

适应不同地形的爬行机器人关键技术研究

朱忠菊

重庆公共运输职业学院 重庆 402247

摘要: 适应不同地形的爬行机器人关键技术研究, 聚焦于提升机器人在复杂多变环境中的适应性和作业效率。通过深入研究多传感器融合、地形识别与评估、自主避障与路径规划等核心技术, 实现了机器人对崎岖山地、松软沙地、斜坡等多种地形的智能感知与自主导航。这些技术的突破, 为爬行机器人在救援、勘探、农业等领域的应用提供了有力支撑。

关键词: 爬行机器人; 不同地形; 关键技术; 结构创新

随着机器人技术的飞速发展, 爬行机器人在探索未知环境、执行复杂任务中展现出巨大潜力。自然与人工环境的多样性对爬行机器人的适应性提出了严峻挑战。因此深入研究适应不同地形的爬行机器人关键技术, 如多传感器融合的环境感知、智能地形识别与评估、以及高效的自主避障与路径规划等, 成为推动该领域发展的关键。这些技术的突破, 将极大地提升爬行机器人在复杂环境中的作业能力和应用范围。

1 爬行机器人在不同地形中的应用前景

爬行机器人在不同地形中的应用前景展现出了极为广阔且充满潜力的领域。这类机器人凭借其独特的移动方式和高度适应性, 能够在传统轮式或履带式机器人难以触及的环境中发挥重要作用。在山地救援、地质勘探等场景中, 爬行机器人能够轻松穿越陡峭的山坡、岩石缝隙以及复杂的自然地形。它们能够携带必要的传感器和设备, 进行地形测绘、土壤分析或搜救被困人员, 极大地提高了作业效率和安全性。地震、洪水等自然灾害后, 城市废墟中往往布满倒塌的建筑物和复杂的障碍物。爬行机器人凭借其灵活性和稳定性, 能够深入废墟内部, 执行搜救任务, 寻找幸存者, 同时评估结构稳定性, 为救援工作提供宝贵信息。在石油、天然气、供水等行业的管道系统中, 爬行机器人能够沿着管道内壁爬行, 进行无损检测、清理污垢、修复裂缝等工作。这种非侵入式的检测方式不仅提高工作效率, 还降低人工进入管道的风险^[1]。在农业领域, 爬行机器人可用于果树修剪、病虫害检测等任务, 减少人力成本并提升作业精度。在林业中, 它们则可用于监测森林健康状况、火灾预警及灾后评估, 为生态保护提供技术支持。在军事领域, 爬行机器人能够执行侦察任务, 穿越复杂战场环

境, 收集情报信息, 减少士兵直接暴露于危险之中的风险。同时在反恐行动中, 它们也能用于搜索隐藏的爆炸物或潜入难以接近的区域进行侦察。在极地、沙漠、深海等极端环境中, 爬行机器人凭借其独特的移动能力, 能够协助科学家进行地质考察、生物多样性研究等, 推动人类对未知领域的探索。

2 不同地形环境对爬行机器人的影响

不同地形环境对爬行机器人的影响是多方面的, 这些影响直接关系到机器人的性能表现、任务执行效率以及安全性。在平坦且稳定的地形上, 如硬质路面或光滑的地面, 爬行机器人能够相对容易地移动, 其速度和稳定性都能得到较好的保证。这种环境下, 机器人可以充分发挥其设计优势, 如精确的导航、高效的能源利用等, 以完成各种任务。当面对崎岖不平的山地、复杂的岩石地形或松软的沙地时, 爬行机器人需要展现出更高的适应性和灵活性。山地和岩石地形可能包含陡峭的斜坡、狭窄的裂缝和不规则的障碍物, 这对机器人的抓地力、稳定性和越障能力提出了严峻挑战。沙地等松软地形则可能导致机器人陷入其中, 影响其移动速度和稳定性。湿滑、泥泞或冰雪覆盖的地形也会增加爬行机器人的操作难度。湿滑表面可能降低机器人的附着力, 增加滑倒的风险; 泥泞地形则可能使机器人的移动变得缓慢且费力; 而冰雪覆盖的地形则可能带来额外的寒冷和滑动挑战。

3 适应不同地形的爬行机器人关键技术探讨

3.1 越障技术

在复杂多变的自然和人造环境中, 越障能力是爬行机器人不可或缺的关键技术之一。越障技术主要关注机器人如何高效、稳定地跨越各种障碍物, 包括但不限于岩石、台阶、废墟等。为了实现这一目标, 机器人需要集成多种先进技术。首先, 足式结构设计是基础。足式

