

公路工程机电系统智能感知技术探析

周 波

宁夏交投科技发展有限公司 宁夏 银川 750000

摘 要：公路工程机电系统智能感知技术依托传感器、物联网、大数据及人工智能等技术，构建了涵盖感知层、传输层、数据处理层与应用层的完整技术体系架构。其关键技术通过多维度数据采集与智能分析，实现了交通流量监测、智能驾驶辅助、环境监测等场景的深度应用。当前，该技术正朝着多源数据融合、自主化决策控制、与车路协同技术融合及全生命周期管理的方向发展，为提升公路交通系统的智能化、安全性与运营效率提供了核心支撑，是智慧交通领域的重要研究方向。

关键词：公路工程；机电系统；智能感知；技术探析

引言：随着公路交通需求的持续增长，传统机电系统在数据采集精度、实时处理能力及智能化决策方面的局限性日益凸显。智能感知技术通过集成先进传感设备与智能算法，赋予公路工程机电系统对交通环境、设施状态及运行数据的实时感知与分析能力，成为推动智慧交通发展的关键基础。文章从技术体系架构出发，系统剖析传感器技术、物联网技术等关键支撑技术，探讨其在交通管理、设施维护等场景的应用实践，并展望技术融合与全生命周期管理的未来趋势，为公路工程智能化升级提供理论与实践参考。

1 公路工程机电系统智能感知技术体系架构

1.1 感知层

感知层是智能感知技术的物理基础，通过部署各类传感器（如雷达、摄像头、红外设备、RFID标签等）实现对公路交通环境、车辆状态、设施运行参数等物理信息的实时采集。该层如同系统的“感官神经”，负责将交通场景中的声音、图像、温度、速度等信号转化为可处理的数字信号，其采集数据的准确性与覆盖范围直接影响整个系统的运行效能。

1.2 传输层

传输层是连接感知层与数据处理层的“信息通道”，通过有线网络（如光纤）、无线网络（如5G、Wi-Fi、LoRa）等通信技术，将感知层采集的海量数据高效、稳定地传输至数据处理中心。该层需具备抗干扰、低延迟、高带宽的特性，确保数据在传输过程中的完整性与实时性，为后续数据处理与分析提供可靠的传输保障。

1.3 数据处理层

数据处理层是智能感知技术的“大脑中枢”，利用大数据平台、云计算服务器及智能算法，对传输层送来的数据进行清洗、整合、存储与深度分析。该层通过挖

掘数据间的关联关系，构建交通运行模型，实现数据从“量”到“质”的转化，为应用层的智能化决策提供数据支持与算法支撑，是实现系统智能分析与预测的核心环节。

1.4 应用层

应用层是智能感知技术的“价值输出端”，基于下层处理后的数据分析结果，开发面向交通管理、安全预警、设施维护等场景的具体应用功能（如交通信号优化、事故预警、智能停车引导等）。该层直接服务于公路运营管理与用户需求，通过人机交互界面或自动控制指令，将技术能力转化为实际的交通服务与管理效能^[1]。

2 公路工程机电系统智能感知技术的关键技术

2.1 传感器技术

传感器技术是公路工程机电系统智能感知的基础，如同系统的“触觉神经”，通过不同类型的传感器实现对交通环境与设施状态的全方位监测。在交通流量监测中，地磁传感器、微波雷达传感器可实时采集车辆流量、速度和占有率等数据，为交通信号优化提供依据；激光雷达传感器则凭借高精度三维建模能力，助力智能驾驶辅助系统识别道路边界、障碍物与行人，提升行车安全。在设施健康监测领域，应变传感器、振动传感器能够实时感知桥梁、隧道等结构的应力变化与振动频率，及时发现潜在安全隐患。此外，温湿度传感器、气体传感器还可用于公路环境监测，预防极端天气或有害气体对交通的影响。随着微机电系统（MEMS）技术的发展，传感器正朝着微型化、低功耗、高精度和集成化方向演进，以满足公路工程复杂场景下的多样化感知需求。

2.2 物联网技术

物联网技术通过构建“物-物相连”的网络体系，实现公路工程机电系统中各类设备的互联互通与协同工

作。在公路场景中,交通信号灯、监控摄像头、可变情报板、收费设备等设施均可作为物联网节点,借助5G、窄带物联网(NB-IoT)、Zigbee等通信协议,将采集的数据实时上传至云端管理平台。例如,智能停车系统通过物联网技术整合车位传感器、车辆识别设备与用户终端,实现车位状态实时查询、在线预约与自动缴费,提升停车资源利用效率。此外,物联网技术还能促进公路设施间的联动控制,如根据交通流量变化自动调整路灯亮度、诱导屏信息。未来,随着边缘计算与物联网的深度融合,设备端将具备更强的数据预处理能力,进一步降低网络传输压力,实现更快速、智能的本地决策,推动公路机电系统向“自感知、自决策、自执行”的方向发展。

