

基于 BIM 技术与定位技术的地铁施工人员安全预警

于用庆¹ 邹树琪¹ 张兴军²

(1. 厦门轨道交通集团有限公司, 361010, 厦门;

2. 上海城建信息科技有限公司, 200120, 上海 // 第一作者, 高级工程师)

摘要 针对施工现场人员不安全行为, 构建了基于 BIM (建筑信息模型) 技术和定位技术的地铁施工事故预警系统, 重点分析了该系统中的采集层、数据输入层、数据处理层、模型应用层等 4 大层级结构。该系统以 BIM 作为底层孪生数据, 通过定位技术采集的实时定位数据, 在施工人员实时定位、危险区域自动预警识别与分析的基础上, 结合集成化管理平台, 从而实现了基于 BIM 技术和定位技术的施工人员安全行为智能化管控。

关键词 地铁; 安全预警; BIM 技术; 定位技术; 不安全行为

中图分类号 U231.3; TU714

DOI: 10.16037/j.1007-869x.2021.06.028

Safety Early Warning of Metro Construction Personnel Based on BIM and Positioning Technology

YU Yongqing, ZOU Shuqi, ZHANG Xingjun

Abstract Targeting the unsafe behavior of construction site personnel, safety early warning system of metro construction accidents is established based on BIM Technology and positioning technology. The four-level structure of the system is analyzed, mainly including: acquisition layer, input layer, processing layer and application layer. The system takes BIM as the underlying twin data, using positioning technology to collect real-time positioning data, on the basis of real-time personnel positioning, automatic warning identification and analysis of dangerous areas, an integrated management platform is developed, so as to achieve intelligent management and control of personnel safety behavior based on BIM and positioning technology integration.

Key words metro; safety warning; BIM technology; positioning technology; unsafe behavior

First-author's address Xiamen Rail Transit Group Co., Ltd., 361010, Xiamen, China

1 地铁施工人员不安全行为分类

地铁施工事故与施工现场存在的地下空间有

限、施工作业人员的不安全行为和复杂的施工环境密切相关。在地铁施工过程中所发生的事故, 88% 以上均是由于现场施工作业人员的不安全行为引起^[1]。通过查阅相关文献和行业标准规范^[2], 地铁施工人员不安全行为主要包括违章作业、安全防护用品使用不正确、靠近危险区域等 3 大类。

1) 违章作业。违章作业是指一线作业人员未遵循相关规定要求的设备操作程序, 在有或无意识的情景下未遵循符合规定要求的设备操作章程而进行作业行为。违章操作不安全行为主要包括: 作业人员不正确操作作业、使用安全系数低的机械设备、不遵循规定要求流程操作机械设备、忽略安全提示、作业时注意力不集中、出现不符合要求的操作动作。

2) 安全防护用品使用不正确。安全防护用品使用不正确是指一线作业人员未准确穿戴安全防护设备, 未正确使用个人安全防护用品。安全用品使用不当主要包括: 不重视安全用品的佩戴、穿戴不安全的装束、使用不安全的防护装置。

3) 接近危险区域。接近危险因素是指由于施工现场比较混杂, 危险源众多, 作业人员工作时, 在无意识或者因工作需要而不得不靠近危险源而进入危险区域。接近危险区域主要包括: 私自进入不安全区域、攀坐禁止的不安全范围、在不安全的地方施工作业。

国内外众多专家学者结合 BIM (建筑信息模型) 数据孪生和定位技术在优化施工现场人员安全行为管控上进行了一定深度的研究。文献[3]利用 BIM 技术、AR (增强现实) 技术、定位技术构建了 BIM 三维可视化人员安全管控框架系统, 很大程度上实现了对施工现场作业人员所处安全场景的有效识别; 文献[4]通过集成 BIM 技术和 RFID (射频识别) 技术创建了建筑工程施工现场

