Journal of System Simulation

Volume 33 | Issue 1 Article 25

1-18-2021

# Architecture Design of an Emergency Command Simulation Exercise Platform Based on TENA

Peng Zhang
*China Academy of Electronics and Information Technology, CETC, Beijing 100041, China;*

Qinfu Li
*China Academy of Electronics and Information Technology, CETC, Beijing 100041, China;*

Follow this and additional works at: https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal

Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

# Architecture Design of an Emergency Command Simulation Exercise Platform Based on TENA


## Abstract

Abstract: Based on the analysis of the current situation and development needs of the emergency command simulation exercise platform and the common characteristics of most emergency command case scenarios, *an emergency command simulation exercise platform architecture based on TENA (Test and Training Enabling Architecture) is designed and put forward, which can expand various simulation models such as disaster accidents, disaster-bearing subjects, higher-lower linkage command organizations, rescue forces, natural environment, etc. in a multi-granularity and modular manner, and interface with various exercise support and analysis evaluation tools, as well as heterogeneous systems such as external three-dimensional simulation, virtual reality/augmented reality equipment simulator, etc.* It can realize rapid integration and implementation of command exercise platforms across regions, support and verify decision-making activities in command scheduling, resource allocation, etc., and can provide support for the development of emergency command assistant decision-making systems.



## Keywords

Test and Training Enabling Architecture(TENA), emergency command drill, modeling, simulation


## Recommended Citation

Peng Zhang, Li Qinfu. Architecture Design of an Emergency Command Simulation Exercise Platform Based on TENA[J]. Journal of System Simulation, 2021, 33(1): 231-238.


This paper is available in Journal of System Simulation: https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal/vol33/iss1/25

第 33 卷第 1 期 系统仿真学报© Vol. 33 No. 1
2021 年 1 月 Journal of System Simulation Jan. 2021

# 一种基于 TENA 的应急指挥模拟演练平台架构设计

彭彰，李钦富
(中国电子科技集团公司 电子科学研究院，北京 100041)

**摘要：**通过分析应急指挥模拟演练平台现状及发展需求，并结合大多数应急指挥案例场景的共性特点，*设计提出了一种基于试验与训练使能体系结构(Test and Training Enabling Architecture, TENA)的应急指挥模拟演练平台架构，可多粒度、组件化地扩充灾害事故、承灾主体、上下级联动指挥组织机构、救援力量、自然环境等各类仿真模型，接入各类演练支撑和分析评估工具以及外部三维仿真、虚拟现实/增强现实装备模拟器等异构系统，*跨地域实现指挥演练平台快速集成和实施，支撑验证指挥调度、资源调配等方面决策活动，能够为应急指挥辅助决策系统开发提供支撑。

**关键词：**试验与训练使能体系结构；应急指挥演练；建模；仿真
中图分类号：TP391.9 文献标志码：A 文章编号：1004-731X (2021) 01-0231-08
DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.19-0450

## Architecture Design of an Emergency Command Simulation Exercise Platform Based on TENA

*Peng Zhang, Li Qinfu*
(China Academy of Electronics and Information Technology, CETC, Beijing 100041, China)

**Abstract:** Based on the analysis of the current situation and development needs of the emergency command simulation exercise platform and the common characteristics of most emergency command case scenarios, *an emergency command simulation exercise platform architecture based on TENA (Test and Training Enabling Architecture) is designed and put forward, which can expand various simulation models such as disaster accidents, disaster-bearing subjects, higher-lower linkage command organizations, rescue forces, natural environment, etc. in a multi-granularity and modular manner, and interface with various exercise support and analysis evaluation tools, as well as heterogeneous systems such as external three-dimensional simulation, virtual reality/augmented reality equipment simulator, etc.* It can realize rapid integration and implementation of command exercise platforms across regions, support and verify decision-making activities in command scheduling, resource allocation, etc., and can provide support for the development of emergency command assistant decision-making systems.

