

# Real-time Obstacle Detection and Obstacle Avoidance Strategy of Unmanned Vehicles in Complex Mine Environment

Chuang Liu Xinxin Zhou Yue Ma Xingwei Song Tianlong Zhang

Mongolia Baiyinhua Mengdong Open-pit Coal Industry Co., Ltd., Xilin Gol, Inner Mongolia, 026200, China

## Abstract

The mine geological environment is complex and changeable, which poses a severe challenge to the application of driverless vehicles. This paper focuses on the real-time obstacle detection and obstacle avoidance strategy of unmanned vehicles in the mine environment. First, the key technologies of obstacle detection are analyzed, covering sensor technology, environment perception and modeling, obstacle recognition and classification, etc. Secondly, the obstacle detection algorithm based on machine vision, lidar and multi-sensor fusion is deeply discussed. Finally, obstacle avoidance strategies including path planning, perception-inference-control framework and collaborative obstacle avoidance techniques are proposed. These studies provide theoretical support and technical guidance for the safe driving of driverless vehicles in the complex environment of mines, and help to promote the wide application of driverless technology in the field of mining, and improve the safety and efficiency of mine operations.

## Keywords

mine environment; driverless vehicle; obstacle detection; obstacle avoidance strategy

# 矿山复杂环境下无人驾驶车辆的障碍物实时检测与避障策略

刘闯 周欣欣 马跃 宋兴伟 张天龙

蒙古白音华蒙东露天煤业有限公司, 中国·内蒙古 锡林郭勒 026200

## 摘要

矿山地质环境复杂多变, 对无人驾驶车辆的应用构成严峻挑战。论文聚焦于矿山环境下无人驾驶车辆的障碍物实时检测与避障策略。首先, 分析了障碍物检测的关键技术, 涵盖传感器技术、环境感知与建模、障碍物识别与分类等方面。其次, 深入探讨了基于机器视觉、激光雷达及多传感器融合的障碍物检测算法。最后, 提出了包括路径规划、感知—推理—控制框架及协同避障技术在内的避障策略。这些研究为无人驾驶车辆在矿山复杂环境下的安全行驶提供了理论支撑和技术指导, 有助于推动无人驾驶技术在矿山领域的广泛应用, 提升矿山作业的安全性和效率。

## 关键词

矿山环境; 无人驾驶车辆; 障碍物检测; 避障策略

## 1 引言

在矿山这一复杂多变的地质环境中, 无人驾驶车辆的应用面临着诸多挑战。为了确保无人驾驶车辆在矿山环境下的安全行驶, 关键技术的研究显得尤为重要。其中, 障碍物检测与避障策略是实现无人驾驶车辆自主导航和安全运行的核心。矿山环境中的障碍物种类繁多, 形态各异, 要求无人驾驶车辆具备高效的障碍物检测能力。通过集成先进的传感器技术、环境感知与建模方法, 以及精准的障碍物识别与分类算法, 无人驾驶车辆能够实时感知周围环境, 准确识别障碍物。同时, 结合科学的路径规划、感知—推理—控制框架及协同避障技术, 无人驾驶车辆能够在复杂多变的矿山环境中灵活避障, 确保行驶安全。

【作者简介】刘闯(1987-), 中国河北玉田人, 本科, 工程师, 从事机械研究。

## 2 矿山环境下无人驾驶车辆障碍物检测关键技术

### 2.1 传感器技术

传感器技术在无人驾驶车辆的环境感知中发挥着至关重要的作用。其中, 激光雷达通过发射激光束并接收反射信号, 能够高精度地测量周围环境的距离和形状, 生成详细的三维点云数据, 为构建矿山精确地图和实时障碍物检测提供了有力支持。激光雷达以其高精度和广覆盖范围, 在矿山复杂地形和地貌中的环境感知方面展现出独特优势。同时, 摄像头通过捕捉图像信息, 并利用图像分析和计算机视觉算法, 有效检测到障碍物的位置和类型, 特别是在识别交通标志、车道线、行人等方面具有显著优势, 成为无人驾驶车辆环境感知的重要补充。此外, 雷达通过发射微波信号并接收反射信号, 能够穿透烟雾、尘埃等障碍物, 准确探测障碍物的距离、速度和方向, 适用于矿山环境中可能存在的大量

