 DOI: https://doi.org/10.12349/iser.v7i1.9028

Research on Human Presence Detection System Based on Millimeter Wave Radar and Infrared Imaging

Yuanting Jiang[1] Linlin Yang[2] Zhongfeng Han[1]

1. Hisense Vision Technology Co., Ltd., Qingdao, Shandong, 266100, China
2. Qingdao Branch of Lingong Intelligent Information Technology Co., Ltd., Qingdao, Shandong, 266100, China

Abstract

With the advancement of smart home technologies, human presence recognition has become a key technology for enhancing user experience. To address the low accuracy and misjudgment issues of single sensors in stationary target detection, this paper proposes a dynamic background update method based on data fusion of millimeter wave radar and infrared temperature sensors. By employing a successive approximation method to update infrared temperature backgrounds in real-time and integrating radar perception data, the system forms a dynamic management framework that effectively resolves recognition challenges under environmental temperature variations, device interference, and continuous human presence. Experimental results demonstrate that this method significantly improves the accuracy of stationary human recognition and system stability.

Keywords

intelligent perception; personnel recognition; millimeter-wave radar; infrared temperature sensor; data fusion; dynamic background update

基于毫米波雷达及红外成像的人体存在动态检测系统研究

姜元亭[1] 杨琳琳[2] 韩忠峰[1]

1. 海信视像科技股份有限公司，中国 · 山东 青岛 266100
2. 临工智能信息科技有限公司青岛分公司，中国 · 山东 青岛 266100

摘 要

随着智能家居技术的发展，人员存在识别成为提升用户体验的关键技术。针对单一传感器在静止目标检测中存在的准确率低、易误判等问题，本文提出了一种基于毫米波雷达与红外温度传感器数据融合的动态背景更新方法。通过逐次逼近法对红外温度背景进行实时更新，结合雷达感知数据形成动态管理系统，有效解决了环境温度变化、设备干扰及持续有人状态下的识别难题。实验表明，该方法显著提高了静止人员识别的准确性和系统稳定性。

关键词

智能感知；人员识别；毫米波雷达；红外温度传感器；数据融合；动态背景更新

1 引言

智能家电作为物联网时代的重要组成部分，其人机交互能力直接影响用户体验。人员存在识别技术广泛应用于照明控制、空调调节、安防监控等场景 [1]。传统的单一传感器方案在面对复杂家居环境时存在明显局限：毫米波雷达对静止目标敏感度不足，而红外温度传感器易受环境因素干扰 [2]。

