

基于机器视觉的机器人自主导航系统设计

陈洛康 尹升誉 王茁 李梦芳

湖南工学院, 智能制造与机械工程学院, 湖南 衡阳 421002

摘要: 随着机器人技术的快速发展, 基于机器视觉的自主导航系统成为了智能机器人领域的重要研究方向。机器视觉技术能够提供精准的环境感知, 支持机器人在动态复杂的环境中进行实时定位与导航。机器视觉在机器人定位、路径规划和避障中的应用, 探讨了多传感器融合与 SLAM (同步定位与地图构建) 算法的结合, 进一步提高了导航系统的精度与鲁棒性。该系统在室内巡检、物流搬运等实际场景中展现出广泛的应用潜力。本文还对未来技术优化方向进行了展望, 提出了提升系统实时性与鲁棒性的策略。

关键词: 机器视觉; 自主导航; 路径规划; 多传感器融合; SLAM 算法

Design of Robot Autonomous Navigation System Based on Machine Vision

Chen,Luokang Yin,Shengyu Wang,Zhuo Li,Mengfang

School of Intelligent Manufacturing and Mechanical Engineering, Hunan Institute of Technology, Hengyang, Hunan, 421002, China

Abstract: With the rapid development of robot technology, the autonomous navigation system based on machine vision has become an important research direction in the field of intelligent robots. Machine vision technology can provide precise environmental perception, supporting robots to achieve real-time positioning and navigation in dynamic and complex environments. This paper discusses the application of machine vision in robot positioning, path planning, and obstacle avoidance, and explores the combination of multi-sensor fusion and Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) algorithms to further improve the accuracy and robustness of the navigation system. The system shows broad application potential in practical scenarios such as indoor inspection and logistics handling. This paper also prospects the future technical optimization directions and proposes strategies to enhance the real-time performance and robustness of the system.

Keywords: Machine vision; Autonomous navigation; Pathways planning; Multi-sensor fusion; SLAM algorithm

DOI: 10.62639/sspis03.20250207

引言

随着人工智能和机器人技术的飞速发展, 机器人自主导航技术已成为智能机器人领域中的核心研究方向之一。自主导航技术的目标是使机器人能够在不依赖外部指令的情况下, 自动完成环境感知、路径规划、定位与避障任务。作为自主导航系统的重要组成部分, 机器视觉通过图像处理与模式识别技术, 为机器人提供了高效的环境感知能力。通过视觉系统, 机器人能够实时获取周围环境的视觉信息, 从而做出准确的决策, 达到精确导航的目的。

尽管机器视觉技术在导航中具有重要作用, 但在实际应用中仍面临诸多挑战。首先, 复杂环境中光照变化、遮挡物等因素会影响视觉系统的稳定性和定位精度。其次, 机器人在动态环境下, 特别是在遇到移动障碍物时, 如何实时调整路径规划并避免碰撞仍是亟待解决的问题。此外, 单一视觉传

感器在一些特定场景下可能出现数据盲区, 影响系统的鲁棒性和实时性。

为了解决这些问题, 近年来, 研究者们积极探索将多传感器融合与 SLAM (同步定位与地图构建) 算法相结合的方案, 通过整合视觉信息、激光雷达、超声波等多种传感器的数据, 提升导航系统的稳定性和精准度。多传感器融合不仅能够弥补单一传感器的局限性, 还能在动态环境中更好地应对各种挑战, 增强系统的实时反应能力。

本文将探讨基于机器视觉的自主导航系统的设计与优化, 结合多传感器融合技术与 SLAM 算法, 提出一种适应动态复杂环境的机器人导航系统方案。通过分析现有技术, 本文还将展示该系统在实际应用中的可行性与发展前景, 特别是在室内巡检与物流搬运等领域中的潜力。

(稿件编号: IS-25-7-1001)