**Keywords:** Test and Training Enabling Architecture(TENA); emergency command drill; modeling; simulation

## 引言

应急管理是包含日常监测预警、突发事件传报、应急响应联动、应急指挥调度、救援力量协调、应急救援处置等活动的复杂行动。为使应急管理体系更加满足安全生产监管、自然灾害风险防范和应急救援指挥等方面的现实需要，确保涉危生产企业布局选址、安全风险预警设备部署、应急指挥决策、应急救援队伍布局、应急装备配备等决策行为合理可行，需要开展多种粒度的建模仿真甚至大规模跨地域应急演练活动。通常该类活动包含灾害事故、各种传感器、指挥机构、通信网络、救援队伍、救援装备以及复杂的现场环境和导演团队等各类参

收稿日期：2019-05-20 修回日期：2019-08-27
作者简介：彭彰(1979-)，男，硕士，高工，研究方向为电子信息系统仿真、应急管理信息系统技术。E-mail：pzsdcn@126.com

与对象，是与军事体系对抗相似的宏观与微观并存的一种活动。

由计算机模拟产生虚拟场景并带动指挥人员、救援队伍进行虚实结合演练是应急演练的重要方式，它弥补了桌面演练的情景可视化问题且比实战演练更低成本、更可重复执行。本文在对应急指挥模拟演练平台需求进行分析之后，以试验与训练使能架构(Test and Training Enabling Architecture，TENA)为基础，研究了其特点以及在应急指挥模拟演练平台中的应用。基于 TENA 的应急指挥模拟演练平台支持快速接入外部模拟器、演练支撑和分析评估工具，并可实现跨地域模拟演练活动，按需对应急指挥活动中关心的要素指标进行仿真，为应急指挥决策系统研究提供支撑。

# 1 模拟演练平台现状与需求分析

## 1.1 应急指挥模拟演练平台现状分析

与实战演练相比，模拟演练需要人力、物力和财力更少，对于大型演练活动，模拟演练更容易以较小的代价实施多次重复演练，迭代优化应急预案，解决应急响应、协调联动、指挥处置等各环节的问题。模拟演练方式已经成为实施大型全面综合性应急演练的必经途径和必要手段。

针对城市内涝应急演练，赵杰[1]建立了基于兵棋推演的城市内涝模型和应急管理评价模型，实现了城市内涝过程的模拟，演练了政府各部门和暴雨之间“对抗”过程，模拟了政府部门对城市内涝灾害的搜索救援工作。

周柏贾等[2]用虚拟仿真应用技术构建了虚拟地震应急演练平台，提出了系统体系结构、想定编辑器、演练控制的设计思想以及虚拟应急演练的组织方式，将演练者置身于 VR 环境中进行指挥决策，提升其快速反应和应急处置能力。平台选用高层体系结构 HLA(High Level Architecture)作为系统的仿真技术框架，使用 HLA 中的核心部分 RTI 作为系统的仿真运行支撑环境。

邱晓刚等[3]基于非常规突发事件发展和应急管理处置的特点，提出了采用高质量的、灵活的、可扩展的建模与仿真软件框架，该框架具有仿真系统/模型随情景变化的可重组能力、应急预案的评估能力、智能主体的整体行为涌现仿真能力。

盛小朋[4]设计了应急仿真演练服务平台的层次式软件体系结构、平台时间管理与消息管理的总体框架，将基础服务与业务模块解耦，充分增强了平台的可扩展性与可维护性。

## 1.2 应急指挥模拟演练平台需求分析

目前，应急指挥演练多是针对某个特定区域的地震、洪涝等应急情景进行演练，且受训人员主要是一线的救援人员，其定位为战术级。为满足应急管理体系建设需要，对涉及到多区域、多领域、含有衍生灾害的情景进行仿真，对高层应急指挥员的综合能力进行训练，必须构建体系级的应急指挥模拟演练平台，支撑开展战役级或战略级指挥的分布式应急仿真演练活动。

在应用需求方面，战役级或战略级的应急指挥模拟演练平台需将各类研究对象置于体系仿真环境中，支持开展指挥调度、辅助决策、资源调配、上下级协同、指令下达等方面的演练，以及分析评估应急力量资源的综合能力和效能、规划应急装备的宏观能力需求。

在功能需求方面：(1) 需能从应急演练需求出发，以统一描述语言对灾害事故、承灾主体、救援力量、自然环境等参演要素进行描述，结合对应仿真模型参数，生成可以运行的仿真想定脚本；(2) 需能针对灾害事故、承灾主体(建筑物、道路设施、危化品储罐等)、应急资源(救灾物资、救援队伍、应急水源等)、自然环境(气候天气、道路桥梁、避难场所等)、应急指挥组织机构等参与要素进行定义、分析相互关系和特征属性，构建对应的仿真模型，接收统一调度和运行，记录状态数据和仿真模型之间的交互数据，支撑综合显示和分析评估；(3) 需基于时间轴设置各类突发事件，由时间触发或人工触发事件发生；(4) 需能够进行数据收集、演练评



https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal/vol33/iss1/25
DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.19-0450