为解决上述问题，本文设计了一套多传感器融合的动态识别系统，重点改进红外温度传感器的背景建模方法，通过引入毫米波雷达辅助决策，实现了高精度、低误报的人员存在检测。

2 系统架构与工作原理

2.1 技术背景

现有红外温度传感器主要采用静态背景对比法进行人员识别（图 1），步骤如下（以 16*16 像素传感器为例）：

1. 当前温度场减去背景温度场
2. 计算各像素点温差均方误差 (MSE)
3. 根据预设阈值判定是否存在人员

然而，该方法面临四个关键问题：

1. 环境温度持续变化导致背景失准
2. 空调、暖气等调温设备产生干扰信号
3. 热水杯、酒柜等冷热源造成虚假报警
4. 长时间有人状态下难以维持有效对比

【作者简介】姜元亭（1985–），男，中国山东济宁人，硕士，从事智能感知技术研究。

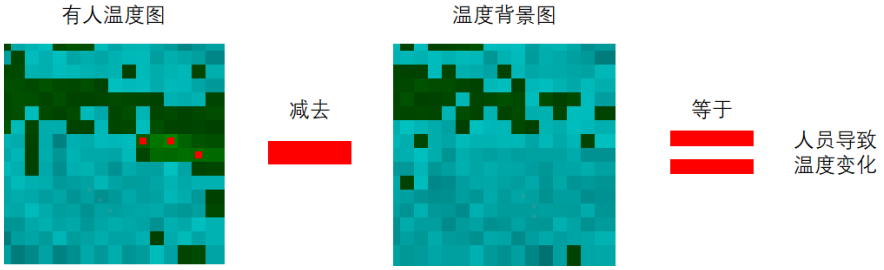


图 1 静态对比法示意图

2.2 动态背景更新机制

本系统采用 " 雷达主导 - 温度跟随 " 的协同策略，建立动态背景更新模型：

2.2.1 单目标处理流程

1. 区域映射：根据雷达提供的 (x,y) 坐标及角度误差，转换至红外温度坐标系中的水平角度范围 A（图 2）

2. 距离约束：利用 y 轴距离信息计算 2 米范围内的特征边长 L（人体典型高度）

3. 热点筛选：在 256 个温度点中提取最高 3 个温度点，若至少 1 点位于 A 范围内，则定位最高温点 S

4. 区域划分：以 S 为中心构建 L × L 正方形窗口 W，仅对 W 外区域执行背景更新（图 3）

具体过程如下：

1 个目标：根据人员坐标信息（链表雷达图 x 水平、y 平面垂直）加上雷达角度误差框定水平 x 角度范围 A；

在红外温度传感器生成的 256 像素数据中根据角度范围 A 在温度坐标（x 水平、z 立面垂直）中映射 x 范围；

根据雷达坐标 y 数据作为距离信息通过计算得出温度坐标中 2 米（人体站立及躺卧都在 2 米内）的边长 L 筛选出 256 个温度点中温度最高的 3 个点（数量根据雷达检测人员数量能力确定），如果至少有 1 个点在范围内，则在 A 范围内找到温度最高点 S，如果范围 A 内没有温度对应最高温度的 3 个点，则认为雷达链表中的人员已经不存在，删除链表中此目标信息。

在 A 范围内找到温度最高点 S，以 S 为中心框出边长 L 正方形范围 W，对 W 范围外温度进行更新，范围内本次不更新；

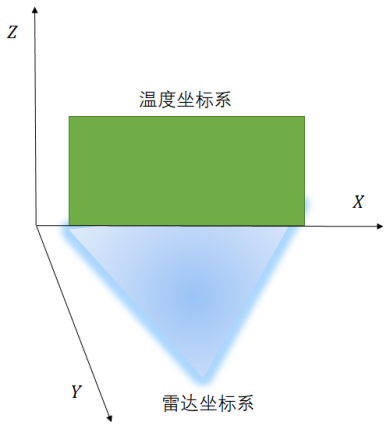


图 2 双坐标系图

2.2.2 多目标协同处理

多个目标存在时对每个目标按照单目标方式进行范围 W 框定，其范围可能存在重叠现象，多目标重叠时，W 范围取其或集 (图 4)。

更新过程总结 - 逐次逼近从周边慢慢更新，逐步全部更新完成（图 5）。

2.2.3 更新策略优化

逐次逼近更新：从边缘区域开始逐步向中心推进，避免瞬时大幅波动

定时强制更新：应对人员长时间静止或传感器异常情况，设置周期性全局刷新机制 [3]

