

人工智能在吊塔管理中的应用综述

沈婕^{1,2} 王幼松¹ 邹东²

(1. 华南理工大学 土木与交通学院, 广州 510640; 2. 广州地铁集团有限公司, 广州 510330)

【摘要】塔吊自身构造较复杂、作业环境恶劣等特种机械设备高风险属性,一旦发生事故,会带来巨大的损失,因此对其全过程进行安全管理和监测预警具有重大意义。本文通过对塔吊管理中四个管理部分——塔吊布置方案管理、人员管理、设备维保管理和作业空间管理进行综述。对人工智能技术在该领域的应用进行梳理和总结,列举了目前管理现状和不足,并对智能辅助、决策支持等方面进行论述,并对其未来的发展与实际需要进行了综合分析,以期为人工智能技术在塔吊管理领域中再进一步发展提供参照依据。

【关键词】建筑信息模型; 塔吊; 人工智能; 算法; 智慧工地

【中图分类号】TU61; TU17 **【文献标识码】**A

【版权声明】本文被《土木工程建筑信息技术》、中国知网重要会议论文全文数据库(CPCD)收录上网,未经授权严禁登载。

引言

随着建筑业的不断发展,作为重要施工机械的塔式起重机因其占地面积小、起吊幅度大、安装方便等诸多优点,在施工现场得到了广泛应用^[1]。基于2007~2016年间我国发生的152起在役塔吊安全事故,按人-机-环境-管理四个维度对塔吊事故的成因进行分析,发现安全管理缺失是事故高发的主要原因,其中安全管理中最为突出的是施工现场安全管理问题^[2-3]。塔吊安全系统有9个主要维度,包括塔吊设备质量和工作可靠性、塔吊的安全管理与维保、塔吊安全流程与安全规划、工人的安全践行、塔吊的工作环境、塔吊的现场工作面安排、管理人员安全践行、附属安全配备和安全政策规程^[4]。

21世纪以来,由于人工智能算法的改进、计算能力的提升,人工智能发展迅速,呈现出深度学习、跨界融合、人机协同、自主操控等特征^[5]。随着人工智能技术的不断发展,工程管理领域也在逐步拓展人工智能技术的应用场景。人工智能主要的应用领域包括预测分析、图像识别、自然语言处理和专家系统等^[6-7]。

塔吊作为重要的一类垂直运输机械,具有起升

重量大、作业面积广等优点,对提高施工效率、减轻劳动强度、降低建设成本、实现工程施工的机械化起着至关重要的作用。因其自身构造较复杂、作业环境恶劣等特种机械设备高风险属性,一旦发生事故,会带来巨大的损失,因此对其全过程进行安全管理和监测预警具有重大意义。以人工智能(Artificial Intelligence, AI)技术为基础,为塔吊全过程的安全管理提供了新思路,为其安全管理及维保提供了科学的理论依据和方法,具有重要的理论价值。同时,满足现场数字化、精细化、标准化管理需求,有着较强的实际意义^[8-9]。

1 基于 AI 技术的塔吊管理

1.1 基于 AI 技术的塔吊布置方案管理

塔吊是建筑工程中需求量较大的主要施工设备,在工程项目前期需要规划塔吊布置。在施工准备阶段对塔吊方案进行审核是一个迭代的过程,也是一个需要人工干预的过程提高其有效性和效率的方法。塔吊布置图规划是确定塔吊种类、数量和位置的过程,对建设项目的整体生产率和成本效益有重要影响。

Yuanshen Ji 等^[10]提出,对塔吊设计方案进行建

模,并对模型基于规则的检查的 4D 模拟,用以识别潜在的作业空间和施工进度之间的冲突。Mohamed Marzouk 等^[11]提出基于 BIM 和遗传算法为塔吊选型提供决策支持,利用 4D 模拟塔吊作业,检测作业空间的冲突,为选择塔吊类型、优化数量和位置提供依据。游谊等^[12]提出基于遗传算法 PID 整定的起重机控制策略,具有简单易读、易于调试的优点。

