

减少特征图的尺寸，又能够保留图像中的重要空间信息。这种方法使得模型对显著特征更加敏感，同时增强了对细节信息的捕捉能力，有助于提高模型的鲁棒性和泛化能力。接下来，引入批归一化（BN）层以进一步标准化数据特征。批归一化层通过调节数据的均值和方差，确保各特征维持在相对稳定的数值范围内，从而加速模型的训练过程，提升模型的稳定性和泛化能力。

$$F(x_i, x_j) = \frac{x_i * x_j}{|x_i| |x_j|} * g(x_i, x_j) \quad (3)$$

输入的张量 X 是由 x_i, x_j 两个不同的矢量组成， $g(x_i, x_j)$ 表示张量的拉伸，并通过一层前馈神经网络逼近输入和输出之间的复杂映射关系。模型能够根据不同层次的特征来提升特征信息的提取能力，从而更好地捕捉输入数据的深层语义。最终，通过 Sigmoid 激活函数层将输出压缩到 $(0, 1)$ 的范围内，从而生成归一化的图像特征。这一步确保了输出特征的数值稳定性，并为后续任务提供了标准化的特征表示，有助于提升模型的泛化能力和预测效果。

2.3 轻量化 Light ALL-MLP 解码器

2.3.1 解码器结构

多分支自注意力模块的输出（特征序列）形成四个通道，直接作为解码器模块的输入，确保信息在编码器和解码器之间顺畅传递。轻量级 MLP 解码器，仅仅由 MLP 层组成，为了避免其他方法中通常使用的计算量巨大和人工设计的组件模块。四个不同分辨率的通道特征，经过 MLP-Layer 层内部的上采样层拼接为 4 个相同分辨率的通道数，统一为一样的分辨率，通过编码器的多级特征进行多维度统一。接着经过 MLP 模块，负责对提取的特征进行解码和非线性变换，通过样条函数和多层结构进一步提升特征的表达能力，提取出语义的掩码 M 所需要的数量 N_c ，上采样后的特征被进行拼接。最后经过与杂质过滤模块进行相互反向和正向传播，消除雾霾、雨痕、低光等杂质，完成最后的优化实现良好的语义分割。该解码器通过减少卷积操作，仅依赖轻量级 MLP 结构实现高效计算，在降低参数数量的同时保持高精度分割性能，适用于资源受限场景下的实时语义分割任务。

2.3.2 MLP-Layer

给定分辨率为 $H \times W \times 3$ 的输入图像进行补丁合并操作后，获得分辨率 $H/2^{i+1} \times W/2^{i+1} \times C^i$ ， i 是属于集合 $\{1, 2, 3, 4\}$ ，补丁操作是从 $F1 (H/4 \times W/4 \times C_1)$ 缩小到 $F2 (H/8 \times W/8 \times C_2)$ ，然后对层次结构中的任何其他特征图进行迭代，用于合并非重叠的图像或特征补丁），设置 K （补丁大小）=7， S （相邻补丁之间的步长）=4， P （填充大小）=3， $K=3$ ， $S=2$ ， $P=1$ ，执行重叠补丁合并，已生成与非重叠过程相同大小的特征。输入至 MLP-Layer 中将属于集合 $\{1, 2, 3, 4\}$ 的四层分辨率 F_i 进行通道维度统一被特征上采样（Upsample）成同样大小即原来的 $1/4$ ，并进行拼接

成 $H/4 \times W/4 \times 4C$ ，接着采用 MLP 层来融合拼接后的特征 F 。最后，外部的 MLP 层将融合的特征输入，预测分割掩码 M ，分辨率为分辨率为 $H/4 \times W/4 \times N_{cls}$ ， cls 是类别数量，达到既能有效保持较大的感受野又能有效捕捉上下文信息，且设计不复杂模型较为简洁。

2.3.3 杂质过滤器模块

引入一个杂质过滤器模块，其关键是将图像的杂质条件视为其风格，并缩小分割模型的神经风格空间中不同杂质条件图像之间的差异，特别是由于图像神经网络中的风格通常受其他因素和杂质的影响不断地学习风格中的因素，通过对杂质过滤器模块和分割模型交替优化，逐渐缩小了不同环境下的风格差异。解码器模块输出的数据 $H \times W \times N_c$ ，完成雨痕、雾霾等杂质特征的过滤。首先，本模块完成了复杂天气条件下的图像中提取，并通过嵌入杂质向量因子的形式实现精准量化，以辅助模型学习和表征各种杂质特征。线性层是对输入特征执行了一次线性变化，激活层层在处理负输入时不会完全抑制信号传递。在该模块中，采用 Gram 矩阵对特征通道之间的相关性进行建模，其中矩阵元素 G_{ij} 表示第 i 通道和第 j 通道之间的相关性，计算公式为 $G_{ij} = a_i^T a_j$ 。这种方法提供了丰富的风格信息，有助于捕捉杂质特征的局部和全局相关性。通过 ALL-MLP 模块处理后，该模块生成包含杂质相关信息的嵌入向量，从而为下游任务提供更准确的特征描述。

