

抢险救灾物资保障模拟训练系统分析与设计*

曹 琦^{1,2}, 何中市²

(1. 后勤工程学院 训练部, 重庆 401311; 2. 重庆大学 计算机学院, 重庆 400030)

摘 要: 计算机模拟训练是增强抢险救灾应急保障能力的重要手段, 在联合仿真建模技术的基础上分析并设计了抢险救灾物资保障模拟训练系统。提出了系统功能需求, 主要包括物资保障业务、分布交互式协同、模型管理与优化、数据管理、过程推演与保障流程控制等; 分析了三层系统结构, 基础平台层由指挥系统、导调控制系统、RTI 等组成, 资源层由模型库、知识库、数据库等组成, 应用层则由生活、野营、医疗、工程、装备等五个模拟训练子系统组成; 给出了基于联合仿真建模技术的仿真模型设计流程, 并完成了基于 HLA 的分布式系统设计, 构建了抢险救灾物资保障的四类联邦成员, 设计了 FOM 与 SOM 模型, 完成了 Agent-DEVS 联邦模型与 RTI 的接口。以上研究为开展抢险救灾应急保障模拟训练奠定了基础。

关键词: 抢险救灾; 物资保障; 模拟训练; 系统分析; 系统设计

中图分类号: TP391.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2012)01-0139-05

0 引言

面对日益严重的自然灾害, 各国政府均把增强突发自然灾害应急处置能力作为抢险救灾的重大举措。其中, 应急保障队伍力量建设尤为重要, 特别是他们在抢险救灾过程中的协同作战能力、快速反应能力、应急救援能力, 以及与其它部门、条块间的协调与衔接能力等。但是, 在突发自然灾害条件下, 各组成要素间的活动很难进行定量分析和描述, 环境因素也复杂多变, 具有许多不可预见性和不可再现性, 实战演习和训练的难度非常大。因此, 通过建立抢险救灾应急保障的仿真模型, 大力开展计算机模拟训练, 必将成为培养抢险救灾能力的新手段和有效措施。

目前, 将仿真建模理论及其相关技术用于抢险救灾领域的研究并不多, 主要集中在国外, 如 Balasubramanian 等人开发了一个进行灾害快速反应训练的仿真平台—DrillSim^[1]; Mondlane 通过对莫桑比克洪水灾害进行仿真建模以增强国家灾害反应能力^[2]; Ballbis 等人建立了一种用于自然灾害管理的动态资源分配决策模型^[3]。这些研究各有所长、各有侧重点, 但均以特定应用为对象, 缺乏扩展性, 不能满足抢险救灾应急保障模拟训练的

需求。国内主要是在矿山安全、滑坡灾害等领域进行了一些模拟训练的专项分析^[4-5], 但未见针对抢险救灾应急保障仿真建模及其模拟训练系统开发的相关研究^[6]。因此, 本文在前期研究的基于 HLA(High Level Architecture)的 Agent-DEVS(Discrete Event System Specification)联合仿真建模技术的基础上^[7-8], 以物资保障为对象, 对其模拟训练系统的功能与结构进行了详细分析, 并分别完成了仿真模型与分布式系统的设计。

1 系统分析

1.1 系统功能分析

抢险救灾物资保障模拟训练系统首先由导调人员把作业想定, 包括: 抢险救灾背景、保障对象、保障区域、环境因素等, 发布给参训人员, 然后按想定中的训练步骤推演物资保障过程。当物资保障模拟训练进行到阶段节点的时候, 通过系统的导调模块, 向受训者及时发布态势通报, 下达命令、指示, 受训者按训练计划转入后续的训练。该系统应具有以下主要功能:

(1) 物资保障业务功能。根据物资保障的业务内容和保障流程, 针对各个实体建立基于 Agent-DEVS 规范的仿真模型^[8], 并由此构成满足抢险救

* 收稿日期: 2011-08-01

基金项目: 重庆市自然科学基金项目(CSTC, 2009BB2346)

作者简介: 曹琦(1976-), 男, 重庆人, 博士, 副教授, 主要从事计算机仿真建模及模拟训练系统研究。E-mail: roy1976@163.com

灾物资保障需要的 Agent-DEVS 模型群，各模型中应涵盖的业务功能包括：任务预计、物资需求分析、保障力量需求分析、协作保障需求分析、保障能力评估等。

(2)分布交互式协同。以 HLA 为协同仿真的体系框架^[7]，将 Agent-DEVS 模型映射为抢险救灾物资保障联邦中的联邦成员，调用 RTI(Run Time Infrastructure)实现对联邦执行，联邦成员的注册、执行、注销等过程的管理，提供系统运行的基本条件和支持。

