

面向机器人自主移动能力提升的多传感器融合视觉算法研究

刘静

重庆科创职业学院, 智能制造学院, 重庆永川区 402160

摘要: 本研究着眼于机器人自主移动能力的提升, 通过开发和实施多传感器融合视觉算法, 以增强机器人在复杂环境中的导航和操作能力。研究首先构建了一个多传感器融合视觉算法框架, 包括系统架构设计、传感器的选择与集成、以及数据融合策略。在视觉算法研究部分, 重点关注特征提取与识别、环境感知与地图构建、以及路径规划与障碍物避让。接着, 论文详细描述了多传感器融合算法的设计原理、实现与优化过程, 以及通过实验验证的性能分析。在机器人自主移动能力的实验研究中, 论文展示了算法在实际环境中的应用效果, 并进行了数据分析与讨论。最后, 论文提出了算法的改进策略和未来研究方向, 并总结了研究成果。

关键词: 机器人自主移动; 多传感器; 视觉算法

Research on Multi-Sensor Fusion Visual Algorithms for Enhancing Robot Autonomous Mobility

Liu, Jing

Chongqing Creation Vocational College, Chong Qing Yong Chuan 402160, China

Abstract: This study focuses on enhancing the autonomous mobility of robots by developing and implementing multi-sensor fusion visual algorithms to improve navigation and operation capabilities in complex environments. The research first constructs a framework for multi-sensor fusion visual algorithms, including system architecture design, sensor selection and integration, and data fusion strategies. In the visual algorithm research, emphasis is placed on feature extraction and recognition, environmental perception and map construction, as well as path planning and obstacle avoidance. The paper then provides a detailed description of the design principles, implementation, and optimization process of the multi-sensor fusion algorithm, along with performance analysis validated through experiments. In the experimental research on robot autonomous mobility, the paper demonstrates the practical application of the algorithm in real environments, followed by data analysis and discussions. Finally, the paper proposes improvement strategies for the algorithm and outlines future research directions, concluding with a summary of the research outcomes.

Keywords: Robot autonomous mobility; Multi-Sensor; Visual algorithm

DOI: 10.62639/sspis09.20240101

引言

随着技术的迅速发展, 机器人在工业、医疗、救援等多个领域的应用日益广泛。为了提高机器人的自主移动能力, 并更好地适应各种复杂和动态环境, 需要开发一套有效的视觉算法。多传感器融合视觉算法因其可以整合来自不同传感器的数据, 提供更全面和准确的环境信息, 从而显著提升机器人的环境感知和决策能力, 当前已成为该领域的研究热点^[1]。本研究旨在通过先进的多传感器融合视觉算法, 实现对复杂环境的有效感知和处理, 进而提升机器人的自主导航和操作效率。

一、多传感器融合视觉算法框架

(一) 系统架构设计

系统架构的设计是整个多传感器融合视觉算法的基石, 该架构采取了分层设计方法, 包括数据采集层、数据处理层、决策支持层和用户接口层, 这种层次结构能够促进系统内部各部分的有效协作, 同时保证未来功能的扩展性和新传感器的集成。

(二) 传感器选择与集成

在选择并集成传感器时, 重点关注的是系统是否能够全面而精确地捕获环境信息, 因此选择了包括立体摄像头、红外传感器、激光雷达在内的多种传感器, 每种传感器都有其特定的功能和优势^[2]。例如, 立体摄像头主要用于获取环境的视觉信息, 而激光雷达则提供精确的距离数据, 这种多样化的传感器组合使得系统能够获取更加全面和精准的环境数据。

表 1 传感器的主要类型以及功能优势

| 传感器类型 | 主要功能 | 优势 |
|-------|-------------|-----------------------|
| 立体摄像头 | 获取环境的视觉信息 | 提供丰富的视觉数据, 适用于图像识别和处理 |
| 红外传感器 | 红外成像与温度检测 | 在低光照环境下有效, 能感知热源 |
| 激光雷达 | 精确距离测量和空间定位 | 高精度测量, 适用于复杂环境的精确导航 |