粉尘和雾气。而超声波雷达则通过发射超声波并接收反射信号,实现近距离障碍物的测量,在倒车雷达、自动泊车等功能中广泛应用,尽管其探测距离有限且精度受车速影响。

## 2.2 环境感知与建模

环境感知与建模对于无人驾驶车辆在矿山等复杂环境中的障碍物检测至关重要。这一环节主要依赖于传感器收集的环境数据,实时构建并不断更新周围环境的模型。无人驾驶车辆通过激光雷达生成的三维点云数据,能够精确地描绘出矿山地形地貌、障碍物、道路及建筑物等详细信息,形成高精度的三维地图。在此基础上,利用先进的图像处理和计算机视觉算法,无人驾驶车辆能够进一步提取出障碍物的形状、大小、位置等关键环境特征。这一过程使得无人驾驶车辆能够实时掌握周围环境的变化,并据此做出快速而准确的应对,从而确保行驶的安全性和效率。环境感知与建模技术的不断发展和完善,将为无人驾驶车辆在复杂环境中的应用提供更加可靠的技术支持。

## 2.3 障碍物识别与分类

障碍物识别与分类是无人驾驶车辆障碍物检测的核心。借助传感器数据,无人驾驶车辆能够精准识别环境中的障碍物,如车辆、行人、建筑物和岩石等。这一识别过程依赖于先进的图像识别、点云匹配等算法,确保车辆能够迅速捕捉并分析周围环境。识别障碍物后,车辆还需对其进行细致分类。分类依据包括障碍物的形状、大小、运动状态等关键信息。通过分类,无人驾驶车辆能够更准确地理解周围环境的动态变化,从而针对不同类型的障碍物制定并执行更为合理的避障策略。这一过程不仅提升了无人驾驶车辆的避障能力,也为其在复杂环境中的安全行驶提供了有力保障。

# 3 矿山环境下无人驾驶车辆障碍物检测算法研究

## 3.1 基于机器视觉的检测算法

机器视觉是无人驾驶车辆障碍物检测的关键技术之一,它依赖于摄像头捕捉的图像信息,并结合图像处理和计算机视觉算法来实现障碍物的有效检测。在图像处理阶段,一系列算法被应用于图像预处理、特征提取和目标检测等环节。图像预处理旨在去除图像中的噪声和干扰,提升图像质量,为后续处理奠定坚实基础。特征提取则是从图像中抽取与障碍物紧密相关的特征信息,如边缘轮廓、纹理细节等,这些信息对于障碍物的准确识别至关重要<sup>[1]</sup>。而目标检测则是利用这些特征信息,在图像中精确地定位并识别出障碍物的位置和类型。进一步地,计算机视觉算法如深度学习、卷积神经网络(CNN)以及目标跟踪等,为机器视觉提供了更为强大的处理能力。深度学习算法通过训练大量图像数据,能够实现障碍物的精确识别和分类,显著提升检测的准确性。卷积神经网络作为一种高效的深度学习算法,凭借其强大的图像处理能力,在障碍物检测中发挥着重要作用<sup>[2]</sup>。此

