

应急演练方案动态推演系统^①

马英涛^{1,3}, 张小平², 马跃³, 廉东本³, 孙咏³

¹(中国科学院 研究生院, 北京 100049)

²(中国科学院 成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041)

³(中国科学院 沈阳计算技术研究所, 沈阳 110168)

摘要: 应急救援指挥部门制定应急救援方案后, 使用仿真方法进行评估已成为验证方案可行性的重要手段。目前, 国内对于应急演练方案推演系统的构建与研究还不是太多, 围绕应急模拟演练系统中的方案推理过程, 提出并设计了一种基于 Delta3D 三维仿真引擎的方案推演系统。详细探讨了该系统的基本体系结构, 关键模块以及关键算法步骤的设计。利用该系统能够很好的扩展构建各种用途的模拟演练推演系统, 有效提高指挥及救援人员的对方案定量分析的能力和救援效率。

关键词: 方案; 推演; Delta3D 仿真引擎

Emergency Drills Program Dynamic Deduction System

MA Ying-Tao^{1,3}, ZHANG Xiao-Ping², MA Yue³, LIAN Dong-Ben³, SUN Yong³

¹(Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

²(Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China)

³(Shenyang Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110168, China)

Abstract: Simulation has become an important means to evaluating the feasibility and value of programs made by emergency command and rescue department. At present, there has no detailed study for the simulation exercise programs deduction system. This paper focuses on the program reasoning process in the emergency simulation exercise program, and designed a program based on Delta3D simulation engine deduction system. This paper also discussed the system architecture, the logical structure of the key modules and key technologies in detail. Using this system can be extended and build a variety deduction system of simulation exercises, effectively improve the ability of quantitative analysis for the program and rescue efficiency of the commanding officers and rescue personnel.

Key words: plan; deduction; Delta3D simulation engine

近年来, 我国工业生产安全事故和自然灾害事件频发, 对人民群众生命和财产安全以及国家经济发展都造成了极大的危险。因此, 应急处理和应急演练工作已经引起了各级政府和有关部门、企业的普遍重视。建立可靠合理的信息化应急救援平台及制定相应的事故应急救援预案, 对促进安全生产形势持续稳定好转具有重要意义^[1]。

在应急演练中应急方案制定后如何对方案进行评估和验证通常就成为了人们最为关切的问题。在军事

演习中, 人们常通过战斗推演系统来验证作战方案或计划的可行性^[2], 进而完善决策。这一过程也被称为“兵棋推演”, 它是指在作战行动实施前, 按作战计划顺序和进程, 逐步地对各个作战阶段中作战部署和作战行动所造成的状态进行演练的过程^[3]。在救灾如同作战的理念下, “兵棋推演”思想也已逐渐被运用到安全生产和应急救援系统中。

目前, 国内外研究通常将推演系统作为一个子系统集成在各种计算机模拟训练系统中, 很少将它独立

① 基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2012ZX07505003)

收稿时间: 2012-07-11; 收到修改稿时间: 2012-08-24

作为一个大系统进行研究,推演功能也受到各种模拟训练系统和仿真引擎的制约.而且目前各种推演系统基本是以复杂的功能需求和应用领域为基础,整体设计较复杂、通用性和扩展性也较差.本文根据沈阳市安监局应急救援指挥系统的实际项目需求并结合现有的应急演练推演过程,提出并设计了一种基于 Delta3D 仿真引擎的较简单且可扩展的模拟推演系统,并阐述了该系统的基本结构以及关键模块和环节的设计等.

1 系统体系结构研究

应急演练推演系统是一个综合性的系统,主要由数据层、控制层、执行层和显示层构成.其系统结构如图 1 所示.

