

港口灾害事件虚拟现实应急演练研究

吕洁印¹, 吴兵², 汪洋², 刘少博², 周受钦¹

(1. 深圳中集智能科技有限公司, 广东 深圳 518063; 2. 武汉理工大学国家水运安全工程技术研究中心, 湖北 武汉 430070)

摘要: 针对港口灾害事件应急管控的需求和我国在灾害处置应急模拟仿真演练能力偏弱的问题, 本文指出高水平应急模拟仿真演练能力是港口灾害事件应急管控的重要保障, 并对应急模拟仿真演练存在的技术挑战和港口灾害应急模拟仿真演练能力提升的关键技术及策略进行了阐述, 旨在改善港口灾害事件的应急管控能力。

关键词: 港口; 灾害事件; 应急演练; 虚拟现实

中图分类号: X951

文献标识码: A

文章编号: 1006—7973 (2022) 03—0039—04

港口安全是城市公共安全的重要组成部分, 提高安全生产水平和完善应急管理能力是国家发展的内在需求。随着全球经济贸易发展, 港口的地位显著提升, 港口集装箱吞吐量决定着世界贸易量。港口货物的集疏运活动覆盖了从城市腹地经到海洋近岸的广阔区域, 也使得港口集疏运企业的生产作业安全与城市的公共安全休戚与共。港口是装卸各类大型货物、石油化工原料、各类危化品储罐等较多的高风险区域, 如天津 812 集装箱爆炸、8.4 贝鲁特港口大爆炸等, 均造成了不可弥补的重要损失。针对港口重大灾害事件构建应急管理救援协同联动指挥系统至关重要。

应急演练是应急管理的一种重要形式, 是政府和企事业单位检验并提高应急准备能力的重要环节, 成功的应急演练活动可提供预防安全事故的思路, 其中通过数字仿真技术实现的演练日益在应急演练活动中显示出难以替代的作用。应急演练/训练系统通过虚拟现实技术为用户(参训人员)提供人-机交互环境(如模拟实物的操作硬件), 从而使得用户在虚拟环境中感受自身的操作行为及其操作效果, 达到低成本、无害、可重复训练的目的。

1 港口应急管控能力尚需提升, 应急演练模拟仿真是关键

港口灾害事件应急管理与救援处置流程非常复杂, 是一项涉及到各级政府部门、企事业单位以及人民群众的系统工作。加强应急管理体系信息化和智能化建设, 构建结构完整、功能全面、反应灵敏、运转高效的港口灾害事件监测预警和协同联动应急指挥体系, 从而提高港口应急管理和救援指挥的系统性、科学性和时效性比较迫切。

目前国内外针对港口区域内集装箱、危化品罐箱的装载/卸载、堆场存放、到港/离港和港区运输等环节的应急管理和灾害处置研究还比较欠缺, 对于港口所面临灾害事件风险的应急管理与救援以及发生事故灾害后的协同联动处置研究还不成熟。

我国在灾害发生后的中后期处置能力缺乏对现场救援的应急模拟仿真演练能力, 不清楚应急处置力量如何充分配置、是否科学合理, 导致事故发生后出现被动应急和盲目救援。随着应急管理工作扎实推进, 应急演练相关问题研究也逐渐受到专家学者的重视。

传统应急救援模拟演练系统多为基于既定预案的程式化推演, 设置好条件参数后, 系统根据设置配合参演人员完成技术培训和模拟演练, 而港口灾害中引起灾害的介质、情景、环境、位置具有特殊性, 传统应急救援方案和策略难以有效应用。

应急模拟仿真演练系统旨在以港口物流各个阶段生产活动涉及的货物装卸、运输和存放为线索, 重构此过程中事故端倪、事故干预和应急救援等场景, 为不同职能部门对各类事件的联合处置提供互操作的平台。当前, 应急模拟仿真演练系统的特征包括: 具有多人、多角色、多任务的人-机交互环境, 系统中的人员需要通过协同工作共同完成设定的任务; 具有预先想定的场景、情节和任务前提, 参训人员各自承担的子任务更多地体现了个体对即时战略的理解和判断; 各个人员的协同操作和决策形成对整体态势的作用, 并与后台的智能体(Agent)群体行为、机器决策、情景约束等条件共同决定情节的发展直至最终的操作结果。

