

广域公共环境卫生状态动态传感器

曹杰, 姚淞瀚, 周天行, 倪润峰, 李天

(北京理工大学, 北京 100081)

摘要: 采用模态分析和数据融合的方式, 设计了集运动、监测、反馈、参数自适应调整一体的环境卫生状态动态传感器。传感器结合了视觉识别、微波测试、介电常数检测、微尘测定等测试技术, 同时有可训练的参数自适应调节系统, 实现了复杂广域公共环境下卫生环境的量化、精确分析和实时、有效反馈。

关键词: 广域环境监测;模态分析;数据融合

Dynamic sensor of hygienic status used in wide-ranged public areas

Cao Jie, Yao Songhan, Zhou Tianxing, Ni Runfeng, Lin Tianer

(Beijing Institute of Technology, Beijing, 100081, China)

Abstract: Based on modal analysis and data fusion, this paper presents a dynamic sensor of hygienic status in wide-ranged public area with integration of motor function, monitoring function, reflective function and parameter self-adaptive adjustment function. The sensor combined visual recognition, microwave testing, dielectric constant testing, micro dust measurement and other testing technologies, and additionally implanted a parameter adaptive control system, so that it can provide quantification and accurate analysis as well as real-time and effective feedback of the environment in wide ranged public areas.

Keywords: environmental monitoring in wide-ranged area; modal analysis; data fusion

1 传感器设计背景和应用价值

设计背景: 环境卫生行业, 尤其是在广域的复杂情况下, 需要实时监测卫生情况并根据具体不符合要求的特征实施对应举措。目前的环卫清洁行业主要的逻辑是巡检和打扫一体化, 清洁员在清洁过程中既完成巡检任务又完成清洁任务, 这实际上是一种低效的清洁方式。同时, 环卫行业也有使用扫地机器人来替代人工清扫的趋势, 但是其清洁方式既不能保证污染物的清洁质量, 还有可能造成二次污染, 往往需要人工进行二次作业, 这也是全自助清洁机器人没能在生产实际中使用的一大原因。因此在实际应用中, 若有一种实时的、精确可量化的传

感系统监测广域环境数据，并在问题产生的第一时间反馈与工作人员，那么在解决维持卫生环境效率低下问题的同时，也避免了机器清理需要重复作业的情况。

应用价值：此广域环境监测系统可以构建一种柔性动态感应矩阵，通过这种传感网络对整个空间进行精细化的环境监测。在构筑了全域实时精细卫生情况信息库后，可以对接清洁员，将数据在云端进行可视化处理后通知清洁员，采用定人定点的清理方式，这既有利于降低清洁员工作量，又能够提高清理频率。

2 创新点与优势

该动态传感器从以下方面解决了传统环境监测的问题。

在巡检方式上，传统的自动化检测方式只能在固定离散点位检测，难以获得大范围连续数据，不便于进行污染情况的实时建模与分析。我们通过 SLAM 建图与自主规划路径导航的方式，结合多协同监测，实现了较大范围无死角的实时监测。

对于各项信息难以进行量化评估和检测内容单一的问题。将环境中多个传感器得到的数据分解为多个模态，对空气、固体杂物分别设定多个指标，一方面传感器可以自主判断环境状态，另一方面工作人员可以依据数据和实际情况的差异，反馈于传感器，传感器则根据反馈自动调节参数，融合多种数据进行评估。

对于评估过程中误差较大的问题。传感器采用的介电常数-微波-视觉融合检测，应用 KNN 分类器，形成高精度的清洁指标全覆盖的人居环境监测。大多数已有监测器采用单一的视觉方案，而融合方案的检测精度远高于视觉方案。

3 实现方案简介

3.1 设计原理

总体架构上，传感设备划分为智能巡检运动模块、环境监测检测模块，以及分析汇报反馈模块；总体原则上，则依据模态分析与数据融合对自身和环境状态进行评估。硬件架构上，使用基于 64 位的嵌入式 x86 运算平台结合 Coretex-M4F 控制系统进行高性能运算与精准控制。

3.2 设计方法

基于激光雷达、里程计和 UWB 定位（室内）或卫星定位（广域环境），在 ROS 系统上进行 SLAM 建图。在多巡检车协同工作情况下，可以实时通过与上位机交互数据以校对、更新地图。在建图和实时数据的基础上，电机驱动模块则根据自主规划的路径对各轮的转速和方向进行控制，实现基本的运动。

