

基于大数据的智慧高速公路运行状态感知与预测

郑明海

山东通维信息工程有限公司 山东 济南 250000

【摘要】：智慧高速公路的实时状态感知与预测依赖于多源异构数据的协同处理，交通流特征、气象条件、车辆行为等要素构成复杂的高维时空序列，需要建立动态分析模型以捕捉其演化规律。通过融合深度学习方法与交通理论，构建的车道级预测体系能够提前识别异常事件，为动态管控提供技术支撑，降低交通安全风险。

【关键词】：大数据；智慧高速公路运行状态感知；预测

DOI:10.12417/2705-0998.25.22.068

引言

现代高速公路的智能化管理需克服传统手段在实时性与精度上的局限,多模态传感器网络结合边缘计算框架,实现道路状态的连续监测与快速响应。基于机器学习的预测算法能够解析交通流时空关联性,进而优化信号控制与路径诱导策略,提高路网运行稳定性。

1 大数据在智慧高速公路运行状态感知与预测中的基础概述

1.1 大数据概念内涵

大数据是指规模庞大、类型复杂且高速生成的数据集,其特征主要体现在体量、速度、多样性和价值四个维度。在技术层面,大数据处理涉及分布式存储、并行计算和机器学习等方法,旨在从海量数据中提取有效信息。在智慧交通领域,大数据涵盖车辆轨迹、传感器监测、气象环境等多源异构数据,需要通过数据清洗、融合和挖掘来实现精准分析。其核心价值在于将原始数据转化为可操作的洞察,为决策提供客观依据,而非依赖经验推断。

1.2 智慧高速定义范畴

智慧高速公路是基于新一代信息技术构建的数字化交通基础设施,其核心目标是通过实时感知、动态分析和智能决策优化路网运行效率。技术层面包括物联网设备部署、云计算平台支撑和人工智能算法应用,实现车辆、道路与环境的多维协同。功能范畴涵盖交通流量监测、事件自动预警、路径动态诱导及应急调度等。智慧高速的本质是通过数据驱动替代传统人工管理,形成具备自学习能力的交通生态系统,从而提升通行安全性与服务体验。

1.3 感知预测的重要性

实时感知与精准预测是智慧高速实现主动管控的关键技术环节。感知系统通过多源数据采集构建交通状态的全景画像,而预测模型则基于历史与实时数据推断未来演变趋势。这一过程能够提前识别潜在拥堵点、事故风险及通行效率瓶颈,为动态限速、车道控制和应急响应提供决策支持。从系统优化的角度看,感知预测的准确性直接决定了管控策略的有效性,

进而影响路网整体运行效能。

2 大数据在智慧高速公路运行状态感知技术方法

2.1 传感器数据采集

高速公路运行状态的精确感知依赖于多类型传感器的协同工作。固定式传感器包括地磁线圈、微波雷达、红外探测器等,主要部署于关键路段和出入口,用于采集车辆速度、流量和占有率等微观参数。移动式传感器则以车载GPS和浮动车数据为代表,提供大范围车辆轨迹信息。气象传感器实时监测能见度、路面温度、降水强度等环境参数,为安全预警提供基础。这些设备构成立体化的数据采集网络,确保交通状态监测的时空连续性。不同传感器的采样频率和精度存在差异,需要在硬件选型和布设方案上进行优化匹配,以满足后续分析的精度需求。传感器的稳定性和抗干扰能力直接影响原始数据的可靠性,是系统设计时需要重点考虑的技术指标。

2.2 视频图像监测

基于计算机视觉的视频监控系统是高速公路状态感知的重要手段。固定摄像头部署在互通立交、隧道、事故多发段等关键位置,通过图像识别算法自动提取车辆位置、行驶方向和异常行为。高空全景摄像头可覆盖大范围区域,辅助宏观交通流分析。视频分析技术能够识别车辆类型、车道变换、违停等事件,并与其它传感器数据形成互补。深度学习模型的应用提升了目标检测和跟踪的准确性,尤其在复杂天气条件下表现出较强鲁棒性。视频数据的高时空分辨率特性使其成为交通状态验证和事件复核的重要依据。系统需要平衡计算资源消耗与实时性要求,通常采用边缘计算与云端协同的处理架构。

2.3 通信网络传输

可靠的数据传输网络是连接前端采集设备与后台处理系统的关键基础设施。有线通信主要采用光纤专网,具有带宽大、延迟低的优势,适用于固定监测点的高质量数据传输。无线通信技术包括4G/5G公网、专用短程通信等,为移动终端和临时监测设备提供灵活接入方案。通信协议需要满足不同类型数据的传输要求,如视频流采用实时传输协议,而传感器数据可能使用轻量级的MQTT协议。网络架构设计需考虑冗余性和负载