Tam, CM 等^[13]在公共住房项目的混凝土框架施工阶段,利用场地布局遗传算法模型给出了塔吊与供应位置之间最优关系。Huang, C 等^[14]采用了二次非线性性质的指派问题(QAP)来模拟材料的输送过程过程,利用混合整数线性规划方法对某高层建筑工地塔机及材料供应位置进行优化。Wang, Jun 等^[15]将建筑信息模型(BIM)和 Firefly 算法(FA)相结合,自动生成最优的塔吊布置图。Yu - Cheng Chang 等^[16]提出一种自动有效规划安装路径的方法,提出的方法由两个步骤组成:第一步是将吊车架设现场转换成包含吊车承载能力和环境障碍物的构形空间;第二步是使用概率道路图(PRM)方法在配置空间中寻找无碰撞路径,用于验证安装塔吊的位置和数量。Li - Chuan Lien 等^[17]采用群体智能中融合了蜜蜂(蜜蜂算法,BA)和鸟类(粒子群优化,PSO)的粒子蜜蜂算法(PBA)解决工程实际塔式起重机的布置问题。随着建筑物的不断变高变大,吊装方案的安全审查变得越来越重要建设项目管理。吊装方案的成本和安全方面是矛盾的相互关系。徐洁等^[18]引入混合粒子群算法(Hybrid Particle Swarm Optimization, HPSO),对建立的基于提高塔吊利用率的工期问题模型进行优化求解,为提高塔吊利用率提供理论依据。周婷婷^[19]提出采用 SLP 方法运用层次分析法确定权重,得出若干初始方案,再跟进修正因素对比分析,得出最佳塔吊布置方案,再基于蚁群算法对平面布置优化,以成本最小化作为目标。谢涛^[20]以总成本为目标函数建立平面布置方案,利用遗传算法解决模型运算,然后引入模糊思想,用三角模糊数表示方案评价指标和权重,对多个方案进行择优。Ahmed Younes 等^[21]针对以往研究的局限性,提出了一种基于多智能体的仿真(ABS)模型,用来模拟塔式起重机的工作过程以及塔式起重机与塔式起重机之间的相互作用。通过比较不同的塔吊布局方案,在满足进度或成本需求的条件下,选择最佳塔吊布置方案。Kim, Sun-Kuk 等^[22]提出建立了塔吊基础加固成本

基于线性函数的最优方程,使目标函数最小化,即成本最小化。

1.2 基于 AI 技术的塔吊作业相关联人员管理

根据统计,高处坠物事故、物体打击和起重伤害是建筑业安全事故中发生概率最大、造成死亡人数最多的三种事故类型。这三种事故类型都与塔吊安全有着直接或者间接的关系,控制塔吊安全事故对减少人员伤亡起着重要的作用。

(1)作业人员管理:侯宇^[23]综述了 BIM 与 WSN 技术后,发现两项技术在记录人员运动轨迹、监控塔吊运动情况和安全事故预警方面有着很强的应用潜力,通过试验发现 UWB 技术在确定人员运动轨迹方面的准确性要比一般人员定位技术(如:RFID、Zigbee、WIFI 等)要高,应用于塔吊的运动产生的危险区域对于人员造成的威胁,可以及时发出警报,形成塔吊安全事故预警机制。

(2)操作人员管理:建筑工地环境十分复杂,常常是多台塔吊同时施工,塔吊司机工作时精神高度集中,连续工作时间长,很容易疲劳过度,甚至发生事故。吕军等^[24]基于人脸识别的实名制管理将与塔吊有关联的驾驶员、工地安全员、租赁公司人员、维保人员纳入监管系统,排除了非法司机和非法操作塔吊的现象,达到在线监管塔吊的目的。

