

高速公路恶劣天气预警及交通管控体系探索—以京哈高速为例

李春杰¹ 孙广林² 高仕杰¹ 刘新建¹

1. 河北高速公路集团有限公司 河北石家庄 050000

2. 公安部道路交通安全研究中心 北京 100062

摘要: 为保障雨、雪、雾等恶劣天气条件下的高速公路安全通行, 实现高速公路路段级恶劣天气实时预警, 以京哈高速京津冀段为例分析当前交通气象监测面临的问题, 从高速公路沿线恶劣天气智慧感知、数据 AI 模型、智慧管控三面构建恶劣天气下智慧管控体系, 研究成果在京哈高速进行了应用, 应用结果表明恶劣天气下智慧管控体系预警准确率高于 92%, 因恶劣天气累计封路时长同比显著下降, 累计避免通行费损失 2364.24 万元。

关键词: 恶劣天气; 智慧感知; 实时预警; 交通管控

据统计, 我国有约 71% 的重大道路交通事故与恶劣气象有关^[1]。京哈高速京津冀段车流量大, 冰雪、大雾、暴雨等引发的交通事故频发, 河北高速集团联合北京、天津运营单位从恶劣天气智慧感知、AI 数据模型、智慧管控等方面构建了京哈高速京津冀段恶劣天气监测预警与管控体系, 取得了良好好的应用效果, 为高速公路恶劣天气管控体系建设提供新思路。

1. 面临的突出问题

1.1 车流量大

京哈高速是一条政治路、经济路、旅游路。自 1999 年建成通车以来, 交通量增长迅速, 据统计, 常态化日均断面折算交通量为 8.61 万辆, 旅游高峰期 (7 至 8 月份), 折算交通量为 9.91 万辆, 迁西支线至陡河互通段最高单日折算交通量高达 15.46 万辆, 常态化高负荷运行致使保畅压力巨大, 恶劣天气下极易造成重大交通事故。

1.2 沿线气象感知盲区多

受地理位置和地貌影响, 京哈高速津冀段沿线冰雪、大雾、团雾、强对流暴雨等恶劣天气频发, 京哈高速津冀段沿线约 30km 一套气象监测设备, 而且没有按时标准校准, 粒度粗且质量差的数据不能作为恶劣天气下管控的“发令枪”^[2]。

2. 京哈高速京津冀段恶劣天气下智慧管控体系建设

京哈高速京津冀段从沿线恶劣天气智慧感知、数据 AI 模型、智慧管控三面构建恶劣天气下智慧管控体系。

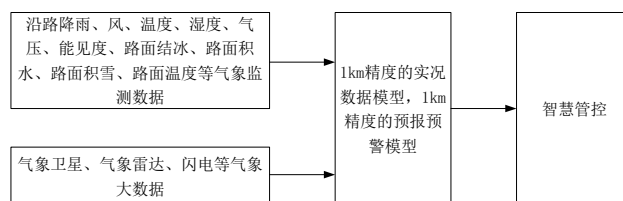


图1 恶劣天气下智慧管控体系

2.1 构建恶劣天气智慧感知体系

为确保数据精度, 京哈高速实验路段沿路安装了 70 套集成风速、风向、降雨、温度、湿度、气压、能见度、路面温度、路面结冰、路面积雪、路面积水等多要素智能感知设备, 智能感知设备精准地监测到沿路的团雾、结冰、局部暴雨、降雪、结冰等影响交通气象环境数据, 为预警提供了现场数据保障, 智能传感器具备适用于高速公路运行环境的边缘计算、远程标定等实用功能, 先进的边缘计算技术排除了各类干扰数据, 避免误报警, 创新的远程标定让沿路设备的标定工作极为简化节省大量运维成本^[3]。

2.2 构建逐桩号气象环境 AI 分析模型

感知体系智能感知实时的天气数据, 需要构建 AI 模型, 分析计算未来的预报预警数据, 作为管控的依据。

2.2.1 气象要素计算模型

该模型通过相距 3km 的两套监测设备的 11 要素 (降雨, 温度, 风速, 风向, 湿度, 气压, 能见度, 路面温度, 路面积雪, 路面积水, 路面结冰) 数据计算出中间没有安装监测设备的“计算点”位置的 11 要素数据, 将 3km “粒度” 通模型细化为 1km 的“粒度”。如下图所示:

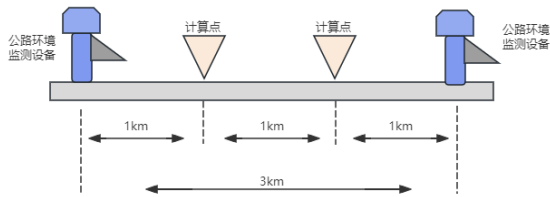


图 2 气象要素计算模型

使用线性插值的方法将首位两个 3km 设备点的气象要素的变化为比降插值到 2 个覆盖的 1km 点位，插值方法如下式：

$$p_{ij} = \frac{(p_{i+1} - p_i)}{n} \times j$$

其中 p_{ij} 是在 i 桩和 $i+1$ 桩之间距离 i 桩位置排名第 j 的插值点气象要素； n 为经插值点分割后 i 桩与 $i+1$ 桩之间的等距离段数。

2.2.2 气象要素预报模型

通过时序数据对气象 11 要素进行未来 30 分钟的变化趋势预报^[4]。预报数据结合设置的阈值可实现提前 30 分钟的高温预警、大雾预警、大风预警、积雪预警、结冰预警等影响交通安全的要素预警。本模型采用的经典的 LSTM 框架进行时序外推。

基本原理为通过传感器已采集的时序数据对未来 30 分钟的变化趋势进行外推，采用经典的时序模型 LSTM，全称为长短期记忆网络（Long Short-Term Memory），是一种特殊的循环神经网络（RNN）架构，循环神经网络模型（RNN）能够从上一个时次的历史数据中寻找信息，达到预测的目的，长短期记忆网络模型 LSTM 模型相比于 RNN 模型，能够通过忘记和选择记忆模块对输入数据进行筛选，传递更加重要的信息，因此具有可存储长期记忆、减少梯度弥散或梯度爆炸现象、权值共享、可塑性强的特点。

LSTM 网络数据输入为一个 x 和 2 个隐藏层 h 和 c ，进入门控的时候会通过一个全连接层将输入数据维度转换为记忆单元维度。在 LSTM 计算中，激活函数 sigmoid 负责提供非线性学习。LSTM 网络之所以可以防止梯度弥散和梯度爆炸是因为其结构由多个记忆细胞构成，通过遗忘门、输入门和输出门控制细胞的记忆能力。其中，LSTM 记忆单元输入包括 $t-1$ 时刻的隐藏层状态变量 h_{t-1} 、记忆单元状态变量 c_{t-1} 以及当前输入变量 x_t ，输出当前时刻隐藏层状态变量 c_t

与输出变量 h_t ，其三个门的运算主要通过以下步骤完成：

遗忘门：决定上一时刻状态信息的中需舍弃的部分

$$f_t = \sigma(W_f[h_{t-1}, x_t] + b_f)$$

输入门：决定该时刻状态输入信息的需要保留的部分

$$i_t = \sigma(W_i[h_{t-1}, x_t] + b_i)$$

$$\bar{c}_t = \tanh(W_c[h_{t-1}, x_t] + b_c)$$

输出门：决定该时刻状态信息中需要输出的部分

$$o_t = \sigma(W_o[h_{t-1}, x_t] + b_o)$$

$$c_t = f_t c_{t-1} + i_t \bar{c}_t$$

$$h_t = o_t \tanh(c_t)$$

其中 σ 为 sigmoid 激活函数， W_f 、 W_i 、 W_c 、 W_o 为训练后得到的矩阵权重， b_f 、 b_i 、 b_c 、 b_o 为训练后的偏移向量， $\tanh$ 为双曲正切激活函数。