均衡,确保在设备故障或流量激增时维持系统稳定性。数据传输过程中的加密和完整性校验是信息安全的基本保障措施。通信延迟和丢包率直接影响感知系统的实时性能,需要在网络优化时重点控制。

2.4 数据清洗预处理

原始采集数据通常包含噪声、缺失和异常值,需要进行规范化处理以提高分析质量。时间序列对齐解决不同传感器的时间戳差异,空间配准处理设备位置偏差带来的坐标不匹配问题。缺失数据采用插值或模型预测方法进行合理填补,异常值通过统计检验或机器学习算法识别修正。数据标准化消除不同来源的量纲差异,归一化处理使特征处于相同数值范围以提升模型收敛效率。针对高频采样数据,可能需要进行降采样或滑动平均等平滑操作。预处理流程需要保留数据原始特征的同时,消除非系统性干扰因素。自动化清洗算法的参数设置需通过实验验证,平衡数据处理效率与信息保真度。

2.5 多元数据融合

多源异构数据的有效融合能够提升状态感知的全面性和准确性。特征级融合将不同传感器的观测值组合为统一特征向量,时空对齐确保数据在相同维度和参考系下处理。决策级融合则对各数据源的独立分析结果进行加权整合,如D-S证据理论或贝叶斯方法。深度学习框架中的多模态神经网络可自动学习不同数据源间的关联关系,实现端到端的融合分析。数据融合需要解决各源数据质量不均衡、采样频率不一致等问题,建立合理的置信度评估机制。融合结果应具有可解释性,便于交通管理人员理解系统判断依据。融合算法需要定期优化更新,以适应交通流特征和监测环境的变化。

3 基于大数据的智慧高速公路运行状态预测模型构建

3.1 机器学习算法应用

机器学习算法在智慧高速公路预测模型中承担关键角色。经典回归方法如随机森林、梯度提升树能够处理结构化交通数据,捕捉变量间非线性关系。集成学习策略通过组合多个基模型提升预测稳健性,适用于流量、速度等指标的短时预测。时间序列分析的ARIMA模型及其变体可有效刻画交通流的周期性特征,结合卡尔曼滤波实现动态更新。聚类算法用于识别相似交通模式,支持分时段、分路段的差异化建模。强化学习在动态路径诱导和信号控制优化中具有潜力,通过交互式学习适应路网变化。算法选择需考虑计算效率与预测精度的平衡,同时满足实时性要求。

3.2 深度学习架构设计

深度学习模型通过层级表示学习自动提取交通数据的时空特征。卷积神经网络处理视频监控数据,识别车辆密度、运动轨迹等视觉模式。循环神经网络及其长短期记忆变体适用于

序列预测,建模交通流的时间依赖性。图神经网络将路网拓扑作为先验知识,捕捉节点间的空间关联。注意力机制增强模型对关键时段和路段的聚焦能力。Transformer架构通过自注意力处理长序列依赖问题,在行程时间预测中表现突出。多任务学习框架可同步输出流量、速度、事件概率等多个目标。模型深度与宽度设计需权衡表征能力与过拟合风险,通常采用残差连接和正则化技术优化训练稳定性。

3.3 模型训练与优化

模型训练依赖高质量标注数据集,需涵盖不同天气、时段和交通状态场景。小批量梯度下降结合自适应优化算法加速收敛过程。损失函数设计需匹配预测任务特性,如Huber损失平衡离群点敏感性。正则化方法包括Dropout和权重衰减,防止复杂模型过拟合训练数据。超参数搜索通过网格或贝叶斯优化确定最佳网络结构、学习率等配置。早停策略根据验证集性能动态终止训练,避免无效迭代。分布式训练框架应对海量数据计算需求,提升参数更新效率。增量学习机制使模型能够持续吸收新数据,适应交通模式演变。训练过程需监控梯度传播状况,防止消失或爆炸问题。

3.4 预测指标与评估

预测性能评估需要多维指标反映不同应用需求。均方误差和平均绝对误差衡量整体预测偏差,适用于速度、流量等连续变量。分类任务采用精确率、召回率评估事件检测效果,F1分数综合二者表现。动态时间规整算法评估预测曲线与真实序列的形态相似度。空间相关性指标分析路网预测结果的地理一致性。实时性要求通过推理延迟和吞吐量等工程指标量化。评估需在独立测试集进行,避免数据泄露导致的性能高估。基准对比实验验证新模型相对传统方法的改进幅度。可视化分析辅助理解模型在不同场景下的预测行为差异。