人员安全监管系统,并利用 C# 语言,自主开发了基于 BIM 技术与 RFID 技术集成的建筑工程施工人员安全管控系统,并建立了事故应急预警模型;文献[5]利用 BIM、AR 等虚拟现实技术,结合智能携带装备,针对地铁工程施工过程中作业人员的安全行为进行分析研究,建立了 BIM 技术的信息化安全管理体系;文献[6]分析了集成 ZigBee(紫蜂协议)和 BIM 技术的施工人员安全管控预警系统,提出了利用 ZigBee 技术实现现场施工人员的定位,分析施工中的不安全因素,以人、材、机为切入点,结合施工现场可能发生的环境场所和施工部位,构建施工安全预警体系;文献[7]融合 Cloud-BIM、UWB(超宽带)和 ZigBee 定位等技术方法,在人员实时定位、危险源和危险区域识别与分析的基础上,完成信息协同、实时定位、危险预警和路径规划的系统架构,有效降低了施工现场不安全现象发生的频率;文献[8]研究了 GPS(全球定位系统)技术在施工领域的应用现状,提出了 GPS 目前主要集中在变形监测、放样、勘测测绘等工作中。

虽然较多的专家学者对 BIM、AR、定位等技术在工程施工现场的人员安全管理进行了一定的分析研究,但在解决地铁施工现场人员不安全行为定位技术的运用上仍存在较大的不足。

2 定位技术的选择及其与 BIM 的集成机理

2.1 定位技术的选择

目前,较为成熟的定位技术主要包括:无线射频技术、GPS 技术、RFID 技术、WSN(无线传感器网络)技术和 UWB 技术,且不同的行业和领域对其有着不同的定位需求。例如,在航海航空等领域主要利用卫星来对目标进行定位,应用较多的则是 GPS 室外定位技术。各定位技术比较见表 1。

基于地铁施工现场人员不安全行为管控的实际需要,确定采用 GPS 和 UWB 两种定位技术结合的方式。GPS 技术实现对地面施工作业区域的作业人员的定位,UWB 技术则实现对地下有限空间下作业人员的定位。人员携带的定位标签集成 GPS 和 UWB 定位模块,定位方式根据定位对象所处位置自动切换,从而实现施工现场作业人员的实时定位。

表 1 各定位技术特点比较

定位技术	成本	优点	缺点
非射频定位技术	较高	精度较高	需要目标和探测器线性可视;针对移动物体的定位,需要大量探测器;配备要求复杂
GPS 技术	较低	精度一般;技术成熟;任意时间、地点天气情况下均可	首次定位需要较长时间;室内工作受阻挡影响大
RFID 技术	一般	精度较低;硬件要求不高;可操作性强	传输距离不足;穿透能力不强
WSN 技术	较低	传感器节点不需要有线连接	需要大量传感器节点
UWB 技术	低廉	精度较高;保密性好;公共场合覆盖密度大;受阻挡影响小	用户设备需要有本地网络介入

2.2 定位技术与 BIM 技术的集成机理

定位技术与 BIM 技术的集成依据工作流分为:模型建立、实时定位、计算、输出。

1) 模型建立。地铁工程三维模型主要包括场地、地下结构、施工机械、临时设施等。利用 Autodesk Revit 软件进行建模,同时利用集成平台,识别和共享.rvt 格式的模型文件。

2) 实时定位。GPS 和 UWB 定位子系统获取和解析 GPS 数据和 UWB 定位数据,并将定位对象的坐标位置数据传输至集成平台。坐标位置数据通过与 BIM 进行整合,为计算过程的分析提供数据基础。

3) 计算。依据设计的安全性计算规则,将施工现场划分为不同预警条件的危险区域,同时对定位对象所处环境的安全性进行实时计算和判断。

4) 输出。将上一步计算分析得到的安全评估结果发送至携带有集成化定位标签的定位对象,同时发送安全识别数据,当计算得出的是不安全对象,则将依据预先设计的报警模式发送预报警提示。

3 施工人员不安全行为管控信息分析

要实现对施工现场作业人员不安全行为的实时监控和预警,应满足 3 大类数据需求:作业人员实时位置数据、作业人员属性及装备数据、作业人员危险动作数据。

3.1 作业人员实时位置数据

基于 GPS、UWB 定位技术对地铁工程施工现

场作业人员和复杂机械设备的位置信息进行收集,并在 BIM 中经过设定的运算处理,实时进行位置安全性识别判断。

1) 地铁工程施工现场作业人员进出场及行走路径判断。基于地铁工程施工现场作业人员的位置数据,利用计算模块对其进行分析,以此获得作业人员实时的位置坐标,取得作业人员进出工地的时间数据,以此得出所有作业人员的考勤数据。利用作业人员任意时间内动态、实时的位置坐标数据,虚拟出某时间段内作业人员的运动轨迹,从而判断识别作业人员在施工现场的工作路径等。