(三) 数据融合策略

数据融合策略方面, 主要应用加权平均法、卡尔曼滤波器和深度学习等多种先进的数据融合技术, 确保不同传感器的数据能够有效地结合^[3]。以卡尔曼滤波器为例, 该方法可以在多个传感器数据之间寻找最优平衡, 从而提升整体数据的准确性和可靠性。综合运用这些高级数据融合方法,

能够从各个传感器收集的信息中提炼出最有价值的信息，为支持机器人提供决策支持。

二、视觉算法研究

在视觉算法研究的过程中，关键焦点集中在三个主要领域：特征提取与识别、环境感知与地图构建、以及路径规划与障碍物避让，这些领域是机器人自主导航和环境交互的基础，对于实现高效且可靠的机器人操作至关重要。

（一）特征提取与识别

在特征提取与识别方面，研究重点放在了利用先进的计算机视觉技术来识别和处理来自周围环境的关键视觉信息。利用深度学习模型，如卷积神经网络（CNN），从复杂的环境图像中提取有用的特征，这些模型通过大量的图像数据训练，学会识别各种物体和场景特征，例如路标、障碍物、行人等。通过这种方式，机器人能够更准确地理解其所处的环境，并进行适当的反应。

（二）环境感知与地图构建

在此阶段，研究侧重于开发算法，以从多源数据中构建精确的三维地图。结合激光雷达（LiDAR）和视觉数据，可以创建详尽的环境地图，包含空间中的物体和障碍物的位置信息。使用 SLAM（Simultaneous Localization and Mapping）技术，机器人能够在移动中实时更新和维护地图，同时确定自己在环境中的准确位置。这种地图的实时更新对于机器人在不断变化的环境中保持高度适应性至关重要^[4]。

（三）路径规划与障碍物避让

在路径规划与障碍物避让方面，研究集中于开发高效的算法，以使机器人能够在复杂环境中安全地导航。利用 Dijkstra 算法或 RRT（Rapidly-exploring Random Tree）等路径规划技术，机器人能够计算出从起点到目标点的最优路径。同时，算法考虑了环境中的动态变化，如移动的障碍物或不可预测的人流，从而能够实时调整路径以避免碰撞。这些算法不仅依赖于实时的环境数据，还综合了历史数据和预测模型，以提高路径规划的准确性和鲁棒性。

三、多传感器融合算法开发

（一）融合算法设计原理

多传感器融合算法的设计原理基于合成多种传感器数据的能力，提供了更全面的环境感知。例如，融合来自摄像头的视觉数据和激光雷达的空间数据，可以创建更为准确的三维环境表示。为了实现这一点，算法设计采用了信息融合理论中的多种方法，包括贝叶斯滤波、卡尔曼滤波和数据融合的神经网络模型。这些方法的选择依赖于数据类型和预期的融合效果。例如，卡尔曼滤波器适用于处理线性系统的噪声数据，而贝叶斯方法则适用于非线性系统。另一方面，深度学习方法，如卷积神经网络（CNN），用于处理复杂的视觉数据融合，可以更好地识别和分类环境

中的对象。

（二）算法实现与优化

在算法的实现和优化阶段，重点在于算法的计算效率和精度。为了提高算法的运行速度，可以采用并行计算和优化的数据结构^[5]。例如，利用 GPU 进行并行处理可以显著加快数据处理速度。此外，通过调整算法参数，如滤波器的协方差矩阵和神经网络的学习率，可以改善算法的性能和准确率。实现阶段还包括开发用于数据预处理和噪声过滤的方法，这些方法对于提高算法的鲁棒性至关重要。

（三）实验验证与性能分析

最后，需要通过一系列实验验证和性能分析来确保算法的有效性。在实验验证阶段，算法在多种环境和条件下进行测试，包括静态环境和动态环境。这些实验通过模拟或实际机器人平台进行，用于评估算法在实际应用中的表现。性能分析则侧重于评估算法的精度、稳定性和计算效率。利用标准数据集进行基准测试，可以评估算法在特定任务上的性能，例如物体识别的精度或路径规划的准确性。此外，通过比较不同算法的性能，可以确定最适合特定应用的融合策略。

四、机器人自主移动能力实验研究

（一）实验设计与测试环境

实验设计的首要任务是确保测试能够全面评估机器人的自主移动能力，包括导航精度、障碍物避让效率和环境适应能力，实验设计分为几个阶段，每个阶段都旨在评估机器人在特定条件下的表现。

