

地铁站应急预案 VR 模拟与情景设计^{*}

王朔¹讲师,朱士友²高级工程师,俞军燕²高级工程师,黄玲¹副教授

(1 华南理工大学 亚热带建筑国家重点实验室,广东 广州 510640;

2 广州地铁集团公司,广东 广州 510030)

学科分类与代码:6208099(公共安全其他学科)

中图分类号:X928.03

文献标志码:A

资助项目:高密度人居环境生态与节能教育部重点实验室(同济大学)开放课题(201830108);广东省科技计划项目(2017A040405021)。

【摘要】为解决地铁站应急预案现实演练过程中,出现火灾、爆炸、水淹、突发大客流等紧急情况的危险性、组织实施难的问题,应用虚拟现实(VR)技术对各类预案进行场景设计,模拟相应的应急预案过程。首先,运用业务流程建模与标注(BPMN)语言对应急预案流程进行建模;然后,利用建筑信息模型(BIM)技术创建地铁站内基础设施三维模型,并研究模拟火灾爆炸、恐怖袭击、水淹、突发大客流等应急预案涉及的关键技术;最后,以地铁燕塘站为例设计应急预案情景。结果表明:基于VR技术的情景设计及过程模拟将地铁站应急预案的各类场景要素、事件过程、乘客及岗位人员的活动状态集成到同一平台;直观、动态、多视图地展现应急预案实施效果,有助于提高地铁紧急情况预案应用水平。

【关键词】 虚拟现实(VR); 地铁站; 应急预案; 情景设计; 大客流模拟

VR based simulation and scenario design of emergency response plans for metro stations

WANG Shuo¹, ZHU Shiyou², YU Junyan², HUANG Ling¹

(1 State Key Laboratory of Subtropical Building Science, South China University of Technology, Guangzhou Guangdong 510640, China; 2 Guangzhou Metro Group Corporation, Guangzhou Guangdong 510030, China)

Abstract: In order to solve the hazardous problems and manage the difficulty in organization and implementation in case of fire, explosion, flooding, sudden large passenger flow and other emergencies during the real exercise of emergency response plans in metro stations, VR technology is applied to design scenarios and simulate emergency response plans. Firstly, business process modeling and notation (BPMN) language was used to model the process of emergency response plans. Secondly, building information modeling (BIM) technology was applied to create a three-dimensional model of the infrastructure in a metro station. The key technologies involved in plans for fire or explosion, terrorist attack, flooding and sudden large passenger flow were studied and simulated. Finally, with Yantang subway station as an example, the scenario design of an emergency response plan was carried out. The results show that the scenario design and process simulation based on VR technology integrates the elements of various scenarios, event process, passengers' and staff members' activities into the same platform, which can demonstrate the implementation effects of the plans visually and dynamically with multi-viewing panes, therefore helping enhance the application of emergency response plans in metro stations.

^{*} 文章编号: 1003-3033(2019)07-0183-06; DOI: 10.16265/j.cnki.issn1003-3033.2019.07.029
收稿日期: 2019-03-03; 修稿日期: 2019-05-23

Keywords: virtual reality (VR); metro station; emergency response plan; scenario design; large passenger flow simulation

0 引言

地铁车站属于人员密集的公共场所,客流量大且空间有限,一旦发生事故、灾害等突发事件,处置不当极易造成巨大的人员伤亡和财产损失。地铁运营紧急情况预案是处理地铁突发事件的重要前提及保障,对地铁车站人员了解救援环境、加强应急处理技能等方面起到重要的指导作用。

目前针对地铁突发事件的应急管理研究,主要分为2方面,一是从运营管理、公共管理角度出发,针对公共事件的政策、管理措施等相关问题进行研究,如:刘光武^[1]梳理了城市轨道交通应急管理体系;赵金先等^[2]研究了地铁应急预案评选方法。二是针对地铁突发事件应急管理的具体技术、措施以及相关的技术问题,如:张开冉等^[3]应用社会力模型模拟研究了车站负重量人群疏散;饶平等^[4]应用元胞自动机方法模拟研究了复杂建筑结构的人员疏散问题;黄家骏等^[5]针对地铁车站动态不确定性环境下应急疏散进行了仿真建模研究;王付宇等^[6]梳理了突发事件情景下地铁站人员应急疏散问题;梅艳兰等^[7]对地铁站密集人群应急疏散能力进行了仿真建模研究。上述研究未建立完整的应急预案系统,且具体的实施应用

