

人工智能算法在地铁施工安全风险动态分级管控中的应用

李建骥

中铁电气化局集团有限公司 北京 100141

【摘要】本文围绕人工智能算法在地铁施工安全风险动态分级管控领域展开探讨。对地铁施工安全风险动态分级管控理论做了讲解，并分析当下安全管理遭遇的复杂状况。机器学习和深度学习这类算法也在介绍范围内，对它们在地铁施工安全管理方面的应用情况、具备的优势，以及碰到的难题展开剖析。从风险识别、评估、管控三个阶段，对算法在实际应用中的具体操作展开阐述。人工智能算法能让地铁施工安全管理的效率和精度得以提升，也会面临数据质量欠佳、模型可解释性差等挑战，为地铁施工安全智能化管理提供了理论与实践层面的参考。

【关键词】地铁施工；安全风险；动态分级管控；人工智能算法

Application of artificial intelligence algorithm in dynamic classification and control of subway construction safety risk

Li Jianji

China Railway Electrification Bureau Group Co., LTD. Beijing 100141

【Abstract】This paper focuses on the discussion of artificial intelligence algorithms in the field of dynamic risk classification and control for subway construction safety. It explains the theory of dynamic risk classification and control for subway construction safety and analyzes the complex situations currently encountered in safety management. Algorithms such as machine learning and deep learning are also introduced, analyzing their application in subway construction safety management, their advantages, and the challenges they face. The paper elaborates on the specific operations of these algorithms in practical applications from three stages: risk identification, assessment, and control. Artificial intelligence algorithms can enhance the efficiency and accuracy of subway construction safety management but also face challenges such as poor data quality and low model interpretability, providing theoretical and practical references for intelligent management of subway construction safety.

【Key words】subway construction; safety risk; dynamic hierarchical control; artificial intelligence algorithm

引言

地铁建设对于城市发展起着关键作用，不过其施工环境极为复杂，诸如坍塌、透水之类的安全风险常常出现。以往传统的安全管理模式，很难符合地铁施工所具有的复杂要求。随着人工智能技术不断发展进步，像机器学习、深度学习等算法开始慢慢被运用到地铁施工安全管理的领域当中。本文主要是想要探寻人工智能算法在地铁施工安全风险动态分级管控里的具体应用，从而构建起一个全面且高效的管控体系，以此提高地铁施工安全管理的水准，降低事故的发生率，进一步推动地铁建设行业朝着智能化方向转型。

一、地铁施工安全风险动态分级管控理论基础

（一）地铁施工安全风险概述

地铁施工大多在城市中心地段进行，作业环境错综复杂，会遭遇形形色色的安全风险。地质条件不佳，加上支护结构设置不合理，往往会引发坍塌风险，作业人员可能瞬间就被掩埋。当施工挖到地下含水层，透水事故就可能发生，施工区域会被淹没，周边建筑物的地基也可能被冲垮^[1]。施工空间狭窄，一旦发生火灾，烟雾很难排出，人员很容易窒息。中铁建某轨道交通15号线施工时，要是隧道挖掘的地质风险评估不充分，支护措施又跟不上，随着挖掘工作的推进，围岩应力会失去平衡，进而极有可能引发坍塌。这会

严重威胁现场施工人员的生命安全,造成重大人员伤亡,耽误工期,带来巨大的经济损失,对周边环境也会造成严重破坏,比如地面塌陷、地下管线破裂等。

(二) 风险分级管控原理

风险分级管控,目的是借助科学流程,实现对潜在风险的有效管理。第一步,识别施工过程中存在的各类风险,收集施工工艺、地质条件、设备运行状况等多方面信息,梳理出可能引发事故的因素^[2]。风险识别之后,就可以通过合理的评估方法来给风险评级,像层次分析法,把风险因素按层次结构进行排列,通过两两对比确定各因素的相对重要性权重,从而算出风险等级。模糊综合评价法也较为常用,它通过模糊变换对多个风险因素进行综合评价,得出风险隶属等级。根据评估结果,将风险划分为不同等级,并针对不同等级制定对应的管控措施。风险等级高的,必须马上整改,还要加强监测;风险等级低的,安排定期检查就可以。

