
华中科技大学谢远龙团队：室内自主移动机器人传感技术综述 MDPI Sensors

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/36635.html>

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

华中科技大学谢远龙团队：室内自主移动机器人传感技术综述 MDPI Sensors。论文标题：A Review of Sensing Technologies for Indoor Autonomous Mobile Robots

论文链接：<https://www.mdpi.com/1424-8220/24/4/1222>

期刊名：Sensors

期刊主页：<https://www.mdpi.com/journal/sensors>

文章导读

本文系统综述了室内自主移动机器人 (AMR) 的传感技术，分析单传感器 (IMU、超声、红外、LiDAR、视觉、射频) 的优势与局限，探讨多传感器融合算法 (卡尔曼滤波、粒子滤波、神经网络) 及未来趋势。研究强调感知技术在室内无GPS环境下实现定位、SLAM及避障等AMR核心功能的关键作用。

研究内容

(1) 单传感器技术 (Single Sensor Technologies)

IMU传感器输出频率较高，广泛应用于移动机器人定位与SLAM领域。作为本体感受型传感器，其感知过程不受环境条件影响，但在障碍物检测方面能力有限。为抑制误差累积，IMU常与编码器结合，作为短途里程计使用，并集成于传感器融合框架中，以提升移动机器人定位与SLAM的精度。

超声波传感器的测距精度低于红外传感器和激光雷达，因此近年来在移动机器人定位与SLAM中作为主传感器的应用较少。然而，其在障碍物检测方面具有明显优势，被广泛用于移动机器人的避障任务。

红外传感器属于光学传感器，易受环境光或反射体干扰，测量稳定性较差。但其成本极低，常作为辅助传感器用于移动机器人对障碍物或目标的距离检测。

激光雷达与视觉传感器是移动机器人SLAM中最常用的两类传感器，均支持未知环境下的自主导航。激光雷达在测距精度上更具优势，而视觉传感器能够获取更丰富的环境信息。需要注意的是，激光雷达的测量易受透明或高反射物体的干扰；视觉传感器则凭借强大的物体识别能力，在障碍物或目标检测方面表现突出，可有效过滤障碍物数据，进而提升机器人在导航过程中的定位精度。

射频 (RF) 传感器也广泛用于移动机器人定位，其定位精度不受低能见度等环境因素的影响。然而，基于RF的定位系统需依赖已知位置的锚节点，且无法直接提供机器人的朝向信息。

表1. 传感器的特性和应用

传感器	优势	局限	典型应用
IMU	高输出频率、抗环境干扰	依赖初始条件、误差累积	短时里程计辅助定位
超声传感器	低成本、透射/反射物体检测佳	易受噪声干扰、长距离衰减	玻璃/镜面障碍物检测
红外传感器	低成本、响应快	易受环境光干扰	近距离障碍物检测
LiDAR	测距精度高、建图高效	受透明/镜面物体干扰	2D-SLAM (如Gmapping)
视觉传感器	环境信息丰富、语义理解强	计算量大、光照敏感	语义SLAM、动态障碍物识别
射频技术	穿透性强、环境鲁棒性高	需预设锚点、无法提供朝向	UWB/WiFi指纹定位

(2) 多传感器融合 (Multi-Sensor Fusion)

各类传感器能够采集不同形式的测量数据，通过传感器融合可更全面地获取环境信息，从而提高任务执行中的定位效率。需要注意的是，每种传感器都具有其独特的优势、局限性与适用场景。传感器信息融合能够综合利用各传感器的优点，弥补单一传感器的不足，进而提升移动机器人的定位精度与障碍物识别效率，适应多样化的工作环境。