外,目标跟踪算法能够在连续图像帧中持续跟踪障碍物的运动轨迹,从而进一步提高障碍物检测的准确性和实时性,为无人驾驶车辆的安全行驶提供有力保障。

## 3.2 基于激光雷达的检测算法

激光雷达作为无人驾驶车辆障碍物检测的关键传感器,其生成的三维点云数据为障碍物的精准识别提供了有力支持。这一过程中,点云处理算法发挥着至关重要的作用。该算法包含点云滤波、点云分割和特征提取等多个核心步骤。点云滤波通过有效去除点云数据中的噪声和干扰,显著提升了点云的质量,为后续处理奠定了坚实基础。点云分割则将复杂的点云数据有序地分割成不同的区域或物体,使得后续的障碍物检测工作得以更加精准地展开。特征提取则是从点云数据中提取出与障碍物紧密相关的特征信息,如形状、大小等,这些信息对于障碍物的准确识别至关重要。在点云处理的基础上,点云匹配算法进一步提升了障碍物检测的精度和实时性。该算法通过将实时获取的点云数据与预先构建的三维地图进行匹配,能够精确地识别出环境中的障碍物。根据匹配范围的不同,点云匹配算法可以分为全局匹配和局部匹配两种。全局匹配适用于大范围的环境感知,能够全面把握周围环境的变化;而局部匹配则更侧重于实时障碍物检测,能够在复杂多变的驾驶环境中迅速响应,确保无人驾驶车辆的安全行驶<sup>[3]</sup>。这一系列算法的综合应用,为无人驾驶车辆的障碍物检测提供了强大的技术支持。

## 3.3 多传感器融合算法

多传感器融合算法在提升无人驾驶车辆障碍物检测的准确性和鲁棒性方面扮演着至关重要的角色,尤其在矿山这一复杂环境中,无人驾驶车辆需依赖多种传感器来全面感知周围环境,因此多传感器融合算法显得尤为重要。该算法主要通过将来自不同传感器的数据进行综合处理,以实现更精确、更可靠的障碍物检测。在数据融合的过程中,主要存在数据级融合、特征级融合和决策级融合三种方法。数据级融合直接对多种传感器的原始数据进行融合处理,有助于对传感器数据进行预处理和降噪。特征级融合则侧重于将不同传感器提取的特征信息进行整合,以提升障碍物识别的准确性。而决策级融合则是对不同传感器的检测结果进行综合考量,从而得出最终的障碍物检测结果。为了进一步提升多传感器融合算法的性能,还需要对其进行优化处理。优化方法主要包括权重分配、滤波处理以及卡尔曼滤波等。权重分配根据各传感器的可靠性和准确性,对融合结果进行加权处理,以确保结果更加合理。滤波处理则利用滤波器对融合结果进行平滑处理,有效去除噪声和干扰。而卡尔曼滤波作为一种先进的动态数据融合算法,能够实时更新和修正融合结果,进一步提高障碍物检测的实时性和准确性。这些优化方法的综合应用,使得多传感器融合算法在无人驾驶车辆的障碍物检测中发挥了更加出色的作用。

## 4 矿山环境下无人驾驶车辆避障策略研究

### 4.1 路径规划

路径规划是无人驾驶车辆实现避障的关键策略,其核心在于为车辆规划出一条既安全又高效的行驶路径,从而有效避开障碍物,确保行驶过程的安全无虞。在路径规划的过程中,多种算法发挥着重要作用。A\*算法作为一种常用的路径规划算法,凭借其强大的搜索能力,能够在复杂多变的环境中迅速找到最短路径,为无人驾驶车辆的行驶提供有力支持。Dijkstra算法则更侧重于求解单源最短路径问题,通过计算从起点到所有其他节点的最短路径,为车辆提供全面的路径选择方案。而遗传算法则是一种基于生物进化原理的优化算法,它能够在全局范围内进行搜索,找到最优路径,为无人驾驶车辆的行驶提供更加精准和可靠的规划方案。在矿山这一复杂环境中,无人驾驶车辆需要面对不断变化的障碍物和道路条件,因此动态路径规划算法显得尤为重要。该算法能够根据实时获取的障碍物信息和道路条件,对行驶路径进行动态调整,确保车辆能够在复杂环境中始终保持安全行驶。通过综合考虑多种因素,动态路径规划算法能够为无人驾驶车辆提供一条既安全又高效的行驶路径,从而有效应对矿山环境中的各种挑战,确保无人驾驶车辆的行驶安全。