估指标配置、演练评估结果计算和展示；(5) 需要面向多角色参演人员，提供良好人机交互体验。

在性能需求方面，应急指挥模拟演练平台应能够支持多种粒度的仿真、多种异构系统的接入，适配参训人员和仿真模型分布式部署需要，同时应具有适应性强、灵活性高的特点，信息传输速率高、系统稳定性强，并具备扩展升级的能力。

## 2 应急指挥模拟演练平台架构设计

应急指挥模拟演练平台应能够集成跨地域分布式环境下的仿真系统、原型系统、实装系统，对多异地、多级别指挥人员提供联合演练支持。鉴于应急指挥模拟演练与军事试验与训练的相似性，本文参考 TENA 体系结构[5-7]的思想，设计了应急指挥模拟演练平台的分布式架构，集想定编辑、演练导控、仿真模拟、演练评估、综合显示、数据存储管理等功能于一体，具备综合化、通用化、可扩展等特点。平台架构如图 1 所示。

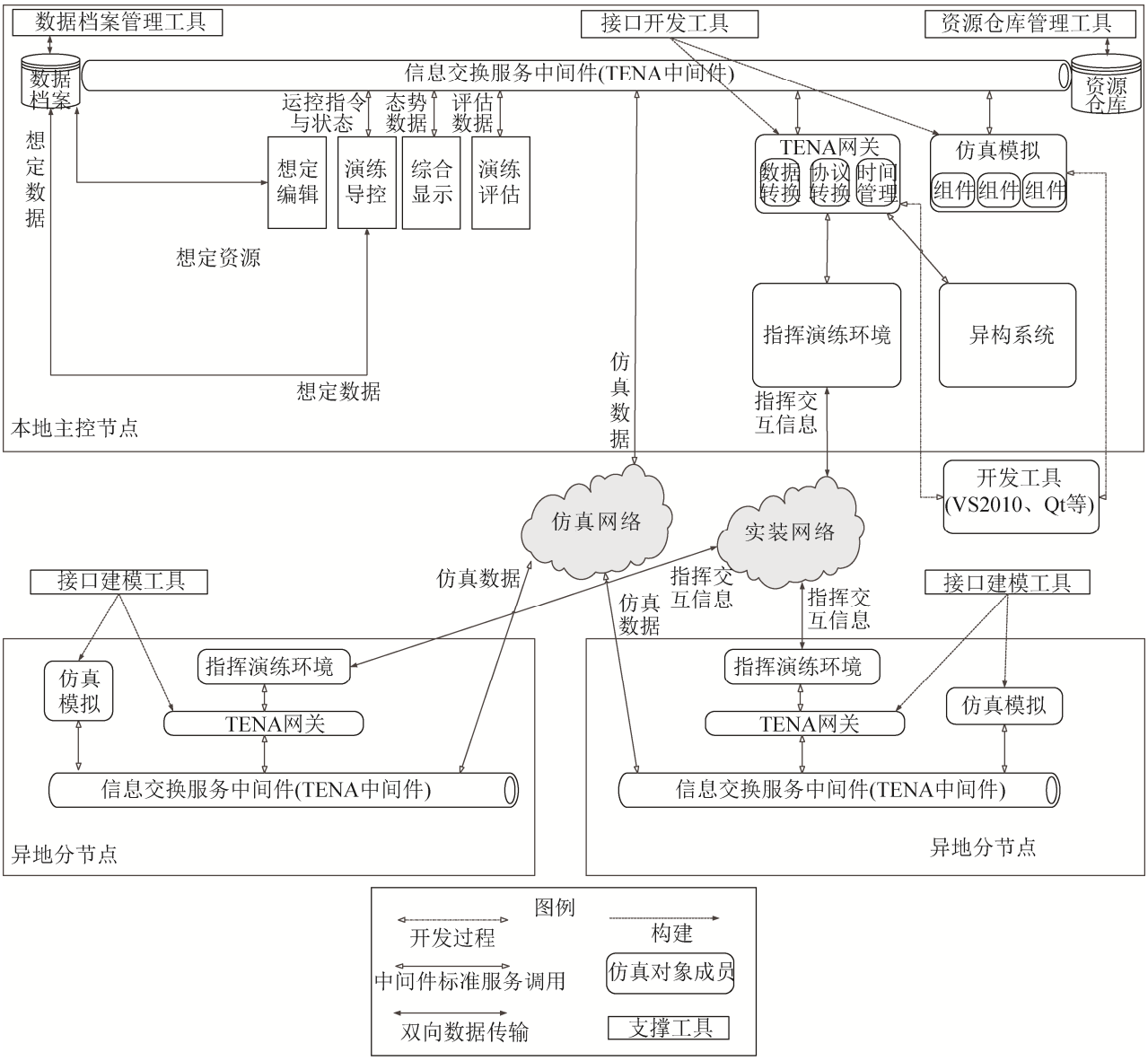


图 1 应急指挥模拟演练平台架构
Fig. 1 Emergency command exercise platform architecture

## 2.1 主要组成和信息关系

在该架构中，本地主控节点内部由演练支撑应用和演练业务应用(包含演练导调控制应用、综合显示应用、演练评估应用等)完成演练前数据准备和想定编辑，演练中运行控制和综合显示，演练后数据回放和分析评估。所有组成要素通过在网络上部署的信息交互服务中间件进行信息的订购和发布。指挥演练环境在不同层级具备不同的功能，同时一般由不同组织开发，作为一个与仿真系统异构的对象成员可通过网关连入仿真网络，同时通过实装网络与其它指挥环境交互信息，从设备功能到信息传递都反映了物理上的真实性。

## 2.2 仿真对象成员

仿真对象成员包括完成特定功能的各类仿真支撑设备，存在形式包括仿真模型及半实物模拟器等，为多种条件下的混合演练提供支持。不同功能的应急指挥模拟演练系统具有不同组合的仿真对象成员，而已有的仿真对象成员具有良好的可重用性，可被用于不同的模拟演练系统中。其组成如图 2 所示。

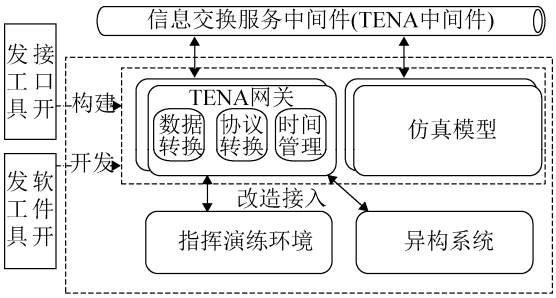


图 2 仿真对象成员应用

Fig. 2 Simulation object member application

