

公路路面养护施工数据实时分析的方法

文 | 陈玉敏

公路路面养护施工面临数据采集效率低、分析精度差及决策滞后等挑战，传统人工检测模式已无法适应现代化养护要求，亟须打造智能化即时数据管理系统。通过融合大数据、人工智能及数字孪生等前沿技术，建立高科技驱动的分析方法，达成养护施工数据的实时感知、智能解析及科学决策，为公路养护的革新升级提供有力的技术保障。

智能化实时数据分析机理

智能化实时数据分析机理构建于多维感知融合与认知计算的理论基础之上，通过构建数据流转的时空对应关系，完成从原始信号到决策洞见的智能演进，该机制采用大数据分析技术对公路养护作业过程中的多源异构数据实施统一表征，构建包含路面状态、施工进度及环境条件的多层次认知体系。基于深度神经网络特性提取方式，可自主挖掘数据间的潜在联系，生成动态演化的知识网络，并借助数字孪生技术的虚实映射功能，系统能在虚拟空间实现实体世界与数字模型的即时同步，为养护决策提供全方位的分析维度，确立智能分析方法学的基石。机制体系还整合边缘计算与云计算的协同运算模式，通过分级数据处理方案优化算力分配，保障实时需求与计算精度的协调统一，而认知计算框架采用自适应学习机制，能够根据施工环境变化动态调整分析策略，实现从被动数据处理向主动智能感知的跃升转变。

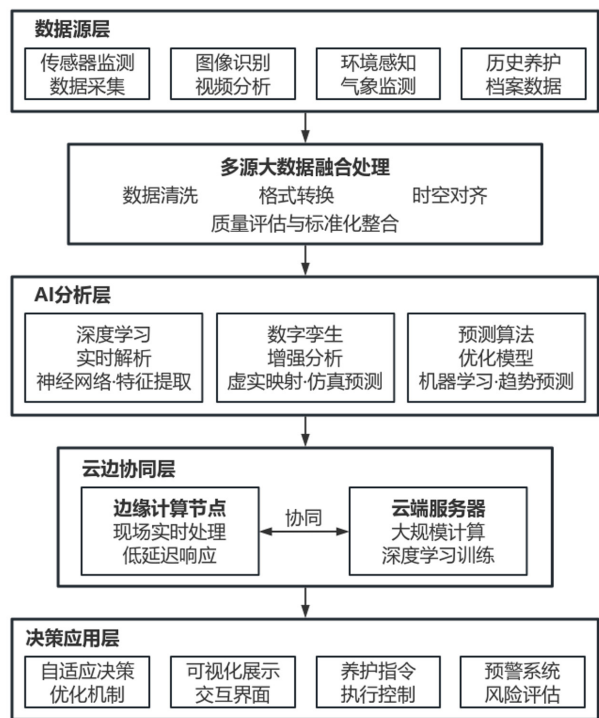
高科技驱动的分析方法构建

多源大数据融合分析方法

多源大数据融合分析技术依靠异构数据统一建模原理，构建整合传感器监测、图像识别及环境感知的多维数据采集架构，此技术借助分布式计算框架，对来自路面检测车、无人机航拍、卫星遥感，以及物联网传感器的海量数据进行预处理，通过数据清洗、格式转换及时空对齐等操作，实现异构数据的标准化融合。融合环节采用加权融合算法，其中融合结果 F 可表示为：

$$F = \sum (w_i \times D_i)$$

其中 w_i 代表第 i 个数据源的权重系数， D_i 表示经过标准化处理的第 i 个数据源，权重系数依据数据质量评估、时效性分析及可靠性验证进行动态调整，以此保障核心信息的有效利用，该技术能够有效消除数据冗余，提取深层关联特征，为后续智能分析提供高质量的融合数据集，显著提高养护施工决策的科学性与精确度。如图 1 所示，系统架构呈现了从多源数据采集到智能决策应用的完整技术路径，通过分层处理模式实现数据价值的最大化挖掘，同时利用自适应权



来源：山东成武县公路局

图 1 公路路面养护施工数据实时分析系统架构图

重调整机制保障数据融合的持续优化，融合算法还集成了语义理解模块，能够识别不同数据源的语义关联性，建立跨模态的特征映射关系，进一步提升数据融合的智能化水平。

深度学习实时解析方法

深度学习实时解析技术运用端到端的神经网络结构，朝着公路养护需求方向构建智能分析模型，这种方法把卷积网络与循环网络的优势相结合，运用多尺度特征提取技术，达成对路面损坏、施工品质及安全风险等关键要素的识别。在解析过程当中，注意力机制对时序数据开展动态加权，强化核心特征所起到的贡献度，模型训练迁移预训练网络的表征能力，并且融合行业专家经验开展针对性优化。实时解析的损失函数定义为：

$$L = \alpha L_{\text{detect}} + \beta L_{\text{classify}} + \gamma L_{\text{predict}}$$