1.3 基于 AI 技术的塔吊维保管理

建筑施工现场塔吊的日常安全巡查工作存在工作强度大、爬高困难、安全隐患点人员难以到达等困难,人工巡查方法无法满足现场安全管理的需求。柯宗乔等^[25]提出运用无人机技术进行航拍,人机协同巡查对施工现场塔吊的安全现状进行评估。董攀浩^[26]综合测试技术、信号处理技术、以太网技术,实现应变数据采集和应力谱计算,为疲劳监测系统提供数据。极大地提高了塔吊安全巡查的效率,实现了实时动态监管,很好地解决了工地塔吊巡查工作的实际问题。尚敬强等^[27]利用遗传算法随机搜索性强,易收敛到全局最优解的优点对其进行改进,通过误差平方和的倒数建立遗传算法与 BP 神经网络的联系,有效地进行预测、识别塔式起重机的状态,对塔吊进行故障诊断。

1.4 基于 AI 技术的塔吊作业管理

(1)国内研究情况

Li, Yanming 等^[28]开发了一种基于数据驱动的塔式起重机远程监控报警系统,集成了现场数

据和三维仿真,采集塔式起重机的部件的数据,通过参数化进行建模,利用事件触发和变差计算(ETVC)方法改进了仿真活动过程。郁志明^[29]开发了一种集电子技术、无线通信技术、自动控制、数据库管理等对塔吊使用过程和行为进行监督,能实时监控工况、作业防碰撞、违规操作的声光报警并自动控制等。李金兰^[30]设计一种由风速传感器、变幅传感器、提升高度传感器、回转角传感器、倾角传感器、拉力或重量传感器等数字式传感器实时采集塔吊工作状态信息的系统,实现多路数据的高速并行采集,并由继电器输出报警和错误信息。孙凡晴^[31]设计了一种由感知层、网络层、应用层组成的物联网的塔吊安全监测系统,对采集的数据进行灰色关联分析理论分析。蔡政^[32]也是通过数据采集,从而辅助操作人员的工作。宾泽民^[33]、张彬彬^[34]通过将 WSN 技术采集到的施工现场塔吊危险源实时信息与构建的数据库进行比对分析,判断并显示人员和塔吊的运行状态,实现了塔吊的安全管理。王建农等^[35]提出了一种基于传感空间三维数据定位技术的塔吊防撞系统设计方法,通过在塔吊间隔性安装角度与方位传感器实时采集位置数据,数据被传输到系统上位机中的数据模块,上位机中核心处理器使用三维定位的方法对危险距离计算,从而辅助碰撞管理。龚结龙等^[36]设计了极坐标自动确定坐标的算法和三维群塔多点位防撞算法,采用最新的 LoRa 传输技术,成本塔和相关塔之间的自组网和数据交互,构建群塔防撞多点位模型,通过水平和高度相关性得出防撞关系。

(2)在解决塔吊施工效率问题方面

Leung, Arthur W T 等^[37]利用人工神经网络和多元回归分析的方法,建立了一个定量模型来预测住宅工程的塔式起重机的吊装次数。Zavichi, Amir 等^[38]提出了采用整数规划方法,对塔式起重机运行服务效率进行优化,修正了塔式起重机 TSP 公式,结果显示预计节省 25%~45% 的塔式起重机运行时间。Al - Hussein, Mohamed 等^[39]利用 SPS 和三维可视化仿真的方法,在 3D Studio MAX 环境中构建了一个集成系统对工作任务的优先等级进行管理,三维视图有效地将仿真结果传达给管理者,从而优化作业顺序,辅助决策。Monghasemi, Shahryar 等^[40]采用了一种基于博弈论和优化技术的方法对需求塔吊作业的等待时间进行优化,提出了一种改进的基于幂指数法的和声搜索方法,用于搜索排

序,使优先级与平均值的偏差最小,从而进一步优化塔吊作业顺序。Chijoo Lee 等^[41]对塔吊的吊钩的旋转控制进行了分析,利用定位传感器和激光测点测量旋转角度的精度,旋转可控钩块的角度和停止时间,采用机械化系统控制吊钩旋转,从而降低手动控制带来的风险,优化了起重吊装的效率和减少了人力成本。张鸽等^[42]提出了将贪心算法引入到基本遗传算法中的混合遗传算法,进行建筑材料分配数据的分析,提高塔吊装载分配合理化。