图 2 中，接口开发工具可根据参演对象信息交互关系构建 TENA 网关和仿真模型软件代码框架；TENA 网关完成异构系统、指挥演练环境的接入，仿真模型则完成灾害事故、各种传感器、指挥机构、通信网络、多种救援队伍与装备、复杂环境等要素的模拟。应急管理体系中的各种设施、系统、装备、模拟器等资源，进行粗细粒度的分解与耦合设计，均可不同程度地通过组件或仿真模型集成到该架构中，促进各类资源的互操作、可重用和可组合。

### 2.2.1 仿真模型组件化框架

仿真模型模拟单个或复合仿真资源，可由多个组件构成，如图 3 所示。一个仿真模型通常具备运行支撑功能和仿真模拟功能。前者包括仿真控制处理、想定加载、参数加载等功能，后者包括组成仿真模型的认知模型、传感器模型、执行处置模型、机动平台模型、通信设备模型等组件模型。其中，传感器模型、执行处置模型、机动平台模型、通信设备模型、认知模型均称为组件模型，可以分别实现，最后根据演练需求选择需要的组件模型装配形成仿真模型。

### 2.2.2 TENA 网关技术框架

TENA 网关用于应急指挥模拟演练平台与非 TENA 系统集成，文献[8]描述其结构如图 4 所示。本文进一步细化描述：协议转换器是一类特殊的自定义软件，用于将 TENA 状态分布对象(State Distribution Objects，SDO)、消息和数据流中的信息与非 TENA 协议中对应对象互相转换。主要功能为：(1) 针对不同协议提供协议解析及编码，实现异构系统数据的动态交互；(2) 支持符合外部多种数据传输协议的系统接入(如物联网系统、航空救援飞机任务系统等)；(3) 具备开放的基础框架，可对新增协议二次开发形成与 TENA 对象进行动态转换的组件，支持协议转换组件的自动选择性运行。

## 2.3 演练导调控制应用、综合显示应用和演练评估应用

演练导调控制应用用于综合调度管理全部仿真对象成员、综合显示应用以及演练评估应用执行初始化、时统、开始、停止、重启等演练过程控制，使参与演练的所有节点以一致的时间和状态运行；支持实时监控节点的运行状态。综合显示应用支持二三维场景显示以及演练数据显示。演练评估应用对演练数据进行实时和事后处理分析，包括演练采集数据的过滤、格式化转换、评估计算分析等。



https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal/vol33/iss1/25
DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.19-0450

