

多模态信息融合在机器人导航系统中的应用

张志豪 尹佳辉*

山东大学

DOI:10.12238/acair.v3i1.11887

[摘要] 随着机器人技术的发展,机器人导航系统的精度和可靠性已成为机器人技术亟须解决的关键问题。在此背景下,多模态信息融合技术应运而生,它将视觉、激光雷达、超声波等多种传感器信息进行融合,为机器人导航提供更为全面、准确的环境感知。在实际应用中,该技术充分利用不同传感器的优势,例如在地图构建中,结合视觉图像数据的丰富的语义特征与激光雷达精确的距离测量优势,可以更精确地找出物体的位置和形状。本文将对多模态信息融合应用于机器人导航系统进行阐述,剖析其原理,方法以及实际效果,并进一步探讨未来发展趋势。

[关键词] 多模态信息融合; 机器人导航; 传感器; 环境感知

中图分类号: TP242 **文献标识码:** A

Application of multimodal information fusion in robot navigation system

Zhihao Zhang Jiahui Yin*

Shandong University

[Abstract] With the development of robot technology, the accuracy and reliability of robot navigation system have become the key issues to be solved in robot technology. Under this background, multi-modal information fusion technology came into being, which fuses various sensor information such as vision, Lidar and ultrasound to provide a more comprehensive and accurate environment perception for robot navigation. In practical applications, the technology makes full use of the advantages of different sensors, such as in map construction, combining the rich semantic features of visual image data with the advantages of accurate distance measurement of Lidar, to find out the position and shape of objects more accurately. In this paper, the application of multimodal information fusion to robot navigation system is discussed, and its principle, method and practical effect are analyzed, and the future development trend is further discussed.

[Key words] multimodal information fusion; Robot navigation; Sensor; Environmental awareness

引言

在复杂的环境中,需要机器人能够自主导航,准确感知周围环境信息。但单一传感器在获取环境信息时具有很多局限性,难以满足高精度导航的严格要求。例如,视觉传感器可以提供丰富的图像信息用于目标识别和场景理解,但容易受光照、遮挡等因素干扰;激光雷达测量精度高,范围广,可以快速获取三维点云数据用于障碍物检测和地图构建,但当面对特殊材质或相似反射物时测量会出现偏差;超声波传感器成本低,常用于近距离障碍物检测,但其测量精度相对较低,且易受环境因素如温度、气流、噪声等影响。多模态信息融合技术的出现为解决这一难题提供了有效途径。其可以将多种传感器的数据如视觉、激光雷达、超声波等进行集成,取长补短。

1 多模态信息融合技术基础

1.1 传感器类型及特点

1.1.1 视觉传感器

视觉传感器可以收集丰富的图像信息,为机器人进行目标识别、场景理解和环境感知等提供了数据基础^[1]。以常见的摄像头为例,它能拍摄彩色或灰度图像。高分辨率的摄像头能产生细微的纹理和复杂的形状信息,如在工业检测场景下可以准确识别产品表面的瑕疵,在智能安防领域能够清晰辨别人员的面部特征和行为动作。机器凭借这些丰富的图像内容,对周围的环境进行深入分析,从而做出合理的决策。

1.1.2 激光雷达

激光雷达是通过发射激光束与反射光来测量距离,其独特的工作方式使得它可以快速地获得周围环境的三维点云数据。在机器人导航系统中,这些数据对于障碍物检测和地图构建具有不可替代的重要作用^[2]。由于激光雷达的测量精度高,可以达到毫米级,测量的范围大,可以达数十米甚至上百米,因此在无人

驾驶领域,它可以帮助车辆实时感知周围障碍物的位置和距离,为自动驾驶提供可靠的环境信息;在大型仓库的物流机器人中,激光雷达可以用于构建精确的地图,引导机器人高效地完成货物搬运任务^[3]。

1.1.3 超声波传感器

超声波传感器通过超声波反射原理来测量距离,成本相对较低,因此在一些对成本敏感的应用场景中得到广泛应用。在近距离障碍物检测方面,超声波传感器具有很好的作用,例如家用清洁机器人,通过超声波传感器及时检测到前方的家具,墙壁等障碍物,避免碰撞。但超声波传感器也有一定的缺点,其测量精度较低,而且受到环境因素的干扰,如在温度变化大、气流强、噪声大的环境中测量数据的准确性会受到影响^[4]。

1.2 信息融合方法

1.2.1 数据层融合

这种融合方法的优点是保留了最多的原始信息,能充分发挥各个传感器的特有特性。但是由于原始数据量大,格式复杂,因此对数据的处理能力提出了很高的要求,需要强大的计算设备和高效率的数据处理算法来支持。

