

Research on dynamic obstacle avoidance and task planning in collaborative robot based on multi-modal perception fusion

Zhihua Wang

Anqing Normal University, Anqing, Anhui, 246133, China

Abstract

Traditional collaborative robots typically rely on a single sensor for environmental perception. However, in complex and dynamic work environments, a single sensing method often fails to effectively capture all obstacle information. Therefore, this paper proposes a dynamic obstacle avoidance and task planning method for collaborative robots based on multimodal perception fusion. By integrating data from multiple sensors (such as vision, LiDAR, and infrared sensors), it achieves more comprehensive environmental perception, thereby enhancing the robot's obstacle avoidance capability and task planning accuracy in dynamic environments. This paper provides a detailed analysis of the technical principles of multimodal perception fusion, introduces a new fusion algorithm, and designs an overall framework for dynamic obstacle avoidance and task planning of collaborative robots based on this algorithm. Through simulation experiments and tests in real environments, the effectiveness and superiority of this method in dynamic obstacle avoidance and task planning are verified.

Keywords

multimodal perception; collaborative robot; dynamic obstacle avoidance; task planning; sensor fusion; robot perception

基于多模态感知融合的协作机器人动态避障与任务规划研究

王志华

安庆师范大学, 中国·安徽 安庆 246133

摘要

传统的协作机器人通常依赖单一传感器进行环境感知,然而,在复杂和动态的工作环境中,单一感知方式往往无法有效捕捉到所有的障碍物信息。因此,本文提出一种基于多模态感知融合的协作机器人动态避障与任务规划方法。通过结合多种传感器的数据(如视觉、激光雷达、红外传感器等),实现更为全面的环境感知,进而提升机器人在动态环境中的避障能力和任务规划精度。本文详细分析了多模态感知融合的技术原理,提出了一种新的融合算法,并基于该算法设计了协作机器人动态避障与任务规划的整体框架。通过仿真实验和实际环境中的测试,验证了该方法在动态避障和任务规划中的有效性和优越性。

关键词

多模态感知; 协作机器人; 动态避障; 任务规划; 传感器融合; 机器人感知

1 引言

随着智能制造和机器人技术的快速发展,协作机器人(Collaborative Robot, CoBot)作为一种新型的自动化设备,在现代工业中发挥着越来越重要的作用。与传统的工业机器人相比,协作机器人具有更高的灵活性和适应性,能够与人类及其他机器进行协同工作,完成各种任务。协作机器人不

仅需要具备高效的执行能力,还需要在动态和复杂的环境中灵活应对,避免与人类或障碍物发生碰撞,确保工作场所的安全性和任务的顺利完成。

在协作机器人的工作过程中,环境感知与避障能力是其核心技术之一。传统的机器人感知系统通常依赖于单一的传感器,如视觉传感器、激光雷达(LiDAR)等,然而,由于单一传感器的局限性,这些系统在复杂环境下往往无法提供足够的感知信息,难以应对复杂的动态变化。在实际应用中,复杂的工作环境通常包含多种不同类型的障碍物,且障碍物的位置和形态会随着时间发生变化。因此,如何实现对环境的全方位感知,并基于这些感知信息进行高效的动态避障与任务规划,成为协作机器人技术发展的一个重要课题。

【课题项目】课题编号 H20240262, 课题名称 3 台 ABB 机器人系统调试服务。

【作者信息】王志华(1994-),男,中国安徽安庆人,硕士,助教,从事机电一体化研究。

近年来,随着传感器技术的快速发展,越来越多的传感器种类和感知方式被应用到机器人系统中,特别是多模态传感器融合技术的兴起,为解决传统单一传感器感知的不足提供了新的思路。通过将不同类型的传感器信息进行融合,能够实现对环境的全面感知,从而提高协作机器人的动态避障与任务规划能力。

本文的研究目标是基于多模态感知融合技术,提出一种新的协作机器人动态避障与任务规划方法。通过多种传感器的数据融合,提高机器人对动态环境的感知精度,进而优化其避障与任务规划策略。本文的研究旨在为协作机器人在复杂环境中的自主工作提供技术支持和理论依据。

2 协作机器人动态避障与任务规划的关键问题

2.1 协作机器人动态避障的挑战

动态避障是指机器人在执行任务的过程中,能够实时感知周围环境中移动的障碍物,并及时调整运动轨迹以避免碰撞。对于协作机器人而言,动态避障面临着以下几个主要挑战:

环境的不确定性:在复杂的工作环境中,障碍物不仅种类繁多,而且其形态和位置会不断变化,给机器人的避障带来了巨大的挑战。例如,在一个生产车间中,移动的设备、人类工人等都可能成为障碍物,且其位置、速度和方向是动态变化的[1]。

传感器的局限性:传统的机器人避障系统通常依赖于单一传感器(如视觉、激光雷达或超声波传感器)进行环境感知。然而,单一传感器往往难以全面覆盖环境中的所有信息。例如,视觉传感器容易受到光照变化的影响,激光雷达则可能受到反射或遮挡的限制。因此,单一传感器在动态避障中的应用往往存在较大局限性。

实时性要求:为了保证协作机器人在动态环境中的避障效果,避障算法需要具备高实时性。机器人的运动速度和环境变化速度可能较快,要求避障系统能够在极短的时间内做出反应,从而避免碰撞。

2.2 协作机器人任务规划的挑战

任务规划是指根据任务要求,合理规划机器人在工作空间中的运动路径,并在执行过程中实时调整,以保证任务的顺利完成。任务规划面临的主要挑战包括:

路径优化:在动态环境中,任务规划不仅需要考虑到目标位置,还需要避免与动态障碍物发生碰撞。因此,路径规划需要同时考虑路径的最短性、避障能力和执行时间等多个因素。

动态任务调整:随着环境的不断变化,协作机器人在任务执行过程中可能会遇到新的障碍物或发生任务变化。因此,任务规划系统需要具备实时调整能力,能够根据环境和任务的变化,动态地调整机器人的工作路径。

多任务协调:在多机器人协作任务中,如何协调多个

机器人的任务规划,避免冲突和重复,是任务规划中的一个重要问题。需要设计合适的算法,确保各机器人能够在同一工作空间中高效协同,完成各自的任务[2]。

2.3 多模态感知融合的优势

多模态感知融合技术通过将来自不同类型传感器的数据进行整合,能够实现对环境的全面感知,克服单一传感器的局限性。在协作机器人中,多模态感知融合具有以下优势:

提高感知精度:不同类型的传感器在感知不同环境信息时具有各自的优势和劣势,通过多模态感知融合,可以综合各传感器的优点,弥补单一传感器的不足,从而提高感知精度。

增强环境感知的鲁棒性:在复杂和动态的环境中,障碍物的形态、位置和运动状态不断变化,单一传感器可能无法提供完整的环境信息。通过融合多种传感器数据,可以增强对动态环境的感知能力,提高系统的鲁棒性和适应性。

提升避障和任务规划的效率:通过多模态感知融合,协作机器人可以在实时感知到障碍物的同时,结合任务规划算法进行动态路径规划,从而提高避障和任务执行的效率。

3 基于多模态感知融合的动态避障与任务规划方法

3.1 多模态感知融合算法设计

为了实现协作机器人的高效动态避障与任务规划,本文提出了一种基于多模态感知融合的算法框架。该框架的设计主要是通过整合不同类型的传感器数据,从而获得更为全面、精准的环境感知能力,确保协作机器人能够在动态复杂的环境中顺利执行任务。该框架主要包括以下几个步骤:

数据采集与预处理:首先,协作机器人通过多个传感器(如视觉传感器、激光雷达、红外传感器等)采集环境数据。视觉传感器通过图像信息获取环境的视觉特征,激光雷达则提供高精度的距离信息,而红外传感器有助于识别障碍物的温度变化。这些传感器可以提供丰富的环境信息,但由于不同传感器所采集到的数据具有不同的维度和特点,因此,在融合之前,需要对数据进行预处理。预处理过程包括去噪、滤波和数据对齐等,以确保数据的质量和一致性。此外,考虑到不同传感器的时延和精度差异,数据对齐是确保多传感器信息同步的重要步骤。

特征提取与融合:经过预处理后的数据,将通过特征提取过程提取出关键的环境特征。每种传感器提供的信息具有不同的特点和优势,视觉传感器可以提供环境的详细形状和结构信息,激光雷达提供的则是精确的距离数据,红外传感器则可在低光或夜间环境下有效工作。通过加权融合算法,将来自不同传感器的数据进行融合,可以有效地获取障碍物的距离、形态、速度等多维度信息,生成更为准确和全面的环境感知信息。例如,基于图像和激光雷达数据的融合,可以通过深度学习方法优化对障碍物的检测与分类,从而提