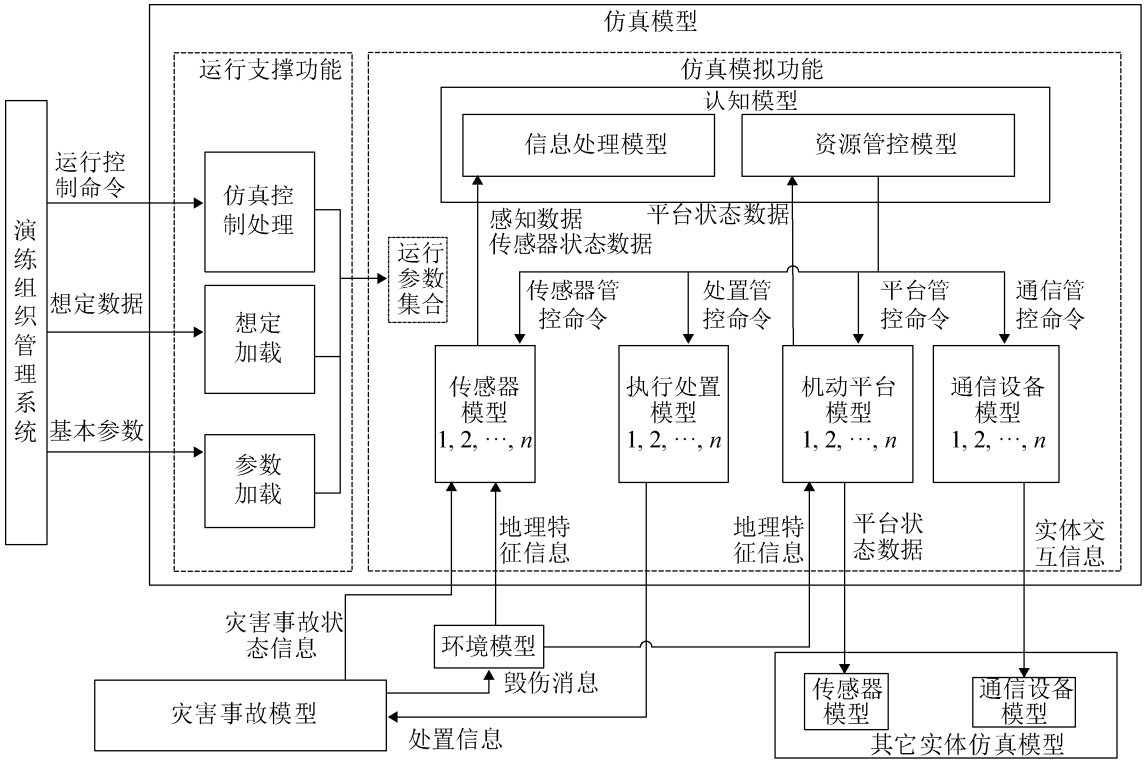


图 3 仿真模型组件化框架
Fig. 3 Component framework of simulation model

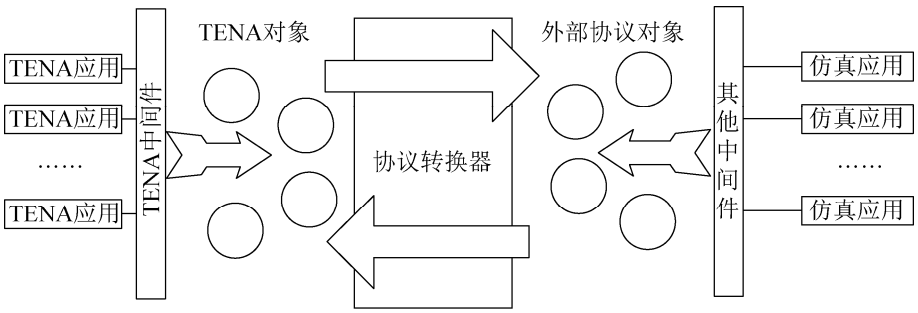


图 4 TENA 网关结构图
Fig. 4 TENA gateway structure

## 2.4 数据档案库和资源仓库

数据档案库包含执行演练所需的所有数据，包括初始化信息、模拟演练期间收集的数据以及总结信息等，是应急指挥模拟演练系统中的应用资源之间的非实时通信的主要手段。数据档案库是一个高性能、分布式、按时序组织的数据库，支持实时查询功能，它分布在演练系统的多个计算机上，为模拟演练系统正常运行提供必要的数据支持。

