

# 基于巡检机器人的高速公路全息感知系统探析

## Analysis of Highway Holographic Perception System Based on Inspection Robot

潘雅洁

Yajie Pan

中咨泰克交通工程集团有限公司 中国·北京 100083

Zhongzi Taike Transportation Engineering Group Co., Ltd., Beijing, 100083, China

**摘要:** 随着高速公路网络的不断扩张和交通流量的增加,在高速公路运营管理阶段进行有效的巡检与维护成为一项迫切的需求,巡检机器人作为一种新型智能技术,为高速公路管理提供了全新的解决思路。论文分析了高速公路运行管理的难点,结合高速公路运行管理的难点综合运用巡检机器人技术、全息感知技术构建了基于巡检机器人的高速公路全息感知系统,通过需求分析以及系统的设计与实现阐述,为新时期高速公路的数字化转型以及智能化管理提供了参考性意见。

**Abstract:** With the continuous expansion of the highway network and the increase of traffic flow, effective inspection and maintenance during the operation and management stage of highways has become an urgent need. As a new intelligent technology, inspection robots provide a new solution for highway management. This paper analyzes the difficulties in highway operation and management, and combines them with the comprehensive operation and inspection robot technology and holographic perception technology to construct a highway holographic perception system based on inspection robots. Through requirement analysis and system design and implementation, it provides reference opinions for the digital transformation and intelligent management of highways in the new era.

**关键词:** 高速公路; 巡检机器人; 全息感知系统; 需求分析

**Keywords:** highways; inspection robots; holographic perception system; requirement analysis

**DOI:** 10.12346/etr.v6i2.9008

## 1 引言

近年来,随着科技的飞速发展和社会的不断进步,交通运输系统的安全和高效运营成为一个备受关注的重要议题。在众多交通工具中,高速动车组在快速、便捷的同时也带来了更高的管理难度和安全风险,为了提升高速公路管理水平,降低事故风险,研究与开发一种先进的、全面感知的巡检系统变得尤为迫切<sup>[1]</sup>。传统的高速公路巡检方式往往依赖于人工巡检,存在效率低、盲区多、安全风险大等问题,基于巡检机器人的全息感知系统的提出,旨在解决传统巡检方式的种种缺陷。该系统结合了先进的感知技术、自主导航算法和全息成像技术,具备实时、全方位的道路感知与监测能力,为高速公路巡检带来了革命性的变革。论文通过对该系统设计原理以及应用的研究,能够为高速公路管理提供一种

更为先进、智能的巡检手段,推动交通领域的技术发展,提高交通运输系统的整体水平。

## 2 高速公路运行管理的难点

高速公路运行管理是一个复杂而庞大的系统工程,涉及众多的因素和挑战。从运行效率、交通安全保障、维护成本三个方面,高速公路的运行效率是直接关系到道路通行能力和交通流畅性的重要指标。现阶段,中国高速公路上的交通拥堵是一个常见而严重的问题,尤其是在节假日时期,高速公路承载的车流量过大、交叉口设计不合理、交叉口处的拥堵点等因素都会导致高速公路的运行效率下降,在交通拥堵的情况下,交通事故是导致高速公路运行效率下降的重要原因。事故不仅会导致道路封闭、交通阻塞,还对整个路段的

【作者简介】潘雅洁(1997-),女,中国北京人,助理工程师,从事高速公路机电施工。

通行能力产生长期的影响。

一方面，高速公路上的交通安全尤为重要，相比普通公路而言，高速公路上的车流行驶速度较快，道路设计与运营管理的安全性要求更高，预防交通事故需要全面的安全管理体系，包括对驾驶员行为的监控、道路设计的合理性等。然而，实际中难以完全避免各类事故的发生<sup>[2]</sup>。此外，高速公路的交叉口和匝道设计直接影响交通流畅和安全。如何在确保交通流畅的同时保障安全成为一个难点，在高速公路中迅速而有效地应对突发事件，如恶劣天气、交通事故等，保障道路上所有用户的安全，是现阶段高速公路运行管理需要综合考虑的问题。

另一方面，高速公路的维护成本不仅包括日常的养护维修，还包括突发事件的应对和更新升级等方面的支出。随着使用年限的增加，高速公路设施会逐渐老化，需要进行定期检修和更新，既需要大量的资金投入，也对维护团队的技术水平提出了更高的要求，且恶劣天气、地质灾害、交通事故等突发事件会对高速公路造成损坏，维护成本会因此而增加<sup>[3]</sup>。如何在维护过程中更高效地应对这些突发事件成为一个挑战。