1.2.2 特征层融合

以视觉图像和激光雷达数据为例,从视觉图像中提取边缘特征,颜色特征等,从激光雷达数据中提取几何特征,距离特征等。在机器人目标识别任务中,通过视觉和激光雷达的特征相结合,能够更加准确地识别出目标物体的类别和位置。

1.2.3 决策层融合

机器人避障任务中视觉传感器通过图像分析判断前方有障碍物,激光雷达通过距离测量也判断前方有障碍物,此时通过一定的融合规则,如多数表决,加权平均等方法来确定最终的决策。这种方法对系统的通信和协调要求较高,需要各个传感器之间能够准确、及时地传输决策信息,并且融合规则要合理有效,以确保最终决策的准确性^[5]。

2 多模态信息融合在机器人导航系统中的应用

2.1 环境感知与地图构建

在智能感知与导航领域,多模态传感器融合技术发挥着关键作用。利用视觉传感器获取的图像信息,可识别环境中的标志性物体,比如建筑物的轮廓、道路标识等;同时,激光雷达提供精确的距离信息,用于构建地图的三维结构。通过融合两者信息,能构建出更准确、详细的地图。单一激光雷达和视觉-激光雷达融合构建地图的精度对比来看,平均距离误差从单一激光雷达的0.2m降低到视觉-激光雷达融合的0.1m,角度误差也从2°减小到1°,效果显著。此外,在检测障碍物方面,结合视觉传感器对物体形状和颜色的识别能力,以及超声波传感器对近距离障碍物的快速检测能力,当视觉传感器检测到疑似障碍物时,超声波传感器进一步确认其距离和位置,极大提升了障碍物检测的准确性和可靠性。

在障碍物检测环节,不同传感器的表现各有优劣。单独使用视觉传感器时,凭借其对物体形状和颜色的识别能力,障碍物检

测准确率能达到80%;而超声波传感器虽侧重于快速检测近距离障碍物,但其检测准确率为70%。然而,当把视觉传感器与超声波传感器有机结合,奇迹发生了。两者优势互补,视觉传感器先凭借自身特性敏锐捕捉疑似障碍物,随后超声波传感器迅速对其距离和位置进行精准确认。这种融合后的传感器组合在障碍物检测上展现出强大实力,不同传感器组合在障碍物检测准确率的对比可以清晰看到,视觉与超声波传感器融合后,检测准确率大幅提升至90%,相较于单一传感器,检测的准确性和可靠性得到了质的飞跃。

2.2 路径规划与导航控制

在机器人的实际应用里,多模态传感器融合技术贯穿多个关键环节。在障碍物检测方面,视觉传感器与超声波传感器融合优势显著,前者识别物体形状颜色,后者快速检测近距离障碍,融合后检测准确率从单一视觉的80%、单一超声的70%提升至90%。在路径规划时,融合视觉传感器获取的环境语义信息与激光雷达的地形信息,如视觉识别出前方为可通行道路且激光雷达确认无障碍物,机器人即可选择此路径行驶,成功率从单一视觉的75%、单一激光雷达的80%提升至融合后的90%。在导航过程中,惯性测量单元(IMU)、视觉传感器和激光雷达等多种传感器协同工作,将自身状态与环境信息反馈给导航控制系统,多模态反馈使偏离预定路径平均误差从单一传感器反馈的0.3m降低至0.15m,有力保障机器人沿预定路径稳定行驶。

3 多模态信息融合在机器人导航系统中的优势

3.1 提高导航精度

在机器人导航系统中,单一传感器往往存在固有的误差和不确定性。例如,视觉传感器虽能提供丰富的图像纹理和形状信息用于目标识别和场景理解,但易受光照条件、遮挡物等因素影响,导致目标定位出现偏差;激光雷达在测量距离方面精度较高,可快速获取周围环境的三维点云数据,然而在面对表面材质特殊或存在大量相似反射物的场景时,也可能出现测量误差。

多模态信息融合技术通过整合多种传感器信息,有效地减少了这些误差和不确定性。以地图构建为例,视觉-激光雷达融合具有显著优势。视觉传感器能够识别环境中的标志性物体,如建筑物的独特轮廓、道路标识等,这些信息为地图构建提供了丰富的语义特征;而激光雷达则凭借其精确的距离测量能力,为构建地图的三维结构提供了坚实的数据基础。两者融合后,能够更准确地确定环境中物体的位置和形状,使得机器人在导航过程中能够更精确地定位自身位置。通过大量实验数据统计分析,使用单一激光雷达构建地图时,平均距离误差可达0.2米,角度误差为2°;而采用视觉-激光雷达融合构建地图,平均距离误差可降低至0.1米,角度误差减小为1°,导航精度得到了显著提升。

3.2 增强环境适应性

多模态信息融合技术使得机器人能够充分综合利用这些优势,从而适应各种复杂多变的环境。在光线较暗的环境中,视觉传感器的性能会受到极大限制,图像质量下降,目标识别和定位