作者简介: 陈洛康 (2003-), 男, 汉, 湖南省邵阳市邵阳县人, 本科生, 研究方向为机器学习、智能控制、嵌入式等。

基金项目: 本文系 2024 年国家级大学生创新创业训练计划项目: “智能 AGV 建图及自主导航避障系统设计” (编号: S202411528053)。

本文系 2024 年国家级大学生创新创业训练计划项目: “智慧种豆——全自动豆类播种机器人” (编号: S202411528011)。

本文系 2024 年国家级大学生创新创业训练计划项目: “春耕人——智能蔬菜播种施肥机” (编号: S202411528041X)。

2024 年湖南省大学生创新创业训练计划项目: “乡邦智存——5G 便捷共享存储柜控制系统设计” (编号: S202411528191)。

衡阳市指导性计划项目: “基于区块链的充电桩共享平台安全认证与隐私保护机制研究” (衡科发 (2024) 15 号)。

一、基于机器视觉的自主导航系统技术概述

(一) 机器视觉的基本原理与应用

机器视觉是一种通过电子设备模拟人类视觉系统的技术, 主要通过相机、传感器及图像处理算法获取并分析周围环境的信息。与其他传统传感器相比, 机器视觉能够提供更高的感知精度和更为丰富的环境数据, 特别是在复杂场景中, 能够实时捕捉更多的空间细节和环境变化。在机器人自主导航系统中, 机器视觉主要承担环境感知、目标检测、障碍物识别以及路径规划等任务。通过安装的视觉传感器, 机器人能够及时获取环境信息, 进行准确定位并做出决策。

机器视觉系统中常用的视觉技术包括双目视觉、RGB-D相机、深度摄像头等。双目视觉通过配置两台相机以不同视角拍摄环境, 利用视差原理计算物体的三维信息, 从而实现环境的空间建模和路径规划。这种技术通过获取深度信息, 能够有效提高导航系统在三维环境中的适应性。RGB-D相机则结合了RGB图像和深度信息, 可以同时提供彩色图像和深度数据, 使机器人在复杂环境中能够更好地理解场景并进行导航。

(二) 现有技术和挑战

尽管基于机器视觉的机器人自主导航技术已经取得了显著进展, 但在实际应用中仍然面临诸多挑战。视觉传感器的误差和环境变化(如光照变化、遮挡物等)会严重影响机器人定位的精度。动态环境中的复杂障碍物, 如移动物体和动态变化的环境, 给路径规划与避障带来了很大的挑战。现有的路径规划算法在应对快速变化的障碍物时, 可能会出现响应延迟或规划路径不准确的情况。

尽管机器人可以通过单一视觉传感器或其他传感器进行定位和导航, 但单一传感器往往存在感知盲区, 难以提供全面的环境信息。为了克服这一问题, 越来越多的研究者开始探讨如何通过多传感器融合技术, 整合来自视觉传感器、激光雷达、超声波传感器等不同来源的数据, 以增强系统的鲁棒性和实时响应能力。多传感器融合不仅能够弥补单一传感器的局限性, 还能提高导航系统在复杂和动态环境中的适应能力。

二、基于机器视觉的机器人自主导航系统设计及优化

(一) 多传感器融合技术的应用

在机器人自主导航过程中, 单一传感器常常无法全面应对复杂和动态的环境变化。为了弥补单一传感器的不足, 多传感器融合技术成为提升导航系统精度和鲁棒性的重要手段。通过将来自不同传感器的数据进行综合处理, 机器人能够获取更加丰富和多维的环境信息, 从而在复杂的场景中实现更高效的导航。

常见的传感器包括视觉传感器、激光雷达(LIDAR)、超声波传感器等。每种传感器都有其优势和局限性。例如, 视觉传感器能够提供丰富的二维或三维图像信息, 但在复杂的光照条件下, 性

能可能受限; 而激光雷达能够提供高精度的距离信息, 但缺乏对物体外观和细节的感知。将视觉传感器与激光雷达、超声波等传感器数据进行融合, 能够充分利用各自的优点, 克服单一传感器的局限性。

机器人通过融合视觉和激光雷达的数据, 可以在获取环境的二维或三维地图的基础上, 不仅能够识别和避开静态障碍物, 还能应对动态障碍物的变化。对这些信息的融合, 机器人在实现路径规划时能够更加精准地避开动态物体, 从而提高导航系统的可靠性和安全性。