还有待进一步完善。

鉴于此,笔者拟基于地铁公司已建立的具体应急预案体系^[8],应用虚拟现实(Virtual Reality,VR)技术设计相应的预案场景,对车站场景、应急处置流程、各岗位人员职责及行为等进行实时三维模拟,以期提高地铁紧急情况预案应用水平。

1 地铁应急预案模拟

1.1 应急预案流程建模

对于应急预案过程模拟,本文应用了基于工作流的预案过程设计,参照业务流程建模与标注(Business Process Modeling Notation, BPMN)标准^[9-10],抽象化相关业务,通过结构化建模、属性配置、流程定制化等方法,将应急预案处置重新加以梳理和描述。

对于消防预案模拟,其过程要素被抽象成各类规范化的事件、业务活动及网关。通过BPMN还可以对预案中的不同角色作出明确的划分及基于时间序列的活动序列组织,同时,角色之间的通信也可以被清晰地表达。图1是各角色人员按预案内容及事件序列生成的局部预案流程模型。

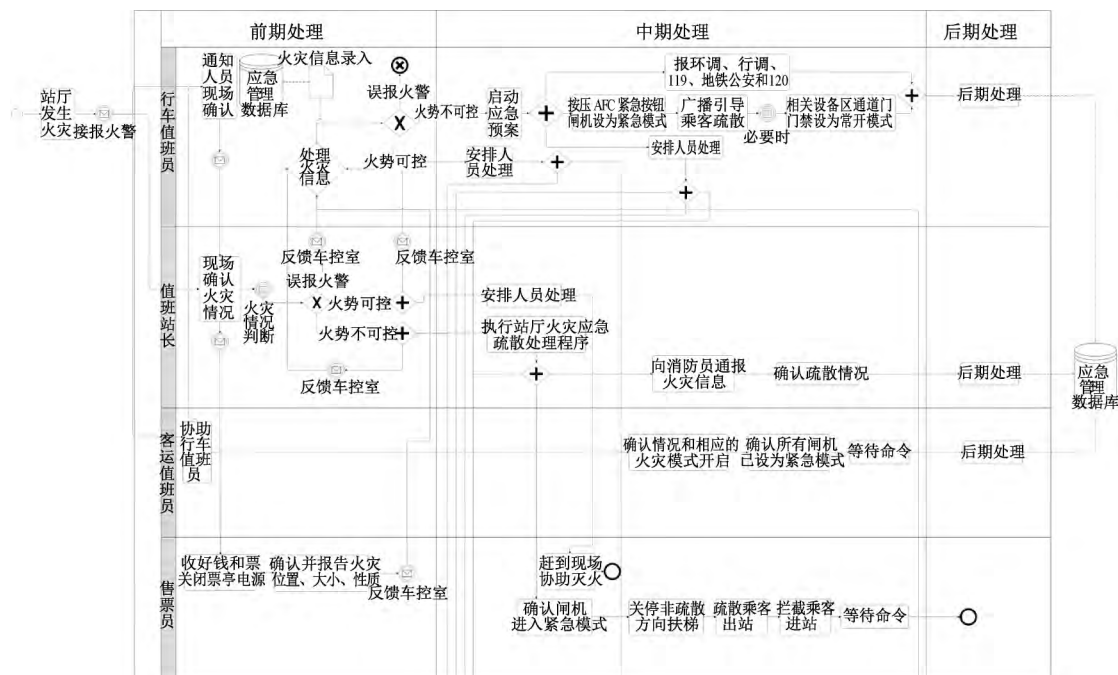


图1 车站发生火灾事件应急处理的BPMN描述(局部)

Fig.1 BPMN description of fire emergency responses in stations (partial)

基于工作流的预案过程,可提高系统复用性和可移植性,还可以应用工作流引擎,对预案流程进行自动驱动及执行操作。

1.2 基于 BIM 技术的地铁站点环境及设施建模

本文应用 Revit 建模软件^[11]对地铁站内的建筑及基础设施进行完整的建模,包括地铁运营过程中相关的设备设施等,如扶梯、屏蔽门、闸机、消防设施、照明设备等。建筑信息模型(Building Information Modeling, BIM)对于建筑构件及设备的表达已逐步形成一系列规范化的标准和体系。利用 BIM 技术可以对站点建筑及设施进行规范化、标准化的分类管理,包括预案过程中涉及的对地铁运营设施的操作与响应等,如发生火灾过程中屏蔽门的开启、广告类灯光关闭、疏散指示灯光开启、下行扶梯停止、闸机开启等,都在应急预案中进行精确的模拟。

