

12-12-2019

Design of Spatial Agent Simulation Platform based on WebGIS

Zheng Zhong

Engineering Design and Research Institute of Rocket Force Research Academy, Beijing 100011, China;

Zhengyang Chang

Engineering Design and Research Institute of Rocket Force Research Academy, Beijing 100011, China;

Yunfeng Fei

Engineering Design and Research Institute of Rocket Force Research Academy, Beijing 100011, 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.

Design of Spatial Agent Simulation Platform based on WebGIS

Abstract

Abstract: Task simulation is important in planning of national defense facility system. An architecture with a simulation model system and task data management system scheme is proposed to *combine geo-processing service of traditional GIS and Agent simulation to overcome the shortness in temporal analysis and task simulation of traditional GIS*. Potential benefits include: *shareable simulations, rich spatial analysis resources, and high credibility*. Based on that, an experimental Spatial-Agent simulation prototype is developed with WebGIS technology. Taking a transportation task as an example, the feasibility of the design is verified.

Keywords

WebGIS, spatial agent, simulation service, facility system

Recommended Citation

Zheng Zhong, Chang Zhengyang, Fei Yunfeng. Design of Spatial Agent Simulation Platform based on WebGIS[J]. Journal of System Simulation, 2019, 31(9): 1842-1851.

基于 WebGIS 的空间智能体仿真平台设计

郑重, 常正阳, 费允锋

(火箭军研究院工程设计研究所, 北京 100011)

摘要: 国防设施体系规划, 需要引入仿真评估手段。在分析系统需求的基础上, 针对传统 GIS 无法支持时间因素分析和任务模拟的不足, 将 GIS 的空间分析服务与基于智能体的仿真相结合, 设计了仿真模型体系和任务数据管理方案, 具有支持共享、空间分析资源丰富的优点, 在 WebGIS 技术的支撑下, 设计了适用于设施体系仿真分析评估的空间智能体仿真服务原型系统。以运输任务为算例, 验证了仿真服务设计的可行性。

关键词: WebGIS; 空间智能体; 仿真服务; 设施体系

中图分类号: TP391.9 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2019) 09-1842-10

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.17-0306

Design of Spatial Agent Simulation Platform based on WebGIS

Zheng Zhong, Chang Zhengyang, Fei Yunfeng

(Engineering Design and Research Institute of Rocket Force Research Academy, Beijing 100011, China)

Abstract: Task simulation is important in planning of national defense facility system. An architecture with a simulation model system and task data management system scheme is proposed to *combine geo-processing service of traditional GIS and Agent simulation to overcome the shortness in temporal analysis and task simulation of traditional GIS*. Potential benefits include: *shareable simulations, rich spatial analysis resources, and high credibility*. Based on that, an experimental Spatial-Agent simulation prototype is developed with WebGIS technology. Taking a transportation task as an example, the feasibility of the design is verified.

Keywords: WebGIS; spatial agent; simulation service; facility system

引言

国防设施体系是一组分布在广阔的地理区域之中, 具有一定功能的设施组成的整体。每一处设施都具有各自独特的功能定位, 为用户提供特定的服务。设施与设施之间相互配合, 为用户的连续任务提供支撑和保障。国防设施体系的空间配置和功

能配置问题, 是规划论证阶段关注和着力解决的重要问题。

GIS 系统作为地理信息管理、分析和辅助决策的工具, 在复杂的规划和管理问题中发挥了重要作用^[1]。尽管如此, 目前的 GIS 在支持国防设施体系的规划论证方面还有两方面不足: 一是不方便多专业协同工作; 二是不具备任务模拟能力, 不能针对规划中的设施体系开展任务适应性的动态分析和评估。

将 GIS 与基于智能体的仿真相结合来研究复杂地理空间中的动态社会行为, 已成为众多研究者采用的方法。在生态研究^[2]、农业规划^[3]、应急疏散^[4]等领域得到了广泛应用, 众多智能体仿真平台也纷



收稿日期: 2017-06-30 修回日期: 2017-12-20;
基金项目: 中国博士后科学基金(2016M592974);
作者简介: 郑重(1984-), 男, 湖南永州, 博士, 工程师, 研究方向为军事设施体系规划与建模仿真;
常正阳(1974-), 男, 山西长治, 硕士, 高工, 研究方向为工程总体论证。