2) 工人不安全位置判定及预警。基于作业人员的实时位置坐标数据,可实时评估作业人员的位置是否在安全区域内,并做出实时预报警提示。

3.2 作业人员属性及装备数据

作业人员的属性数据是指现场作业人员所属工种及工作职责权限等数据信息。作业人员的装备数据则是指作业人员在作业过程中,所穿戴的安全防护装备和施工工具等数据。通过作业人员属性和装备数据,可实时了解现场作业人员的属性信息,识别判断该作业人员安全防护装备穿戴是否完整,并判断作业人员在使用作业工具时是否满足规定要求。该类信息可写入集成化定位标签中,故而在作业人员的安全防护设备和工具上也可写入并安装携带该类信息的标签。

通过搜集施工作业人员的上述数据信息,并在计算模块里对其安全性、合理性和规范性进行实时

判断识别,以此实现以下功能:

1) 安全装备佩戴识别。利用现场安装的 UWB 定位基站以及 GPS 模块,通过自动、实时、动态采集作业人员携带的集成化标签,可识别判断现场作业人员的属性,从而输出该作业人员的施工权限,并将其属性数据进行对比,判断工人是否按要求穿戴安全防护装备。

2) 机械操作权限识别。机械设备可写入其操作属性数据。当作业人员操作该机械设备时,UWB 定位基站将自动识别和判断机械设备属性和人员属性数据等信息。通过该功能不仅能实时判断机械设备情况,同时亦能识别和判断操作人员是否具备机械设备的操作权限。

3.3 作业人员危险动作数据

作业人员的行为动作数据信息是指作业人员在施工现场活动时,所发生的动作和行为的数据信息。该数据信息包括可能产生事故的危险行为,作业人员在作业和操作等工作时不遵守或不完全遵守规定的操作流程和规章制度等。目前尚未有较完善的技术方式可以实时监管施工作业人员的危险动作和行为。