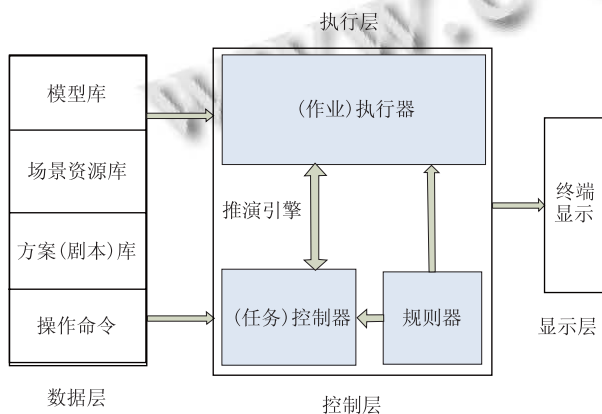


图 1 推演系统体系结构图

数据层为系统提供各种基本必须数据信息,控制层和执行层为数据互调关系,最后的各种计算结果和场景态势均送至显示层进行实时同步显示.各模块功能阐述如下:

1) 数据层: 提供任务推演过程中所需的各种信息的提取和维护功能,它是整个推演的数据基础.其中,模型库提供了推演中需要使用的所有模型实体,比如人员、车辆、建筑物等;场景资源提供了场景中所使用到的各种资源信息,比如气温、风向等;方案库包含了所有的演练方案,是整个推演的数据核心,而每一个演练方案又包含了整个推演过程的完整任务时序及作业时序;人工干预命令及操作命令为客户端人工输入任务指令和信息.

2) 控制层: 对仿真任务想定文件(方案)根据规则进行解析,得到仿真任务信息,采用推演控制算法调

度仿真任务,并将数据交给功能层进行推演执行.

3) 执行层: 负责整个推演的具体执行过程.它接收控制层发送的消息及数据,进行作业的解析和具体的运算和执行,并将反馈数据(任务和角色状态)发送回控制层;控制层和执行层是整个推演系统的核心模块,因此,它们共同组成了推演引擎;

4) 显示层: 将推演过程中的态势信息和数据进行图形化(三维)的表现,使各实体的动态变化和交互信息进行实时显示,为指挥人员提供应急过程的可视化界面.显示的数据包括场景信息、各种角色的实时状态以及各种参数提示信息等.

2 应急推演系统核心数据结构的设计

整个系统采用 Delta3D 仿真引擎,推演引擎内部数据交互主要以消息的形式进行传递.除此外,主要的形式还包括:方案、任务和作业.

2.1 消息的研究与设计

系统采用消息机制在角色和组件之间进行通讯^[4,5].消息通常用来发送数据(比如属性变化)或者行为(请求或命令).因此,消息是整个系统的数据流载体,对于具有不同功能的消息可以自定义不同的消息类.

消息类主要由消息类型、消息参数列表和消息发送接收者等组成,可以通过添加参数,来增加想要传输的内容.消息类结构如图 2 所示:

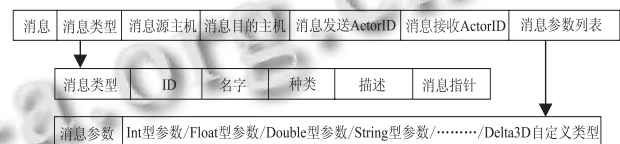


图 2 自定义消息类结构

其中,消息类型用来判断此消息是否是所接收的消息,消息参数列表用来添加自定义数据,其他参数可以用来表明发送者和接受者.

2.2 演练方案的设计

演练方案即剧本,是演练策划人员依据预案和假设的事故场景编制的.它也是模拟演练的核心数据来源之一,为演练程序、动作提供了支持.其设计内容主要包括推演剧情的描述规范和数据结构的设计.描述规范是指剧情的文件格式及其语法定义等,目的是形成规范化的剧本文件.数据结构是规范化剧情文件在计算机中的存储和表现形式,保证推演剧情能够直接

被推演引擎读取、解释，进而驱动整个推演系统运行^[6]。

剧本内容主要包括剧本说明，任务集和作业集。推演过程中通过剧本解析将剧本说明、任务集和作业集分别放入剧本实例、任务实例和作业实例属性中。

2.3 任务及作业的设计

任务主要负责对推演流程进行控制，例如灭火，疏散等。任务是从剧本中解析出来，而且每一个任务还可以分成若干个作业。作业是推演过程中的最小执行实体，例如灭火任务下可以分为如下作业：消防员 A 移动到罐体 A，消防员 B 移动到罐体 A，消防车移动到 C 点，消防员 A 喷水等。通过对作业的解析与计算来判断某项任务的完成与否。任务和作业的结构设计如图 3 所示。