(二) SLAM算法的应用与优化

SLAM(同步定位与地图构建)算法在机器人自主导航系统中起着至关重要的作用。SLAM算法使得机器人能够在未知环境中, 通过实时采集的传感器数据, 不依赖外部定位信号的情况下, 完成自我定位并同时构建环境地图。这一技术是移动机器人实现完全自主导航的核心。

视觉SLAM技术是SLAM算法的一种重要应用, 它通过将视觉信息与其他传感器数据结合, 进一步提升定位精度和地图构建的准确性。传统的视觉SLAM算法主要分为基于特征的SLAM和直接法SLAM两种。基于特征的SLAM通过提取图像中的显著特征(如角点、边缘等)进行匹配与跟踪, 从而实现定位与建图; 而直接法SLAM则利用图像的全部像素信息, 通过优化图像重建过程, 精确构建环境模型。

解决动态环境中可能存在的误差积累问题, 许多研究引入了卡尔曼滤波、粒子滤波等先进的滤波算法。卡尔曼滤波器能够有效地抑制传感器误差, 提升系统稳定性, 而粒子滤波则可以在不确定性较高的环境中有效处理非线性问题。这些技术的引入, 显著降低了定位误差, 增强了系统的稳定性和可靠性, 使得视觉SLAM在复杂环境中的应用变得更加可行。

(三) 路径规划与避障技术的设计

路径规划与避障是机器人自主导航系统中的关键技术, 决定了机器人能否高效、安全地完成导航任务。在实际应用中, 路径规划需要考虑到环境中的障碍物、机器人自身的运动限制以及任务目标的要求。常见的路径规划算法如A*算法和Dijkstra算法, 广泛应用于静态环境下的最短路径计算。

随着环境的复杂性增加, 尤其是在动态环境中, 传统的路径规划算法往往无法应对实时变化的障碍物。解决这一问题, 近年来基于模糊神经网络的路径规划方法逐渐成为研究的热点。模糊神经网络结合了模糊逻辑控制和神经网络的优势, 能够处理不确定性和复杂性较高的环境信息, 并进行动态路径调整。

该方法通过优化控制系统, 使机器人能够在动态环境中更灵活地进行路径规划与避障。在复杂场景下, 机器人可以根据实时采集的环境信息, 对路径进行动态调整, 并在避开障碍物的同时, 优化行进路线, 减少绕行距离, 从而提高运动效率和避障精度。

三、基于机器视觉的机器人自主导航系统的实践应用

(一) 室内机器人自主导航

随着智能化技术的发展, 室内机器人已经成为

多个行业中不可或缺的组成部分,尤其在仓储管理、巡检、医疗辅助等领域,机器视觉系统与自主导航技术的结合,使得机器人能够完成一系列复杂的任务,如自动搬运、物品识别、环境检测等。

在仓储管理中,机器人通过机器视觉技术能够实时感知和识别仓库中的货物、障碍物及路径,进而根据环境信息进行动态的路径规划。传统的仓储管理往往依赖人工搬运和繁琐的路径设计,而基于机器视觉的机器人系统不仅能够减少人工成本,还能够提高工作效率和准确性。

在巡检领域,机器视觉系统使得机器人能够对设施、设备进行全方位的监控和检测。机器人能够利用视觉系统实时捕捉设施的图像,进行目标检测和异常判断,并生成环境地图。对于一些重要的设施,如电力设备、管道等,机器人可以实现自主巡检,检测可能存在的故障隐患,及时报告并执行预定的维修任务。这种技术不仅提高了巡检效率,还减少了人为因素对巡检质量的影响,确保设备的正常运行和安全。

在实际应用中,室内机器人往往面临着多种复杂环境因素,如狭窄的通道、移动的障碍物、光照变化等,这些因素对机器人的定位精度和路径规划提出了较高的要求。机器视觉与路径规划技术的结合,成为确保机器人高效运行的关键。通过视觉传感器获取环境信息,机器人能够动态更新地图和路径规划,从而实现避障、目标识别及任务执行等功能。