其中 L_{detect} 表示检测损失, $L_{classify}$ 表示分类损失, $L_{predict}$ 表示预测损失, α 、 β 、 γ 为平衡系数, 该损失函数将检测精确度、分类正确率及预测置信度进行整合, 依靠反向传播算法迭代更新网络参数, 确保养护施工数据能够得到高效实时的分析, 为决策支撑提供及时且可靠的信息支持。该方法还引入强化学习模块, 通过智能体与环境的持续交互来优化分析策略, 增强模型对复杂施工场景的适应能力, 同时采用对抗训练手段提升模型的泛化性能和稳定性, 神经网络架构采用自注意力机制与图卷积网络相结合的创新设计, 能够捕捉施工数据中的长距离依赖关系和空间拓扑结构, 实现更加精准的特征表达与智能解析效果。

数字孪生增强分析方法

数字孪生增强分析方法通过构建物理养护场景的高保真数字副本, 实现虚实融合的智能分析体系, 该方法依靠三维建模技术对公路设施开展高精度数字化复刻, 借助物理引擎再现现实世界的动态特性, 进而生成为能够实时互动的虚拟空间。数字孪生体运用双向数据联动机制与物理实体保持动态同步, 实时采集传感器数据来更新虚拟场景状态, 同时把分析结论反馈到物理系统, 以指导实际作业, 而增强分析流程引入机器学习算法对历史资料进行深度剖析, 构建预测模型来研判未来发展趋势, 还支持多情景模拟验证养护策略的适用性。该方法还融合元宇宙技术的沉浸式交互能力, 让管理人员能在虚拟空间内进行决策推演, 并通过可视化分析界面清晰呈现数据动态及潜在风险, 有效提高养护管理的智能化程度与决策效能, 而分析过程利用区块链技术确保数据溯源与安全传递, 构建可信的数字化养护生态体系, 为跨部门协同决策提供透明可靠的信息共享基础。

新一代智能分析系统实现

云边协同实时分析平台

云边协同实时分析平台依靠分布式计算框架, 构建起能贯通边缘终端与云端服务的协同处理架构。边缘计算单元被部署在施工现场, 承担数据预处理、实时监测及紧急响应等低时延任务, 借助轻量级算法模型达成毫秒级反馈, 云端服务器负责海量数据存储、深度学习训练及复杂分析工作, 借助可伸缩计算资源满足高并发数据处理诉求, 平台运用动态负载均衡机制, 依据计算任务复杂度与时效性要求智能调度处理资源。任务分配权重 W 计算公式为:

$$W = \frac{(C \times T \times P)}{(L \times B)}$$

其中 C 表示计算复杂度, T 代表时间紧急程度, P 表示优先级系数, L 为网络延迟, B 为带宽容量, 该公式保障关键任务优先执行, 同时协调计算效率与网络传输开销, 平台

融合 5G 通信技术保障数据传输可靠性, 通过容器化部署实现服务的弹性扩展与故障恢复, 为养护施工提供稳固的实时分析支持。系统引入人工智能调度算法, 基于历史负载模式预测资源需求变动, 实现计算资源的预先配置优化, 确保在业务高峰期仍能维持稳定的服务质量与响应效能。

自适应决策优化机制

自适应决策优化机制利用强化学习理论来构建能够动态调整的智能决策体系, 通过持续不断学习掌握施工环境的演变特征, 以实现决策策略的自我完善, 该机制依托多智能体协同体系, 将养护任务拆解成若干子决策单元, 各智能体专注于特定领域的决策优化, 并依托信息互通与协调机制达成全局最优方案。决策流程纳入不确定性量化方法, 针对环境波动、数据失真及模型偏差实施概率分析, 进而增强决策稳定性, 机制同时结合人机协同模式, 运用可解释人工智能技术向管理人员阐明决策逻辑, 方便专家参与知识整合和方案调整。

该系统采用贝叶斯优化算法灵活调控决策参数, 依据历史成效评估与即时反馈数据持续优化决策品质, 该机制可灵活适配各类施工场景的变更需求, 推动管理模式从被动应对向主动预判转变, 以有效提升养护施工智能化管控水准与作业效能。机制还引入知识图谱技术构建专业经验的知识库, 借助语义推理提升决策的合理性, 运用联邦学习模式促进跨区域智能体的协同进步, 增强整体决策体系的学习效能与适应能力, 此外还融入了群体智能算法, 通过模拟自然界群体协作行为优化决策策略, 实现复杂约束条件下的多目标协同优化, 确保决策结果的全局最优性。

结束语

公路路面养护施工数据的实时分析途径依靠智能算法解析、先进技术构建方式及新一代系统落地, 构建完整的技术框架。多元数据整合分析手段能有效消除信息壁垒, 深度学习即时处理技术可优化数据流转效率, 数字孪生辅助分析能够达成虚实联动管控, 云端协同即时分析平台可确保数据处理的时效性, 自适应决策调节机制能强化系统智能化程度。该途径在实际工程应用中展现出显著成效, 并为公路养护领域数字化变革提供有力支撑, 随着元宇宙与人工智能等技术的持续发展, 实时数据分析方式将引领公路养护迈向更深度智能化阶段。

作者简介: 陈玉敏 山东成武县公路局

责任编辑: 金焯 投稿邮箱: zhouhl@staff.ccidnet.com