(3)模型管理与优化。通过建立模型库，实现对 Agent-DEVS 模型的存储与管理，并提供一定的目录与运算法则，可以对模型进行轻松访问和操纵；在数据积累的基础上，还可通过 SVM(Support Vector Machine)实现模型参数的自动优化。

(4)数据管理。运用数据库技术对系统中的静态数据和动态数据进行管理；定义输入/输出数据的属性，并对交互过程进行记载和跟踪；对系统运行状态数据进行采集/记录；对联邦成员的身份鉴别、权限分配等数据进行管理。

(5)过程推演。按照施训方案，对物资保障过程进行推演，对受训者制定的保障方案进行评估，检验受训者的能力水平。推演过程采用离散事件系统的事件驱动机制，仿真时钟按不等步长推进。

(6)保障流程控制。系统应能灵活地修改、设定物资保障流程，能够对 Agent-DEVS 联邦模型的耦合关系进行调整，实现物资保障“组织机构重组”和“业务流程再造”，使系统具备柔性化特征。

(7)其它辅助功能。如导调功能、文电文书功能、辅助计算功能等。

1.2 系统结构分析

抢险救灾物资保障模拟训练系统的结构如图 1 所示，共分为三个层次。

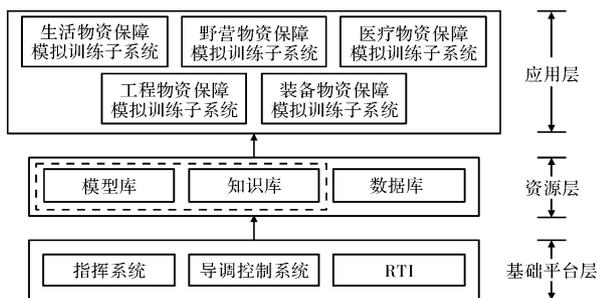


图 1 抢险救灾物资保障模拟训练系统结构

第一层为基础平台层，由指挥系统、导调控制系统、RTI 等组成。指挥系统是面向受训人员设

计的基础平台，包括态势显示、要图标绘、文书拟制、文电通信、资料查询、辅助计算、地形分析、情况报告等，重在营造适应训练所需的指挥环境，包括地理、气象、空间等；导调控制系统是面向施训人员设计的基础平台，提供导演调理所需的功能，需要控制整个系统的运行管理和状态监控，提供作业条件与态势调理和辅助裁决等应用的多种手段，同时提供各类系统维护的工具与方法等；RTI 则是面向分布交互式协同仿真的基础平台，主要用于解决各联邦成员(子系统或 Agent-DEVS 联邦模型)间的通信、完成各类数据信息的交互访问。

第二层为资源层，由模型库、知识库、数据库等组成。模型库是整个系统的核心部分，负责存储和管理包含物资保障业务逻辑与功能的 Agent-DEVS 模型，以此来完成各种保障行动的描述，解析保障过程与结果，并推进系统演变；知识库负责存储和管理物资保障领域的相关标准、规则、启发式经验、边界、约束、先前结果等，由于 Agent-DEVS 规范中包括对知识库的描述，因此可将知识库与模型库作为统一体看待；数据库负责提供整个系统的数据环境，包括保障区域自然环境、保障对象基本信息、保障力量编制编成数据等。

第三层为应用层，将物资保障业务细化，分为生活、野营、医疗、工程、装备等五个模拟训练子系统。生活物资保障模拟训练子系统主要涉及食品、衣物、被褥等日用品的应急保障；野营物资保障模拟训练子系统主要涉及帐篷、饮用水、供电、取暖等的应急保障；医疗物资保障模拟训练子系统主要涉及药品、医疗器械、洗消用品等的应急保障；工程物资保障模拟训练子系统主要涉及建材、抢修机具与设备等的应急保障；装备物资保障模拟训练子系统主要涉及各类救灾装备及其零件、耗材等的应急保障。各个子系统即可独立运行，又可在分布式环境下协同运行，甚至作为一个整体加入到更大的模拟训练系统中去。