<http://www.china-simulation.com>

• 1842 •

纷推出 GIS 插件。例如, NetLogo 平台推出的 GIS extension, 可读取 esri 等主流地理信息系统的矢量和栅格数据, 进行要素枚举和空间数据及属性数据的读取等操作; AnyLogic 仿真平台设置有 Space Markup 面板, 能够加载以 WMTS 服务方式提供的瓦片底图数据和提供简单的路径服务功能。但是总的来说, 目前这些解决方案更多地强调对地理信息的显示和解析, 不能很好地支持地理空间信息分析与运用, 在将地理空间信息与仿真活动紧密集成方面, 能力不强; 同时这些平台多着眼于单一用户应用, 缺乏支持多人共同参与、相互协作的功能。

随着 GIS 系统的发展, “云+端”的模式成为地理信息系统的发展趋势。采用基于服务的软件架构, 网络开放资源和面向服务的聚合, 使得 GIS 的应用更为灵活。目前, esri 的 ArcGIS for Server 提供的可视性分析、网络分析等模块均可单独发布为地理处理服务, 甚至连涉及多个分析模块的复杂分析流程也可以打包发布, 供用户调用; 开放地理空间信息联盟制定了网页处理服务(WPS)标准及空间数据格式和网络共享标准, degreeWPS, pyWPS, 和 52°North WPS 等地理分析服务开源软件包纷纷出现。

GIS 开放融合和“云+端”模式的发展成果, 为包含复杂空间信息的智能体仿真创造了有利条件。应用地理处理服务, 通过服务集成与组合, 形成分布、共享的地理空间分析环境, 在云端构建动态任务模拟仿真服务, 通过松耦合的方式与地理分析服务实现交互连接, 将为 GIS 与智能体仿真相结合提供一条有前景的实现途径。

近年随着 Web 技术走向成熟, 网页交互模式以其易用性、实时性、共享性和交互性的优势, 受到地理信息系统和仿真领域的重视。基于网页的 WebGIS 在水库选址^[5]、灾害管理^[6]、环境影响评估^[7]、危机事件管理^[8]、隧道规划^[9]、地质灾害发布^[10]、疾病发生规律分析^[11]等广泛的领域中得到了应用。在仿真方面, 基于网页的仿真^[12-13]以其易于使用、便于协作等优点, 引起了军事仿真^[14]、

教育训练^[15-17]、设计制造^[9,18]等领域的广泛兴趣, 基于网页的通用仿真工具包括: 支持系统动力学和智能体仿真的仿真工具 Insight Maker^[19], 基于组件技术的 JSIM^[20], 以及可在网页界面上运行大部分 NetLogo 模型的 NetLogo Web^[21]等。

以 Web 为媒介的仿真可以将态势同时展示给多个参与人, 对于共同研究问题, 形成一致认识提供了良好的途径, 是计算机支持的协同工作(CSCW)的有效手段。本文尝试以 Web 为媒介, 探索以基于服务的方式实现基于智能体的仿真模型, 并以及与地理分析服务交互连接的框架和构建方法, 以支持多专业共同参与的协同分析和需要复杂地理空间分析的动态任务仿真。

1 总体设计

1.1 系统架构

系统的总体架构如图 1 所示。系统通过浏览器向用户提供地图显示、空间分析和动态任务仿真服务。地图显示服务可以向用户提供卫星影像、等高线地形图、专题地图浏览功能; 空间分析服务根据用户规划的需求, 提供各专业的个性分析功能。仿真服务为规划者提供多样化的动态任务分析功能。用户关心的各种动态任务模式被发布为相应的仿真服务, 用户可以通过设置想定, 启动仿真, 观察规划方案对指定任务的支撑和保障效果。

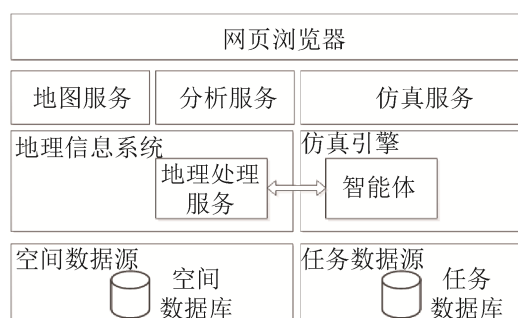


图 1 系统架构图

Fig. 1 System Architecture

系统的核心由位于云端的地理信息系统和仿真引擎构成。地理信息系统为地图显示、空间分

析功能提供基础服务，通过服务组合以及二次开发形成用户需要的地图显示和空间分析功能；仿真引擎为仿真服务提供基础功能，管理、调度仿真模型运行。动态任务仿真模型采用基于智能体的建模方案，智能体可以调用地理信息系统的地理空间分析服务，实现较为复杂的空间分析和推理，满足复杂动态任务的仿真分析需求。