1.3 应急场景模拟 VR 关键技术

本文主要应用虚幻^[12]三维虚拟引擎实现对三维场景及紧急状态情景的展示、角色动态/行人环境行为模拟,并显示地铁紧急状态事件的流程、客运组织及乘客应对等。

对于烟雾、火灾、气体扩散等特效模拟,采用级联例子系统加以实现。多个模块组合生成粒子的整体行为,如材质、颜色模块定义了粒子的外观行为,速度、旋转等模块定义了粒子的运动行为,参数化模块实现粒子的参数化。通过事件模块定义粒子事件的触发,从而实现使用外部系统来控制粒子系统。

在地铁应急预案中,对火灾和爆炸的模拟除了要考虑到视觉效果外,还需要考虑火灾的发展过程,包括起火、火势增大、被扑救后逐渐缩小及熄灭的过程。火灾、爆炸、烟气及其过程变化的效果通过级联粒子系统中的事件子系统动态驱动实现。图2是火灾预案系统展示效果,包括起火点、灭火器等烟气的扩散效果。



图2 火灾预案处置

Fig.2 Fire emergency disposal

人物动态行为模拟是应急预案模拟的关键。人

物是通过角色类来实现。通过角色来实现各种类型、角色人物的走动、跑动、跳跃及执行各类任务动作等的模拟。角色类包含了基本的网格体和骨架网格体组件,可用来启用骨架高级动画。

角色同时接受程序中人工智能(Artificial Intelligence, AI)模块的控制,如实现根据场景条件下沿路径行走以及自动寻路、躲避障碍物及行人疏散等过程。

地铁紧急预案还包括各类动态情景要素模拟,如天气状况及水淹等。对于水淹等情况需要同时考虑视觉及物理环境因素,如积水沿着楼梯遵循重力条件流动,积水的深度变化,抢险人员采用沙袋等物品封堵水流等情况。本文采用 Flex 模块^[13]实现水淹效果的模拟。Flex 将虚拟对象定义成互相约束限定、联结的粒子系统,进而模拟粒子在重力、摩擦力、碰撞等作用力的作用下其状态的变化。图3显示了水淹时地铁站入口处的状况以及抢险过程情景。



图3 水淹情况处置

Fig.3 Flooding emergency disposal

1.4 大客流模拟

大规模人群行为及疏散模拟研究是近年来研究热点。本文主要侧重于大规模人流效果模拟。对于大客流模拟,本文结合虚幻系统采用“事件驱动+导航网格”寻路算法结合多智能体模型模拟^[12]。导航网格是一种场景几何表示法,一般在游戏开发中被代理用来在虚拟场景中进行导航。通常代理会有一个目标,试图找到一条路径,然后沿路径导航到目标。自行编制复杂的大客流模拟对开发者要求较高。另一种方法是采用第三方软件进行模拟,结合软件的二次开发接口功能,将模拟数据导出并在 VR 应急仿真平台中重建客流。

本文应用 Anylogic 复杂系统仿真软件^[14]模拟大客流。行人仿真模块主要依靠行人库实现,核心算法是社会力模型。Anylogic 行人模型主要由环境和行为2部分组成。通过环境要素对环境中的围墙、障碍物、楼梯、通道等建筑要素及售票口、检票口、服务台等服务设施进行建模。环境要素限定了

行人的行为,如围墙障碍物对行人的阻隔、队列限制行人的等待等环境行为。

通过 Anylogic 的交通库还可以对地铁列车运营流程进行建模,包括列车进站、停靠、驶出过程,以及在列车停靠时刻发送消息,触发行人从列车进入站台及站台内人流行至列车等。

应用 Anylogic 流程图工具描述了列车及行人等不同对象的行为过程。流程图参照 BPMN 模型构建。大客流行人则通过 Anylogic 中人物类定义,利用重载人物类中的函数,添加用户定义功能。为人物类添加事件属性,在事件中处理来自模拟过程中其他对象的消息及时间序列消息等实现完整的模拟过程。利用 Anylogic 软件二次开发接口编写程序导出具有标识(Identifier, ID)信息的行人位置和方向信息,Anylogic 导出的客流数据片段见表 1,表 1 中显示了在一定时间间隔内每个行人对象的三维位置坐标。行人在场景中的动作则在模拟平台中根据行人动作的上下文重建,如行走、转身、跑步等。场景人群数量及男女比例、年龄、乃至不同职业的人群分布等可通过 ID 标识在程序中与 Anylogic 中的人物设置相对应动态匹配来生成。图 4 展示了应用 Anylogic 软件生成大客流模拟的结果并在虚拟仿真平台中重建大客流的场景,包括行走、乘扶梯、走楼梯等动作重建。