2 仿真模型设计

抢险救灾物资保障模拟训练系统是基于联合仿真建模技术进行模型设计^[8]，其流程如图 2 所示。

步骤 1：理解抢险救灾物资保障模拟训练系统的功能，划分系统边界，进行仿真需求的分析。

步骤 2: 对问题域和系统责任进行分析和理解, 运用抽象的原则将那些无法再细分的系统对象划分成原子类(如指挥中心实体、具体业务保障实体等), 用 Agent-DEVS 原子模型规范来描述。

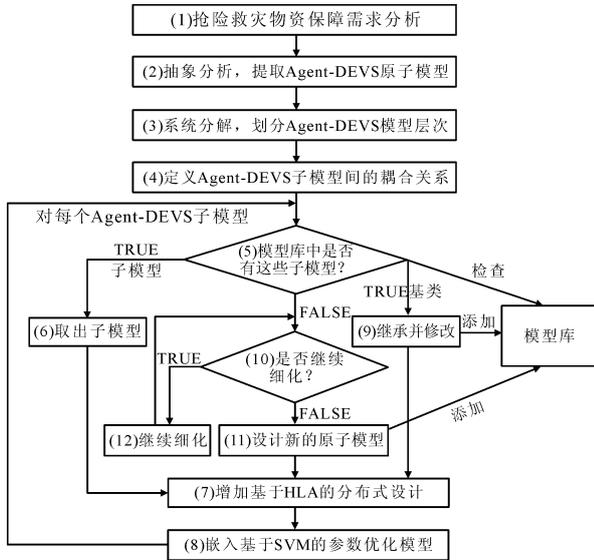


图 2 抢险救灾物资保障仿真模型设计流程

步骤 3: 根据系统的功能要求来描述系统的静态结构, 划分出各个子系统的层次结构关系(如保障实体→供应实体→供应站实体), 获得系统的粗粒度耦合图。

步骤 4: 明确各个子系统间的接口关系(如物资保障实体与供应站实体之间传递的保障任务量、物资存储量等), 按照 Agent-DEVS 耦合模型规范进行描述, 得到各个 Agent-DEVS 子模型。

步骤 5: 对所有 Agent-DEVS 子模型, 依次对照检查系统中的模型库, 看是否有现成的设计模型。

步骤 6: 若模型库中存在该子模型的现成设计模型, 则直接取出。

步骤 7: 按照 Agent-DEVS 联邦模型的设计规范, 在子模型设计中增加分布式设计, 即根据 HLA 对象模型的设计要求, 加入联邦模型接口映射的内部处理逻辑。

步骤 8: 在子模型中明确待优化的参数(如物资保障实体中的保障任务参数), 分别建立基于 SVM 的优化模型, 并将其嵌入到子模型中去, 若还有其它未检查的子模型, 则跳转至步骤 5。

步骤 9: 若模型库中存在该子模型的基类, 则可以通过继承基类, 增加、修改模型变量和函数, 使得新模型满足子模型的功能要求, 并将新模型添加到模型库中, 然后跳转至步骤 7。

步骤 10: 若模型库中不存在该子模型的现成设计模型, 则必须判断子模型是否还需细化。

步骤 11: 若子模型是原子类, 则设计其动态属性(如状态变量、转移函数、Agent 特征及内部模型等), 实现新的原子模型, 并添加到模型库中, 然后跳转至步骤 7。