系统最下层是数据源，包括空间数据源和任务数据源，分别为地理信息系统的显示、分析服务以及仿真引擎的想定设置，为模型运行提供数据支持。

1.2 功能特点

基于以上架构设计，系统具备以下功能特点：

(1) 多用户协同研讨

系统以 Web 页面为交互界面，不同专业的用户可同时登录浏览器，从统一的空间数据源中访问数据，开展各自的分析活动，从而保证不同用户之间的同步性和一致性，实现多用户对同一规划方案的协同研讨。

(2) 丰富的分析工具资源

目前，现代地理信息系统提供了丰富的地理处理算法，以 esri 公司的 ArcGIS 为例，内部集成了 3 维分析工具箱、网络分析工具箱、空间统计工具箱、时空模式挖掘工具箱等十余种工具箱，包含几百种分析工具，系统可以利用地理处理服务，为用户提供路径规划、通视分析、可达性判断等丰富的分析服务。由于服务的开放性和服务标准的统一，除了专业的商用地理信息系统之外，GRASS, pyWPS, degreeWPS 等众多开源软件包也可提供并且支持用户自行设计丰富的地理分析服务，相比传统的封闭式的地理信息插件而言，用户可通过开放的地理分析服务获取到大量丰富的地理分析工具资源。

(3) 精细的空间感知和推理建模粒度

经过几十年的长期应用实践，现代地理信息系统提供的分析功能已经非常成熟，可以为实际工程问题提供丰富、有效的解决方案。图 2 显示了 ArcGIS 网络分析工具箱中的路径规划功能，可

以根据单行线、转弯限制等实际交通规则规划有效的行车路线。

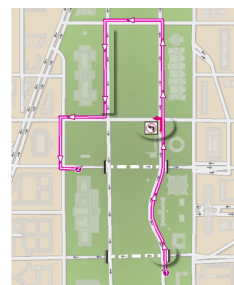


图 2 ArcGIS 提供的路径规划功能
Fig. 2 Route Planning Function Provided by ArcGIS

在此基础上进行的空间建模，将为智能体提供粒度细、真实度高的仿真模型，为仿真模型的空间感知和推理提供有力支撑，为系统提供复杂问题的分析能力。

2 空间智能体仿真服务设计关键技术

规划方案的任务适应性分析，主要通过任务动态仿真来解决。充分利用地理信息系统的空间分析功能，支撑智能体的空间感知和决策，是对规划方案开展任务动态仿真的关键。空间智能体仿真服务的概念视图如图 3 所示。

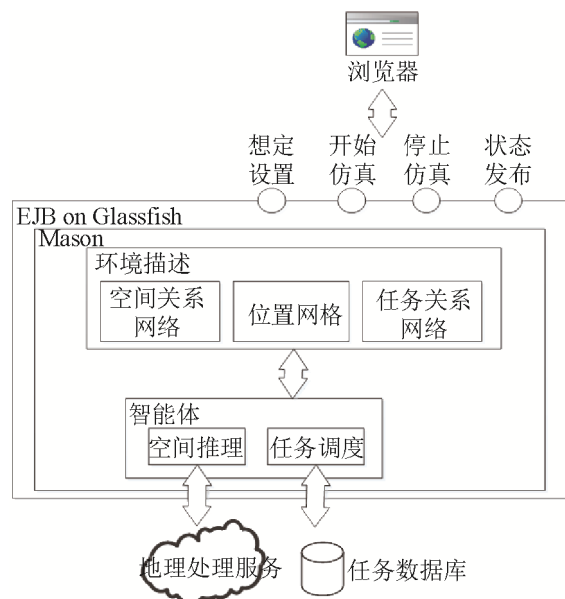


图 3 空间智能体仿真服务概念图
Fig. 3 Concept of Spatial Agent Simulation Service

用户通过浏览器与仿真服务交互, 调用想定编辑、仿真控制等功能, 仿真服务在运行过程中通过状态发布接口向浏览器发送实时状态。仿真服务以智能体仿真引擎为核心, 一方面维护仿真的环境状态, 另一方面进行智能体模型调度。智能体从任务数据库中读取并执行想定任务, 并且在遇到空间相关事件时, 调用地理信息系统的空间分析服务, 开展与地理空间相关的仿真和推理。