注: 重庆市教委科学技术研究项目 (KJQN202105801) 资助

机器人通过模仿动物行走的方式，利用多个足部的协调运动来克服障碍物^[2]。这些足部通常具有多个自由度，能够在不同地形中灵活调整姿态，确保稳定的支撑和推进力。例如，四足机器人通过控制每条腿的迈腿顺序和力量分配，能够在复杂地形中灵活移动，有效跨越障碍。其次，感知与决策系统是越障技术的核心，机器人需要配备高精度的传感器，如激光雷达、摄像头、陀螺仪等，以实时感知周围环境信息，包括障碍物的位置、形状、高度等。基于这些信息，机器人的决策系统能够快速计算出最优的越障路径和策略，指导机器人安全、高效地跨越障碍物。动态平衡控制也是越障技术的重要组成部分，在越障过程中，机器人需要不断调整自身的姿态和重心，以保持动态平衡。这要求机器人具备强大的控制系统和算法，能够在短时间内对外部扰动和内部变化做出快速响应，确保越障过程的稳定性和安全性。

3.2 越沙技术

沙地等松软地形对爬行机器人的移动能力提出了特殊挑战。沙地的流动性大、承载能力低，容易导致机器人陷入其中或移动困难，越沙技术成为爬行机器人研究的重要方向之一。宽大且低压的接触面是越沙技术的关键，为了减少对沙地的压陷深度，机器人需要采用宽大且低压的足部设计，以增加与沙地的接触面积并分散压力。这种设计可以显著提高机器人在沙地上的通过性和稳定性。主动变形技术也是越沙技术的重要手段，机器人可以根据沙地的具体情况，调整足部的形状和姿态，以更好地适应沙地的特性。例如，通过改变足部的角度和弯曲度，机器人可以增加在沙地上的抓地力，减少滑移现象的发生。智能控制算法在越沙技术中发挥着重要作用，机器人需要实时感知沙地的变化情况，并根据感知信息调整自身的移动策略和参数。

3.3 越坡技术

斜坡等倾斜地形对爬行机器人的稳定性和通过性提出了更高要求。越坡技术主要关注机器人如何在倾斜地面上保持平衡并顺利移动。姿态调整技术是越坡技术的核心，机器人需要根据斜坡的倾斜角度和自身的重心位置，实时调整姿态以保持平衡。这通常涉及到调整足部的位置、角度和力量分配等多个方面。通过精确的姿态调整，机器人可以在斜坡上保持稳定的姿态和前进方向。动力分配与优化也是越坡技术的重要方面，机器人需要根据斜坡的坡度和自身的负载情况，合理分配动力资源以确保稳定移动。通过优化动力分配策略，机器人

可以在保证稳定性的同时提高移动效率^[3]。智能控制算法在越坡技术中同样发挥着重要作用，机器人需要实时感知斜坡的变化情况，并根据感知信息调整自身的控制策略和参数。通过智能控制算法的应用，机器人可以更加灵活地应对各种斜坡地形挑战。

3.4 自适应底盘技术

自适应底盘技术是爬行机器人适应不同地形环境的重要支撑。通过采用先进的底盘结构和控制技术，机器人可以根据地形变化自动调整底盘形态和参数以实现最佳性能。模块化设计是自适应底盘技术的基础，模块化设计使得底盘可以根据需要灵活组合和更换不同的功能模块以适应不同的地形环境。例如，机器人可以根据需要添加或移除履带、轮胎等模块以改变其移动方式和性能特点。智能感知与控制系统是自适应底盘技术的核心，机器人需要配备高精度的传感器和控制系统以实时感知底盘状态和周围环境信息，并根据这些信息自动调整底盘参数以实现最佳性能。例如，当机器人遇到崎岖不平的地形时，控制系统可以自动调整底盘的高度和刚度以增加通过性和稳定性。变形与重构技术也是自适应底盘技术的重要发展方向，通过采用先进的变形材料和机构设计，机器人可以在不同地形中实现底盘形态的重构和变化以适应环境需求。这种技术将使得机器人具备更强的适应性和灵活性，能够在各种复杂地形中保持稳定的移动和作业能力。

4 爬行机器人环境感知与自主导航技术

4.1 多传感器融合

在爬行机器人的环境感知系统中，多传感器融合技术起着至关重要的作用。这一技术通过集成不同类型的传感器，如高清摄像头、激光雷达（LiDAR）、红外传感器、惯性测量单元（IMU）等，来全面捕捉和解析周围环境的复杂信息。每种传感器都有其独特的优势：摄像头能够捕捉丰富的视觉信息，包括颜色、纹理和形状；激光雷达则擅长测量距离和构建精确的三维环境模型；红外传感器则能在夜间或低光环境下提供有效的热成像信息；而IMU则能实时反馈机器人的姿态和加速度信息。为了有效融合这些多源信息，需要采用先进的算法和技术。例如，基于卡尔曼滤波或粒子滤波的方法可以融合来自不同传感器的数据，以消除噪声、冗余和冲突，从而提高感知的精度和鲁棒性，深度学习技术也为多传感器融合提供了新的解决方案，通过训练神经网络模型来自动学习和优化融合策略，进一步提高感知系统的智能化水平^[4]。