步骤 12: 若子模型不是原子类, 则需对它继续细化, 给出内部耦合关系, 对每个细化后的子模型, 依次返回至步骤 10, 进行重新判断。

仿真模型运行测试的界面如图 3 所示, 其功能是观测仿真模型在各个不同离散时刻点的运行状况, 包括输入、输出端口的变化, 以及当前模型内部知识库的列表值。

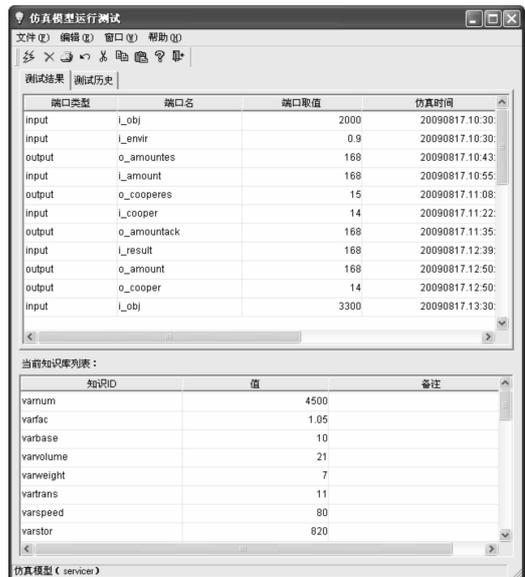


图 3 仿真模型运行测试界面

3 分布式系统设计

3.1 建立联邦成员

抢险救灾物资保障联邦成员共分为四类: 导演方成员组、保障方成员组、保障对象方成员组和环境成员组。其中, 保障对象方成员组与环境成员组为选配项, 当它们没有加入联邦时, 由导演方成员组提供保障对象及环境信息。

(1) 导演方成员组

①仿真运行管理器成员: 根据用户需求, 对仿真进行管理、控制和监视; 对系统运行情况进行记录; 对演示内容进行控制的成员。

②评估方成员: 系统的输出结果是物资保障的方案, 评估方成员根据这些方案进行分析处理, 得出便于比较的保障效能综合值, 并进行保障率、

置信度与效费比分析。

③模型库成员：采集 Agent-DEVS 联邦模型间的交互信息，并存入知识库中；负责完成模型库的管理与模型参数的优化。

④数据库成员：采集除模型交互外的成员交互数据，并将其在数据库中存档；负责完成数据库的管理。

⑤显示成员：演示地理状态，实现仿真的可视化，演示仿真的过程。

(2) 保障方成员组

①Agent-DEVS 联邦模型：基于联合仿真建模技术建立的 Agent-DEVS 联邦模型，如物资保障实体、指挥中心实体、供应站实体、工厂实体、市场实体、运输保障实体、卫生检疫实体、仓库保障实体、政府实体等联邦成员。

②非 Agent-DEVS 成员：采用非 Agent-DEVS 方法建立的符合 HLA 标准的联邦成员，如已有的仿真系统，或是系统加入到更大的联邦时所面临的其它联邦成员。

③实物虚拟成员：当进行室内与室外相结合的模拟演练时，通过实物模拟器节点接入联邦的成员，如车辆模拟器、仓库模拟器等。

(3) 保障对象方成员组

由受灾群众成员、救灾部队成员、救援者成员、志愿者成员等组成。

(4) 环境成员组

由突发事务环境成员、地理环境成员、气象环境成员、海情环境成员等组成。

3.2 FOM/SOM 设计

HLA 中的对象模型主要描述两类对象，一类主要描述联邦中各成员间所有用于交换的数据 (Federation Object Model, FOM)；另一类描述每个联邦成员能够提供给联邦的自身能力 (Simulation Object Model, SOM)。系统中的 FOM/SOM 设计流程如下：

(1) 确定 FOM 中的对象类及其属性

主要通过抢险救灾物资保障 Agent-DEVS 模型群的原子模型描述，转换并确定对象类及其属性。

(2) 确定 FOM 中的交互类及其参数

主要通过抢险救灾物资保障 Agent-DEVS 模型群的耦合模型描述，转换并确定交互类及其参数。

(3) 建立 OMDT (Object Model Development Tool) 与 Agent-DEVS 间的双向转换

对象类/交互类的设计通常是在 OMDT 中完成的，在由 Agent-DEVS 模型描述信息转换成 OMDT

对象信息的同时，还可以实现 OMDT 对象信息到 Agent-DEVS 模型信息的转换。

(4) 生成 SOM

确定 SOM 中各对象类的属性和各交互类的参数，填写对象类结构表、交互类结构表、属性表、参数表、属性/参数子表、SOM 词典。

(5) 生成 FOM

依据 HLA 规则^[9]，一个联邦只能有一个 FOM，在前面生成的 SOM 的基础上，即可组合而成联邦的 FOM。

(6) 生成 FED (Federation Execution Data) 文件

FED 文件记录了所有参加联邦交互的对象类及其属性、交互类及其参数、传输类型、传输顺序以及路径空间信息等。RTI 根据 FED 文件提供的数据创建相应的联邦执行，并在生命周期内以其为依据，协调联邦成员的交互。