空间智能体仿真服务设计需要解决以下关键技术。

2.1 地理空间分析服务集成应用

地理处理服务是以服务形式存在的地理空间数据分析算法, 可以远程灵活调用。开放地理空间联盟 2007 年制定了网络处理服务规范(Web Processing Service)^[22], 为服务的远程调用制定了标准。其核心是处理(process)的概念。调用者通过 HTTP-GET 请求以键值对的形式, 或者通过 HTTP-POST 请求以 XML 的方式向处理算法提交所需的数据和期望的结果格式, 算法运行完毕后, 结果以 XML 应答文档(response document)的形式返回, 也可存储为在线资源, 供调用者访问。WPS 规范受到 esri 等主流地理信息系统和 52°North WPS、PyWPS、GeoServer、degreeWPS 等众多开源软件支持。

由于其应用的广泛性, 地理空间分析服务的集成应用以 WPS 为标准规范。WPS 具有标准化的调用步骤, 可通过标准化的接口实现对相关地理处理服务的调用。相关流程示意图如图 4 所示。

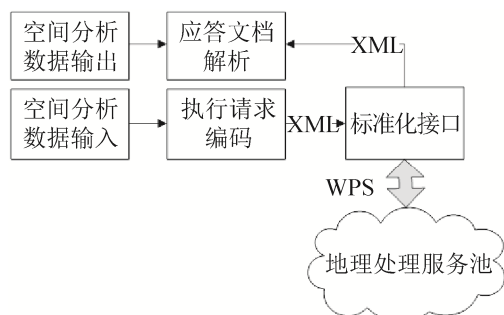


图 4 地理空间分析服务调用流程

Fig. 4 Calling Process for Geospatial Analysis Service

仿真模型有空间分析需求时, 将输入数据参数和目标地理处理服务信息通过 XML 编码生成 WPS 执行请求, 交由标准化接口经 WPS 服务生成分析结果, 结果经解析, 还原成空间分析数据结果, 供仿真模型进行下一步决策。

2.2 地理空间感知与理解

对地理空间的感知和理解是智能体进行地理空间决策的关键。Moulin^[23]提出使用二维位图的方式来为空间数据赋予语义, 分别使用位置图、高度图、Ariadne 图的概念, 实现智能体之间位置感知、视觉感知和道路感知的功能。然而, 在复杂、大范围的地理环境之中, 二维位图存在存储空间需求大, 查询和检索困难, 难以创建与维护的问题。

本文依托标准地理信息服务, 提出一种空间语义表达方案, 实现道路距离、直线距离和接近、可达、可视等关系的表达。一是通过坐标空间和距离运算, 实现两点之间距离的表达; 二是通过几何布尔运算及包含测试, 实现其他空间关系的表达。

智能体位置以坐标的形式记录在坐标空间中, 在其中定义直线距离、道路交通距离、最短路径长度等距离运算, 通过地理分析服务实现相应计算, 为智能体提供位置和距离感知能力。图 5 给出了基于公路网的道路交通距离示意图。

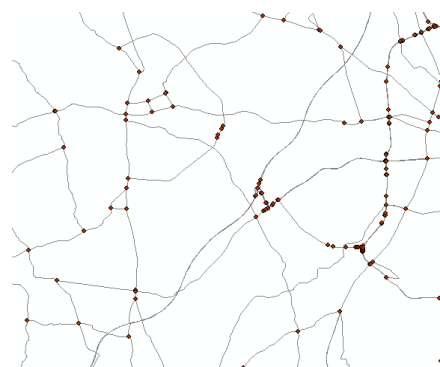


图 5 基于公路网的道路交通距离

Fig. 5 Traffic Distance based on Highway

诸如接近、可达、可视等其他空间关系, 可

以通过空间分析+几何布尔运算或空间包含关系来表达。以沿道路运动的智能体对道路可视情况的感知为例，如图 6 所示，智能体 a 在道路 L 上行驶，以 a 为视点，调用地理信息系统的可视性分析服务，可以计算得到 a 的可视区域 V，V 与 L 进行相交运算，得到可视路段 S，S 与 L 长度之比 $len(S)/len(L)$ 反映 L 对 a 的可视程度，在此基础上定义描述可视状态的谓词，如：不可视 Invisible(a,L)、部分可视 Partially-visible(a,L)和完全可视 Visible(a,L)，描述 a 对 L 的通视状态。