所以, 应急救援仿真演练系统需要具备各类港口灾害隐患现场的情景数据动态接入能力, 系统基于事态预判、决策优化和动态推演, 输出科学合理的定制化应

急救援方案；同时系统具备智能化自适应能力，支持对没有既定预案的新灾害情景的应急救援演练，从而通过智能化交互式仿真演练技术提升港口灾害应急救援中的多角色联动协同指挥和应急处置能力。

针对港口灾害事件处理，如何突破基于单一既定预案程式化推演的传统应急救援模拟演练系统，面向港口灾害复杂动态实时变换场景，建立包括不同介质特性灾害源、灾害态势形态、灾害场景活动体与基础设施、应急救援装备与救援力量、应急处置手段、应急救援物资等多视角智能体模型和交互式联动关系，融合灾害现场情景动态感知数据、灾害态势推演模型，基于专家知识库和具备机器学习能力的决策算法，实现基于动态仿真、虚实融合、优化决策、智能交互的应急救援仿真演练和效果评价，是应急管理能力的保障。

2 应急模拟仿真演练系统存在的技术挑战

2.1 异构对象模型集成

单用户、单任务情境下建模对象的类型相对单一，模型接口相对简单，模型规模相对较小，系统运行依赖于相同或相似的物理规律，对模型的理解和定义容易形成一致，因此单一领域仿真模型集成的难度相对较小。但多用户、多任务的情形下，往往涉及大规模模型体系，仿真模型之间的依赖关系交互关系复杂，模型的异构特点突出。而且，多用户之间的协同行为将产生各种模型间的“自组织”关联形态，导致集成更困难。

2.2 基于角色模型的形式化表达

缺乏对多用户仿真行为假设与保证的形式化描述机制，使提高模型的可组合性面临较大挑战。虚拟空间中用户的行为构成了角色-协议-协作(RPC)的动作描述框架，在多用户的情形下，这种动作描述框架受到较大制约。机器和自然人共同参与模型组合的交互过程，使得角色与用户之间形成多对多的映射，从而必须对传统RPC进行大幅改造才能适应这种动态关联，多用户的人机交互在逻辑、时序和行为等价性三方面对组合模型的语义尚缺乏有效性进行验证。

2.3 人机交互环境下行为与情节的束定

多用户的交互式仿真系统中，通过人-机操作而形成在虚拟空间中的“介入式”活动，将会使系统中的情节发展出现非常复杂甚至难以估计的结果。传统仿真系统中对实体行为或运动的方法包括DEVS(Discrete

Event System Specification)、进程代数等。多用户和多任务的复杂环境下，由于上述这些方法自身并没有充分考虑用户操作在时序、空间和逻辑上的约束、冲突或一致性检验。因此，必须在仿真训练系统的引擎中建立相关的机制来保证事件发生、情节走势的合理性条件/边界。

2.4 用户并行性与一致性处理

通常虚拟环境中需要对自然对象(用户)和程序生成的对象进行一体化处理。在多用户条件下，用户行为和程序生成对象之间容易产生资源争用、冲突对抗、行为纠缠等状况。现阶段实体组织模型HLA(High Level Architecture)等并未充分解决多用户的并行一致性问题，特别是在用户数量较多时，通信和同步开销与用户数目的平方成正比，因此用户行为之间的同步需要额外的机制来实现，以保证整个应急指挥训练多角色、多任务在运行期的平稳性。

3 港口灾害事件应急模拟仿真演练能力提升关键技术

3.1 港口灾害场景的三维动态虚拟场景建模技术

为实现灾害事件作用下灾害要素作用于承灾载体的三维可视化，基于关键参数控制的三维模块化建模系统是必要的，借助灾害动力学演化理论研究灾害全要素动态三维建模方法和联动算法，实现典型灾害模块化动态建模，实现对多层次灾害场景的动态三维模型构建与可视化；灾害事件的应急处置演练的领域模型来自具体的业务对象，需要通过行业专家知识和公共安全的应用导向，建立相应的运行期仿真模型和资源的支持体系，包括场景、演化规则、约束、对象运动的边界等。按照“水”侧和“岸”侧的划分，港口集疏运生产经营活动研制仿真系统的实例化版本。为实现对灾害影响下船舶、车辆、人员、设备、建筑以及基础设施的灾害行为演化的三维可视化与虚拟建模，基于其行为特征开发灾害环境自适应的动态行为交互三维模型表达方法。