4 基于 BIM 技术和定位技术的地铁施工事故预警系统

基于 BIM 技术和定位技术的地铁施工事故预警系统(以下简称“地铁施工事故预警系统”)框架如图 1 所示。

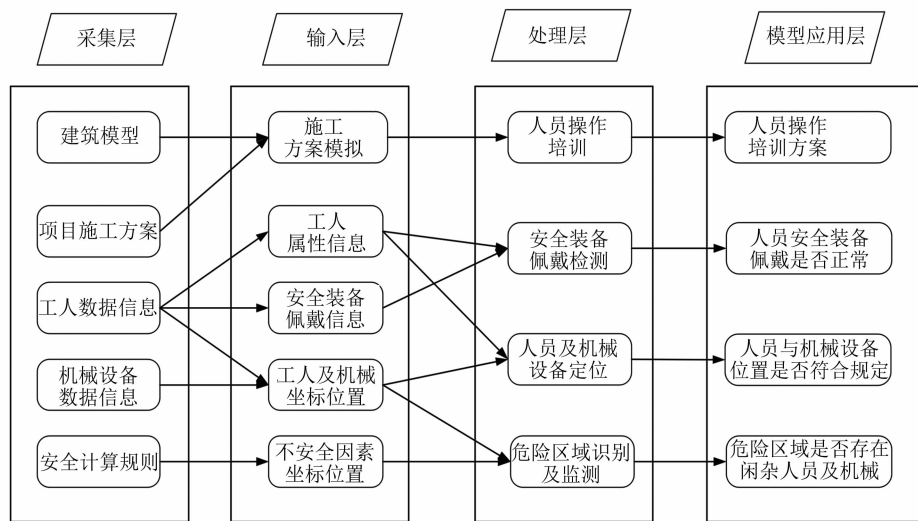
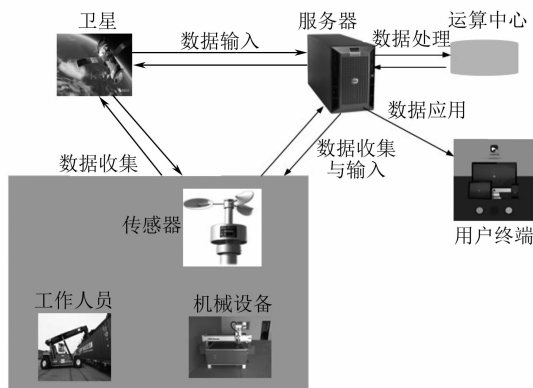
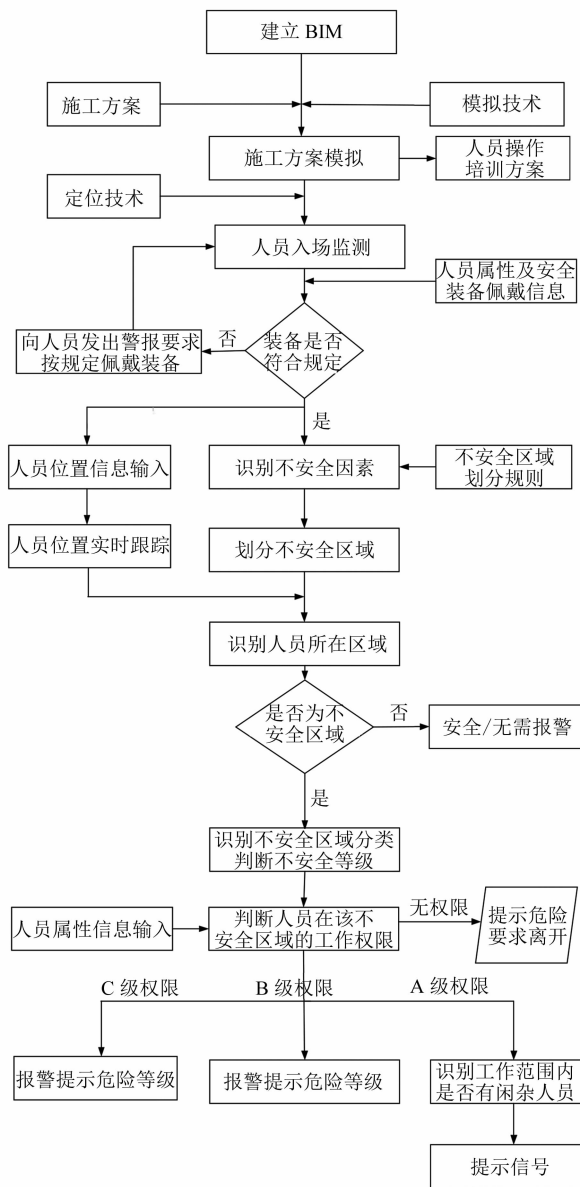


图 1 地铁施工事故预警系统框架

模型应用层产生的数据通过现场基站等组建的网络进行传输,现场作业人员及安全管理人员利用随身携带的集成化标签接受反馈信号,通常反馈信号会以视觉或听觉以及震感的方式实现。具体工作模式如图 2 所示。



综上所述,地铁施工事故预警系统可对不同性质的作业人员及其所处的不安全区域实现诸多功能,如作业人员坐标位置的实时监测展示、作业人员安全防护装备的佩戴监测、重要施工机械设备操作权限的监测等。在此基础上,根据工作人员的位置,该系统可以控制不安全区域中出现非本区域的工作人员,以及可将该区域中可能发生的危险事故实时提示给区域内的工作人员,从而有效地避免各种安全事故的发生。地铁施工事故预警系统的工作流程,如图3所示。



国家标准的 PE 管及管件,管道连接应采用电熔;管件不得采用 90°弯头和正三通,宜采用 45°弯头和 45°斜三通,并使用 45°弯头制作水平向上方的鹅颈弯,斜三通的安装方向与水流方向一致;在所有三通对接处、鹅颈弯处、转角拐弯处等位置必须加装固定管卡以防止真空管振动破裂。

真空排水管道与真空贮罐采用法兰连接,不得渗漏,真空管道和真空罐连接前应安装检修阀。每个提升器必须安装 1 根支管,在支管的前端必须安装检修球阀,检修球阀的出口端必须安装活接便于检修和维护。