变得困难。但激光雷达不受光线条件的影响,仍然能够正常工作,通过发射和接收激光束来精确测量距离,当机器人在狭窄空间或靠近障碍物时,超声波传感器能够迅速检测到近距离的障碍物,并及时将信息反馈给机器人控制系统。相比之下,视觉传感器和激光雷达在近距离检测时可能存在一定的盲区或响应延迟。

3.3 提升系统可靠性

在实际应用中,机器人的传感器可能会受到各种因素的干扰或出现故障,影响导航系统的正常运行。例如,当视觉传感器被遮挡时,无法正常获取图像信息,此时激光雷达和超声波传感器可以继续发挥作用。这种多传感器的冗余设计提高了系统的可靠性和容错性,确保机器人在复杂多变的环境中能够稳定地完成导航任务。即使在部分传感器失效的情况下,机器人依然能够依靠其他正常工作的传感器维持基本的导航功能,避免因单一传感器故障而导致任务失败或发生危险。

4 多模态信息融合在机器人导航系统中的挑战与未来发展趋势

4.1 挑战

随着机器人技术的不断发展以及多模态信息融合应用的日益广泛,传感器数量和数据量呈现出爆发式增长。在这种情况下,数据融合和融合算法的复杂度也随之急剧上升。每一种传感器所采集的数据都具有独特的格式、特征和噪声特性,要将这些不同来源的数据进行有效地融合并非易事。设计高效、准确的融合算法,需要在保证实时性的同时极大地提高融合效果,这无疑是一个亟待攻克的难题。此外,不同传感器的数据采集频率和处理时间存在显著差异。这种差异使得实现传感器之间的精确时间同步成为多模态信息融合中的关键问题。若时间同步不准确,融合的数据就会出现时间上的偏差,导致机器人对环境的感知出现错误,进而影响导航的准确性和安全性。再者,使用多种传感器必然会增加系统的成本和功耗。对于一些对成本和功耗有严格限制的应用场景,如小型移动机器人,这一问题尤为突出。小型移动机器人通常依靠电池供电,且预算有限,过多的传感器及其带来的高功耗会严重缩短机器人的工作时间,增加使用成本,限制了多模态信息融合技术在这类场景中的广泛应用。

4.2 未来发展趋势

基于深度学习的多模态目标识别算法,能够对视觉、听觉等多种模态的数据进行深度分析和融合,从而更准确地识别复杂

环境中的物体。在复杂的室内场景中,该算法可以综合视觉图像中的物体形状、颜色信息以及音频中的声音特征,快速准确地识别出目标物体,为机器人的导航和操作提供有力支持。研发更加轻量化、低功耗的多模态传感器也是未来的重要发展方向之一。通过采用新型材料和优化设计,降低传感器的体积和功耗,同时提高其性能和稳定性。这样不仅可以降低系统成本,还能使多模态信息融合技术更广泛地应用于各种设备中。在多机器人协作任务中,各机器人之间共享和融合多模态信息至关重要。以搜索救援任务为例,多个机器人通过融合各自的视觉、音频等信息,能够全方位、更全面地了解救援现场情况。

5 结论

多模态信息融合技术在机器人导航系统中具有重要的应用价值,通过整合多种传感器信息,显著提高了机器人的导航精度、环境适应性和系统可靠性。尽管目前还面临一些挑战,但随着技术的不断发展,深度学习、轻量化传感器等技术的应用将为多模态信息融合在机器人导航系统中的发展带来新的机遇。未来,多模态信息融合技术将在更多领域得到广泛应用,推动机器人技术的不断进步。

[参考文献]

- [1]王国庆,裴云强,杨阳,等.多模可信交互:从多模态信息融合到人-机器人-数字人三位一体式交互模型[J].中国科学:信息科学,2024,54(04):872-892.
- [2]吕友豪,贾袁骏,庄圆,等.基于多模态信息融合的四足机器人避障方法[J].工程科学学报,2024,46(08):1426-1433.
- [3]桂林,颜潭成,徐彦伟,等.基于多模态信息融合的四足机器人避障研究[J].传感器与微系统,2023,42(09):65-67+76.
- [4]陈卓宇,安丰伟.面向机器人导航的双目立体视觉处理器综述[J].集成电路与嵌入式系统,2024,24(11):15-28.
- [5]范雨泽,刘舰.基于声音识别技术的机器人动态导航系统设计[J].电声技术,2024,48(10):15-18.

作者简介:

张志豪(2002--),男,汉族,山东省德州市人,专科,研究方向:网络安全。

*通讯作者:

尹佳辉(2004--),男,汉族,甘肃省天水市人,本科,研究方向:电力电子技术。