在传感器数据融合算法方面，主流方法包括基于卡尔曼滤波器、粒子滤波器及其改进形式，以及神经网络等。卡尔曼滤波器及其衍生算法适用于高斯分布假设下的线性系统；而在处理非高斯或非线性问题时，其性能受限，误差可能增大。粒子滤波器 (又称蒙特卡洛方法) 能够处理任意分布，通过一组粒子对移动机器人的位置概率密度函数进行近似，粒子聚集区域对应较高概率。每个粒子代表一个假设位姿，其权重反映该假设与真实状态的匹配程度。通常，全局定位需大量粒子覆盖全图，计算复杂度高；而姿态跟踪所需粒子数较少。为提高全局定位效率，研究者常采用先粗定位、后精定位的策略，如图1、2所示。

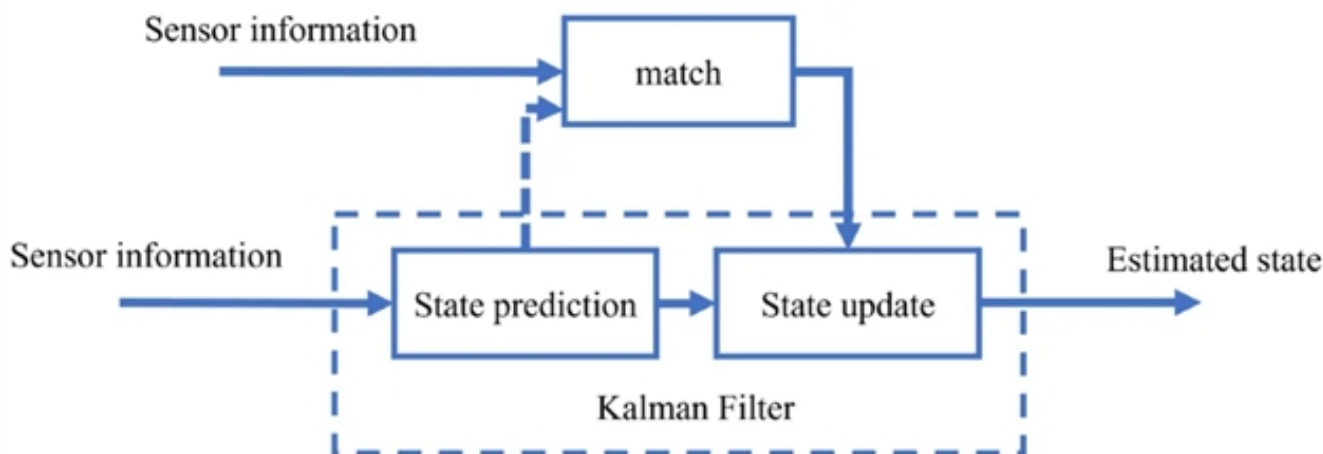