检测模块单独设计 PCB 板，连接的传感设备包括 IMX-317 图像捕捉摄像头、微波检测模块、介电常数检测装置和 S7-L Smart Dust 微尘传感器。采用模块化设计，易于选装各类模块，可以根据不同客户需求定制检测项目。每种材质的垃圾准备多组检测样本，将检测样本分为训练样本和测试样本，所有样本检测完毕后，在软件中绘制出发射天线端和接收天线端检波器输出电压的图进行实验结果分析，最后确定地面杂物种类。

分析汇报反馈工作由无人巡检车内的总计算机驱动无线通讯芯片完成。汇报的内容包括可读的传感器基础数据，实时位置、环境状态，杂物的拍摄图像，和建议的处理。

3.3 各模块设计方案

3.3.1 融合检测模块

异物检测上，使用摄像头识别、介电常数与微波检测辅助核实的方式进行多模态垃圾分类检测。视觉算法采用 YOLOX。基线模型采用了 DarkNet53 骨干+SPP 层，并添加了 EMA 权值更新、cosine 学习率机制、IoU 损失、IoU 感知分支。我们采用 BCE 损失训练 cls 与 obj 分支，IoU 损失训练 reg 分支。并拥有 RandomHorizontalFlip、ColorJitter 以及多尺度数据增广。具有优秀的视觉特征识别提取能力。

每种材质的垃圾准备多组检测样本，将检测样本分为训练样本和测试样本，所有样本检测完毕后，在软件中绘制出发射天线端和接收天线端检波器输出电压的图进行实验结果分析，最后应用 KNN 分类器对检测样本进行分类，确定地面杂物种类。在检测策略方面：完成了对于一个环境的实时动态监测，设备群会给用户反馈一个实时更新的热图，清洁员仅需根据可视化后反馈的图像进行定点的精准打扫，达到了较高的效率。在数据处理方面：实现了检测的网络化，可以通过数据积累进行进一步整合分析，这些数据在初期阶段可以帮助保洁人员识别容易产生打扫需求的点位，在后期可以帮助设计公司进行人居环境设计布局优化，从源头上解决环境卫生问题。

3.3.2 自主导航模块

无人巡检设备基于 SLAM 定位导航技术，实现自主运动方向的控制和运动路线的规划。本项目控制系统采用 ROS 系统，采用 gmapping 算法进行建图。gmapping 算法是一种成熟的开源算法，其中需要调用 slam_gmapping 功能包。其中订阅了 tf 主题、robot_pose_ekf 主题。通过机器学习技术，能够不断地自主优化使用场地内的导航路径与巡检策略。

3.3.3 可扩展模块

针对不同拓展模块的链接通用性与稳定性。采用异步串口通讯协议的 RS232 总线进行模块拓展链接。采用自定义的帧头信号协议，并使用修改状态指使结构体的空闲中断来处理

不定长的控制数据，保障实时性、稳定性并避免同级中断无响应的错误。采用 DMA 减少性能占用的方式获得较快响应速度。通信波特率为 2000000，单元数据长度为 8 位，无奇偶校验，无结束位，无流控。

3.4 实验验证过程

3.4.1 融合检测验证

对于常见的环境污染物，我们通过大量不同样本进行测试检测成功率，并与常见的视觉识别方案进行对比。污染物样本有橡胶、纸质、塑料包装和液体污染物，分别有 53、23、43、24 例。视觉方案对于每种识别率为 75.4%、87.0%、83.7%、46.9%，而我们的融合检测方案将其提升到 86.8%、93.3%、88.4%、95.8%。即加权检测准确率由 73% 提高到 88%，尤其对于液态污染物识别准确率能够大幅提升，具有极强的实用价值。

3.4.2 自主导航验证

针对于不同的检测需求，设计了粗采样、快速采样、精密采样、全样本分析四种模式，检测速度随着精确度的提升有着相应的下降。在典型工况下，单设备能够覆盖 145 m²-479 m²。单一设备即可满足大部分的用户群需求。

覆盖范围 采样密度	更新周期		
	5min	10min	20min
粗采样	479m ²	745m ²	1386m ²
快速采样	268m ²	479m ²	964m ²
精密采样	145m ²	245m ²	463m ²
全样本分析	97m ²	186m ²	347m ²