

边缘计算在实时交通数据处理中的应用研究

杨圆媛

浙江交科交通科技有限公司 浙江 杭州 310053

摘要: 本文探讨边缘计算在实时交通数据处理中的应用。阐述边缘计算定义、特点、架构与关键技术,分析实时交通数据处理需求、挑战及两者契合点。介绍数据采集与预处理、节点部署与资源管理、处理分析算法、数据安全隐私保护等关键技术,以及在交通流量监测、事件检测、信号控制、车路协同等场景的应用,为交通智能化发展提供思路。

关键词: 边缘计算; 实时交通数据处理; 关键技术; 应用场景; 智能交通

引言: 随着城市交通发展,实时交通数据处理需求日益增长。传统数据处理方式在实时性、网络负载及数据隐私保护方面存在局限。边缘计算作为一种新兴计算模式,具有低延迟、高带宽与本地化处理等优势,与实时交通数据处理需求高度契合。本文将深入研究边缘计算在实时交通数据处理中的关键技术与应用场景,为交通领域智能化发展提供参考。

1 边缘计算与实时交通数据处理基础理论

1.1 边缘计算概述

边缘计算定义与特点围绕数据处理位置与效率展开。边缘计算是将数据处理、存储等操作从云端下沉至网络边缘侧的计算模式,靠近数据产生源头进行本地化处理。其核心特点体现在低延迟、高带宽与本地化处理。低延迟特性源于数据无需长距离传输至云端,在边缘节点即可完成处理,极大缩短响应时间;高带宽得益于减少数据集中传输压力,使边缘区域网络资源得以高效利用;本地化处理能够快速响应用户需求,降低对云端计算资源的依赖,增强系统的自主性与可靠性。边缘计算架构与关键技术构建起完整运行体系。架构由边缘节点、边缘服务器等构成。边缘节点分布于网络边缘,如智能摄像头、车载终端等,负责采集与初步处理数据;边缘服务器则具备更强计算与存储能力,可接收边缘节点数据,执行复杂运算。关键技术中,分布式计算实现任务在多个边缘节点与服务器间分配,提升处理效率;数据缓存技术将常用数据存储于边缘侧,减少重复数据传输;安全加密技术保障数据在采集、处理与传输过程中的安全性,防止数据泄露与篡改,为边缘计算稳定运行提供支撑。

1.2 实时交通数据处理需求与挑战

实时交通数据处理需求涵盖多领域应用。交通管理层面,需依据道路拥堵状况、事故信息实时调整信号灯

配时,优化交通流;智能驾驶场景下,车辆要快速获取周边路况、其他车辆动态信息,保障行驶安全;出行服务则要为用户提供精准的实时路况、最优出行路线规划。这些应用均对数据准确性、及时性、完整性提出严格要求,准确的数据是有效决策的基础,及时获取数据才能把握交通变化,完整的数据则确保信息全面无遗漏^[1]。传统数据处理方式局限性在实时交通数据处理中凸显。传统集中式数据处理将所有数据传输至云端处理,数据传输延迟大,从道路传感器采集数据到云端处理完成反馈,时间差可能导致信息滞后,无法满足实时性需求。大量数据集中传输给网络带宽带来巨大压力,易造成网络拥堵,影响数据传输稳定性。数据在长距离传输与云端存储过程中,面临被窃取或泄露风险,数据隐私保护困难,难以保障用户信息安全。

1.3 边缘计算与实时交通数据处理的契合点

低延迟处理优势使边缘计算贴合实时交通需求。在交通场景中,道路上的摄像头、雷达等设备采集的数据,可直接在附近的边缘节点进行分析,快速识别交通违法行为、检测交通事故,几秒钟内即可将结果反馈给交通管理系统,相比传统方式大幅减少数据传输时间,满足实时交通数据处理对低延迟的严苛要求,助力交通管理高效决策。减轻网络负载作用有效缓解交通数据传输压力。边缘计算在本地对交通数据进行筛选与预处理,仅将关键信息传输至云端。例如,智能摄像头在边缘侧分析视频流,仅上传检测到的异常事件或关键目标信息,减少大量冗余数据传输,降低网络带宽占用,避免因数据传输量过大引发网络堵塞,保障交通数据传输流畅。增强数据隐私保护能力为交通数据安全提供保障。边缘计算在本地完成数据处理,敏感信息如车辆行驶轨迹、车内乘客信息等无需上传至云端,降低数据在传输过程中被窃取的风险。即使边缘节点遭遇攻击,由