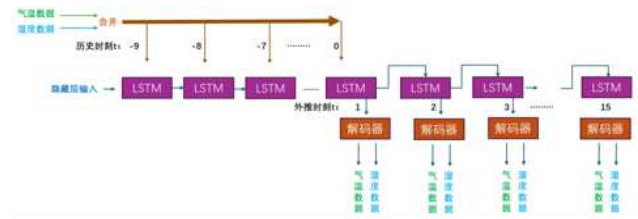


图 3 气象要素预报模型

2.3 构建智慧管控体系

2.3.1 智慧管控体系

为构建智慧管控体系，开展了五方面的探索和实践，一是探索研究道路交通安全管控规则，实施恶劣天气四级管控触发机制划分标准，并在实际运行中进一步优化完善各级控制参数；二是探索和研究道路交通安全管控流程，针对不同气象类型，实施不同道路交通安全管控级别，完善相应管控操作流程和反馈机制；三是开展京津冀高速公路恶劣天气交通一体化协同管控机制探索和研究，整合京津冀一路四方资源，编制了京津冀交通管控措施联动机制；四是开展了京津冀高速公路恶劣天气交通应急联动处置预案研究，构建了“1+2+N”恶劣天气交通管控一体化预案体系；五是开展了高速公路恶劣天气交通应急一体化处置方案研究，编制了高速公路恶劣天气交通事故、异常拥堵事件监测分类分级预警标准、区域联动处置流程和处置资源配置方案。

2.3.2 信息点对点发布

恶劣天气预警信息由京津冀高速公路运营单位上传到

中国气象局,再由中国气象局传输到公安部的“全国道路交通态势监测服务平台”,由该平台点对点推送给属地交警执行管控,形成了闭环。

3. 应用效果

京津冀运营单位对相关数据进行了统计分析,在 2023 年 9 月~2024 年 8 月统计周期内结冰预警准确率为 95.2%,降雪预警准确率 93%,大雾团雾预警准确率 92.6%,降雨预警准确率 92.8%。由于有精准的恶劣天气预报预警,管控处置及时,没有发生重大交通事故。封路时长同比下降 57.67%,封路时长减少 2317.88 小时;旅游高峰期间,因恶劣天气累计封路时长 25.08 小时,同比下降 92.68%;累计封路次数 10 次,同比下降 87.80%,累计引导 45 万辆大型货车行驶京哈高速,实现通行费增收 1.04 亿元。按照单站单向封闭通行费损失 1.02 万/小时进行计算,挽回通行费损失 2364.24 万元。

4. 存在的问题及思考

4.1 高速公路环境对监测数据的影响大

高速公路外场设备运行过程中受到干扰比较多,直接影响到数据的质量,从而影响数据分析和预警。主要有几方面:一是,降雨过程中的风吹落树叶掉入雨量监测桶内堵塞滤网,影响降雨数据监测,造成降雨量数据严重偏小,因此,必须从产品结构及产品标准解决该问题;二是,蜘蛛等昆虫对能见度等监测的影响,夜晚蜘蛛爬到能见度监测设备的镜

头前织网,影响能见度数据,需要进一步地研发能见度监测新技术加以解决;三是,汽车尾气携带灰尘粘在气象监测设备上影响了监测精度,需要进一步改进气象设备的结构加以解决。

4.2 如何让途中的司机及时获得管控信息

从沿路数据监测到属地交警管控处置已经形成了闭环,虽有沿线情报板提示,有交警管控,但是行驶途中的司机没有第一时间获得预警和管控信息,交通事故还可能发生,需要进一步扩大数据实时发布渠道,比如与导航 APP 共享数据等。

参考文献:

- [1] 齐晨,孙广林.易受恶劣天气影响主要通道交通安全管理对策研究[J].道路交通管理,2023,(11):22-25.
- [2] 房武林,刘伟宏,蒋融冰.不良天气环境下高速公路运营安全保障措施研究[J].汽车周刊,2024,(10):43-45.
- [3] 洪强,周跃琪,谢晓辉,等.网格化公路交通事件预警信息发布预案[J].中国交通信息化,2024,(04):97-101. DOI:10.13439/j.cnki.itsc.2024.04.014.
- [4] 武锦兴,张苏平,李江波,等.石家庄和秦皇岛大气能见度预报模型的建立及影响因子分析[J].中国海洋大学学报(自然科学版),2022,52(12):16-24. DOI:10.16441/j.cnki.hdxh.20210215.