3.2 三维虚拟环境下灾害演化与应急救援耦合港口灾害应急救援决策仿真与优化技术

通过在虚拟三维环境对灾害事件、灾害要素和承灾载体进行可视化表达，结合灾害演化态势和应急决策优化算法，生成港口集疏运场景交通系统应急疏散仿真与疏散方案优化方法和受灾区域人群疏散仿真与疏散方案优化方法；研究多种灾害场景下不同类型应急救援资源的需求预测、配置策略、配置优化方法与模型等，并

通过基于多智能体的虚拟仿真演练系统进行仿真推演,形成应急救援决策和方案的优化模型,确定不同情况下应急救援决策变量的最优,进而构建和优化应急救援知识库,实现对应急预案的智能化管理和对救援人员与指挥人员的科学训练。

3.3 基于多智能体的港口灾害应急救援多视角主体应急救援仿真演练与评价技术

切合实战的应急救援仿真演练需要能够实现演练人员之间的信息实时交互和救援行动协同。面向仿真演练中真实或虚拟参与主体,设计多层级的应急救援指挥架构、行动角色及信息传导机制,并将不同的参与主体以不同的视角适配相应的任务,构建虚实融合的多视角应急救援仿真演练模型,实现真实人员与虚拟人员的智能化交互和对应急救援指挥过程的智能化仿真演练;基于仿真推演进行应急决策知识库验证与应急演练评价,根据制定的应急演练效果评价指标体系,实现对应急救援演练过程中各参与主体的表现进行定性和定量评价,为参训人员提供智能的自评价分析系统。

3.4 虚实融合三维仿真演练系统架构及功能模块开发技术

面向港口灾害事件开展虚实融合的三维仿真演练系统开发,采用面向异构平台的综合仿真集成策略形成仿真系统的多服务器分布式异构集成系统,制定仿真系统的标准接口。开发仿真模型与组件文件的映射和搜索方法,实现仿真演练系统多层次模型的接入与运行和在应急指挥管控平台的对接与集成。开展多视角虚实结合应急救援仿真演练功能模块开发,提供人员在环的仿真,实现人机交互功能,引入实操层面虚拟演练平台成果,实现交叉场景中应急演练数据交互和岗位工作流的呈现,构建涵盖应急处置、事故阻隔、预案评估的应急仿真演练训练系统,实现多视角、虚实结合、人员在环的仿真推演,支持自动记录演练过程,对演练效果以及其它应用在演练中的执行情况进行评估,对演练的合理性进行可视化分析并给出结论。

4 港口灾害事件应急模拟仿真演练能力提升策略

以港口-城市的“安全共同体”为视角,从港口集疏运行业已发生的安全事故以及尚未最终酿成事故的各类危险事件着手,提取港口在灾害事件应急管理上的需求。同时,将对这些灾害事件案例的应急处置方式作为知识和样本进行处理,通过统计和学习算法将其结构

化地表示为应急处置和决策支持案例。针对港口集疏运常见灾害事件,开展专项实地调研和问卷调查,结合已有应急预案和采集到的专家知识,研究灾害事件和应急管理知识表示方法;在综合运用多种知识关联识别技术和系统动力学模型的基础上,研究系统化的灾害事件演化轨迹表示与生成技术,构建包含常见灾害事件动态演化轨迹的案例库和知识库原型;将案例库和知识原型作为构造灾害事件初始情景的依据,并将其脚本化加载到开发的灾害事件应急演练平台;通过多次仿真演练和评价反馈,不断迭代更新案例库和知识库的内容,研究案例库和知识库的动态自我修正技术,最终形成更接近实际、细节更丰富、更具有可操作性和指导意义的案例库和知识库。

考虑到港口发生事故的主要地点在港区(含堆场、码头、仓库等)和水面航道(含锚地、泊位),需要特别为发生在上述区域的事故分别研制应急模拟仿真演练系统。通过仿真演练系统,重构部分历史事故案例,或者灵活地构造更多的假想事故案例,在虚拟/显示环境下用于为上述区域的安监人员提供处置能力提升的训练设施,同时对有关安全预案执行效能、应急资源配置方案测试和验证。同时,在单个的仿真系统上支持异构模型集成,从而在仿真系统之间建立共同的接口规范及其抽象层,将多个领域仿真模型联合起来共同完成单个领域模型难以完成的系统级仿真。为进行系统层次的数据采集、信息处理、发展态势预判、决策方案评估与优化,进行多单元的协同仿真,用于表现不同的部门在共同场景空间中的数据、指令和工作流。在各个领域都具有本地建模仿真工具的情况下,系统级仿真方法通过底层网络将局部仿真环境互联起来构筑大规模仿真。

