处进行试验，此位置周围有强电磁源、灰尘较多以及光线变化频繁，具有典型的工业控制环境干扰条件，属于真实复杂工作环境下。本试验为同台试验方法，将本文提出的磁传感器辅助型工业控制系统视觉定位装置与传统的全视觉型工业控制系统视觉定位装置放置在相同的夹取工位上，安装相同的工控执行设备；

设置相同的验证参数。验证指标包括定位精度、响应时间、抗干扰稳定性及连续运行可靠性，其中定位精度以工件抓取定位误差为核心指标，响应时间测试设备从信号采集到定位输出的全程延迟，抗干扰稳定性通过开启工位高频设备、模拟粉尘遮挡镜头、调节环境光照强度三种工况测试系统定位波动，连续运行可靠性通过 72 h 不间断运行测试系统无故障运行时长及定位偏差变化。在进行验证时，利用高精度位移传感器对定位误差进行了标定，并用工业示波器检测了信号传输情况，同时记录两个系统相应指标的数据，保证了验证的有效性和公平性。

#### 3.2 实践结果与分析

实践验证结果表明，本文设计的系统在各项性能指标上均优于传统纯视觉定位系统，可有效适配工控现场复杂工况，具体如下表 1 所示。

表 1 实践结果

验证指标	基于磁传感技术的工控视觉定位系统	传统纯视觉定位系统	性能提升幅度
定位误差均值	3.2 μm	12.8 μm	75.0%
平均响应延迟	8.5 ms	19.3 ms	56.0%
抗干扰误差波动	≤ 0.8 μm	≤ 5.3 μm	84.9%
连续无故障运行时长	72 h	48 h	50.0%

在定位精度上，本文系统定位误差平均为 3.2 μm，最大不超过 5 μm，可以用于高端工控场景下的精准定位，而传统系统的定位误差平均达到 12.8 μm，在受到干扰的情况下，最大误差超过 20 μm；在响应时间上，本文系统平均响应时间为 8.5 ms，相比于传统系统的平均响应时间 19.3 ms 大幅缩短了响应时间，可以实现对高速工控设备进行实时控制的目的。对于抗扰度测试，在强电磁场干扰、灰尘遮蔽以及光线变化情况下，本文所设计系统的定位误差范围都小于 0.8 μm，并没有发生定位失败的情况；而对比系统的定位误差较大，达到 5.3 μm，在灰尘较多的情况下还发生了 3 次定位失败的情况。另外，在长时间工作环境下，系统连续无故障正常工作 72 h，定位误差没有明显的漂移，而传统系统的程序在连续运行了 48 h 之后开始卡顿，定位精度有了较大的下降。

### 4 结束语

为了解决传统的工控视觉定位系统在复杂工业环境中存在的环境适应性较差、定位稳定性不强以及实时响应速度慢等问题，本文将磁传感技术引入视觉定位系统中，提出了基于磁传感与视觉信息的定位系统框架，并从系统总体架构、硬件设计、软件算法和抗

干扰方面进行分析研究。实践结果表明，该系统在恶劣工业控制条件下能够可靠准确地进行定位，并提高其定位的精确度及效率，在一定程度上提高了系统的稳定性以及鲁棒性。未来可进一步结合人工智能算法与多传感器融合技术，持续提升系统的智能化水平与复杂场景适应能力。

#### 参考文献：

- [1] 陈辉煌,翁伟.基于机器人视觉自动压铆控制系统设计[J].电子制作,2024,32(04):80-82.
- [2] 肖云,王舒霏,王丽兵,等.地磁梯度张量测量及匹配导航关键技术研究[J].导航定位与授时,2025,12(02):102-110.
- [3] 陆黄钰薇.基于抗干扰算法的工业机器人轨迹跟踪控制研究[D].南京:东南大学,2023.
- [4] 杨留强,江松元,宫继刚,等.基于光纤磁传感的套损检测技术研究[J].电子测量技术,2021,44(04):155-159.
- [5] 陈棣湘,李自斌,杜青法,等.基于TMR器件的弱磁传感系统设计[J].中国测试,2024,50(06):93-97.
- [6] 王慧,宋健,王怀斌.嵌入式处理器基准性能测试技术研究[J].航空计算技术,2025,55(01):124-128.