

# 施工现场人员动态信息的数字孪生应用的探索与设想

甄强 李强 周强 何梦璇 邱明月

中建一局集团第五建筑有限公司 北京 100024

**摘要:**通过对传统身份识别技术和定位技术的特点进行分析,探索一种依托 BIM 和 WebGl 等技术,通过麦克风阵列等声源定位系统对施工现场人员的行走声波进行采集,通过计算机算法从声音信号中提取出可以描述声学的参数和向量,通过特征提取,实现对人员的定位和身份识别。在人员动态管理层面,建立施工现场的 BIM 模型,与采集到的施工现场人员身份和位置信息建立虚拟映射,实现数字孪生,达到可视化表达,同步展示施工人员在现场的分布情况,并将施工人员的行走声波大数据传输至平台终端,在施工过程中及时掌握人员安全信息,了解作业面情况,确定现场施工进度与工人数量是否匹配,以达到生产管理需求,做到人员和进度的管控与纠偏,为施工管理决策提供支撑。

**关键词:**数字孪生、室内定位、声波、身份识别

Exploration and idea of digital twin application of personnel dynamic information in construction site

Zhen Qiang, Li Qiang, Zhou Qiang, He Mengxuan, Qiu Mingyue

(China Construction First Group The Fifth Construction Co.,Ltd, Beijing 100024,China)

**Abstract:** Through the analysis of the characteristics of traditional identification technology and positioning technology, explore a kind of sound source positioning system such as BIM and WebGl, collect the walking sound waves of construction site personnel through the sound source positioning system such as microphone array, extract the parameters and vectors that can describe acoustics from the sound signal through computer algorithms, and realize the positioning and identification of personnel through feature extraction. At the level of dynamic management of personnel, establish a BIM model of the construction site, establish a virtual mapping with the identity and location information of the collected construction site personnel, realize the digital twin, achieve visual expression, synchronously display the distribution of construction personnel on the site, and transmit the walking sound wave of the construction personnel to the platform terminal, grasp the safety information of personnel in a timely manner during the construction process, understand the working surface, and determine whether the on-site construction progress matches the number of workers to meet the production management needs. Achieve the control and correction of personnel and progress, and provide support for construction management decisions.

**Keywords:** Digital twin; Indoor positioning; Sound waves; identification

## 1 引言

数字孪生是指在一个系统或设备的基础上,创造一个数字版的“克隆体”,它是对于实体对象的动态仿真,该技术由对实体对象的数据采集、电子模型以及关联数据和模型的系统组成<sup>[1]</sup>。数字孪生技术在工程建设领域应用相对广泛,例如盾构机姿态控制系统,以实体设备为主,对于施工人员的应用较少,而施工中施工人员的分布是影响施工决策的重要依据之一。在人员的信息采集尤其定位信息的采集中,传统的解决方案一般通过智能设备或可穿戴设备实现,具有较高的成本和局限性,本文探索一种基于声波的室内定位技术作为施工人员动态数字孪生信息采集方案,对应用场景及实现技术开展科学合理的设想。

## 2. 施工人员动态信息数字孪生场景的设想

施工生产活动的管理者在决策时,一直希望可以了解施工人员在施工现场的分布,从而分析工作面与劳动力资源的匹配程度,并进行动态调整,高效的使用资源,另一方面也期望评估施工人员的安全生产行为,消除人员的安全隐患。在当前技术下,我们可以通过 WebGl 技术将施工现场三维模型、施工人员模型呈现在网页等媒介上,更改施工人员模型的三维坐标信息,其与施工现场模型的相对位置会发生变化(为实现较好的观察体验,施工现场模型可以采用半透明的处理方式),而当我们实时的采集实际场景中施工人员与施工现场的相对位置信息并以此影响三维模型场景的相对位置信息时,就实现了对施工人员动态分布的数字孪生。要实现实际场景中施工人员与施工现场相对位置信息的采集,则必须要解决两个问题,一是施工人员的身份识别,二是施工人员的室内定位。

## 3. 传统身份识别技术的缺憾

当前社会的身份识别一般采用基于生物信息的身份识别和基于智能设备或可穿戴设备的身份识别。

无论是智能设备还是可穿戴设备均意味着额外的硬件成本和能耗,有鉴于此其同样不适合施工人员动态身份识别。

## 4. 当前室内定位技术的缺憾

过去三十年,以 GPS 为代表的全球卫星导航系统在位置服务中

发挥了关键作用,然而由于非视线通讯问题, GPS 无法在室内条件下提供可靠的位置数据,当前室内定位系统一般可分为四类,以计算机视觉技术为基础的室内定位,以无线通讯技术为基础的室内定位、以 LED 可见光技术为基础的室内定位、以地磁匹配为基础的室内定位。