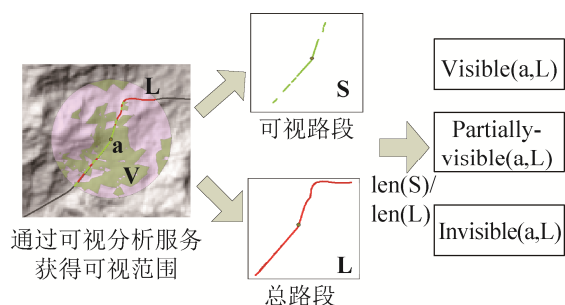


图 6 通过可视性分析服务与布尔运算定义可视状态
Fig. 6 Visual Predicates Defined by Visual Analysis and Boolean Operation

智能体对所处地理空间环境的认识，构成智能体信念的一部分，以空间关系谓词表达智能体对空间环境的信念，反映了智能体对复杂空间关系的感知和理解，可以为进行相关的决策和推理奠定基础。

上述以谓词为基础的空间关系被建模为空间关系模型，用来描述智能体对空间的信念。

2.3 仿真服务模型体系设计

仿真模型体系设计主要是规范仿真模型的类型、相互关系和模型接口，良好的模型体系对于实现模型重用、简化模型开发具有重要意义。仿真模型设计遵循基于智能体仿真的基本思想，参考 EBI 建模理论，建立由实体、行为和关系组成的模型体系。

2.3.1 实体模型

实体模型类的结构如图 7 所示。实体按照功能属性，划分为自主智能体、任务和被动对象 3 种类型，自主智能体是一组能够执行具体任务的实体，根据智能体种类的不同，分别建立相应的模型来描述其属性。智能体的共性特征用 IAgent 接口来规范。智能体的自主行为通过行为模型来实现，在每一仿真步，根据任务要求，感知环境、影响环境。任务实体描述自主智能体执行任务的属性，其共性特征用 ITask 接口规范。被动对象不具有行为模型，也不描述任务，主要对服务设施、运动平台等对象进行建模。

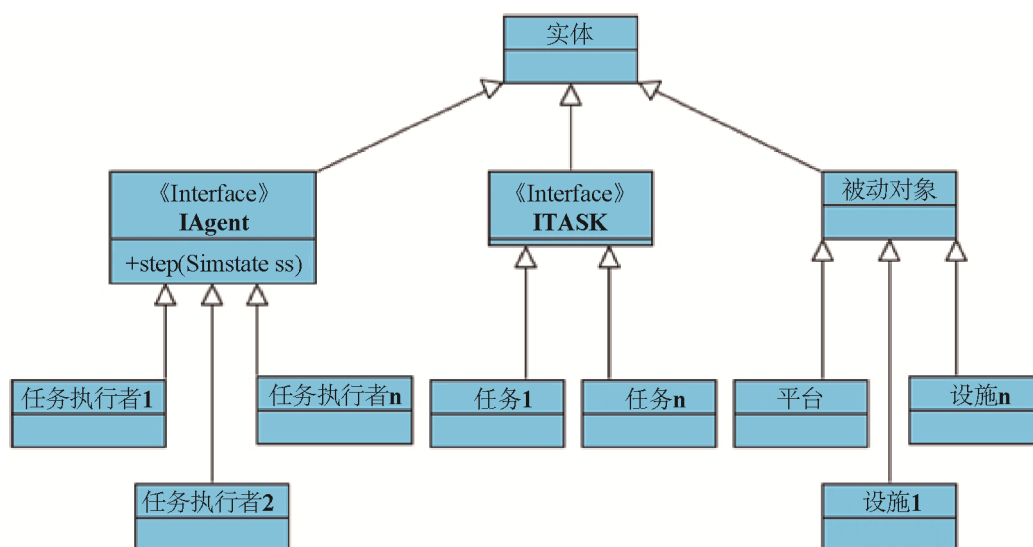


图 7 仿真模型中实体模型类的分级
Fig. 7 Entity Model Hierarchy

<http://www.china-simulation.com>

2.3.2 关系模型

关系是一个二元组, 用于表达实体与实体之间的接近、可达、支配、附属、执行等联系和交互特性。从抽象的角度说, 关系是描述客观环境和智能体主观世界的谓词的集合, 由于关系与具体任务的联系较为密切, 其具体类型非常多样, 为了保证良好的可扩展性, 在设计仿真模型体系时, 尽量保持了关系模型的抽象特征, 从总体上将关系建模为空间关系和任务关系两大类型。根据实际情况, 在智能体的行为模型中, 将关系具体化为拥有、支配、执行、连通等具体信念。图 8 显示了关系模型的组成, 任务关系和空间关系分别可以扩展为丰富的具体类型。