于数据本地化存储与处理,攻击范围有限,不会导致大规模数据泄露,有效保护用户隐私与交通数据安全。

2 边缘计算在实时交通数据处理中的关键技术

2.1 数据采集与预处理技术

高效数据采集方法依赖多类型传感器协同作业。交通场景下,摄像头、雷达、地磁传感器各有优势,摄像头捕捉车辆外观、行为,雷达精准测量速度与距离,地磁传感器感应车辆通过状态。将摄像头的视觉信息与雷达的测距测速数据融合,能更全面判断车辆行驶轨迹与意图;地磁传感器配合摄像头,可准确统计车流量。不同传感器在空间与时间上互补,构建起全方位感知网络,覆盖道路各个区域,确保交通信息无遗漏采集,提高数据采集的可靠性与完整性。数据清洗与特征提取是数据预处理的核心。原始交通数据常含噪声、异常值,如传感器瞬间故障产生的错误数据,或因环境干扰出现的偏差值。通过中值滤波、滑动平均等算法,可剔除噪声数据,平滑异常波动^[2]。特征提取则从清洗后的数据挖掘关键信息,计算车辆速度均值判断路段拥堵程度,分析流量变化率预测交通趋势。这些关键特征简化数据复杂度,突出交通状态本质,为后续处理提供有效输入,提升数据处理效率与分析准确性。

2.2 边缘计算节点部署与资源管理技术

边缘节点合理布局需综合考量交通流量分布与数据产生热点。城市主干道、交通枢纽车流量大,数据产生密集,需密集部署边缘节点;而郊区道路车流量小,节点分布可适当稀疏。节点间建立协作机制,当某节点负载过高时,相邻节点接收部分任务,实现负载均衡。通过资源共享,如存储资源共用,避免重复存储相同数据,提高资源利用效率。节点布局还需考虑通信距离与网络覆盖,确保数据能快速传输至处理节点,减少延迟。资源动态分配策略解决边缘节点资源有限问题。根据实时交通数据处理任务优先级分配资源,紧急的事故检测任务优先获得计算资源;依据数据量大小调整存储资源,大流量数据时段增加缓存空间。采用动态调度算法,实时监控任务需求与资源状态,动态调整计算、存储、通信资源分配比例。对于实时性要求高的任务,分配更多计算资源加快处理速度;对需长期存储的数据,合理规划存储资源,在保障关键任务处理效率的同时,避免资源浪费。

2.3 数据处理与分析算法

实时数据分析算法适应边缘计算环境的数据流特性。基于流式计算的算法,对连续到达的交通数据实时处理,无需等待数据全部收集。当道路发生拥堵,算法

实时分析车流速度、密度变化,快速判断拥堵范围与程度,及时发出预警。通过滑动窗口技术,对窗口内数据实时计算统计量,如平均速度、流量,实现交通状态实时估计。算法还可检测异常事件,识别突然减速、逆行等异常行为,为交通管理提供即时信息。机器学习与深度学习算法在边缘节点发挥智能分析作用。将训练好的神经网络模型部署于边缘计算节点,利用历史交通数据训练模型,学习流量变化规律。模型可对交通流量进行短期预测,提前判断高峰时段,辅助交通信号灯优化配时。通过卷积神经网络分析摄像头视频流,识别车辆类型、行为,实现智能交通监控。这些算法在边缘侧运行,减少数据传输,快速处理本地数据,为交通管理提供智能决策依据,提升交通系统智能化水平。

2.4 数据安全与隐私保护技术

数据加密与认证保障交通数据安全。对称加密算法加密传输数据,加密和解密使用同一密钥,运算速度快,适合大量数据加密;非对称加密用于密钥交换与数字签名,保障密钥传输安全。数字签名技术确保数据完整性与来源可靠性,接收方通过验证签名判断数据是否被篡改。身份认证机制鉴别边缘节点与用户身份,防止非法接入与数据窃取。在数据存储环节,对敏感数据加密存储,即使存储设备丢失,数据也无法被轻易读取,全方位保护数据安全。隐私保护策略平衡数据处理与用户隐私^[3]。实时交通数据含车辆行驶轨迹、车主身份等隐私信息,通过数据脱敏技术,替换敏感字段,如用匿名编号代替车牌号码;采用泛化、抑制等匿名化处理方法,模糊化隐私数据,降低隐私泄露风险。在满足交通数据处理需求前提下,对数据进行最小化处理,仅保留必要信息,减少隐私数据暴露。通过这些技术手段,在保障用户隐私的同时,确保交通数据可用于分析处理,实现数据价值与隐私保护的协调统一。

3 边缘计算在实时交通数据处理中的应用场景

3.1 交通流量监测与预测

在道路关键节点部署边缘节点,构建交通流量监测网络。摄像头、地磁传感器采集车辆信息,实时传输至就近节点。节点利用本地化处理能力,快速分析视频车辆数量、行驶方向及传感器感应频率,计算各路段车流量,避免长距离云端传输,大幅减少处理延迟,助交通管理部门获取精准实时路况。在城市高架桥、隧道等特殊路段,边缘计算能克服复杂环境干扰,准确捕捉车流变化,为交通态势监控提供稳定数据支撑。边缘计算节点存储历史流量信息,结合实时采集内容,用算法预测短时间内交通流量。挖掘历史规律与当前趋势,判断交