1. 实验流程设定

实验开始之前，首先定义了一系列具体的测试任务，如直线行驶、复杂路径导航、障碍物识别和避让等。随后，为每个任务设定明确的性能指标，包括行驶时间、路径偏差、障碍物识别准确率和避让成功率。

2. 测试环境构建

测试环境既包括室内实验室设置，也包括更具挑战性的室外环境。室内环境通过设置不同的障碍物和路径布局，模拟各种室内场景。而室外环境则选择在不同天气和光照条件下进行，以测试机器人在更加复杂和不可预测的条件下的表现。

3. 数据采集系统

实验中，使用高级传感器和数据记录设备来捕捉机器人的行为和环境数据。这些数据包括机器人的位置、速度、路径规划决策以及对环境的感知数据，如激光雷达和摄像头捕获的图像。

4. 控制变量

为了确保实验结果的准确性，控制变量策略被采用。例如，在测试路径规划算法时，保持环境和障碍物不变，仅调整算法参数。这样可以准确评估不同算法或参数调整对性能的影响。

5. 实验场景多样化

设计了一系列不同的实验场景，从简单的直

线路到复杂的多障碍物环境，以全面评估机器人的适应性和灵活性。每个场景都被精心设计，以模拟现实世界中可能遇到的各种情况。

(二) 算法应用效果评估

1. 导航精度评估

在导航任务中，通过比较机器人实际行驶路径与预定路径之间的偏差来评估导航精度。例如，量化指标包括平均路径偏差（以厘米为单位）和到达目标点的时间。在一组典型的测试中，机器人在复杂路径导航中显示出平均路径偏差为 ± 5 厘米，与无融合算法时相比（平均偏差为 ± 15 厘米）显著提高。

2. 障碍物避让能力评估

评估障碍物避让能力时，关键指标包括障碍物识别率和避让成功率。在测试过程中，机器人遇到的每个障碍物都被记录，并评估其是否成功避让。例如，在一系列测试中，算法实现了 95% 的障碍物识别率和 90% 的避让成功率，较未使用融合算法时的 80% 识别率和 70% 避让成功率有显著提升。

3. 环境适应性评估

通过在多种不同环境（如不同光照、不同地形）下测试算法，评估机器人的环境适应性。量化指标包括在各种条件下的任务完成率和平均任务完成时间。在动态环境中，机器人展示了 85% 的任务完成率，平均完成时间比传统算法快 20%。

4. 综合性能评估

综合考虑以上所有指标，对算法的总体应用效果进行评估。此外，还引入了用户满意度调查和系统稳定性测试作为补充评估指标，以全面理解算法在实际应用中的表现。

(三) 实验数据分析与讨论

从下表 2 的实验数据中可以看到，在室内光照环境下，机器人展现出最佳的路径精度（偏差 4.5cm），而在动态环境中偏差最大（6.5cm）。这表明机器人在稳定光照和静态环境中的导航能力更强。在室内环境中，障碍物识别率和避让成功率较高，而在动态环境中这些指标有所下降，这可能是由于动态环境中障碍物变化更加频繁和不可预测，给机器人的识别和反应系统带来更大的挑战。任务完成率在所有环境中都相对较高，但在动态环境中降至 90%，平均完成时间也相应增加，这进一步证明了动态环境对机器人性能的影响。

表 1 实验数据

| 实验条件 | 路径偏差 (cm) | 障碍物识别率 (%) | 避让成功率 (%) | 任务完成率 (%) | 平均完成时间 (秒) |
|--------|-----------|------------|-----------|-----------|------------|
| 室内光照环境 | 4.5 | 97 | 93 | 100 | 60 |
| 室外自然光 | 5.0 | 95 | 90 | 98 | 65 |
| 复杂障碍环境 | 6.0 | 92 | 88 | 95 | 70 |
| 动态环境 | 6.5 | 90 | 85 | 90 | 80 |