升感知的鲁棒性 [3]。

动态避障与路径规划：基于融合后的感知信息，协作机器人采用实时路径规划算法进行动态避障与任务执行。为了应对动态环境中不可预知的变化，路径规划算法不仅需要保证路径的最短性，还需要具备实时调整的能力。当机器人检测到新的障碍物或已经规划的路径被动态障碍物阻塞时，算法能够根据当前环境信息及时生成新的可行路径，从而避免碰撞。此外，避障系统还需结合机器人的动力学约束，确保路径规划的合理性和可执行性。这种基于感知数据实时调整路径的能力，使得协作机器人能够灵活应对环境中的不确定性，保证任务的顺利完成。

3.2 任务规划与调度算法

任务规划与调度在多机器人协作中起着至关重要的作用。本文提出了一种基于多模态感知融合的任务规划与调度算法，该算法的目标是通过合理的任务分配、路径协调与实时任务调整，确保多机器人能够高效、协同地完成各自的任

务。具体的步骤如下：
任务分配与优先级设置：根据任务的类型、紧急程度以及机器人当前的状态，系统首先为每个机器人分配适当的任务。在任务分配过程中，考虑到机器人的工作能力和环境感知能力，优先为那些在复杂环境中能够更好地执行任务的机器人分配较为困难的任务。此外，根据任务的紧急性，系统为每个任务设置优先级。高优先级的任务将优先分配，并且在任务执行过程中要不断监测任务的状态，以确保高优先级任务能够按时完成 [4]。

路径规划与协调：在多机器人协作的任务中，路径规划不仅要考虑各机器人间的协作和效率，还要避免路径冲突。机器人之间的路径协调是任务规划中的核心问题。通过融合各机器人传感器的数据，系统能够实时获取所有机器人所在位置和环境状态，并进行动态路径规划。协调机制会确保多个机器人在同一工作区域内不会发生冲突，同时，避免机器人在执行任务时进入已被其他机器人占据的区域，从而提高多机器人的协作效率和空间利用率。

实时任务调整：在任务执行过程中，由于环境的不断变化或新的任务的出现，原先的任务规划可能需要进行实时调整。例如，当环境中出现了新的障碍物或任务的执行进度发生变化时，系统能够根据实时感知信息，重新调整任务规

划和路径规划，以适应新的工作环境。实时任务调整不仅可以解决动态环境带来的不确定性问题，还能提高任务完成的灵活性和成功率。

3.3 实验与仿真测试

为了验证所提出的多模态感知融合动态避障与任务规划方法的有效性，本文设计了多个仿真实验和实际环境测试。仿真环境模拟了一个包含多个动态障碍物的生产车间，其中包括移动机器人、行人等动态元素。在仿真中，协作机器人通过多模态感知系统，实时感知环境中的障碍物，并进行动态避障。与传统的单模态感知系统进行对比，实验结果显示，基于多模态感知融合的协作机器人能够更好地应对环境变化，避障成功率显著提高 [5]。

4 结语

本文研究了基于多模态感知融合的协作机器人动态避障与任务规划方法，并提出了相应的算法框架和实现方案。通过融合多种传感器的数据，提升了机器人对环境的感知能力，并通过实时路径规划和任务调度算法，提高了机器人的避障效率和任务执行精度。实验结果验证了该方法的有效性，表明多模态感知融合能够显著提升协作机器人在动态复杂环境中的自主性和安全性。

未来的研究将着重于进一步优化算法性能，增强系统的实时性和适应性，同时探索更多传感器的融合应用，推动协作机器人在更多实际应用场景中的推广与发展。随着技术的进步，协作机器人将能够在更复杂、更动态的环境中实现高效、安全的任务执行，为智能制造和人机协作带来更广阔的应用前景。

参考文献

- [1] 朱淼良,张新晖,吴春明,等.自主机器人自组织结构IRASO的仿真研究[J].计算机研究与发展,1999,(07):9-15.
- [2] 朱淼良,张新晖,王寻羽,等.基于Agent的自主式智能机器人体系结构及集成系统[J].模式识别与人工智能,2000,13(01):36-41.
- [3] 张军.智能机器人嵌入式系统应用研究[D].中北大学,2005.
- [4] 白博.智能移动机器人控制系统开发与研究[D].西安电子科技大学,2007.
- [5] 张倩,李铁军,陈虹宇,等.基于产生式规则的机器人动态避障[J].厦门大学学报(自然科学版),2010,49(02):166-170.