通高峰时段或流量变化。如工作日早晚高峰前,依据历史同期和实时流量,预测路段流量增长,为交通疏导策略提供依据,优化信号灯配时,提升道路通行效率。通过关联天气、节假日等外部因素,边缘计算可进一步细化预测模型,例如在暴雨天气精准预判积水路段的车流变化,提前引导车辆绕行。

3.2 交通事件检测与响应

边缘计算通过分析交通信息异常模式,快速发现交通事故、道路拥堵、施工占道等事件。交通事故发生时,事故现场及周边车辆速度骤降、流量突变,边缘节点分析传感器采集的速度、流量信息,结合摄像头视频,确认事件类型与地点,缩短事件发现时间。在夜间或低光照环境下,基于边缘计算的图像识别技术可通过红外感应与深度学习算法,依然准确识别事故车辆与现场状况。检测到交通事件,边缘计算分析影响范围与程度,计算受影响路段长度、车辆数量及周边交通压力,为交通管理部门制定应急预案提供信息。如交通事故发生,依事件位置和影响范围规划绕行路线,通过交通诱导屏、导航软件发布,助力救援人员快速抵达现场,降低事件对交通的持续影响。针对连环追尾等重大事故,边缘计算可同步模拟车流扩散路径,协助交警封闭关键路口,避免二次事故发生。

3.3 智能交通信号控制

边缘计算与交通信号控制系统结合,实现信号灯实时优化。边缘节点接收各方向交通流量信息,用内置算法计算最优配时方案。某方向车辆增多、排队变长时,节点迅速调整信号灯,延长该方向绿灯时长,减少车辆等待时间,提升路口通行效率,避免传统固定配时的资源浪费。在潮汐车道场景中,边缘计算能根据不同时段的车流方向变化,自动切换车道通行规则,配合信号灯实现动态交通流调控^[4]。基于边缘计算的自适应交通信号控制策略,让信号灯依不同时段、方向流量变化自动调整。系统通过长期收集分析交通信息,学习各时段、方向流量规律,建立动态信号控制模型。工作日按早高峰、午间平峰、晚高峰流量特点调整配时;周末或节假日依休闲出行流量分布优化方案;遇突发流量异常,迅速切换应急控制模式。例如在大型演唱会散场时,系统

可根据场馆周边实时人流与车流数据,临时延长周边路口绿灯时长,保障人群快速疏散。

3.4 车路协同与自动驾驶辅助

在车路协同系统中,边缘计算实现车辆与道路实时信息交互。道路边缘节点接收车辆速度、位置、行驶方向等状态信息,整合前方路况、交通信号状态、施工区域提示等,发送给过往车辆。前方道路拥堵,节点将信息发送给即将驶入车辆,使其提前规划绕行;车辆接近路口,接收信号灯倒计时信息控制车速。在高速公路场景下,边缘节点可实时更新限速信息与服务区车位状态,帮助长途驾驶车辆合理规划行程。边缘计算融合自动驾驶车辆传感器信息与实时交通信息,在节点快速处理分析。车辆遇障碍物时,节点结合周边交通流量、其他车辆行驶状态,提供准确路径规划建议。在复杂交通场景中,如早晚高峰的交叉路口,边缘计算可预判多方向车辆行驶意图,提前为自动驾驶车辆规划避让路径,避免因通信延迟导致的决策失误,进一步推动自动驾驶技术在城市复杂路况中的落地应用。

结束语

边缘计算与实时交通数据处理的深度融合,为智能交通系统构建了高效、安全、自主的底层架构。通过本地化预处理、分布式协同与智能算法,边缘计算显著提升了交通数据的实时性与决策精准度,同时保障了用户隐私与系统鲁棒性。未来需进一步优化边缘-云协同机制,推动车路协同与自动驾驶场景的规模化落地,助力城市交通向全域感知与自主决策演进。

参考文献

- [1] 闻天,李光燕,高强.物联网边缘计算在智慧交通系统实时数据分析与优化中的应用[J].集成电路应用,2024,41(6):228-229.
- [2] 刘晓东,张晓燕.基于边缘计算的智能交通系统数据处理优化方法研究[J].计算机系统应用,2021,30(1):112-118.
- [3] 陈文,张瑞.边缘计算在城市交通系统安全性提升中的应用分析[J].安全与防护,2021,41(5):129-133.
- [4] 孙勇,汪涵.基于5G和边缘计算的智慧城市交通管理优化策略研究[J].电信科学,2021,37(8):78-84.