表 1 Anylogic 导出的客流数据片段

Tab.1 Passenger flow data exported by Anylogic

时间/s	行人 ID	坐标 x	坐标 y	坐标 z
0.083 3	0	20.0	190.998	0.0
0.099 9	0	21.34	191.15	0.0
0.116	2	19.675	193.377	0.0
0.116	1	21.30	136.77	0.0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮



图 4 Anylogic 大客流模拟

Fig.4 Large passenger flow simulation by Anylogic

人员模拟主要分 2 部分,大量乘客和站内工作人员及预案相关人员。工作人员及预案相关人员需要模拟大量预案处置动作。这部分会通过预设的脚

本驱动做相关的程式化预设动作演练。图 5 显示的是暴恐预案中防暴人员紧急情况处置的场景,防暴人员及暴徒都采用了预制动作脚本实现。2 类人群采用不同的驱动机制在场景中呈现,形成完整的预案效果。



图 5 暴恐预案场景模拟

Fig.5 Terrorist attack scenario simulation

2 预案情景设计

本文以广州燕塘地铁站为例,设计包括火灾、恐怖袭击、水淹、突发大客流等预案场景,模拟相应的应急预案过程。应急预案采用多视图交互模式,相应的用户界面如图 6,包含了三维视图、流程、角色及车站平面视图,在多通道模式下将应急预案多维信息作综合呈现。图 6a 为三维视图。用户可以通过三维视图观察到场景不同位置的状态,以第一人称或第三人称视角观察三维场景。用户也可以在场景中自主漫游观察站内任意位置的具体情况。图 6b 为预案处置流程视图。该视图反映了不同的事件应急处理流程。用户可以通过设置不同的情景制定不同的预案模拟初始条件。图 6c 为角色视图及平面视图,包括应急预案涉及的各角色以时间轴为基础的轨迹视图。通过该视图可以清晰地看到不同角色在预案过程中的行为。通过平面视图,用户可以看到不同角色的平面位置、状态以及处置过程中的空间运动轨迹。用户可以通过移动二维视图的导航罗盘,在场景中自由变换位置、观察方向和角度等。用户也可以通过楼层选项卡,切换到车站不同的楼层。通过平面视图,地铁运营人员可以清楚地了解整个预案的流程、各岗位角色的履职及各角色的当前位置等诸多信息。

对车站遭受恐怖袭击、发生火灾或爆炸、突发大客流、遭受暴雨/台风等灾害性天气影响及车站屏蔽门故障等典型情况的处置预案均进行了相关的模拟,并配置了与场景对应的大客流情景。

对站内大客流二级及三级客流控制预案进行了模拟。以二级大客流情况为例,当站内客流达到二



图 6 应急预案模拟用户界面

Fig.6 User interface of emergency response plan simulation

级密集程度时将启动相应的客流控制预案。根据燕塘站的空间布局及设施情况及客流情况在 AnyLogic 软件中进行了情景建模。包括在扶梯口、安检入口、售票处等位置安置铁马等限流措施。在预案中对相应设施设备运行情况进行相关的设置,包括闸机口部分闸机进站模式改为出站模式,在客流控制中播放语音广播提示,站内 CCTV 显示相关的客流疏导提示信息等。在 A、B、C 等 3 个闸机口及地铁站台平面分别设置行人源对象(PedSource)并结合预案情景进行模拟运行。

在模拟过程中,系统按时间序列每隔 0.2 s 记录了大客流的运动情况及设备设施的改变情况,在 VR 系统中基于时间序列重建,并在 VR 系统中对车站各职责人员根据车站运营情况及处置脚本进行了最终的模拟及完整预演。图 7 展示了工作人员通过护栏进行客流控制的情景。本文涉及的基于 VR 技术的地铁车站应急预案模拟在文献[15]中作了初步介绍,本文进一步完善了应急预案模拟中大客

流实现方法。

3 结 论

1) 基于 VR 技术,直观、动态地展现应急预案中的各类场景要素、事件过程、不同紧急情况应急预案中的乘客行为以及各岗位人员的履职情况,实现地铁车站多类应急预案的 VR 仿真。

2) 将应急预案的应急流程、岗位人员职责、空间位置信息显示等功能集成在系统中,增强人机交互性和操作便利性,使得应急演练更加贴近现实;采用虚拟现实技术,虚拟场景中的各类对象及要素都可通过蓝图或 C++ 进行编程及实现交互。

3) 通过在应急预案虚拟仿真系统中引入车站设施设备及客流监控功能,可集成实时数据及客流信息,动态呈现实时场景状态。系统可进一步通过场景的情景特征数据判断并启用相应的预案流程,并采取相应的措施及行动,以三维仿真的形式在平台上指示给应急处置人员。