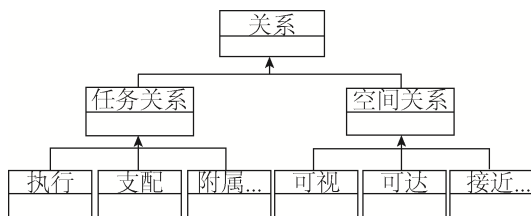


图 8 仿真模型关系类

Fig. 8 Relation Model Hierarchy

关系模型在想定中使用(实体 1, 实体 2, 属性)三元组的方式存储。运行时, 在仿真初始化阶段, 建模成网络数据结构。由节点集和边集描述。节点集代表关系中的实体, 边集代表实体之间的联系。关系的属性通过边的属性对象进行建模。这种表达方式能够全面涵盖有向图、无向图、赋权图等多种数据结构, 实现复杂的关系建模。

2.3.3 行为模型

行为模型用于描述智能体自身的状态变化以及感知环境、改变环境的行为。行为模型实现 IAgent 接口的 step 方法, 每一类智能体都需要建立相应的行为模型。行为模型在 BDI 理论的指导下基于信念、愿望、意图进行建模, 实现方式比较自由。根据智能体感知到的自身及其他实体状态形成信念, 根据任务要求形成愿望, 根据现实可行性形成意图, 完成感知环境、影响环境的任务。

行为模型是仿真模型体系的核心, 为了实现对不同任务灵活组合、高效运作的要求, 设计成面向服务的体系架构。主要包括 3 部分: 服务提供者、服务代理和服务请求者。服务提供者是行为模型的具体实现, 以 Enterprise Java Bean 的形式部署在应用服务器上, 服务代理设计在仿真服务中, 用户加载仿真想定, 进行仿真初始化时, 通过数据库中的智能体-行为模型注册信息, 为智能体指定对应的行为模型。服务请求者设计在智能体实体模型中, 仿真运行过程中, 引擎的调度器执行智能体实体的 step 方法, 智能体实体调用指定的行为模型, 实现仿真功能。

2.4 任务数据管理

任务数据库用于记录想定信息, 为仿真模型初始化提供数据。在仿真运行过程中记录仿真生成的状态数据, 在仿真结束后, 为仿真分析工具提供时-空基础数据。

任务数据库需要实现时态数据管理功能。这在关系型数据库中是个挑战, 此外, 由于模型体系的运行结构和存储结构之间存在不一致, 为了更有效地实现存储和查询, 需要对模型数据的存储结构进行重新设计, 这也是任务数据库需要解决的问题。

本文采用存储和处理相分离的方式实现时态数据访问、存储和查询, 采用弱类型的方式实现仿真实体关系的抽象表达, 简化了数据库设计工作, 降低了数据库访问需求。时态任务数据库总体结构示例如图 9 所示。

任务数据库主要包括以下数据表。

2.4.1 仿真实体表

仿真实体表存储仿真实体属性数据, 每一类实体对应一个仿真实体数据表。每个仿真实体由实体 ID、想定 ID 和时间戳 3 个字段唯一确定。其中, 实体 ID 用于在整个仿真环境中完全确定一个实体, 称为全限定 ID (FQID)。除了包含实体类的类名、实例编号之外, 还包含实体种类信息(智能体、任务和被动实体)。想定 ID 和时间戳为实体状态引入了时间维度, 可以表达实体在某一时刻的状态。