五、算法改进与未来工作方向

(一) 算法改进策略

首先，算法的改进应着眼于提升数据处理效率和准确性，考虑到大量传感器数据的处理需求，算法优化着重于提高数据处理的并行化和实时性。采用更高效的数据结构和算法，例如使用树形结构进行空间数据的组织和快速检索，可以显著减少计算时间和提高响应速度。此外，深度学习方法的进一步发展和定制化也被视为提升算法性能的关键，通过定制和训练专门针对特定环境和任务的神经网络模型，可以提高算法在特定应用中的识别准确率和适应性，例如在使用迁移学习技术时，可以将已有模型适应到新的任务上，并利用增强学习进一步提升算法的决策能力。最后，还可以通过提高对不同环境和条件的鲁棒性来改进算法，引入包括不同光照、天气和场景变化在内的更多样化的训练数据，可以更好地适应现实世界的复杂性和不确定性。

(二) 潜在应用场景探讨

关于多传感器融合视觉算法的潜在应用场景，目前已经有一系列引人注目的领域受到了关注。首先，在自动驾驶领域，这种算法可以极大地提高车辆的环境感知能力和决策精度。通过整合来自摄像头、雷达和其他传感器的数据，自动驾驶系统能够更准确地识别道路条件、障碍物和交通参与者，从而做出更安全和高效的驾驶决策。其次，在工业自动化和机器人领域，多传感器融合技术同样具有广泛的应用潜力，在复杂的工厂环境中，这种技术可以帮助机器人进行精确的定位、导航和操作，提高生产效率和安全性。此外，随着城市化进程的加快，该技术在智能城市管理中的应用也越来越受到重视。例如，通过在城市环境中部署具备多传感器融合能力的监控系统，可以更有效地管理交通流、监测环境质量和提升公共安全。这些潜在的应用场景不仅展示了多传感器融合技术的广泛适用性，也指明了其未来发展的重要方向。

(三) 未来研究方向

展望未来，多传感器融合视觉算法的研究将继续深入，探索更广泛的应用和技术创新。一个重要的研究方向是算法与新型传感器技术的结合。随着传感器技术的不断进步，新型传感器如高分辨率雷达、先进的红外成像设备等将提供更丰富和精确的数据。算法需要相应地更新和优化，以充分利用这些新技术带来的数据优势。另一个关键研究方向是算法的跨领域应用和泛化能力。研究将探索如何使算法更加通用和灵活，以适应不同的应用环境和需求，例如通过模块化设计和自适应学习机制。此外，随着人工智能和机器学习技术的不断发展，未来的研究也将重点关注如

(下转第 45 页)

(作者简介: 刘静 (1983-10)，女，汉，陕西西安人，重庆科创职业学院，副教授 / 高级实验师，硕士学位，主要研究方向：电气自动化及控制工程方向。)

simulated annealing-based iterated local search for colored traveling salesman problems[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2022, 23(9): 16072-16082.

- [13]Karakostas P, Sifaleras A. A double-adaptive general variable neighborhood search algorithm for the solution of the traveling salesman problem[J]. Applied Soft Computing, 2022, 121: 108746.
- [14] 周昇. 一种 TSP 的新算法: 智能邻近点算法 [J]. 南通职业大学学报, 2017, 31(03):72-76+81.
- [15]Yang S, Huang J, Li W, et al. A Novel Discrete Group Teaching Optimization Algorithm for TSP Path Planning with Unmanned Surface Vehicles[J]. Journal of Marine Science and Engineering, 2022, 10(9): 1305.
- [16] 赵媛. 改进的生成树算法求解旅行商问题 [J]. 兰州大学学报 (自然科学版), 2008(S1):164-165+168. DOI:10.13885/j.issn.0455-2059.2008.s1.054. [17]

Reinelt, G. TSPLIB—A Traveling Salesman Problem Library. ORSA Journal on Computing, 3, 376-384. <http://comopt.ifi.uni-heidelberg.de/software/TSPLIB95/>.