资源仓库是一个庞大的、统一的、安全的数据库，用于存储仿真对象成员及其他信息，支持实物、半实物接口模型及数字仿真模型。它呈现给用户的是一个单一的“逻辑”仓库，能够为不同种类的演练任务及系统使用 TENA 资源提供接口机制。

## 2.5 信息交互服务中间件

信息交互服务中间件(TENA 中间件)提供参演节点之间的高性能、低延迟、实时通信，负责将整个演练系统连接起来。通常采用开源的互联网通信引擎 ICE(Internet Communications Engine)做为底

层通讯基础设施，支持 Windows，VxWorks 和 Unix/Linux 等操作系统，中间件接口为标准 C++ 模式，提供各种基本应用服务。演练运行前支持服务包括：在线成员管理服务、声明管理服务、数据分发管理服务和安全管理服务。演练运行中支持服务包括：数据分发管理服务、安全管理服务、系统运行服务、对象管理服务、时间管理服务和所有权管理服务。

### 2.6 演练支撑工具

为了快速地开展演练，还需要工具支撑，包括接口开发工具、想定工具、资源仓库管理工具、数据档案管理工具、软件开发环境等。

## 3 典型演练示例

### 3.1 演练过程

基于应急指挥模拟演练平台开展演练的过程包括演练前、演练中、演练后 3 个阶段。如图 5 所示。

(1) 演练前，分析演练方案和想定场景，确定参演对象的信息发布与订阅关系，开发或组装形成仿真模型，并将参演对象仿真模型的参数进行编辑保存；将各类仿真使用资源进行注册入库；根据演练需求对演练参数、评估指标、采集数据进行配置，进行演练想定编辑，形成格式化的想定文件，并进行指挥演练环境以及异构系统的接入。

(2) 演练中，演练就绪时选择演练想定文件，设置演练时间零时刻，执行初始化，将演练想定和零时刻分发给各个参演对象仿真模型所在的节点，监视其就绪状态；执行演练开始后，各参演对象仿真模型按照信息关系生成、接收、处理、发送或公布数据；演练过程中，各模型根据运行参数采集数据；演练完成时，演练导控人员执行停止命令，也可以执行重启指令，执行多次演练。

(3) 演练后，演练评估人员控制各参演对象仿真模型所在节点对记录的数据进行收集，存储到数据库；根据演练采集的数据进行回放分析；根据演练想定、采集数据、评估方案进行各项指标的分析和评估，给出演练评估结论。