4) 采用 Anylogic 软件模拟不同种类预案,并导出模拟人物 ID、时刻、坐标等数据,依据相关数据在 VR 系统中重构大客流场景,解决了一般模拟软件可视化效果不佳,而 VR 场景大客流难于直接编程模拟的问题,对于地铁大客流情景下的行人模拟研究也具有应用价值。



图 7 通过设置护栏进行客流控制

Fig.7 Passenger flow control by setting up guardrails

参考文献

- [1] 刘光武.城市轨道交通应急管理体系研究[J].铁路计算机应用,2015,21(5):3-5.
LIU Guangwu. Research on urban transit emergency management system [J]. Railway Computer Application, 2015, 21(5): 3-5.
- [2] 赵金先,王苗苗,李堃.基于GRA-TOPSIS的地铁应急预案评选[J].价值工程,2018(3):75-77.
ZHAO Jinxian, WANG Miaomiao, LI Kun. Evaluation of metro emergency plan based on GRA-TOPSIS [J]. Value Engineering, 2018(3): 75-77.
- [3] 张开冉,杨树鹏,何琳希,等.基于社会力模型的车站负重人群疏散模拟研究[J].中国安全科学学报,2017,27(1):30-35.
ZHANG Kairan, YANG Shupeng, HE Linxi, et al. Research on emergency evacuation of passengers with luggage from bus station [J]. China Safety Science Journal, 2017, 27(1): 30-35.
- [4] 饶平,周晓冬,朱孔金,等.复杂建筑结构人员疏散的元胞自动机模拟研究[J].中国安全科学学报,2011,21(12):34-39.
RAO Ping, ZHOU Xiaodong, ZHU Kongjin, et al. Cellular automaton simulation of pedestrian evacuation under complex building structure [J]. China Safety Science Journal, 2011, 21(12): 34-39.
- [5] 黄家骏,徐瑞华,洪玲,等.动态不确定性环境下的地铁车站应急疏散仿真建模[J].交通运输系统工程与信息,2018,18(2):164-170.
HUANG Jiajun, XU Ruihua, HONG Ling, et al. Simulation model of evacuation process in metro station under dynamic and uncertain environment [J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2018, 18(2): 164-170.
- [6] 王付宇,王骏.突发事件情景下地铁站人员应急疏散问题综述[J].计算机应用研究,2018,35(10):2888-2893.
WANG Fuyu, WANG Jun. Summary of emergency evacuation of subway station personnel in emergency situations [J]. Application Research of Computers, 2018, 35(10): 2888-2893.
- [7] 梅艳兰,谢科范,刘思施,等.地铁站密集人群应急疏散能力分析模型及仿真[J].武汉理工大学学报:信息与管理工程版,2018,40(4):370-375,382.
MEI Yanlan, XIE Kefan, LIU Sishi, et al. Modeling and simulation on emergency evacuation capability of crowds in metro station [J]. Journal of WUT: Information & Management Engineering, 2018, 40(4): 370-375, 382.
- [8] 广州地铁集团公司.广州地铁应急预案汇编[R],2016.
- [9] 蔡章利,易树平.基于BPMN的业务流程一体化建模方法[J].计算机集成制造系统,2010,16(3):551-557.
CAI Zhangli, YI Shuping. Business process integration modeling method based on business process modeling notation [J]. Computer Integrated Manufacturing System, 2010, 16(3): 551-557.
- [10] Business Process Model Notation & Trade (BPMN & Trade) Object Management Group [EB/OL]. [2019-01-10]. <http://www.omg.org/bpmn/index.htm>.
- [11] Revit BIM software autodesk [EB/OL]. [2019-01-10]. <https://www.autodesk.com/products/revit/overview>.
- [12] 什么是虚幻引擎4 [EB/OL]. [2019-01-10]. <https://www.unrealengine.com>.
- [13] Nvidia flex nvidia developer [EB/OL]. [2019-01-10]. <https://developer.nvidia.com/flex>.
- [14] AnyLogic: simulation modeling software tools & solutions for business [EB/OL]. [2019-01-10]. <https://www.Anylogic.com>.
- [15] WANG Shuo, WANG Fuxiong, HE Fujie. VR-based simulation of metro station emergency plan [C]. 23rd International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA) 2018: 259-264.

作者简介: 王朔 (1975—),男,河北香河人,博士,讲师,主要从事建筑设计、计算机辅助建筑设计等方面的研究及应用。E-mail: shwang@scut.edu.cn。