(3)在解决吊装精度问题方面

Liang, Xiong 等^[43]研究开发了一种自动化施工测量与四维(4D)建模无缝集成的新方法,以提高当前建筑构件定位和安装的效率和质量。建筑模型考虑塔吊吊装能力、施工方法、作业顺序等工程约束,生成 4D 模型。测量数据处理使用了一种特殊的算法来推导转换矩阵,转换矩阵在三维空间中对固体物体的运动和旋转进行编码。因此,建筑构件的三维模型被更新,以反映其在安装过程中的实际运动。4D 可视化结果可以提供直观感知和准确理解建筑构件最终设计状态,能有效地对建筑构件进行定位。王旭等^[44]提出了一种调用 CamShift 算法实现对吊钩的实时跟踪的无线视频监控系统,驾驶员通过便携式接收终端访问无线 AP 获得实时跟踪图像,实时跟踪满足驾驶员的监控需求。

(4)在解决塔吊空间碰撞问题方面

施工现场通常是将物料运到现场再进行吊装、安装,正确规划吊装路径能有效提高施工效率和安全,检查起重吊装路径的可行性的过程非常繁琐而且容易出错。在塔吊提升物料至高空的过程中,会出现工作空间的安全问题和重复提升的问题。同时,施工现场的大型设备碰撞通常伴随着严重的损失,包括人员死亡、金钱损失和工期延误。传统的计算机辅助技术可以提供帮助,但局限性大。塔吊用于将负载物从初始点移动到所需点,在运动过程中熟练的操作员需要控制负载物不必要的摆动。Li, Heng 等^[45]利用虚拟样机技术对建设模式、人机料、进度计划和场地布局图进行分析,优化了作业空间分配、施工便道上的物资运输和布置塔吊之间的关系。Hwang, Seokyon^[46]提出了一种通过帮助防止设备碰撞的方法,提供了塔吊的实时空间数据、可视化模块和辅助决策模块,可以提高设备操作员在现场对塔吊态势感知能力;利用了 UWB(超宽带)技术对室内物体进行定位,由多个传感器采

用 TDOA 和 AOA 定位算法对标签位置进行分析。Lee, Ghang 等^[47]开发了一种利用各种传感器和建筑信息模型(BIM)的塔式起重机盲举导航系统,实时提供建筑物和周围环境的三维信息以及被吊物的位置信息。Duong, SC 等^[48]提出了一种利用压缩粒子优化算子和二进制编码遗传算法的混合进化算法,可以有效控制载物不必要的摆动。Lee, Ghang 等^[49]提出了一个带有激光装置、编码器和加速度计的塔吊机器人系统,利用该系统提高吊装效率和加强安全管理。Lei, Zhen 等^[50]提出了一种起重机二进制路径检查方法,使用配置空间的方法来简化工作空间,对半径和工作空间与提升模块拾取区域进行路径检查。

2 探论与展望

2.1 塔吊管理的人工智能相关技术讨论

进入数字经济时代,人工智能作为新一轮产业变革的核心驱动力,推动着工程管理从经验化向智能化跃进。通过文献研究和应用调研,人工智能技术应用于塔吊布置、人员管理、设备维保管理、作业空间碰撞管理等方面已经有很多案例,塔吊管理逐步从依据经验进行管理转入智能辅助决策、流程自动化和作业流程优化升级,通过人工智能技术在项目管理三大目标与塔吊管理之间寻求最佳关系。

(1)在塔吊布置管理方面,主要是利用了 BIM 建模技术对作业空间的可视化表达,快速发现作业空间之间的冲突,通过引入时间轴对作业空间进行 4D 模拟,应用基于多智能体模拟技术对资源配置进行优化。同时,通过遗传算法、群体智能算法等对塔吊类型、数量、位置进行优化。但是,大部分研究停留在检查塔吊方案可行性和单一塔吊作业的研究,实际工程中大部分的吊塔管理都是群塔管理,缺乏多种群塔方案之间的比选研究。而且,目前的研究是基于人为决策,工地上塔吊的分布和调度缺乏数据及科学依据,存在预留量大或调度不合理等问题。