### 3 基于巡检机器人的高速公路全息感知系统的功能需求分析

#### 3.1 巡检机器人技术

巡检机器人是一种通过搭载各种传感器和设备，能够实现自主移动、巡检、监测等功能的智能机器人，其本身的技术涉及多个领域，包括感知技术、导航技术、决策与控制技术等。感知技术是巡检机器人的核心，用于获取环境信息。常用的传感器包括激光雷达、摄像头、红外传感器等，对应的传感器能够实时获取巡检环境的数据，为机器人提供必要的信息。首先，巡检机器人需要具备良好的导航能力，以自主规划路径、避障避障。导航技术通常包括激光 SLAM（同步定位与地图构建）、GPS 定位、惯性导航等，确保机器人在复杂环境中准确行进，并且巡检机器人的决策与控制技术是实现自主行为的关键。这包括路径规划、动作执行、障碍物避免等方面，确保机器人能够根据环境变化做出合理的决策。其次，巡检机器人通常需要与中心控制系统进行实时通信，传递巡检数据、接收任务指令等，通信技术的稳定性和实时性对于保障机器人的正常运行至关重要，巡检机器人通常需要长时间工作，因此能源技术也是一个重要的方面，采用高效的电池技术、智能充电系统等，以延长机器人的工作时间。最后，为了更好地与人工作，巡检机器人还需要人机交互技术，包括语音识别、图像识别、手势控制等，以提高机器人与人类的协同效率。

#### 3.2 全息感知技术

全息感知技术是一种能够获取并重建三维场景的先进技术。通过记录并再现物体的光波干涉图案，全息感知技术能

够实现更为真实和细致的立体影像，全息感知技术基于光的波动性原理，通过记录物体对光的相位和振幅的变化，将其信息储存在记录介质中，对应的记录使得在还原时，不仅可以还原物体的外表形状，还可以呈现出物体的深度信息<sup>[4]</sup>。具体而言，全息感知技术的核心设备是全息照相机，全息照相机通常包括激光光源、空间滤波器、全息板等组件。这些设备协同工作，记录被摄物体的光波信息，全息感知技术的应用需要使用全息显示技术来呈现三维影像。这可以通过透射型全息、反射型全息等方式实现。全息显示技术能够产生真实感更强烈、更为立体的影像。

#### 3.3 系统的功能需求分析

基于巡检机器人的高速公路全息感知系统的功能需求分析涉及多个方面，旨在确保系统能够有效地完成巡检任务并提供全息感知的功能。以下是包括在功能需求中的关键方面：①感知与检测功能：巡检机器人应搭载多种传感器，如激光雷达、摄像头、红外传感器等，以实现道路、交通标识、设施等的全面感知，系统需能够实时采集环境数据，包括道路状况、气象信息、交通流量等，以支持全息感知的准确性<sup>[5]</sup>。②导航与路径规划功能：巡检机器人需要可靠的定位技术，如激光 SLAM、GPS 等，确保其在高速公路环境中准确定位，系统应具备智能路径规划功能，优化巡检路线，避免碰撞障碍物，提高运行效率。③全息感知系统集成：系统需要集成全息感知设备，如全息照相机，以获取道路和设施的三维信息，从而实现对全息影像的实时处理和分析，以提供更细致、真实的巡检信息。④实时通信与数据传输：巡检机器人需配备高效的通信模块，确保与中心控制系统的实时通信，系统需采取措施保障数据传输的安全性，防止信息泄露或篡改。⑤异常事件处理与应急响应：巡检机器人需能够检测并识别道路上的异常情况，如事故、交通拥堵等，在发现异常情况时，系统应能够实施紧急响应，包括通知相关部门或进行应急巡检。⑥数据存储与分析：巡检机器人需具备数据本地存储功能，以确保即使在通信中断的情况下能够存储巡检数据，系统应支持将巡检数据传输至中心控制系统进行进一步的数据分析和处理。⑦人机交互界面：中心控制系统需要提供友好的监控界面，实时显示巡检机器人的运行状态和全息感知数据，操作员需能够远程操控巡检机器人，调整巡检路线或进行其他必要的操作。通过充分考虑上述功能需求，可以确保基于巡检机器人的高速公路全息感知系统在实际运行中能够稳定、高效地完成工作，为高速公路管理提供有力支持。

### 4 基于巡检机器人的高速公路全息感知系统的设计与实现

#### 4.1 感知导航系统

感知导航系统是基于巡检机器人的高速公路全息感知系统的关键组成部分。该系统通过集成传感器、定位技术和智

能导航算法,实现机器人在高速公路上的自主感知、定位和路径规划。首先,巡检机器人上采用360度全向激光雷达,用于实时获取高速公路道路表面和周围环境的三维点云数据,以进行地图构建和障碍物检测,并配备高分辨率摄像头,用于采集道路上的图像信息,支持交通标识识别、车辆检测等任务,在运行的过程中结合高精度GPS和惯性导航传感器,实现机器人在高速公路上的精确定位,保证巡检路径的精准性,可以利用激光雷达数据进行同步定位与地图构建,实时更新机器人所在位置和周围环境的地图。其次,基于实时感知数据和地图信息,使用智能路径规划算法,考虑交通流量、道路状况等因素,优化巡检路径,确保高效巡检,且机器人集成先进的避障算法,确保机器人在巡检过程中能够智能避开障碍物,保障行进安全。机器人在日常巡检的过程中,需要对传感器数据进行滤波处理,减少噪声干扰,然后进行数据融合,提高环境数据的准确性和一致性。最后,结合激光SLAM技术,实时更新机器人所在位置和周围环境的地图,确保导航路径的准确性。