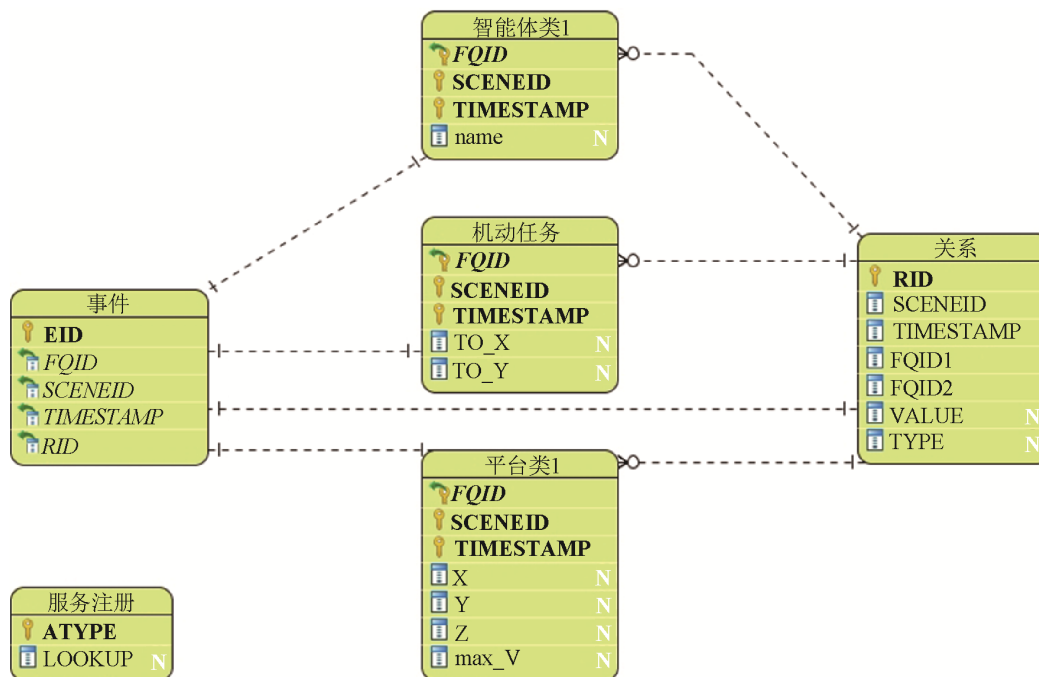


图 9 时态任务数据库
Fig. 9 Temporal Task Database

2.4.2 实体关系表

实体关系表存储仿真实体之间的关系，通过 FQID1, FQID2 两个外键链接主实体和被影响实体的 FQID, VALUE 字段记录关系属性。实体关系表也带有想定 ID 和时间戳，用于记录关系状态发生变化的时刻。实体关系表不区分实体类型，采用弱类型的方式，统一以 FQID 外键链接智能体、任务和被动实体 3 种类型的实体，实现实体关系独立于类型的抽象存储。

2.4.3 事件记录表

事件记录表是对仿真事件的记录，主要记录仿真过程中发生变化的实体 ID、关系 ID，以及变化发生时的想定 ID 以及时刻。

2.4.4 服务注册表

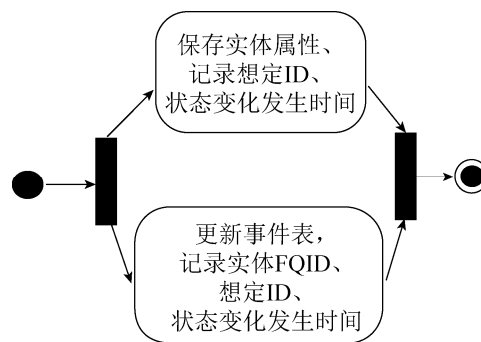
服务注册表用于实现面向服务架构的智能体行为模型服务注册。在仿真初始化时通过想定管理器实现行为模型绑定。

2.4.5 任务数据库存储和查询

任务数据库支持时态数据的存储、查询操作。

(1) 时态数据的存储过程：

时态数据库的存储过程活动图如图 10 所示。仿真实体的状态发生变化时，在实体数据表中添加一条记录，记录变化实体的属性信息和变化发生的时间，同时向事件记录表中添加一条记录，记录发生变化实体的 FQID 和变化发生的时间；当仿真实体之间的关系发生变化时，向关系表中添加与新关系相关的记录 and 变化发生的时间。