(2)在人员管理方面,大部分研究是利用定位技术记录作业人员的运动轨迹和塔吊作业轨迹,目前缺乏了以下内容:1)人员运动轨迹未进行数据挖掘,未建立作业人员数据库;2)在作业空间中未建立电子围栏进行事前控制,人员的轨迹没有进行侵入预警功能;3)在作业人员管理方面,大部分的定

位设备精度低、位置偏移量大和通信中断等状况,难以实现即时跟踪人员和大型设备的位置;4)对操作人员的疲劳和不规范操作导致的安全风险缺乏相关研究,尤其是操作人员的疲劳状态监控、不规范操作预警和操作人员资格管理。

(3)在设备维保管理方面,通过文献查询到的案例较少,大部分是通过信息化手段采集数据,人工判断后再进行设备维保,难以解决传统人工判断的准确率和效率较低的问题。对于设备维保方面,可以借鉴其他行业类似情况,利用无人机采集设备状态,通过图像识别技术和自然语言处理实时判断设备状态和自动触发维保需求。

(4)对塔吊施工效率研究方面,大部分研究利用可视化仿真的方法,控制单因素的进行模拟,从而得出吊装工作最佳顺序。缺乏了多因素影响下的方案模拟,结论不能完全切合实际工程的动态性和复杂性。

(5)吊装精度控制的研究主要集中于开发可视化界面,解决操作人员盲点问题,提供给操作人员进行定位判断。吊装构件的定位过程还是依靠传统人为判断来完成,没有解决人为判断失误影响吊装精度的问题。

(6)业内对塔吊管理主要是集中在解决塔吊空间碰撞问题方面,大量文献讨论了 BIM 建模技术对群塔方案进行建模,通过人工智能算法优化吊装路径,通过定位技术,实时采集群塔之间大臂与小车位位置数据,避免群塔之间碰撞。

2.2 未来研究方向

(1)在操作人员管理方面缺少疲劳监测、不规范作业的预警功能,可以利用计算机视觉技术,让计算机主动地分析和处理获取到的信息,进行人眼检测和跟踪,对作业人员进行人脸识别、心理测试和疲劳检测^[51]。

(2)针对目前塔吊安全施工防护设备定位精度低、位置偏移量大和通信中断等状况。开发周界防范系统,融合物联网信息传输和虚拟电子围栏,基于人员定位数据采集技术,在防区内由发射端和接收端组成,红外探测线或者激光探测线在发射端发出,当有人企图跨越受保护的区域或者探测线遮挡时,接收端将发出提醒^[52]。对作业人员进入危险区域进行预警和提示,对设备越界情况进行即时停机或者预警^[52-54]。

(3)在设备巡检管理方面,可以借鉴其他工程领域中的无人机巡检技术和射频定位技术^[55],按照预定的巡检频率,对生产过程中运行的设备进行动态检查,以便于实时掌握设备运行动态,采集设备状态信息,反馈设备故障,确保设备安全可靠运行。解决了传统人力巡检的成本高、安全风险高、效率低、判断失误等问题。李红涛等^[56]在变电站项目使用了“人+机”双巡检的模式,提高了巡检质量,从人防、技防上杜绝了设备隐患的发生,能及时、有效地解决故障、隐患、异常。杨蓬等^[57]提出了基于射频识别(RFID)技术的智能机器人,应用于变电站室内巡检领域,解决了传统智能机器人成本高、安装导轨不便、调试烦琐、巡视不灵活等问题。宋燕伶等^[58]提出了一种基于RFID的配网智能巡检技术方案,能够提高配网运维工作的质量和效率,提高企业的经济效益。冉嘉等^[59]提出了一种融合了射频识别技术(RFID)、GPS技术以及无线通信技术的综合系统,并将移动智能终端引入到对设备的巡检中。

(3)利用BIM建模技术,把每块构件的坐标进行输入,通过RFID定位技术和摄像头的图像识别技术感知构件空间位置,对构件主动定位与信息识别,提高吊装效率和精度。

(4)通过传感器采集到的人员作业数据、机械作业数据,应该以结构化形式进行记录,并对数据进行数据挖掘,为进度管理赋能,从而优化类似工程管理。同时,利用自然语言处理技术提高对作业规范的自动化检查,图像识别技术对不同管理目标进行识别,自动触发吊装作业管理动作。