### 4.2 感知—推理—控制框架

感知—推理—控制框架是一种高效且系统化的方法,旨在实现无人驾驶车辆的避障功能。这一框架将无人驾驶车辆的避障过程精心划分为感知、推理和控制三个紧密相连的阶段,以确保车辆能够在复杂多变的道路环境中安全行驶。在感知阶段,无人驾驶车辆充分利用其搭载的多种传感器,实时且全面地感知周围环境的信息。这些信息涵盖了障碍物的位置、类型、速度以及道路条件等诸多方面,为后续的推理和控制提供了至关重要的输入数据。通过高精度的传感器和先进的信号处理技术,无人驾驶车辆能够准确捕捉周围环境的细微变化,为避障决策提供坚实的基础。进入推理阶段,无人驾驶车辆将根据感知阶段获取的信息,进行深入的逻辑推理和决策。这一阶段的任务是全面分析障碍物的运动轨迹和潜在危险,结合车辆的行驶目标和道路条件,制定出合理的避障策略。通过先进的算法和计算技术,无人驾驶车辆能够在短时间内迅速做出决策,确保避障行为的及时性和准确性。最终,在控制阶段,无人驾驶车辆将根据推理阶段制定的避障策略,执行相应的控制指令。这些指令包括转向、加速、刹车等一系列精细的操作,旨在实现避障行为的具体执

行。通过精确的控制系统和高效的执行机构,无人驾驶车辆能够迅速响应避障策略,确保在复杂多变的道路环境中安全行驶。这一框架的综合应用,使得无人驾驶车辆在面对各种挑战时都能表现出色,为未来的智能交通系统提供了有力的支持。

### 4.3 协同避障技术

在矿山这一复杂多变的环境中,无人驾驶车辆往往需要面对多车辆协同行驶的挑战,这使得协同避障技术显得尤为重要。协同避障技术是一种先进的解决方案,它允许多个无人驾驶车辆之间通过通信和协作,共同实现避障行为,从而确保行驶的安全性和效率。车辆间通信技术是实现协同避障技术的基础。通过这一技术,无人驾驶车辆能够实时获取其他车辆的位置、速度以及运动轨迹等关键信息。这些信息为车辆间的协同避障提供了必要的技术支持,使得无人驾驶车辆能够更加精准地判断周围环境和车辆的状态,从而做出更为合理的避障决策。在协同避障的过程中,协同避障算法发挥着至关重要的作用。该算法需要综合考虑多个无人驾驶车辆之间的相互影响和制约关系,通过协作和协商,共同制定出最优的避障策略。这一策略旨在确保各个车辆能够在保持安全距离的同时,高效地避开障碍物,实现协同行驶。通过协同避障算法的应用,无人驾驶车辆能够在复杂多变的环境中展现出出色的避障能力,为矿山等复杂环境下的智能交通系统提供了有力的支持。

## 5 结语

矿山复杂环境下的无人驾驶车辆障碍物实时检测与避障策略是实现无人驾驶技术在矿山中应用的关键。通过深入研究矿山环境下无人驾驶车辆障碍物检测的关键技术、算法和避障策略,可以为无人驾驶车辆在矿山中的应用提供理论支持和技术参考。未来,随着传感器技术、计算机视觉算法、路径规划算法等技术的不断进步,无人驾驶车辆在矿山中的应用将更加广泛,其安全性、可靠性和效率也将得到显著提升,为矿山行业的智能化转型和可持续发展注入新的活力。

### 参考文献

- [1] 刘伟,黄树巍,魏琪嘉.无人驾驶在露天煤矿的应用研究[J].信息技术与政策,2024,50(10):21-27.
- [2] 石昌景,刘光,葛继平等.露天矿山运输车辆无人驾驶系统研究[J].价值工程,2024,43(25):152-155.
- [3] 曾姣妮,王立群,杨薇等.矿山无人驾驶自卸车装料区路径规划算法研究[J/OL].汽车实用技术,1-6[2024-11-14].