图1. 基于卡尔曼滤波的多传感器融合算法。

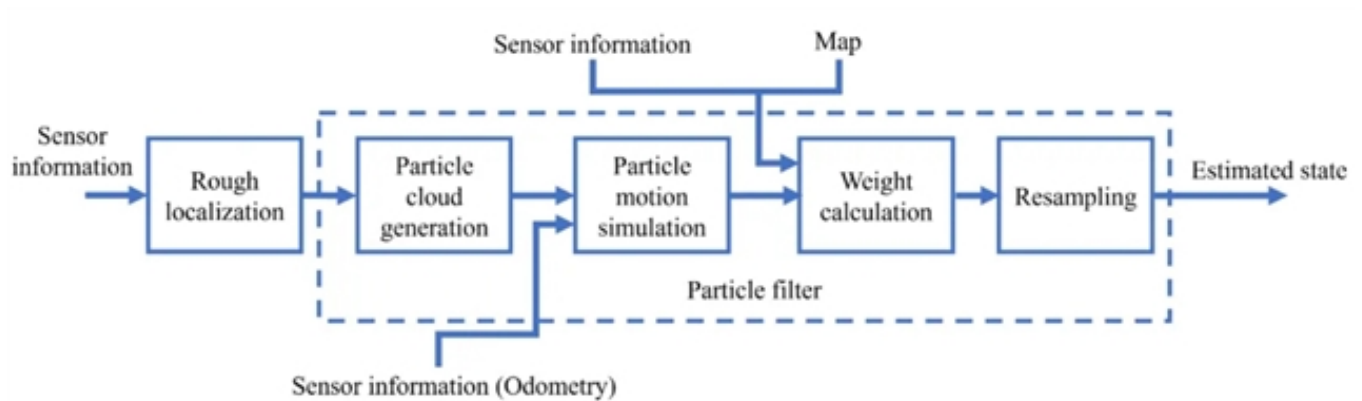


图2. 基于粒子滤波的多传感器融合算法。

神经网络因其能够自动从数据中提取特征、避免人工设计特征的局限性，并具备较强的泛化能力与鲁棒性，被广泛用于多传感器融合。与卡尔曼滤波相比，神经网络更适用于非线性系统，并能达到更高精度。

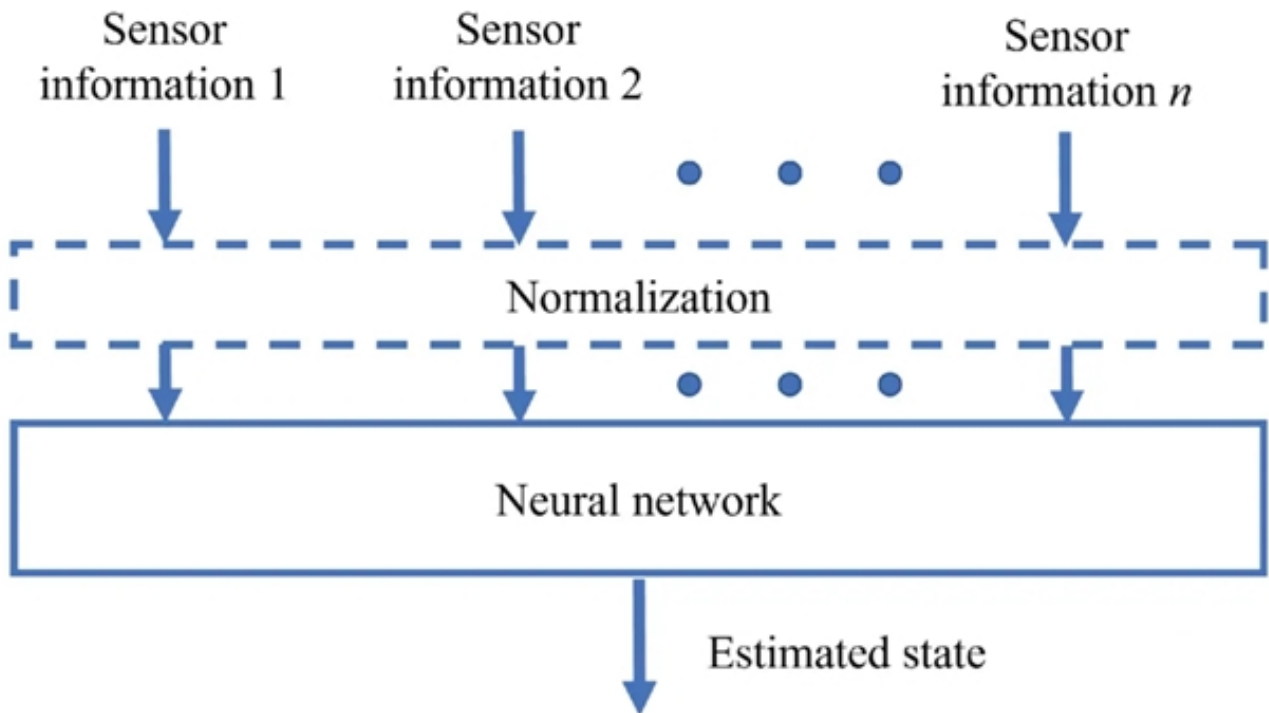


图3. 基于神经网络的多传感器融合算法。

加权平均法作为一种简洁高效的融合策略，具有良好的实时性，其核心在于权值分配与校正策略的设计。然而，加权平均法未考虑状态间的时序关系，在高动态环境中抗干扰能力较差。