二、人工智能算法在地铁施工安全管理中的应用概述

(一) 人工智能算法简介

机器学习和深度学习算法,在地铁施工安全风险管控领域应用颇为普遍。机器学习算法依托数据对模型展开训练,实现结果预测以及决策。在监督学习过程中,借助标记数据训练模型,基于过往的事故数据,就能对特定施工场景下的安全风险等级做出预测;无监督学习则能从无标记数据中挖掘潜在模式,识别施工时异常的数据分布,排查安全隐患^[3]。深度学习属于机器学习的一个分支,借助深度神经网络自动提取复杂数据的特征。像卷积神经网络,常常用于分析施工现场的监控图像,以此识别人员、设备以及环境的安全状态;递归神经网络专门处理设备运行参数这类时间序列数据,能对设备故障和安全风险进行实时分析和预测。还有蚁群算法,它模拟蚂蚁觅食行为,依靠信息素浓度引导路径选择。由于具有自组织、正反馈和分布式计算的特性,蚁群算法在地铁施工资源分配、路线规划时,能够找到最优方案,不仅可以降低施工成本和安全风险,还能缩短工期。

(二) 算法在施工安全管理中的应用现状

北京地铁17号线施工时,借助“智管云”APP,融合大数据、云计算以及人工智能技术,构建起一套全方位且高效的施工安全管理体系^[4]。望京西站项目在实时监控方面下足功夫,安装了116个摄像头,施工区域像隧道开挖掌子面

等都在监控范围内。“智管云”APP运用图像识别算法,对采集到的影像进行实时分析,管理人员既能随时查看施工画面,APP又能精准识别人员和设备状态,一旦发现异常情况,会迅速发出警报,极大提升管理的时效性和精准度。在隐患排查阶段,“智管云”APP借助算法,持续对监控画面进行分析,识别施工中的异常行为,排查潜在风险。同时,深入挖掘施工数据,找出隐藏的安全隐患,改变了以往单纯依靠人工巡查的模式。至于数据分析,APP算法会根据多维度信息,自动整合生成安全管理趋势图表,并实时更新分析结果。这不仅大幅缩短考核统计时间,还能通过分析过往数据,预测风险发展趋势,为管理决策提供有力的数据支撑,助力施工安全管理向动态化、智能化、模式化迈进。

三、人工智能算法在地铁施工安全风险动态分级管控中的具体应用

(一) 风险识别阶段

1. 图像识别技术

在地铁施工现场,监控摄像头不分昼夜地运行着,产生了数量庞大的视频和图像数据。图像识别算法凭借卷积神经网络(CNN)所具备的强大特征提取能力,对这些数据进行深入剖析。就像深圳地铁所研发的6种AI算法,在人员行为识别方面,该算法依据大量标注过的人员行为样本开展训练工作,进而构建起行为识别模型。当视频流输入到这个模型中后,模型会先对图像里的人体轮廓以及姿态进行识别,一旦检测到人体特征点的分布出现异常情况,再结合对安全帽和反光衣穿戴特征的识别,就能够迅速判断出是否存在未佩戴安全帽、未穿着反光衣等违规行为。在设备异常状态检测算法会对设备的关键部位以及运行动作建立相应的模型。以盾构机为例,算法通过对刀盘的转速、推进油缸的行程等关键部位的形态和参数变化进行识别,以此来判断设备是否发生故障或者出现异常运行的状况。另外,通过对施工现场环境的图像进行分析,能够识别出诸如积水、物料堆放杂乱等环境安全隐患。一旦识别出存在风险,系统就会自动发出警报,并且把相关信息传送到安全管理平台上,提醒管理人员及时进行处理。