3.3 联邦成员接口设计

Agent-DEVS 联邦模型与 RTI 的接口部分主要包括：创建并加入联邦，初始化 RTI 数据，声明公布/订购关系，请求时间推进，知识更新，模型耦合交互，退出并撤销联邦等。其中，知识更新和模型耦合分别与 HLA 的属性更新和实例交互建立了映射，处理逻辑位于 Agent-DEVS 模型内部。

仿真运行管理器成员的总控界面如图 4 所示，其功能是统一发布时间推进消息，控制加入联邦的其它联邦成员统一进行时间推进，同时监控其它联邦成员的运行状态。



图 4 仿真运行管理器总控界面

4 结论

计算机模拟训练是增强抢险救灾应急保障能

力的重要手段, 本文在联合仿真建模技术的基础上对抢险救灾物资保障模拟训练系统进行了分析与设计。提出了系统功能需求, 分析了三层系统结构。给出了基于联合仿真建模技术的仿真模型设计流程, 并完成了基于 HLA 的分布式系统设计。抢险救灾应急保障模拟训练系统的建设是一项长期而艰巨的任务, 目前仅是一个原型系统, 下一步将以本文完成的系统分析与设计为依据, 进一步完善系统开发, 实现其它相关业务的模拟训练子系统, 并以此为牵引, 为构建更大应用范围内的抢险救灾应急保障模拟训练平台创造条件。

参考文献:

- [1] Balasubramanian V, Massaguer D, Mehrotra S, et al. DrillSim: a simulation framework for emergency response drills[C]//Proceedings of IEEE International Conference on Intelligence and Security Informatics. San Diego: Springer-Verlag, 2006: 237 - 248.
- [2] Mondlane A I. Integrated risk response techniques in emergency situations: the Mozambique floods case simulations[C]//Proceedings of International Conference on Sustainable Development and Planning. Bologna: WIT Press, 2005: 1189 - 1197.
- [3] Balbis L, Gaetani F, Miniciardi R, et al. A decisional model for dynamic allocation of resources in natural disasters management [C]//Proceedings of 3rd International Conference on Computer Simulation in Risk Analysis and Hazard Mitigation. Sintra: WIT Press, 2002: 243 - 252.
- [4] 陈建宏, 周科平, 周智勇, 等. 矿山安全仿真模拟平台建设关键技术[J]. 矿业研究与开发, 2006, 26(B11): 120 - 125.
- [5] 乔建平, 陈永波. 滑坡灾害快速反应系统[J]. 自然灾害学报, 2004, 13(1): 132 - 136.
- [6] 刘健利, 温家洪, 尹占娥, 等. 灾害系统模拟技术和方法述评[J]. 灾害学, 2009, 24(1): 106 - 111.
- [7] 曹琦, 何中市, 余磊, 等. 基于 HLA/RTI 的联合仿真建模技术框架[J]. 系统仿真学报, 2008, 20(11): 2920 - 2924.
- [8] Cao Q, He Z S, Yu L. Intelligent modeling and simulation with Agent-DEVS[J]. Innovative Computing Information and Control - Express Letters, 2010, 4(3): 821 - 826.
- [9] 黄柯棣. 系统仿真技术[M]. 长沙: 国防科学技术大学出版社, 1998.

Analysis and Design of Simulation Training System for Disaster Relief Material Support

Cao Qi^{1,2} and He Zhongshi²

(1. Department of Training, Logistical Engineering University, Chongqing 401311, China;
2. College of Computer Science, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: Computer simulation training is an important method for enhancing capability of emergency support in disaster relief. Simulation training system for material supply is analyzed and designed on the basis of combining modeling and simulation technology. Functional requirements of that system are proposed. The main functions include supply operation, distributed interactive cooperation, models management and optimization, data management, process advancing and supply flow control. A three-layered system structure is analyzed. The infrastructure layer is composed of command system, directing and control system and RTI (Run Time Infrastructure). The resource layer is composed of model base, knowledge base and database. And the application layer is composed of five simulation training sub-systems which are related to living, camping, medical treatment, engineering and equipment. Designing flow of simulation models based on technology of combining modeling and simulation is given. The distributed system design based on HLA is completed. Four kinds of federates for material supply in emergent disaster are constructed. FOM (Federation Object Model) and SOM (Simulation Object Model) are designed. And the interfaces between Agent-DEVS federate and RTI are devised. These efforts lay the foundation for development of simulation training on services of emergent disaster.

Key words: disaster relief; material support; simulation training; system analysis; system design