#### 4.2 全息感知设备集成

全息感知设备集成是高速公路全息感知系统中核心部分,通过集成先进的全息成像设备,系统能够实时获取高精度的三维道路信息,为巡检机器人提供更全面的感知能力。高速公路全息感知系统需要配备激光投影仪,用于产生干涉光束,与全息照相机协同工作,实现全息图像的获取。围绕巡检的基本要求开发先进的全息成像算法,将全息照片转换为高质量的三维地图,捕捉道路表面和周围环境的详细信息,且需要确保全息感知数据能够实时处理,并通过高速通信模块传输至中心控制系统,支持实时监控和分析。具体的数据处理过程应该将全息感知数据与其他传感器数据(如激光雷达、摄像头)进行融合,提高全息图像的准确性和综合感知能力,对整合后的数据进行滤波和处理,确保数据的一致性,提高系统对道路、交通标识等环境的理解,并且需要在机器人上配备高效的通信模块,确保全息感知数据的实时传输<sup>[6]</sup>。支持中心控制系统对机器人的实时远程操控,在该过程中应该使用加密和认证机制,确保全息感知数据传输的安全性,防止信息泄露或篡改。人机交互界面与数据存储的过程中,中心控制系统提供友好的监控界面,实时显示全息感知数据,支持操作员对机器人进行监控和调控,从而能够对全息感知系统各个模块进行整合,优化算法和参数,确保系统的稳定性、高效性和可靠性。

#### 4.3 数据分析与通信功能

为了实现采集数据的精准传输,巡检机器人高速公路全息感知系统还应该配备高速、可靠的通信模块,确保与中心

控制系统实时通信,传输巡检数据和接收任务指令,从而在此基础上实现远程操控功能,允许操作员在需要时干预机器人的行为,调整巡检路径或执行特殊任务。一方面,巡检机器人需具备数据本地存储功能,记录巡检过程中的感知数据、导航路径等信息,以备后续分析和回放,所存储的数据提供回放功能,支持操作员对巡检过程进行回放,以便分析和改进系统性能。另一方面,巡检机器人高速公路全息感知系统中需要集成异常检测算法,监测系统的感知、导航模块是否正常运行,及时发现问题,并配备应急响应策略,例如在感知或导航故障时,机器人能够自主绕行或发送紧急通知,确保安全运行,在机器人运行阶段可以通过有效的手段对各个模块进行系统整合,优化算法和参数,确保系统的稳定性、高效性和可靠性。

## 5 结语

基于巡检机器人的高速公路全息感知系统在感知导航系统设计、全息感知设备的集成、系统整合和应急响应等方面取得了显著的成果。通过集成先进的传感器、定位技术和智能导航算法,实现了机器人在高速公路上的自主感知、定位和路径规划,全息感知设备的集成使机器人能够以高精度获取三维道路信息,实现了对道路表面和周围环境的详细感知,全息感知系统的设计与实现充分发挥了全息成像技术在高速公路管理中的潜力,为道路状况的准确把握提供了有力支持,具体应用过程中通过对各个模块的系统整合和优化,可以确保整个系统在巡检过程中表现出协同工作的高度效能。基于巡检机器人的高速公路全息感知系统为高速公路管理提供了先进、高效的技术手段,对于提升巡检任务的效率、安全性,以及全面了解高速公路道路状况具有重要的实际应用价值。

## 参考文献

- [1] 刘博.基于雷视融合的高速公路智能巡检机器人预警系统研究[J].机电信息,2021(28):2.
- [2] 韩栋.山西交控集团长治高速全息数字感知系统[J].中国交通信息化,2021(1):3.
- [3] 马华杰.高速公路隧道巡检机器人系统设计研究[J].西部交通科技,2022(10):122-124.
- [4] 廖思成,马生涛.基于隧道巡检机器人的隧道设备用电异常监测研究[J].科技经济市场,2019(3):20-21.
- [5] 汪庆明,吴茂呈,何镇镇.基于巡检机器人的高速公路全息感知系统探析[J].中国交通信息化,2023(5):92-94.
- [6] 吴文彬.基于智能巡检机器人的隧道维护自动检测系统[J].自动化与信息工程,2021,42(1):46-48.