2.3 大数据与云计算技术

大数据与云计算技术为公路工程机电系统智能感知提供了海量数据存储、高效处理与深度分析的能力。公路运行过程中,传感器、摄像头等设备产生的交通流量、车辆轨迹、环境参数等数据规模庞大且类型复杂,传统数据处理方式难以满足需求。云计算平台凭借强大的分布式存储与并行计算能力,可实现数据的弹性存储与快速处理,确保数据不丢失、不卡顿;大数据分析技术则通过机器学习算法与数据挖掘模型,从海量数据中提取有价值的信息,如预测交通拥堵趋势、分析交通事故成因、优化公路养护策略等。例如,基于历史交通数据构建的流量预测模型,能够提前规划交通疏导方案;通过分析车辆行驶行为数据,可识别危险驾驶模式并进行预警。此外,云计算的按需服务模式降低了数据处理的硬件投入成本,使公路管理部门能够更灵活地部署智能感知应用,加速智慧交通的落地。

2.4 人工智能技术

人工智能技术赋予公路工程机电系统自主学习与智能决策能力,是实现智能化升级的核心驱动力。在交通管理领域,深度学习算法可训练模型识别交通违章行为(如闯红灯、违停),提高执法效率;强化学习算法能够优化交通信号控制策略,根据实时交通流量动态调整信号灯时长,缓解拥堵。在设施维护方面,基于机器学习的故障诊断模型可通过分析设备运行数据,预测设备故障发生时间,实现预防性维护,降低维修成本。此外,自然语言处理技术可用于交通信息的智能问答与语音播报,提升用户体验。随着大模型技术的发展,人工智能将在公路工程中实现更复杂的任务,如多模态数据融合分析、跨场景智能调度,推动机电系统从“被动响应”向“主动服务”转变,构建更高效、安全的公

路交通生态。

2.5 智能视频分析技术

智能视频分析技术依托计算机视觉与深度学习算法,深度挖掘视频数据中的交通信息,是公路工程智能感知的重要手段。通过对监控摄像头采集的视频流进行实时分析,该技术可实现车辆检测与分类、车牌识别、行人跟踪、异常事件(如交通事故、道路遗撒)检测等功能。例如,在高速公路上,智能视频分析系统能够快速识别异常停车、逆行等危险行为,并触发自动报警;在收费站,车牌识别技术可实现不停车收费,提高通行效率。此外,基于视频的交通流量统计比传统传感器更直观、准确,能够区分不同类型车辆的流量分布。随着深度学习模型的轻量化与边缘计算技术的结合,智能视频分析将从云端走向设备端,实现低延迟、本地化处理,满足公路场景对实时性的严格要求,同时保护数据隐私与安全。

3 公路工程机电系统智能感知技术的应用场景

3.1 交通流量监测与优化

交通流量监测与优化是智能感知技术的核心应用场景之一。通过在道路关键节点部署地磁传感器、微波雷达、视频摄像头等设备,可实时采集车辆流量、速度、占有率等数据,并利用大数据分析 with 人工智能算法预测交通流量变化趋势。通过可变情报板向驾驶员推送实时路况,引导车辆合理规划路线。这些措施有效提升了路网通行效率,减少车辆等待时间与尾气排放,缓解城市交通拥堵问题,为构建高效、流畅的交通环境提供技术保障。

3.2 智能驾驶辅助系统

智能驾驶辅助系统借助激光雷达、摄像头、毫米波雷达等传感器,构建起车辆周围环境的三维感知体系。激光雷达通过发射激光束实现高精度的障碍物探测与距离测量,摄像头结合计算机视觉技术识别交通标志、车道线及行人,毫米波雷达则负责监测车辆前后方的目标距离与速度。这些感知数据经融合处理后,为车辆提供自适应巡航、自动紧急制动、车道偏离预警等功能支持。在高速公路场景中,智能驾驶辅助系统可自动保持安全车距、调整车速;在复杂城市道路,能及时识别潜在危险并触发预警,降低交通事故发生率,推动自动驾驶技术逐步从理论走向实际应用^[2]。