3 结论

近年来,图像识别、语言识别、智能机器人、机器学习、自然语言处理等人工智能技术,VR、AR、MR领域等软硬件产品进入人们的视线。人工智能技术在塔吊管理的现阶段已经取得了一定成绩,但仍有待进一步深入研究。塔吊管理是一项复杂系统工程,从方案规划到施工组织设计再到吊装作业等等,需要考虑到工程内部的成本、进度、安全,也要考虑工程外部的资源供应顺序、人员沟通、设备维保时间等。希望可以在日后的工程管理的过程中,不断创新原有的管理机制,将人力从复杂、繁琐、重复的工作中解脱,将人工智能的作用充分发挥出来,危险情况自动反映和自动控制,并对以上

进行数据记录,为项目管理和工程信息化管理提供数据支撑,促使工程管理效率及水平得到大幅度提升,创造更多经济效益、社会效益及生态效益。

参考文献

- [1] 卢献国. 证据理论在塔式起重机安全评价中的应用[J]. 山西建筑. 2012, 38(21): 264-265.
- [2] 陈宝春, 陈建国, 黄素萍. 2007—2016年我国在役塔吊安全事故统计分析[J]. 浙江建筑. 2018, 35(2): 32-36.
- [3] 林志恒. 塔吊坍塌事故谈加强建筑施工安全监督管理的建议[J]. 低碳世界. 2018(8): 191-192.
- [4] 赵挺生, 周炜, 徐凯, 等. 建筑工程塔吊安全影响因素分析[J]. 工业安全与环保. 2019, 45(2): 17-22.
- [5] 国务院: 新一代人工智能发展规划[J]. 重庆与世界. 2018(2): 5-17.
- [6] 瞿祎成. 工程管理领域人工智能技术的应用[J]. 中小企业管理与科技(下旬刊). 2019(2): 172-173.
- [7] 杨俊龙, 柳作栋. 人工智能技术发展及应用综述[J]. 计算机产品与流通. 2018(3): 132-133.
- [8] 陈昱锲. 基于物联网的施工升降机安全风险评价与监测方法研究[D]. 华中科技大学, 2018.
- [9] 张宇辉. 基于时变理论的附着式塔吊服役全周期本质安全研究[D]. 华中科技大学, 2018.
- [10] Ji Y, Leite F. Automated tower crane planning: leveraging 4-dimensional BIM and rule-based checking[J]. Automation in Construction. 2018, 93: 78-90.
- [11] Marzouk M, Abubakr A. Decision support for tower crane selection with building information models and genetic algorithms[J]. Automation in Construction. 2016, 61: 1-15.
- [12] 游谊, 胡伟, 张自强, 等. 基于遗传算法的塔式起重机定位和防摆研究[J]. 机械制造与自动化. 2013, 42(6): 186-188.
- [13] Tam C M, Tong T K L, Chan W K W. Genetic Algorithm for Optimizing Supply Locations around Tower Crane[J]. Journal of Construction Engineering and Management. 2001, 127(4): 315-321.
- [14] Huang C, Wong C K, Tam C M. Optimization of tower crane and material supply locations in a high-rise building site by mixed-integer linear programming[J]. Automation in Construction. 2011, 20(5): 571-580.
- [15] Wang J, Zhang X, Shou W, et al. A BIM-based approach for automated tower crane layout planning[J]. AUTOMATION in CONSTRUCTION. 2015, 59: 168-178.