3 结语

这种创新的级联注意力分割模型，通过融合多分支自注意力机制、混合型 Transformer 编码器和轻量级解码器等先进技术，实现了在复杂视觉场景下的高效语义分割。模型不仅能够动态环境中精确捕捉多尺度的图像特征，还通过引入杂质过滤器技术，通过分割模型和杂质过滤器交替优化，显著提升了对不同环境（低光、雨天、雾霾等）条件下的处理能力。未来的研究可以进一步探讨如何结合更加高效的噪声标签处理与自监督学习方法，以实现更加稳健和泛化的分割效果。

参考文献

- [1] Xie E, Wang W, Yu Z, et al. SegFormer: Simple and efficient design for semantic segmentation with transformers[J]. Advances in neural information processing systems, 2021, 34: 12077-12090.
- [2] Chen L C, Zhu Y, Papandreou G, et al. Encoder-decoder with atrous separable convolution for semantic image segmentation[C]// Proceedings of the European conference on computer vision (ECCV). 2018: 801-818.
- [3] HE K M, ZHANG X Y, REN S Q, et al. Deep residual learning for image recognition[C]// Proceedings of the 29th IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Las Vegas, Jun 27-30, 2016. Washington: IEEE Computer Society, 2016: 770-778.

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

Yuanting Jiang¹ Linlin Yang² Zhongfeng Han¹

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、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真
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。

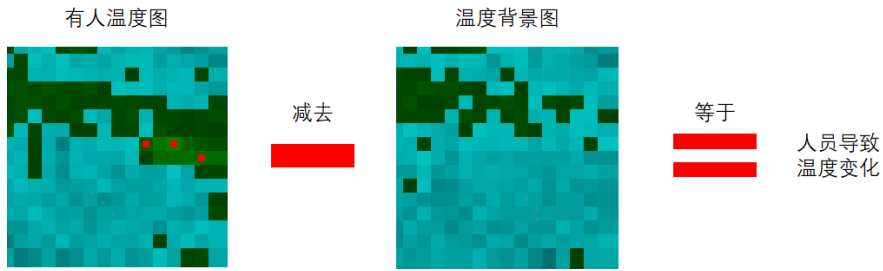


图 1 静态对比法示意图

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 $L \times L$ 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;

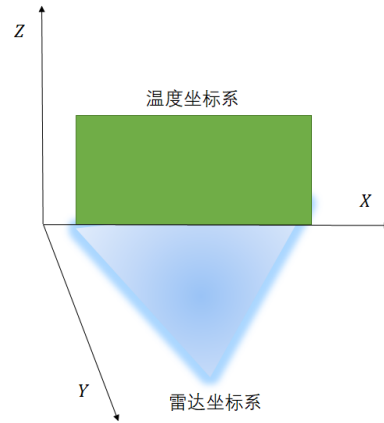


图 2 双坐标系图

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]

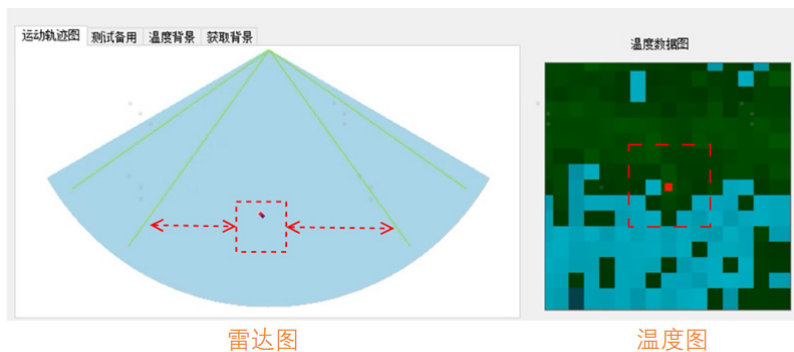


图 3 热点筛选示意图