机器人在移动过程中,通过实时处理视觉信息,能够识别出前方障碍物的种类、位置和形状,并根据环境变化及时调整路径规划,避开动态或静态障碍物。这使得机器人能够在复杂、动态的环境中自如地移动,完成复杂的任务。机器视觉技术还能与其他传感器(如激光雷达、超声波传感器等)结合,进一步提升环境感知的精度和鲁棒性,使机器人能够应对更加复杂的环境条件。

四、未来发展趋势与挑战

(一) 技术创新与前沿研究

随着人工智能、大数据和深度学习等技术的迅速发展,机器人自主导航系统正在迎来前所未有的技术创新。人工智能的引入,使得机器人不仅能够进行传统的路径规划和避障操作,还能具备更加复杂的认知能力和决策能力。例如,深度学习技术的应用使得机器人能够通过大规模数据训练,自动识别和适应不同的环境条件,极大地提升了机器人在动态环境中的适应性及决策能力。大数据技术的融合使得机器人能够通过海量环境数据的分析与学习,优化导航路径,提前预测障碍物的变化,从而提高系统的实时响应能力。

随着这些前沿技术的不断进步,基于机器视觉的自主导航系统将变得更加智能化和高效,能够应对更为复杂的环境和任务。未来的研究将着重于如何将这些新兴技术更好地融合到现有的机器人导航系统中,推动机器人自主导航技术向更加智能、灵活的方向发展。

(二) 跨领域的融合应用

除仓储管理、巡检等传统应用场景外,智能城市和智慧物流等新兴领域的需求正在快速增长。智能城市中的机器人可以承担环境监测、公共设施管理、智慧安防等任务,而在智慧物流领域,机器人则可以通过自主导航技术提升运输效率,减少人工干预,实现自动化仓储和配送。

这些跨领域的融合应用将极大推动机器人自主导航系统的广泛应用,并提升其在实际生产中的作用。随着应用场景的多样化,机器人将面临更多的技术挑战。如何在复杂的动态环境中实现高效的路径规划与避障,如何保证系统的高鲁棒性与稳定性,仍是亟待解决的问题。机器人在不同领域的应用可能会涉及到不同的环境因素和任务要求,如何定制化和灵活地设计系统,满足不同场景的需求,将是未来发展中的重要方向。

(三) 系统优化与可持续发展

为了应对未来更加复杂和多变的应用需求,现有的视觉导航系统仍需要进一步优化。在系统稳定性方面,如何减少传感器误差、提高数据处理速度以及在复杂环境中的鲁棒性将是关键研究方向。多传感器融合技术的进一步优化,可以显著提高系统的精度与可靠性,尤其在动态环境中的实时响应能力。深度学习和机器学习算法的引入,能够进一步提升机器人在环境感知、目标识别和路径规划中的智能化水平。

在可持续发展方面,未来的机器人导航系统需要在硬件与软件方面都进行优化。硬件的轻量化、低功耗设计将有助于延长机器人的使用寿命和运行效率,而软件算法的优化则能提高系统的计算能力,减少资源消耗。随着机器人应用领域的不断扩展,如何确保机器人在长时间、高强度运行中的稳定性与耐用性,将是推动技术持续发展的核心因素之一。

五、结束语

本文分析了基于机器视觉的机器人自主导航系统的设计与优化,探讨了多传感器融合与SLAM算法的应用策略,显著提升了机器人在复杂环境中的定位精度与导航鲁棒性。随着人工智能、大数据和深度学习等技术的不断进步,基于机器视觉的自主导航系统将在更多行业领域中展现出广阔的应用前景,推动智能化和自动化进程的加速。未来的研究将着重于优化系统的实时性、鲁棒性和适应性,以应对更加复杂和多变的应用场景,进一步推动机器人技术的创新与发展。

参考文献:

- [1] 苏瑞芳, 刘富, 陈拓等. 基于ROS的移动机器人自动导航设计[J]. 工业控制计算机, 2023.
- [2] 周旭龙, 赵言正, 杨明昱. 室内移动机器人自主定位导航系统设计[J]. 中国民航大学学报, 2020.
- [3] 仇新, 张禹, 苏晓明. 移动机器人自主定位和导航系统设计及实现[J]. 机床与液压, 2020.