- [16] Chang Y, Hung W, Kang S. A fast path planning method for single and dual crane erections[J]. *Automation in Construction*. 2012, 22; 468-480.
- [17] Lien L, Cheng M. Particle bee algorithm for tower crane layout with material quantity supply and demand optimization[J]. *Automation in Construction*. 2014, 45; 25-32.
- [18] 徐洁, 张弘, 侯亚涛. 混合粒子群算法在塔吊合理分配上的应用[J]. *计算机与数字工程*. 2018, 46(10): 1957-1961.
- [19] 周婷婷. 基于 SLP 和蚁群算法的建筑施工现场平面布置[D]. 东北林业大学, 2018.
- [20] 谢涛. 基于遗传算法及模糊决策的施工场地布置研究[D]. 华中科技大学, 2018.
- [21] Younes A, Marzouk M. Tower cranes layout planning using agent-based simulation considering activity conflicts[J]. *Automation in Construction*. 2018, 93; 348-360.
- [22] Kim S, Kim J, Lee D, et al. Automatic optimal design algorithm for the foundation of tower cranes[J]. *Automation in Construction*. 2011, 20(1): 56-65.
- [23] 侯宇. 基于 BIM 与 WSN 技术的塔吊安全事故预警的理论与方法研究[D]. 中国矿业大学, 2017.
- [24] 吕军, 吴海建, 齐国强, 等. 塔吊在线安全监控系统的研究[J]. *物联网技术*. 2018, 8(8): 68-71.
- [25] 柯宗乔, 陈荣. 无人机在施工现场塔吊安全巡查中的应用[J]. *建材与装饰*. 2018(42): 166-167.
- [26] 董攀浩. 基于应变测量的塔吊疲劳监测系统研究与设计[D]. 天津工业大学, 2018.
- [27] 尚敬强, 原思聪, 卫东东, 等. 基于遗传算法的 BP 神经网络在塔式起重机故障诊断中的应用[J]. *起重运输机械*. 2012(4): 61-64.
- [28] Li Y, Liu C. Integrating field data and 3D simulation for tower crane activity monitoring and alarming[J]. *Automation in Construction*. 2012, 27; 111-119.
- [29] 郁志明. 塔吊安全监控系统的设计与研究[D]. 东北大学, 2017.
- [30] 李金兰. 嵌入式塔吊安全监测与通信系统设计[D]. 大连理工大学, 2017.
- [31] 孙凡晴. 基于物联网的塔吊安全监测系统设计与研究[D]. 青岛理工大学, 2018.
- [32] 蔡政. 自升式塔式起重智能监测研究[D]. 内蒙古农业大学, 2016.
- [33] 宾泽民. 塔机安全监控仪的研究与设计[D]. 中南林业科技大学, 2016.
- [34] 张彬彬. 基于 BIM 与 WSN 技术的塔吊安全管理实施监测与预警系统研究[J]. *项目管理技术*. 2018, 16(6): 46-51.
- [35] 王建农, 王伟. 基于空间三维定位技术的塔吊防撞监控系统的设计与实现[J]. *计算机测量与控制*. 2013, 21(12): 3272-3274.
- [36] 龚结龙, 吴海建. 基于 LoRa 自组网的群塔防碰撞物联系统设计[J]. *智能物联技术*. 2018, 1(1): 27-30.
- [37] Leung A W T, Tam C M, Liu D K. Comparative study of artificial neural networks and multiple regression analysis for predicting hoisting times of tower cranes[J]. *Building and Environment*. 2001, 36(4): 457-467.
- [38] Zavichi A, Madani K, Xanthopoulos P, et al. Enhanced crane operations in construction using service request optimization[J]. *Automation in Construction*. 2014, 47; 69-77.
- [39] Al-Hussein M, Athar Niaz M, Yu H, et al. Integrating 3D visualization and simulation for tower crane operations on construction sites[J]. *Automation in Construction*. 2006, 15(5): 554-562.
- [40] Monghasemi S, Nikoo M R, Adamowski J. Sequential ordering of crane service requests considering the pending times of the requests: An approach based on game theory and optimization techniques[J]. *Automation in Construction*. 2016, 70; 62-76.
- [41] Lee C, Lee G, Park S, et al. Analysis of field applicability of the rotation-controllable tower-crane hook block[J]. *Automation in Construction*. 2012, 21; 81-88.
- [42] 张鸽, 张弘, 李宗亮. 混合遗传算法在塔吊装载问题中的应用[J]. *计算机与数字工程*. 2018, 46(10): 1966-1969.
- [43] Liang X, Lu M, Zhang J. On-site visualization of building component erection enabled by integration of four-dimensional modeling and automated surveying[J]. *Automation in Construction*. 2011, 20(3): 236-246.
- [44] 王旭, 张自嘉, 王慧敏. 基于 CamShift 跟踪算法的塔吊监控系统设计[J]. *电子器件*. 2013, 36(6): 859-863.
- [45] Li H, Chan N, Huang T, et al. Optimizing construction planning schedules by virtual prototyping enabled resource analysis[J]. *Automation in Construction*. 2009, 18(7): 912-918.
- [46] Hwang S. Ultra-wide band technology experiments for real-time prevention of tower crane collisions[J]. *Automation in Construction*. 2012, 22; 545-553.
- [47] Lee G, Cho J, Ham S, et al. A BIM-and sensor-based tower crane navigation system for blind lifts[J]. *Automation in Construction*. 2012, 26; 1-10.
- [48] Duong S C, Uezato E, Kinjo H, et al. A hybrid evolutionary algorithm for recurrent neural network control of a three-dimensional tower crane[J]. *Automation in Construction*. 2012, 23; 55-63.