图优化算法也常用于多传感器融合框架中。图优化方法能够有效处理非线性问题，但由于需维护和优化历史状态节点，计算复杂度较高，实时性仍面临挑战。机器人的状态优化通常在回环检测

或重定位时进行。

表2. 多传感器融合传感技术和应用。

融合方法 核心机制 代表研究 卡尔曼滤波改进 线性高斯系统状态迭代预测-更新
EKF融合视觉/LiDAR-SLAM 粒子滤波 蒙特卡洛采样近似概率分布 视觉粗定位+LiDAR精定位
神经网络 端到端特征提取与非线性映射 FusionLoc架构融合相机/LiDAR重定位 加权平均法
权值分配与校正策略的设计 编码器+相机 图优化 位姿图最小化误差
UWB/LiDAR/里程计联合优化建图

研究总结

室内自主移动机器人 (AMR) 的感知系统是其成功导航的核心，但单一传感器 (如LiDAR受透明物体干扰、视觉相机受光照变化影响、信标系统部署成本高) 均存在固有局限，难以独立应对复杂动态场景。因此，多传感器融合通过优势互补 (如IMU辅助视觉、超声补偿LiDAR盲区) 成为提升定位、建图及避障鲁棒性的必然选择。未来核心研究方向聚焦于三点：

- 1. 多源信息融合：**单一传感器由于其固有的局限性，难以满足复杂场景中的导航需求。因此，多传感器融合成为室内自主移动机器人研究与发展关键方向。通过为感知系统提供更全面的环境信息，多传感器融合能够提升定位、建图和障碍物检测的准确性、效率及稳定性，进而为决策系统提供更准确和完整的信息，使移动机器人更好地适应复杂环境，更高效、更稳健地完成导航任务。
- 2. 灵活高效的优化策略：**当移动机器人在多样化的复杂动态环境中运行时，传感器所获得的观测信息中存在大量未知的模型噪声和粗糙数据。为确保AMR系统的效率、稳定性和精度，需要根据具体环境及其动态变化研究合适的优化策略。此外，优化过程中涉及诸多复杂的非线性运算。为提高处理大规模或多模态数据时的计算效率，可采用并行计算、分布式计算等方法。
- 3. 与神经网络的集成：**由于神经网络有助于增强移动机器人系统的稳定性，将其与移动机器人相结合已引起广泛关注。此外，神经网络的自学习能力能够应对传感器干扰和外部环境因素的影响，从而提升定位抗干扰能力。然而，目前基于神经网络的算法在多样化室内场景中的定位仍存在局限。在使用同一神经网络算法时，移动机器人在不同环境中的误差较大。今后研究应探索融合更多类型的传感器，并应用更复杂的神经网络结构，以满足不同室内环境中的导航需求。随着大语言模型的出现和芯片技术的进步，基于神经网络的方法预计将在未来得到迅速发展。

期刊介绍

主编：Vittorio M. N. Passaro, Politecnico di Bari, Italy

期刊涵盖所有传感器科学和技术研究领域，例如物理传感器、智能传感器、传感网络、生物传感器、化学传感器、雷达、可穿戴电子设备和先进的传感材料及其在物联网、工业、农业、环境、遥感、导航、通信、车辆、成像、生物医药等领域的应用。目前期刊已被SCIE (Web of Science)、PubMed、Ei Compendex、Scopus等数据库收录。

2024 Impact Factor 3.5 2024 CiteScore 8.2 Time to First Decision 19.7 Days Acceptance to Publication 2.4

Days 特别声明：本文转载仅仅是出于传播信息的需要，并不意味着代表本网站观点或证实其内容的真实性；如其他媒体、网站或个人从本网站转载使用，须保留本网站注明的“来源”，并自负版权等法律责任；作者如果不希望被转载或者联系转载稿费事宜，请与我们联系。

来源：Sensors

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](http://www.iikx.com)转发