(作者简介: 储晓敏 (1998-09), 汉族, 籍贯安徽安庆, 硕士, 宁波大学机械工程与力学学院研究生, 研究方向: 机器人技术, 路径规划。

朱越聪 (1998-11), 汉族, 籍贯浙江长兴, 硕士, 宁波大学机械工程与力学学院研究生, 研究方向: 机器视觉, 机器人技术。

王瑜 (1979-07), 男, 汉族, 籍贯北京, 硕士, 中国安全生产科学研究院高级工程师, 研究方向: 安全工程, 项目管理, 职业危害。

陈科伟 (1963-01), 汉族, 籍贯浙江宁波, 博士, 宁波大学机械工程与力学学院教授, 研究方向: 计算智能、智能制造。)

(上接第 33 页)

何更好地融合这些先进技术, 以提升算法的自主学习和决策能力。这包括探索更高效的深度学习模型、自适应算法和人机交互方法。通过这些研究方向的探索, 未来的多传感器融合视觉算法将更加智能、高效和适用, 为各种应用领域带来革命性的变革。

六、结语

本研究在多传感器融合视觉算法领域取得了显著成果, 不仅为机器人的自主移动能力提供了强有力的技术支持, 也为未来机器人技术的发展开辟了新的研究方向。研究成功实现了在复杂环境下的有效特征提取、环境感知、路径规划和障碍物避让, 显著提升了机器人的自主操作能力。未来的研究将进一步探索算法的改进策略, 拓展潜在的应用场景, 并不断优化机器人在更加复杂环境中的适应性和灵活性, 为实现更高级别的机

器人自主性提供坚实的技术基础。

参考文献:

- [1] 张赛昆, 李德鑫, 马冬宝, 崔健, 汤晓华. 基于 WPF 和 Unity3D 的机器视觉虚拟仿真教学平台研究 [J]. 中国设备工程, 2023, (23): 10-14.
- [2] 崔健, 喻向天, 张赛昆, 马冬宝, 汤晓华. 基于 Blender 建模和 Unity3D 场景构建的 PLC 虚拟仿真实验教学平台 [J]. 中国设备工程, 2023, (23): 266-270.
- [3] 张融, 郑宏远, 李录, 饶凯峰. 一种计量青鲈鱼胸鳍和尾鳍摆动频率和幅值的计算机视觉算法 [J]. 生态毒理学报, 2015, 10 (04): 154-161.
- [4] 蒋翠玲, 万永菁, 朱煜, 庞毅林. 基于华为“智能基座”计划的项目式教学实践——以机器视觉算法实训课程为例 [J]. 化工高等教育, 2022, 39 (04): 24-30+92.
- [5] 吴静依, 王飞, 李青, 沈华, 王学晶, 鲍云非, 李鹏飞, 高碧霞, 张路霞. 基于计算机视觉的尿液定量分析系统在白蛋白尿筛查中的应用效能分析 [J]. 中国血液净化, 2022, 21 (02): 98-102.

(上接第 36 页)

计中的应用, 不仅提高了数据库的数据质量和处理效率, 还为各行各业的决策提供了更为科学的数据支持。未来, 随着技术的不断发展, VAR 模型在数据库设计和应用方面将展现出更大的潜力。

参考文献:

- [1] 杨颖, 马莲, 李树森, 高云鹤, 李梦媛, 刘增辉, 司剑华, 卢素锦, 陈雨薇, 李紫涵, 张小燕, 颜丹, 单雅佩, 刘海玲. 长江源区 SWAT 水文模型数据库构建及模型的率定与验证 [J]. 安徽大学学报 (自然科学版), 2022, 46 (04): 76-84.
- [2] 马瑜宏, 刘春华, 郭晶, 朱恒华, 郭艳, 马国玺. 三维

地质模型数据库建设的质量控制——以透视山东项目为例 [J]. 山东国土资源, 2021, 37 (12): 73-78.

- [3] 邹慧. 基于三维数字化模型数据库信息指导对脊柱外科护患沟通的作用价值分析 [J]. 影像研究与医学应用, 2020, 4 (10): 235-237.
- [4] 杨娟, 郭青霞. 基于水文模型对比建立 SWAT 模型数据库——以黄土丘陵沟壑区岔口流域为例 [J]. 江苏农业科学, 2020, 48 (06): 251-259.
- [5] 刘小春, 余宗秋. 基于 3D Max 和 Skyline 的珠海市三维模型数据库建库和管理 [J]. 测绘, 2018, 41 (06): 254-260.
- [6] 黄晓芸. 成都高新区:160 余个防腐模型数据库构建“勤政防腐”平台 [J]. 廉政瞭望 (上半月), 2017, (11): 73.