- [49] Lee G, Kim H, Lee C, et al. A laser-technology –based lifting-path tracking system for a robotic tower crane[J]. Automation in Construction. 2009, 18(7): 865-874.
- [50] Lei Z, Taghaddos H, Hermann U, et al. A methodology for mobile crane lift path checking in heavy industrial projects[J]. Automation in Construction. 2013, 31: 41-53.
- [51] 王丽. 基于视频序列的人眼检测与跟踪的研究及应用[D]. 太原理工大学, 2016.
- [52] 李阳. 周界入侵防范技术研究浅析[J]. 数字通信世界. 2019(4): 117-118.
- [53] 欧阳籽勃, 陈云峰, 宋志丹. 基于高精度北斗组合定位电子围栏技术研究及应用[J]. 卫星应用. 2019(1): 32-33.
- [54] 仪玉杰, 黄智刚, 苏雨. 一种 UWB 与 PDR 融合的行人室内定位方法[J]. 导航定位学报. 2019, 7(3): 38-43.
- [55] 黄立薇, 吴洲. 无线射频识别(RFID)技术应用的实际意义与策略[J]. 电子技术与软件工程. 2017(21): 83.
- [56] 李红涛. 矿区 110kV 变电站智能巡检机器人的应用[J]. 自动化应用. 2019(8): 136-137.
- [57] 杨蓬. 射频技术在变电站巡检机器人中的应用[J]. 自动化应用. 2019(7): 89-91.
- [58] 宋燕伶, 宋昱甫. 基于 RFID 的配网智能巡检技术[J]. 电子技术与软件工程. 2019(4): 82.
- [59] 冉嘉, 黄伟原, 邓兵. 基于物联网的航站楼巡检系统[J]. 自动化应用. 2018(3): 3-6.

Overview on Application of Artificial Intelligence in Tower Crane Management

Shen Jie^{1, 2}, Wang Yousong¹, Zou Dong²

(1. School of Civil Engineering and Transportation, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China;

2. Guangzhou Metro Group Co., Ltd., Guangzhou 510330, China)

Abstract: The tower crane, as a kind of special mechanical equipment, owns high risk properties such as complex structure and bad working environment. Once an accident occurs, it will bring huge losses. Therefore, it is of great significance to carry out safety management and monitoring and early warning for the whole process of the tower crane. In this paper, the four management parts of tower crane management, namely, tower crane layout scheme management, personnel management, equipment maintenance management and operation space management, are summarized. By summarizing the application of AI technology in this field, this paper enumerates the current situation and shortcomings of management, discusses intelligent assistance, decision support and other aspects, and makes a comprehensive analysis of its future development and actual needs, which provides reference for the further development of AI technology in the field of tower crane management.

Key Words: BIM; Tower Crane; Artificial Intelligence; Algorithm; Smart Project Site