2. 自然语言处理技术

自然语言处理算法利用词向量模型和文本分类技术,对这些文本数据进行挖掘。先是用分词工具把文本拆分成词语

或者短语,接着通过词向量模型将每个词语映射到低维向量空间,这样就能捕捉到词语之间的语义关系。算法以风险关键词为指引,对文本片段做语义分析,判断文本是不是在描述安全风险事件。要是算法在施工日志中检测到“地面沉降”“支护变形”之类的关键词,就会对包含这些关键词的句子深入分析,提取出风险发生的时间、地点、严重程度等关键信息。再借助文本分类算法,把文本数据划分到不同的风险类别中,像坍塌风险、透水风险等等,为后续的风险评估和管控提供全面又准确的信息支撑,大大拓展了风险识别的广度,加深了风险识别的深度。

(二) 风险评估阶段

监督学习会收集盾构法施工时的推进速度、出土量,还有施工区域地质土层的性质、地下水位等多方面的历史风险数据,并进行整合。然后选择逻辑回归、决策树等算法,把这些数据分成训练集和测试集。就拿决策树算法来说,通过不断地对施工工艺、地质条件等特征变量进行分裂操作,构建出树形结构,以此来学习风险等级标签和特征变量之间的关系。模型训练结束后,利用测试集计算出准确率、召回率等指标,检验模型的性能,进而实现对新的施工数据的风险等级进行量化评估。

由于地铁施工安全风险数据较为复杂,各个因素之间呈现出非线性关系,多层感知机(MLP)、长短时记忆网络(LSTM)等模型,可以自动学习复杂的特征表示。以LSTM模型为例,把隧道挖掘过程中围岩变形、设备运行参数等按照时间顺序整理成序列数据输入到模型中,它的记忆单元能够捕捉到数据之间的长期依赖关系。在训练过程中,通过随机梯度下降算法来调整模型的参数,减小预测的风险等级和实际风险等级之间的误差,从而提高风险评估的准确性,为后续的管控决策提供坚实的基础。

(三) 风险管控阶段

参考文献

- [1]王子文.地铁BAS的智能化控制技术与优化应用研究[J].数字通信世界, 2025, (01): 133-135.
- [2]王波, 刘璐, 吕凯.地铁沿线卫星遥感智能分析预警系统的设计与应用研究[J].中国设备工程, 2024, (19): 31-33.
- [3]戴锐.大数据分析技术在地铁运营安全风险管控中的应用[J].运输经理世界, 2024, (19): 132-134.
- [4]李慧.城市地铁应急疏散模型与算法研究[D].兰州交通大学, 2024.DOI: 10.27205/d.cnki.gltcc.2024.000267.

该系统依据风险评估模型,实时接收施工现场传感器和监测设备传来的数据。要是风险评估模型判定施工风险等级超过了预先设定的阈值,就会依照既定的预警规则,以短信、APP推送、现场声光警报等方式,向管理人员发出预警信号。嘉兴市应急管理局运用AI大模型主动预警风险隐患的做法,给地铁施工预警系统的搭建提供了借鉴。在地铁施工时,这类系统能够实时监测盾构机刀盘扭矩、推进速度等运行参数,一旦参数出现异常波动,就会快速触发预警,使得管理人员可以及时采取相应措施,降低事故发生的风险。

对于不同类型和等级的风险,需要搭配不同的管控策略。算法通过建立模拟模型,把地质条件、施工进度等风险场景参数,以及调整施工工艺、增添防护设备等管控措施作为输入内容,利用蒙特卡洛模拟、强化学习等算法,模拟在不同管控措施组合下风险的变化情况。比如在隧道坍塌风险方面,算法模拟加强支护、放慢施工进度等措施组合的效果和成本,经过多轮分析筛选出最优方案,增强了管控的针对性和效果,实现了安全资源的合理分配。

结语

从理论梳理,再到实际案例剖析,人工智能算法在地铁施工安全风险动态分级管控中的运用,彰显出算法于提升地铁施工安全管理效率与精准度方面的突出成果。智能预警体系的构建以及管控举措的优化抉择,切实降低施工安全风险。但不可忽视,算法落地过程中,数据质量参差不齐、模型可解释性欠佳以及应用成本高昂等难题依旧存在。往后,应当进一步改进算法模型,改善数据质量,削减应用成本,强化算法可解释性研究,促使人工智能算法在地铁施工安全管理领域实现更为广泛、深入的推广,为地铁建设事业的安全稳健前行筑牢根基。