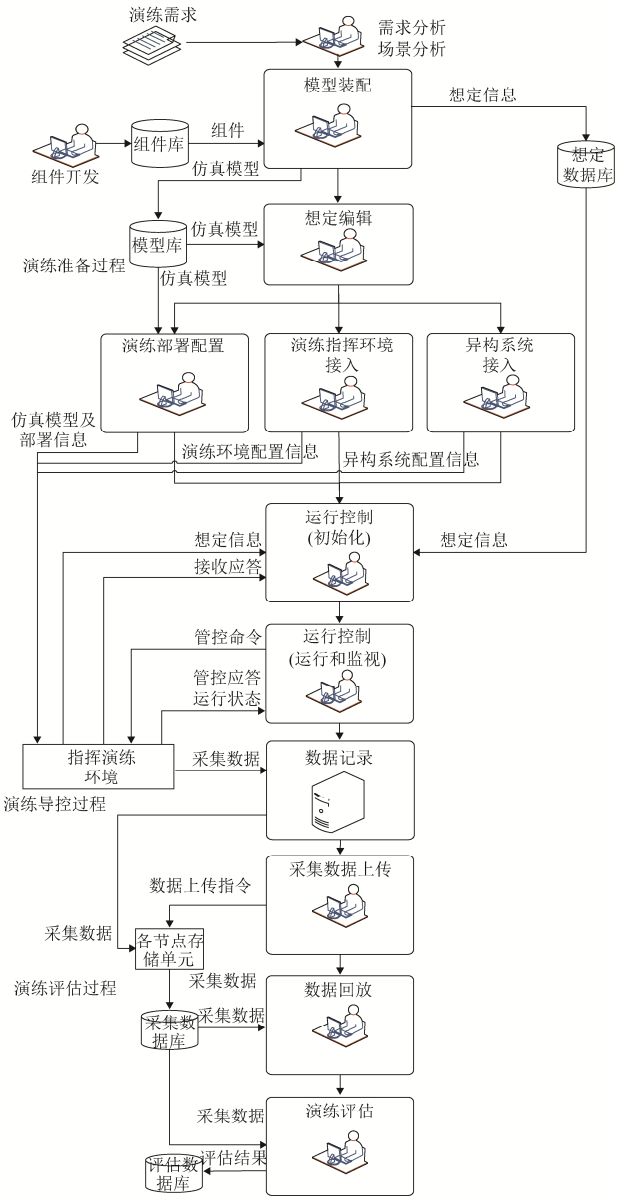


图 5 应急指挥模拟演练过程

Fig. 5 Emergency command exercise process

### 3.2 典型范例

为了说明该平台架构的可扩展、可重组特征，本文以典型地震灾害救援指挥演练进行示范。该演练科目的目的是基于典型地震灾害场景和一定数量、位置分布固定的救援队伍与装备，优化指挥调度决策，仿真评估不同的队伍调度方案的实施救援效果，为指挥员改进指挥决策提供依据。

模拟演练评估主要采用距离灾害点一定范围



https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal/vol33/iss1/25
DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.19-0450

内所选救援队伍到达集合点的平均集合时间、队伍能力与灾害点受灾特点匹配度、完成救援时间、队伍疲劳度等指标，与救援队伍数量、装备能力、部署位置、力量分配等存在紧密关系。通过设置灾情想定并预先制定不同调度方案，形成指挥员训练场景，在演练过程中对指挥员各项操作步骤、处理结果、发出指令等数据和各类仿真数据进行记录，在演练后对记录数据进行分析评估。

(1) 演练中涉及的对象仿真模型包括：地震灾害仿真模型、地震监测预警仿真模型、救援队伍仿真模型、道路环境仿真模型等。

(2) 组成仿真模型的组件模型信息发布与订阅关系如图 6 所示，信息的定义和发布订购关系均可通过“接口开发工具”灵活的编辑。

(3) 对地震灾害仿真模型、地震监测预警模型、救援队伍等仿真模型的初始化和运行导控，通过演练导调控制应用统一控制，发送演练想定，监视运行；通过演练评估应用的数据记录和分析，对演练结果给出定量分析结论。

可以看出，应急指挥模拟演练系统的可扩展和可重组特征体现在模型的灵活装配、信息交互关系的编辑、订购发布关系的制定、模型处理规则粒度的调整以及对外部异构系统的灵活引接等方面，支撑可扩展和可重组的柔性设计均有相应的软件工具实现，这些软件工具在基于 TENA 的体系架构下能够统一协调运行。