在施工现场环境中,上述四类定位系统均有一定的缺憾。

## 5. 行走声波对于身份识别和室内定位的支撑

综上所述我们更需要一种技术可以同时解决身份识别和室内定位的需求,且该技术应具备较低的部署成本和能耗需求,能够较好的适用于施工现场环境。本文提出一种设想,通过施工人员行走时发出的具有可识别特征的声波,同时完成对施工人员身份的识别和定位<sup>[2]</sup>。

首先是身份识别的技术可行性,我们在生活场景中,经常能够做到通过某人走路的声音听出来他是谁,其原理与声纹识别类似,在采集走路的声音信号后,通过计算机算法从声音信号中提取出可以描述声学的参数或向量,而人类走路的声音信号中有丰富的声学参数,例如声音本身的频率、响度,由步频带来的声音间隔频率,由落脚习惯带来的前后脚掌的落地间隔频率等,受个体的身高、体重以及双腿长度、双脚大小甚至左右脚差异的影响,声学参数具有多元的组合和足够的颗粒度,事实上在现实生活中我们能够通过走路声音分辨个体,也意味着其在计算机领域的可行性。在操作层面,可以通过模板匹配、高斯混合模型(GMM)、联合因子分析法(JFA)、深度神经网络方法等实现行走声波的特征提取<sup>[3]</sup>。

其次是室内定位的技术可行性,在现实生活中,我们可以通过倾听声音来辨别声源的大致位置,而一些听觉灵敏的动物可以准确的进行“听声辨位”,这也就是大名鼎鼎的双耳效应,即通过声音到达双耳的时间差、声波相位差、声级差、音色差等实现对声源位置的辨识,市场中已有基于麦克风阵列的声源定位技术和相关算法。相较于其他的定位技术,行走声波定位不需要参与人员携带终端设备,其成本和能耗仅产生于固定采集端的部署;在施工现场的复杂且快速更新的环境中,声波采集具有较好的适用性,可以通过

空气、混凝土等介质采集,方式灵活限制条件少。

采用基于麦克风阵列的声源定位系统,由一定数目的麦克风组成麦克风阵列,对施工现场不同空间的声场进行采样并滤波即通过识别施工人员进行行走时发出的具有可识别特征的声波,计算声源距离阵列的角度和距离,完成对施工人员身份的识别和定位<sup>[4]</sup>。

通过研究在不同阵列条件下,声音到达的时间差、声波相位差、声级差、音色差等实现对声源位置的辨识的技术筛选。在施工现场的复杂且快速更新的环境中,声波采集具有较好的适用性,可以通过空气、混凝土等介质采集,方式灵活限制条件少。研究不同空间形式、麦克风数量、间距等条件对定位结果的影响,计算推论出平衡成本、效果的布置方案。

### 6.可行性分析

行走声波识别是生物识别技术的一种新方法,行走声波识别是利用了个人在走路时所发出的声音或者震动波形为特征,然后可以去识别行走声波与非行走声波,基于以声学为特征的行走声波可以识别个人身份。正常情况下每个人行走的行走声波是不一样的,所以这些行走声波包含了一个人走路时的特点和个人身份信息,具有可靠性和唯一性等特点。可以从步频带来的声音间隔频率产生的影响、落脚习惯带来的前后脚掌的落地间隔频率产生的影响、右左右脚不同习惯产生的行走时间间隔产生的影响来进行识别测试<sup>[5]</sup>。

通过模板匹配、高斯混合模型(GMM)、联合因子分析法(JFA)、深度神经网络方法等实现行走声波的特征提取。进行分帧、加窗,快速傅里叶变换:对采集的声音进行分帧处理,采集的声音信息多为平稳信号,把每一帧当成平稳信号处理。同时为了减少帧与帧之间的变化,相邻帧之间取重叠<sup>[6]</sup>。

在建筑施工现场存在诸多噪音,包括打夯打桩、切割、电锯、搅拌机等等,有的噪音是阵发的声音,有的噪音是持续产生的声音,这些声音对于声纹的采集具有影响,在识别的过程中需要增加对环境降噪、去混响、对声音进行提纯等算法的研究。根据线性系统的频率保持性,利用互相关函数同频相关、不同频不相关的性质来达到滤波效果。

依托大数据,对于施工现场人员的身份信息识别后,结合传统生物信息和智能设备采集到的身份信息,综合处理分析后使信息数据更准确,便于做出精准决策。

行走声波识别技术是基础学科与施工生产的典型结合,可以有效的支撑施工现场人员的身份信息识别和室内定位,进而支撑对施工人员动态信息的数据孪生技术的应用,从而使施工管理决策活动更加精准科学。

### 7.数字孪生的可视化表达

虚实映射是数字孪生的基本特征,虚实映射通过对物理实体构建数字孪生模型,实现物理模型和数字孪生模型的双向映射。数字孪生模型越完整,就越能够逼近其对应的实体对象,从而对实体对象进行可视化、分析、优化。