图 3 任务与作业结构

任务类描述了演练任务相关的属性和属性方法。在控制器中存放任务的实例，控制器读取剧本文件后，经过任务解析后，将每条任务信息填充任务实例数据，并将所有的任务放到一个队列中存储。

作业类描述了演练作业的属性及属性方法。在控制器中存放作业信息的实例，控制器读取剧本文件后，经过任务解析后，将每条作业信息填充到作业信息实例数据，并将所有的作业信息放到一个队列中存储。

3 应急推演系统推演引擎的设计

推演引擎是对整个态势推演系统进行调度，控制和数据记录的软件系统，也是态势推演系统的核心部分^[7,8]。其功能是驱动整个态势推演系统按照推演剧情进行推演。其逻辑组成主要包括(任务)控制器和(作业)执行器两部分。

3.1 任务控制器的设计

控制器的逻辑示意图如图 4 所示。

任务控制器负责整个推演的调度和控制。主要实现以下功能：演练方案的加载；根据方案内容生成剧本实例和任务实例；根据方案内容生成作业消息，并将作业消息发送给执行器；接收指挥席新增任务消息，生成任务实例；根据执行器反馈的作业状态更新消息，更新任务状态；

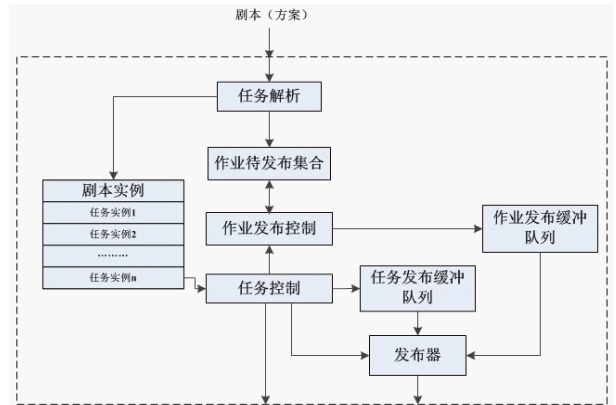


图 4 任务控制器逻辑示意图

3.1.1 任务发布流程描述

步骤 1：每帧遍历剧本实例，搜索前置任务集合为空且未发布的任务实例，将搜索到的任务实例指针加入任务发布缓冲队列；

步骤 2：调用发布者，发布者遍历任务发布缓冲队列，遍历期间发布者根据任务发布缓冲队列中任务实例属性生成任务发布消息，并将任务状态设为已发布，将当前任务实例指针移除缓冲队列。

步骤 3：遍历任务实例队列判定所有任务实例状态是否都处于已发布，若全部发布，则任务发布完成，否则继续执行步骤 1。

3.1.2 作业发布流程描述

作业发布流程与任务发布流程类似，发布控制模块每帧遍历作业发布集合，将前置作业集合为空的作业复制到作业发布缓冲队列中。控制模块再调用发布者遍历作业发布缓冲队列，根据队列中的数据发布作业消息，然后删除该作业记录，直至队列为空。

3.2 作业执行器设计

作业执行器(推演执行)是模拟推演系统的最重要子模块。逻辑示意图如图 5 所示。

执行器根据控制器发送过来的作业消息使用驱动算法完成作业内容，并反馈作业的各种状态信息给任务控制器。主要实现以下功能：将作业信息解析成作业实例；根据作业实例规定的操作激活技能算法；根据技能算法反馈的目标状态信息决定作业自身状态；向控制器反馈作业目标状态变更消息；撤销作业实例；停止和撤销技能算法；

3.2.1 作业执行流程描述

作业执行是整个推演过程的最重要的部分，其基

本步骤描述如下:

步骤 1: 每帧, 每个作业实例判断当前作业是否达到目标状态, 若已经到达, 删除该目标状态, 执行第 7 步, 否则, 继续执行.

步骤 2: 作业实例根据自身属性数据检索技能算法映射表, 激活技能算法容器中的一个或多个算法实例, 并计算下一帧所需要的数据.

步骤 3: 算法实例根据自身数据计算当前帧除自身外的所涉及到的所有被动角色, 并向对应作业实例传递这些角色指针.

步骤 4: 作业实例接收到被动角色指针后, 判断是否已经为这些角色产生过相应算法实例, 若未产生过, 通知技能算法容器为被动角色产生相应被动技能算法实例, 并激活这些算法实例.