6 结语

1) 真空罐的有效容积不宜过小,真空排污系统应适当增加真空泵站的建筑面积,以便为运营和检修提供空间;

2) 真空泵的选型和污水提升泵的选型密切相关,在满足污水排放的前提下污水提升泵选型不宜过大,避免能源浪费;

3) 污水收集装置应进行升级改造,在污水收集装置中设置细格栅和清掏口^[10],避免管路堵塞和便于清掏,在有条件的情况下应集中设置;

4) 真空隔膜阀应设置备用系统以便及时更换;

5) 真空管道安装应规范施工。

本文的研究结果可为真空排污系统的升级改

造、后期设计和设备厂家提供依据和支撑。同时建议运营部门加大运营维护,定期对真空机组巡检,以及对卫生洁具及排水点设置格栅网以防止正空排污系统堵塞。

参考文献

- [1] 齐薇. 西安北站真空卸污设施设计及应用探讨[J]. 铁道标准设计,2014(4): 93.
- [2] 宋嵘. 真空排污系统在地铁车站中的运行分析[J]. 机电工程技术,2011(6): 118.
- [3] 耿广晋. 浅谈地铁排污系统[J]. 科技资讯,2015(11): 119.
- [4] 邹红. 客运专线铁路旅客列车地面卸污系统设计研究[J]. 铁道标准设计,2008(9): 112.
- [5] 《动力管道设计手册》编写组. 动力管道设计手册[M]. 北京: 机械工业出版社,2006.
- [6] 达道安. 真空设计手册[M]. 北京: 国防工业出版社,1996.
- [7] 张继杰,黄焱歆,俞德池. 上海火车站固定式真空卸污工程技术特点[J]. 铁道劳动安全卫生与环保,2007(5): 246.
- [8] 郭霖,吴国华,齐鸣春. 北京南站动车组卸污设计[J]. 铁道标准设计,2011(7): 105.
- [9] 邱慧,王研. 铁路站场真空式地面卸污系统介绍[J]. 铁道劳动安全卫生与环保,2005(1): 30.
- [10] 邹平. 浅谈半真空排污系统在地铁中的应用及安装要点[J]. 基层建设,2019(19): 102.
- [11] 赵青松,王艳伍. 真空排污系统在地铁中的应用[J]. 城市轨道交通研究,2011(5): 102.

(收稿日期:2020-07-18)

(上接第 132 页)

5 结语

本文通过集成 BIM 技术、GPS 技术和 UWB 定位技术,为地铁工程施工人员不安全行为管控提供了一个新的、强有力的技术监管手段。构建了地铁施工事故预警系统,并提出了该系统的 4 大基本功能,同时对各模块层的工作机制进行了详细分析。研究成果可为地铁工程现场施工人员不安全行为预警,以及后续相关系统的开发提供参考。

参考文献

- [1] 宋红霞. 人的不安全行为的分析和控制[J]. 建筑安全,2011(2): 39.
- [2] 黄伟. 浅谈施工安全管理过程中人的不安全行为与物的不安全状态[J]. 企业导报,2012(21): 63.

- [3] CHAN-SIK P, HYEYEON-JIN K. A framework for construction safety management and visualization system[J]. Automation in Construction,2012(33): 95.
- [4] 江帆. 基于 BIM 和 RFID 技术的建设项目安全管理研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学,2014.
- [5] 李钰,吕建国. 基于 BIM 和 VR/AR 技术的地铁施工信息化安全管理体系[J]. 工程管理学报,2017(4): 111.
- [6] 邓超. ZigBee 与 BIM 技术融合的施工安全预警系统研究[D]. 武汉: 武汉科技大学,2020.
- [7] 李英攀,史明亮,刘名强,等. 基于 Cloud-BIM 和 UWB 的施工现场智能安全系统研究[J]. 中国安全生产科学技术,2018(9): 151.
- [8] 姚刚,张希黔. GPS 技术在土木工程施工领域的应用现状与展望[J]. 施工技术,2012(2): 48.
- [9] 张勇. 地铁施工中人员不安全行为的安全管理研究[J]. 工程建设与设计,2020(19): 221.

(收稿日期:2021-01-01)