3.3 智能停车管理

智能停车管理利用物联网与传感器技术,实现停车场资源的高效利用。车位传感器实时监测车位占用状态,并通过物联网将数据上传至云端平台,车主可通过

手机APP查询附近停车场空位信息、预约车位并完成在线支付。同时,停车场入口的车牌识别摄像头与智能道闸联动,实现车辆快速无感通行;场内引导屏结合车位定位技术,为驾驶员提供最优停车路线指引。

3.4 公路环境监测

公路环境监测对保障行车安全与道路设施稳定至关重要。智能感知技术通过部署温湿度传感器、风速风向仪、能见度检测仪、有害气体传感器等设备,实时采集公路周边气象条件与环境参数。在大雾、暴雨、冰雪等恶劣天气下,系统自动监测能见度、路面湿滑程度,并通过可变情报板发布预警信息,提醒驾驶员谨慎驾驶;同时,监测空气中有害气体浓度,预防因尾气、化学物质泄漏对交通造成的影响。

3.5 设施维护管理

设施维护管理依托智能感知技术实现公路基础设施的全生命周期健康监测。应变传感器、振动传感器、位移传感器等设备嵌入桥梁、隧道、边坡等结构中,实时采集应力、振动频率、位移变化等数据,利用机器学习算法分析数据特征,预测结构潜在病害与故障风险。例如,通过分析桥梁关键部位的应变数据,可提前发现结构疲劳或损伤,制定针对性维护计划;对公路沿线机电设备(如监控摄像头、通信基站)的运行状态进行实时监测,当设备出现异常时自动报警,缩短故障响应时间。

4 公路工程机电系统智能感知技术发展趋势

4.1 多源感知数据融合与深度挖掘

未来,公路工程机电系统将广泛融合雷达、摄像头、气象传感器、地磁设备等多源异构数据。借助深度学习、知识图谱等技术,打破数据壁垒,实现跨模态信息的精准整合与分析。同时,依托边缘计算与云计算的协同运作,构建分布式数据处理架构,既能降低传输压力,又能深度挖掘数据间潜在关联,如结合交通流量、天气状况预测拥堵风险,为交通管理提供更全面、精准的决策依据。

4.2 智能化、自主化决策与控制

随着强化学习、因果推理等人工智能算法的成熟,智能感知技术将具备更强的自主学习与动态决策能力。交通信号控制系统可依据实时路况与历史数据,自动优化配时方案;设施养护系统能主动识别设备故障,自主

生成维修计划。此外,系统决策将从单一目标转向多目标协同,兼顾通行效率、交通安全、环境保护等需求,推动公路机电系统从被动响应式管理向主动智能决策模式转变。

4.3 与车路协同、自动驾驶技术的融合发展

智能感知技术将与车路协同、自动驾驶深度融合,构建“车-路-云”一体化生态体系。路侧感知设备实时采集的路况信息,可弥补车载传感器的视距局限,为自动驾驶车辆提供超视距预警;车辆运行数据上传至云端后,又能反向优化路侧感知策略。在高速公路、封闭园区等场景中,通过车路数据交互实现车辆编队行驶、自动避障等功能,加速自动驾驶技术商业化落地进程。

4.4 面向全生命周期的智能感知与管理

公路工程机电系统将逐步实现全生命周期智能管理。在规划阶段,利用历史交通数据模拟路网流量,优化线路设计;建设过程中,通过感知设备实时监测施工进度与质量;运营维护阶段,结合设施健康监测与交通需求预测,制定动态养护方案。这种贯穿规划、建设、运营、维护各环节的感知管理模式,可有效降低全链条成本,提升公路设施的可靠性与使用寿命,助力智慧交通可持续发展^[3]。

结束语

公路工程机电系统智能感知技术正重塑交通管理与服务模式。从多源数据融合到自主决策,从车路协同到全生命周期管理,其创新应用不断突破行业边界。未来,随着技术的持续迭代与跨领域协同深化,智能感知技术将进一步提升公路交通的安全性、效率与可持续性,为构建更智能、更绿色的交通生态奠定坚实基础。

参考文献

- [1]孙晨,杨权东,袁建涛等.智能感知关键技术在电力物联网中的应用[J].传感器与微系统,2022,41(12):153-157.
- [2]张恒远,李茂盛,贾瑞龙等.基于电力物联网的设备智能感知诊断关键技术与应用[J].数字技术与应用,2021,39(10):58-60.
- [3]徐友刚,任堂正,沈晓峰等.基于电力物联网的配电设备智能感知诊断关键技术与应用[J].电力与能源,2020,41(04):389-391+402.