4.2 地形识别与评估

注：重庆市教委科学技术研究项目（KJQN202105801）资助

地形识别与评估是爬行机器人自主导航的关键环节。基于视觉或机器学习的地形识别技术能够实时分析摄像头捕捉的图像或视频数据,识别出不同类型的地形特征,如平坦路面、崎岖山地、沙地、草地等。这些技术通常利用深度学习算法对大量标注的地形图像进行训练,以建立准确的分类模型。在识别出地形特征后,还需要进行地形适应性评估,这包括评估机器人在当前地形下的移动能力、稳定性以及能耗情况等因素。通过综合考虑这些因素,可以为机器人选择合适的运动模式和路径提供依据。例如,在崎岖山地中,机器人可能需要采用更加灵活的足式运动模式,并规划出能够绕过障碍物的路径;而在平坦路面上,则可以选择更为高效的轮式或履带式运动模式。

4.3 自主避障与路径规划

自主避障与路径规划是爬行机器人实现自主导航的核心功能。在复杂多变的环境中,机器人需要实时感知并避开障碍物,同时规划出安全、高效的移动路径。为了实现这一目标,机器人通常需要集成多种避障算法和路径规划策略。避障算法主要基于传感器感知到的环境信息来检测障碍物并预测其运动轨迹。例如,可以使用激光雷达来测量障碍物的距离和速度信息,并结合机器人的运动状态来预测未来的碰撞风险。一旦检测到潜在的碰撞风险,机器人就会采取相应的避障动作来避免碰撞。路径规划策略则负责在避开障碍物的同时为机器人规划出最优的移动路径。这通常涉及到对环境信息的全局分析和局部优化。全局路径规划方法(如A*算法、Dijkstra算法等)可以基于环境地图来搜索出从起点到终点的最短路径;而局部路径规划方法(如动态窗口法、RRT算法等)则更注重实时性和灵活性,能够在机器人移动过程中根据环境变化动态调整路径。通过结合这两种方法,机器人可以在复杂环境中实现自主避障与高效路径规划。

5 适应不同地形的爬行机器人技术研究的趋势

适应不同地形的爬行机器人技术研究的趋势正朝着更加智能化、自主化、高效化和多样化的方向发展。随着科技的进步和应用的深入,研究人员不断探索新的理论、方法和技术,以提升爬行机器人在复杂多变环境中的适应能力和作业效率。一方面,智能化是适应不同

地形爬行机器人技术的重要趋势,通过集成先进的传感器、处理器和人工智能算法,机器人能够实时感知和分析环境信息,自主决策并调整运动策略,以适应不同地形的挑战^[5]。另一方面,自主化也是适应不同地形爬行机器人技术的重要发展方向,随着自主导航技术的不断成熟,未来的爬行机器人将更加注重实现全程自主作业,减少或摆脱对人工操作的依赖。这要求机器人在没有或仅有有限人为干预的情况下,能够独立完成环境感知、路径规划、任务执行等复杂任务,提高作业效率和安全性。高效化和多样化也是适应不同地形爬行机器人技术研究的重要趋势,高效化主要体现在提高机器人的移动速度、负载能力和能源利用效率等方面,以满足各种应用场景的需求。多样化则体现在机器人形态、运动模式和功能模块的多样化上,以适应不同地形和任务的需求。例如,通过模块化设计实现机器人形态的可重构性,使其能够根据任务需求灵活调整结构和功能;通过集成多种运动模式(如轮式、履带式、足式等)和功能模块(如机械臂、传感器套件等),提升机器人的综合能力和适用范围。

结束语

随着科技的不断进步,适应不同地形的爬行机器人关键技术研究将持续深入,推动机器人技术向更高水平发展。未来,期待这些技术能够更广泛地应用于实际场景,为人类社会带来更多便利和福祉。同时也需要不断探索新的研究方向和技术手段,以应对更加复杂多变的环境挑战。

参考文献

- [1]张新矿.井下定位技术应用现状[J].化工矿物与加工,2020,49(5):51-55.
- [2]赵国旗,杨明,王冰,等.基于智能终端的移动机器人室内外无缝定位方法[J].上海交通大学学报,2018,52(1):13-19.
- [3]孙小涵,党超,王小伟.异形微结构表面润湿特性数值研究[J].表面技术,2023,52(12):160-168+187.DOI:10.16490/j.cnki.issn.1001-3660.2023.12.014.
- [4]肖国栋,邱盼盼,朱雨科.巡检机器人在综合管廊中的应用初探[J].冶金与材料,2020,40(06):183-184.
- [5]何璐佳,杨墨,毛杰勇,刘世强.隧道机器人巡检系统的关键技术应用[J].电子技术与软件工程,2020(02):94-95.

注:重庆市教委科学技术研究项目(KJQN202105801)资助