3.5 不确定性分析处理

交通预测需量化模型输出的置信水平以支持风险决策。贝叶斯神经网络通过权重分布估计预测不确定性。集成方法利用多模型输出的离散度反映认知不确定性。分位数回归直接预测不同概率区间的结果范围。蒙特卡洛dropout在推理阶段随机失活神经元,生成概率化预测。极端事件预警需要识别预测分布的长尾风险。不确定性传播分析追踪输入误差对最终结果的影响链。校准技术确保预测概率与实际发生频率一致。动态置信阈值可根据应用场景调整,平衡误报与漏报代价。不确定性可视化帮助管理人员理解预测可靠性,制定弹性应对策略。

4 基于大数据的智慧高速公路运行状态感知与预测的应用

4.1 交通管控决策支持

智慧高速公路运行状态感知与预测为交通管控提供动态决策依据。实时感知数据结合预测模型输出,生成车道级管控

策略,包括可变限速、匝道控制和动态车道管理。系统自动识别交通流异常变化,推荐最优疏导方案,辅助管理人员进行干预时机和力度判断。预测结果用于评估不同管控措施的效果预期,支持方案比选。路网协同管控平台整合多路段状态信息,实现区域联动优化。决策支持模块需平衡响应速度与策略稳健性,确保管控措施与实际交通需求相匹配。

4.2 应急响应处置应用

感知预测系统提升高速公路突发事件处置效率。异常事件检测算法实时识别事故、抛锚等状况,自动触发应急响应流程。预测模型评估事件影响范围和发展趋势,为资源调度提供时间窗口。联动预案系统根据事件类型和严重程度,生成包括警示标志启动、救援路径规划等处置建议。视频复核与传感器数据交叉验证提高事件确认准确性。系统支持处置过程动态监控,根据交通恢复情况调整响应等级。应急响应需保证不同管理单元的信息同步和行动协同。

4.3 服务公众出行信息

实时交通状态信息通过多终端向出行者提供服务。预测结果转化为行程时间估计、拥堵预警等实用信息,通过可变情报板、导航软件等渠道发布。个性化推荐算法基于用户位置和目的地,提供最优路径和出发时间建议。信息服务需考虑不同用户群体的需求差异,提供详简得当的内容呈现。预测信息的更新频率和时效性直接影响用户信任度。系统集成天气、施工等多元信息,形成综合出行建议。用户反馈机制持续优化信息服务

务质量。

4.4 基础设施运维管理

感知数据支持高速公路设施智能化运维。结构健康监测系统分析路面平整度、桥梁振动等参数,识别潜在缺陷。预测模型评估设施性能衰减趋势,指导预防性养护计划制定。巡检机器人结合图像识别技术,自动检测护栏损坏、标线模糊等问题。养护作业基于交通流预测选择低影响时段,减少施工干扰。运维决策需综合设施状况与交通需求,优化资源分配效率。数字化台账实现设施全生命周期管理。

4.5 智慧化出行生态构建

感知预测技术促进车路协同应用发展。路侧单元实时推送交通状态信息至智能网联车辆,支持协同驾驶决策。预测结果用于优化充电桩、服务区等配套资源的动态配置。出行需求预测助力公共交通班次调整和共享运力调度。系统为自动驾驶车辆提供超视距路况信息,增强行驶安全性。技术应用需建立统一的数据交互标准和接口规范。智慧出行生态整合多方资源,提升整体运输系统效率。

5 结语

智慧高速公路的发展依赖于感知与预测技术的持续演进,未来研究应聚焦于多源数据的高效融合与轻量化部署,以提升系统的实时性与适应性。需优化预测模型的泛化能力,确保其在复杂环境下的可靠性,这些方向的突破将进一步推动交通管理的智能化进程。

参考文献:

- [1] 闫广富,王越超,伍晓锋.基于大数据的高速公路路网运行监测设备管控设计研究[J].交通科技与管理,2025,6(05):16-18.
- [2] 陶钟阳.绕城高速公路运行状态辨识与预测方法研究[D].南京理工大学,2021.
- [3] 杨阳.沪宁高速公路运行状态评价及通行能力提升策略[J].北方交通,2021,(06):60-63+67.
- [4] 杨阳.基于多源交通大数据的高速公路易堵节点甄别分析[J].黑龙江交通科技,2021,44(04):180-181+184.
- [5] 郭建国,朱建.大数据下高速公路运维体系提升研究[J].运输经理世界,2020,(07):32-33.
- [6] 叶姝.基于高速公路收费数据的路网运行状态评价研究[D].重庆交通大学,2020.
- [7] 韩子颖.基于大数据的节假日高速公路预测及运行分析研究[J].科技传播,2018,10(15):127-130.