研究映射的逻辑和算法,通过实验数据改进算法,使得映射响应时间、准确率等符合施工管理需求。

通过计算机建立三维模型,将施工人员动态信息投射到三维模型中,从而实现施工人员动态信息数字孪生场景,可以让管理人员更高效、更直观的实时了解现场施工人员的现场分布情况。研究模型关联效果与资源投入的平衡,例如人员定位位置的实时更新频率与网络带宽、服务器算力等的平衡。研究当施工人员提重物或改变行走状态的时候,声音的各信息参数受到的影响。研究当识别不到声音即声音停止时人员的状态分析。根据实验数据分辨准确率,对数据进行取舍。

### 8.前瞻应用及总结

建筑施工环境复杂,人员安全意识薄弱,管理人员需要实时了解全区域、全人员的工作状态。根据施工现场安装的声纹识别系统对施工现场人员进行行走声波进行分析,甄选出具有危险性行为的信号,及时传递警示信息至平台终端,并同步警示信息至实施危险性行为的施工人员处,与此同时,平台终端发布此人员信息及具体定

位至施工现场安全管理人员处,由其进行核查,以达到实时预警和管控施工现场人员危险性行为的发生。将施工现场实际存在的危险源——映射至施工人员动态信息数字孪生场景中,通过施工现场安装的声纹识别系统分析施工人员的实时行走声波与危险源位置的距离差,对施工人员实时播报临近危险源的智能提示,以提高施工人员的安全意识。

利用施工现场安装的声纹识别系统收集和分析施工人员的行走声波大数据至平台终端,通过施工人员不同状态的行走声波来判断施工人员是否进入昏厥、中暑以及发生意外的状态,一经发现则由平台终端实时发布此人员的具体信息和位置,实时通知施工现场安全管理人员进行核查与救治工作。

通过对施工现场施工人员实时位置分布、区域人员统计、目标人员追踪、施工人员行为分析、工作状态查看等信息的掌握。根据现场施工人员的活动状态程度发送至终端进行活跃状态分析,根据传回信息进行比对若在固定时间内状态不活跃或未在所属施工区域将进行信息警示,管理人员可对警示信息进行查验,保证施工效率;若出现单个员工连续工作时长达到相应数值将进行相关提示音发送,注意合理休息。施工人员自进入施工场地内至离开施工现场之间声纹采集系统所发出的信号数据终端将进行记录分析,有效掌控当日工时情况。

通过施工现场安装的声纹识别系统收集汇总现场施工人员和管理人员的行走声波大数据并匹配相关信息录入平台终端,实时对进入施工现场人员的行走声波与平台终端的行走声波大数据进行对比核查,及时发现非施工现场人员,并实时推送非施工现场人员进入施工现场的位置至现场安全管理人员和门卫室处,由安全管理人员和门卫进行核查,有效避免施工现场偷盗物资行为的发生。

通过一张屏展示,全局了解作业情况。实时统计区域人数,实现对人员的精确管理。声纹采集设备对各个施工区域内工人与工种的数量,项目各区域管理负责人可根据项目施工进度计划进行对照,确定现场施工进度与工人数量是否能达到生产需求,做到更好的管控与纠偏。

将施工日计划录入平台终端,明确施工现场的工作时间,利用施工现场安装的声纹识别系统对于在非工作时间期间进入施工现场的人员进行行走声波的识别,实时发出警示提醒并推送相关人员信息及位置至现场安全管理人员和门卫室处,由其核查非工作时间进入施工现场的缘由。

行走声波识别具有广泛的应用前景,在未来极有可能成为一种不可或缺的生物识别方式,另一方面行走声波的特征识别和定位技术乃至声纹识别技术仍然属于较为狭窄的学科,其科研和商业应用都相对较少。

### 参考文献:

- [1]一种基于数字孪生的通信网络优化方法、装置和系统 CN202010641828.0 ; 重庆金美通信有限责任公司 ; INVENTION\_PUBLICATION; 2020-07-04 00:00:00.0000000
  - [2]基于射频技术的隧道人员定位基站优化布设研究 ; 王亚培; 《道路交通与安全》; 2016-03-28
  - [3]刘福香.基于脚步特征的人员身份识别技术研究[J].山东大学,2021年硕士论文.
  - [4]基于节点交互的狙击手定位算法研究与交互接口设计; 傅中华(导师:罗四维); 北京交通大学, 硕士(专业:计算机科学与技术); 2011
  - [5]张瑞兴,王暄,余瑶.基于脚步声的身份识别.[J].计算机应用与软件,2014年1月.
  - [6]基于深度学习的多模态情感识别研究; 陈炜青(导师:曹叶文); 山东大学, 硕士(专业:电子与通信工程); 2020
- 作者简介:甄强(1986-)男,工程师,中建一局集团第五建筑有限公司设计中心副主任。主要研究方向:基于BIM技术的智慧建造应用、智慧工地管理。