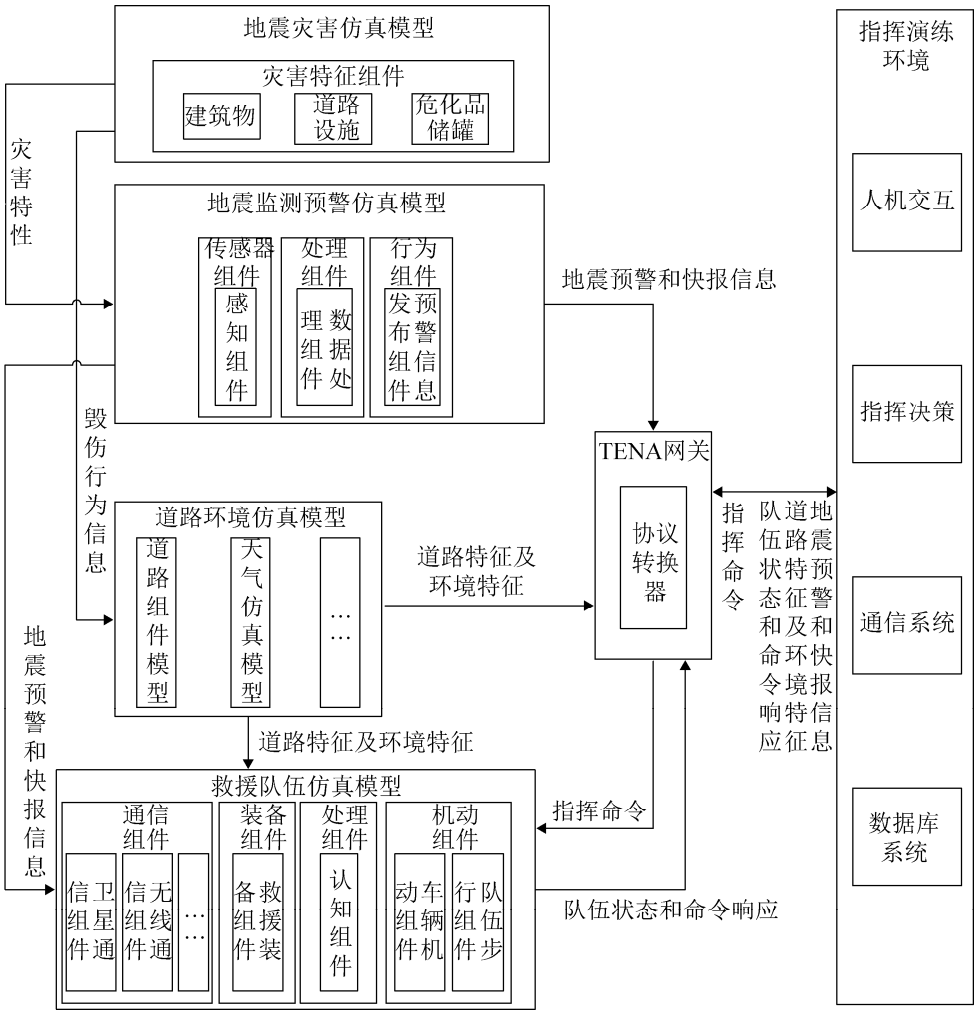


图 6 仿真模型的信息发布与订阅关系

Fig. 6 Information publishing and subscribing relationship of simulation models

## 4 结论

面向应急管理体系多层级、多粒度仿真存在的难题，本文基于组件化建模仿真技术和 TENA 设计了应急指挥模拟演练平台架构，该架构具备可扩展和可重组特征，支持模型的快速开发集成，支持外部异构系统和实装指挥训练环境的接入，希冀为开展救援队伍能力评估、应急管理体系综合能力评估、指挥机构决策训练等系统提供支撑，进而提高信息化条件下的应急指挥能力。

## 参考文献：

[1] 赵杰. 城市内涝应急管理兵棋推演系统建模及仿真[D]. 济南: 山东大学, 2013.
Zhao Jie. Modeling and Simulation of Urban Waterlogging Emergency Management in Wargaming System [D]. Ji'nan: Shandong University, 2013.

[2] 周柏贾, 贾群林. 地震应急演练虚拟仿真应用技术[J]. 自然灾害学报, 2011, 20(5): 59-64.
Zhou Baijia, Jia Qunlin. Application of Virtual Reality Simulation Technology to Earthquake Emergency Drill[J]. Journal of Nautral Disasters, 2011, 20(5): 59-64.

[3] 邱晓刚, 樊宗臣, 陈彬, 等. 非常规突发事件应急管理仿真的需求与挑战[J]. 系统仿真技术, 2011, 7(3): 169-176.
Qiu Xiaogang, Fan Zongchen, Chen Bin, et al. Requirements and Challengs of Modeling and Simulation in the Unconvential Emergency Management[J]. System Simulation Technology, 2011, 7(3): 169-176.

[4] 盛小朋. 分布式应急仿真演练时间管理与消息管理机制研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2016.
Sheng Xiaopeng. A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2016.

[5] 冯润明, 王国立, 黄柯棣. 试验与训练使能体系结构(TENA)研究[J]. 系统仿真学报, 2004, 16(10): 2280-2284.
Feng Runming, Wang Guoli, Huang Kedi. Research on Test and Training Enabling Architecture[J]. Journal of System Simulation, 2004, 16(10): 2280-2284.

[6] 陈浩, 彭彰, 冯占林. 基于 TENA 思想的分布式试验系统设计[J]. 信息系统工程, 2016(8): 76-78

[7] 张洁. 基于 TENA 思想的分布式靶场虚拟试验系统设计[J]. 系统仿真技术, 2011, 7(1): 58-62.
Zhang Jie. Design of an TENA-Based Distributed Virtual Test System[J]. System Simulation Technology, 2011, 7(1): 58-62.

[8] 徐海, 吴健, 赵佐, 等. TENA-HLA 网关软件自动生成技术研究[J]. 西北工业大学学报, 2014, 32(3): 356-361.
Xu Hai, Wu Jian, Zhao Zuo, et al. Research on TENA-HLA Gateway Software Automatic Generation Technology[J]. Journal of Northwestern Polytechnical University, 2014, 32(3): 356-361.



https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal/vol33/iss1/25
DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.19-0450