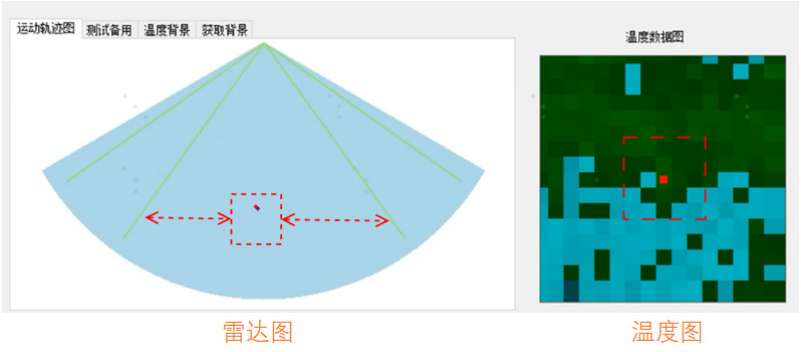


图 3 热点筛选示意图

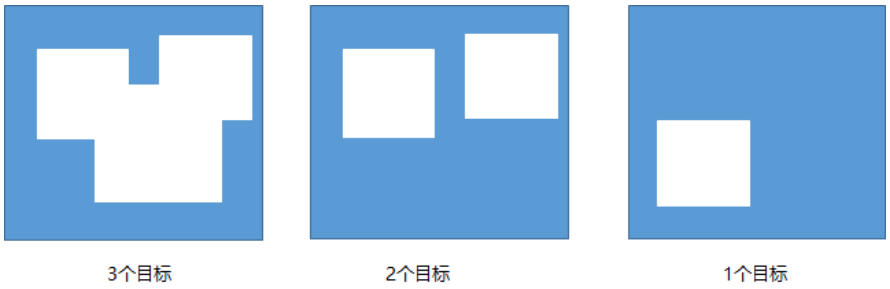
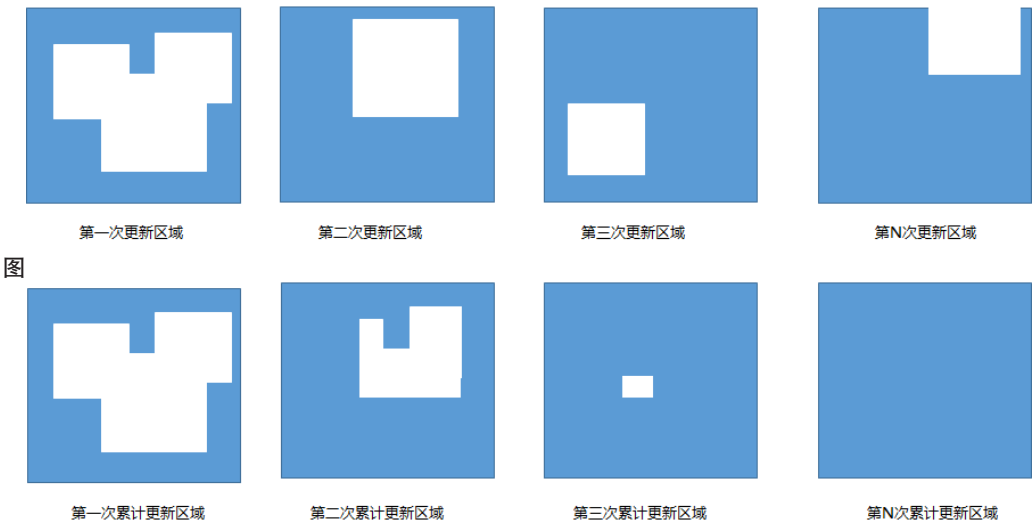


图 4 不同目标下刷新范围示意



图

图 5 逐次逼近更新过程图（蓝色为更新区域）

2.3 自适应阈值判定体系

传统固定阈值方法易受距离衰减影响，本文构建三维动态阈值模型：

通过前后时间差的温度背景数值差异进行对比，超过一定阈值时判断为有人存在，常规判断方法为当前 256 像素温度数值取均方差 - 背景 256 像素温度数值均方差 = δ 1，当大于设定阈值时判断有人，小于阈值判断无人；

动态阈值判断方法：

设置阈值三要素：背景均方值差（同静态）、与背景差的差均方值（ δ 2 ）、2 个背景最高温的温差（ δ 3 ）。每一阈值与初始设定阈值进行比较，当（ δ 1|| δ 2 ）& δ 3 为真时判断有人，为假时判断无人。

其中阈值 T1、T2 根据目标距离动态调整，提供三种实施方案：1. 查找表法：依据距离查表获得缩放系数；2. 分段函数法：按区间线性插值；3. 连续函数法：多项式拟合曲线

3 实验结果与分析

通过搭建原型系统，在典型家居环境中测试发现：

静止人员识别准确率由 72% 提升至 96%

平均响应延迟降低 40%

日常物品干扰误报减少 85%

特别是在夜间睡眠监测、老人看护等长时间静止场景中表现优异，验证了动态背景更新的有效性。

4 结语

本文提出的融合感知方法有效解决了智能家电中人员存在的精确识别问题，尤其在静止状态检测方面取得突破。未来将进一步研究深度学习辅助的多模态融合算法，拓展至更多生活服务场景。

参考文献

[1] 王明, 张华. 智能家居中红外温度传感器动态背景更新技术研究[J]. 传感器技术学报, 2025, 38(3): 45-52.

[2] 刘伟, 等. 基于毫米波雷达的智能家电人员感知系统设计[J]. 电子测量与仪器学报, 2025, 39(1): 112-120.

[3] 陈立, 等. 多传感器融合的智能家居主动感知技术综述[J]. 自动化仪表, 2025, 46(5): 78-85.