步骤 5: 算法实例计算完毕, 查询角色状态表, 若自身到达某种规定状态, 则向对应作业实例发送该状态 ID 及角色 ID.

步骤 6: 作业实例接收角色发送的状态变更消息, 判断该状态是否与目标状态匹配, 若匹配, 则删除作业中的对应目标状态, 直至为空. 不匹配, 通过作业控制模块向(任务)控制器发送角色状态变更消息.

步骤 7: 当作业实例目标状态集为空时, 变更自身状态, 通过作业控制模块向(任务)控制器发送作业状态变更消息, 作业执行完毕.

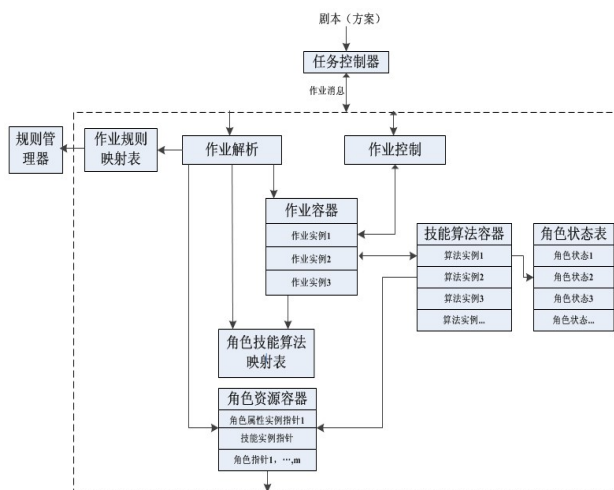


图 5 作业执行器逻辑图

4 结语

本文首先提出了应急演练方案推演系统的一种层

次体系结构, 并详细介绍了关键数据结构的设计. 在此基础上进一步详细阐述了推演系统关键模块控制器和执行器的逻辑结构以及关键算法的描述.

在整个推演系统中控制和执行是核心, 虽然本文的设计基本上已经能够满足推演的需要, 但扩展构建各种用途的模拟演练推演系统还需要对各个方面进行综合考虑, 尤其对以下问题的深入研究更有助于复杂推演系统的构建. 首先是规则的建设, 推演规则是推演过程中必须遵循的依据和规范, 规则约束的制定是确保推演符合实际情况, 保证推演逼真的重要条件. 因此, 推演系统的建设必须加强对推演规则的深入研究. 其次, 智能化是推演系统的发展方向之一, 例如规则知识及基于知识的推演和面向任务的决策支持等都有助于智能推演系统的构建.

由于推演系统的复杂性和特殊性, 推演功能需求和应用也有很大的差异. 本文设计的模拟演练推演系统具有可靠简单和可扩展的特点, 可以有效的检验和评估预案的可靠与合理性, 在事故真正发生前找到预案的缺陷, 提高应急救援的效率. 随着重大事故模拟仿真与交互式虚拟现实系统的研究与应用, 应急预案推演系统必将在安全生产管理中发挥出越来越大的作用.

参考文献

- 1 周家铭, 邢培育, 汪丽莉, 谢潮. 安全生产应急预案桌面推演的设计与实施探讨. 中国安全科学学报, 2007, 9(17): 39-44.
- 2 朱江, 白海涛, 马文. 方案评估动态推演模型设计. 指挥控制与仿真, 2012, 34(1): 78-81.
- 3 叶利民, 龚立, 刘忠. 兵棋推演系统设计与建模研究. 计算机与数字工程, 2011, 12(39): 58-61.
- 4 Darken CJ, Anderegg BG, McDowell PL. Game AI in Delta3D.
- 5 Darken R, McDowell P, Johnson E. Projects in VR: the Delta3D open source game engine. IEEE, 2005(5/6): 10-12.
- 6 吴鹏, 祝江汉等. 作战态势推演系统研究. 装备指挥技术学院学报, 2005, 16(2): 38-42.
- 7 古西睿. 指挥自动化效能评估系统中的仿真引擎研究. 计算机仿真, 2003, 12: 26-31.
- 8 文坤梅, 卢正鼎, 吴杰文, 等. 基于描述逻辑的推理系统设计与实现. 小型微型计算机系统, 2008, 29(1): 57-60.