面向港口集疏运过程,针对可能发生的船舶进出港交通事故、集装箱落水、堆场垮塌、危化品泄漏、火灾、爆炸、交通瘫痪等灾害事件,形成集装箱和危化品货物运输全过程的状态监控和灾害事件监测系统,并在系统中接入现有航运管理、海事监管、城市交管、城市市政、消防与应急等平台的相关数据;基于采集和接入的数据,研究面向港口区域集装箱和危化品集疏运过程常见灾害事件的态势推演模型,根据灾害事件的初始条件和所处场景,实现对灾害事件演化过程和趋势的态势预测与风险预警;构建不同层级部门和人员应采取的应急救援决策和方案的多目标优化模型,开展对应急救援

山区性航道下水救援通道布设研究

——以瓯江莲都生态航道段为例

王畅, 王骏, 卢迪翔, 陈永锋

(丽水市直属公路港航管理中心, 浙江 丽水 323000)

摘要: 本文以山区性航道下水救援通道布设为研究对象, 并以瓯江莲都生态航道段为例, 对高水位下航道的流场进行计算分析, 指出需要使用的救援船型及运载工具, 并在文中分析下水救援通道设计指标, 提出建议。为今后同类别下水救援通道的设计、建设提供参考。

关键词: 山区性航道; 救援通道; 冲锋舟

中图分类号: TU393.3

文献标识码: A

文章编号: 1006—7973 (2022) 03—0042—04

浙江省瓯江生态航道(大港头至开潭电站段)位于浙江省丽水市莲都区。其连接丽水古堰画乡景区、国家级湿地九龙湿地和丽水市区南明湖景区, 全长共计约37公里。其中瓯江大港头至白岩大桥段, 全长约24公里, 属于山区性天然河流航道, 河床以砂卵石为主。瓯江白岩绕城公路桥至开潭电站段, 全长约13公里, 属南明湖航道, 可以通航内河500吨级船舶。目前, 丽水市公路水上抢险救援中心驻扎丽水市莲都区芦埠前山村(原丽水市港航管理局), 水上救援出动可迅速覆盖南明湖水域。然而瓯江大港头至白岩绕城公路桥段属于山区性

阶梯型高落差河段, 通航条件差, 加上旧渡口的弃用、天然河滩地无法行车等原因, 对下水救援带来较大难度。

本文通过对救援主要船型、载具分析, 从下水救援点的选择和方案设计展开技术评估, 为今后山区性航道下水救援通道布设提供技术参考。

1 山区航道水上救援的特点分析

1.1 山区航道水上救援主要方式及设备

常见的水上救援方式: 利用舟艇救生、岸上抛投器施救、两岸架设绳索施救、水中徒手救生。其中, 利

方案、应急救援人员与物资调配、交通与人群疏散方案等方面的应急模拟仿真演练决策评估与优化, 全面支持各相关部门在应对港口集疏运灾害事件中的应急联动协同处置决策。

5 总结

我国是港口大国, 港口货物集疏运决定着世界贸易的繁荣发展, 也是安全风险较高的行业, 例如港口集装箱爆炸、进出港船舶泄露等灾害造成的损失巨大, 领先的港口灾害事件应急模拟仿真演练等港口灾害事故风险防范和应急管控技术与装备是必要的。本文围绕港口灾害事件虚拟现实应急演练进行研究, 可为港口行业乃至智慧城市应急安全管控特别是应急演练能力改善提供创新思路。

参考文献:

- [1] 《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》
- [2] 郑登锋, 付明福, 龚晓凤, 朱晓曼, 谭波. 基于情景构建的多地多场景应急演练[J]. 中国安全科学学报, 2019, 29(6): 171-176.
- [3] 张小兵, 张然, 解玉宾. 我国应急演练管理研究新进展[J]. 中国安全生产科学技术, 2016, 12(10): 68-73.
- [4] 王永明. 完善与发展重大突发事件情景构建技术方法的核心问题[J]. 中国安全生产科学技术, 2019, 15(02): 5-9.

基金项目: 国家重点研发计划课题(2019YFC1605505); 深圳市科技计划项目(CJGJZD20200617102602006); 工信部高技术船舶科研项目(2019360—4)。