(a) 实体数据记录活动图

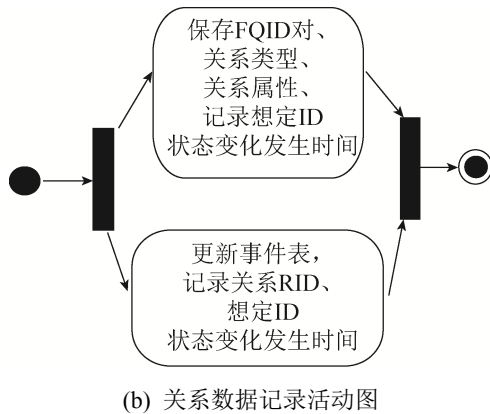


图 10 时态数据记录活动图

Fig. 10 Activity Diagram of Temporal Data Recording

(2) 时态数据的查询过程

时态数据库的查询过程活动图如图 11 所示。

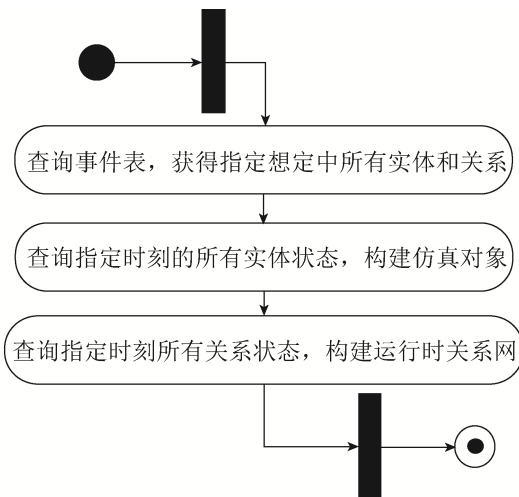


图 11 从指定存储点重启时的仿真数据初始化活动图

Fig. 11 Activity Diagram of Data initialization when Restarting Simulation from Given Check Point

实体在时刻 t 的状态由 t 时刻及其之前最后一次状态更新决定。可通过 SQL 查询语言的 MAX 聚合函数方便地实现给定时刻实体状态的查询。例如, 查询 `a_agent1` 表中, 想定 0 中实体 `a.agent1.4` 在时刻 8 的状态属性, 可以执行查询:

```
SELECT * FROM a_agent1 WHERE TIMESTAMP = (SELECT MAX(TIMSTAMP) FROM a_agent1 WHERE SCENEID = 0 AND FQID = 'a.agent1.4' AND TIMESTAMP <= 8);
```

查询给定时刻实体之间的关系, 可通过类似的方式实现。例如, 在我们实现的系统中, 记录

实体关系的表是 `r_rel` 表, 为了查询场景 0 中时刻 9 的通信关系, 可以执行查询:

```
SELECT * FROM r_rel WHERE TIMESTAMP = (SELECT MAX(TIMSTAMP) FROM r_rel WHERE SCENEID = 0 AND TYPE = 'COMMUNICATON' AND TIMESTAMP <= 9);
```

查询将返回满足条件的通信节点对其连接属性。据此可以重构出通信网。

任务数据库的时态查询操作主要目的是用于仿真结果分析和仿真控制, 为仿真提供仿真回放、从任意时刻重启仿真、以及时空模式挖掘等功能。

3 系统实现示例

基于上述设计框架, 选用 Java 语言和基于 EJB 的设计框架, 使用 JavaEE 7 开发, 以 Mason 仿真引擎为基础, 独立设计任务描述方案、场景描述方案、数据存储方案、仿真运行逻辑, 按照基于网页仿真的模式进行封装, 实现在线想定编辑、仿真控制的功能。数据库采用 PostgreSQL。应用服务器采用 Glassfish, 通过 Apache 反向代理实现 ArcGIS for Server 和仿真服务之间的信息交换。仿真状态信息通过 WebSocket 向浏览器推送。

浏览器端实现仿真过程的动态展示, 采用 Javascript 开发, 使用 ArcGIS Javascript API 4.0 访问地图服务、接收仿真服务发布的仿真实体实时状态, 实现二维地图、三维地图显示和仿真态势实时展示。浏览器端还通过 Html 和 Javascript 为用户提供仿真实体管理、任务管理、仿真实体关系定义等想定编辑任务。

图 12 显示的是复杂路网条件下多智能体的运输任务仿真主界面的截图。图 13 显示的是想定编辑阶段的运输任务指派界面的截图。

图 12 中, 3 个智能体分别被赋予 1~3 项运输任务, 运输任务由 `ITask` 实体模型描述, 每个任务分别具有一个起始位置、一个目标位置和任务开始执行的时间, 仿真初始化以后, 根据想定的设置, 智能体加载相应任务和行为模型。在仿真开始后, 行为

模型按照任务规定的时间执行相应任务。在运输任务开始前，行为模型首先调用地理信息系统的路径规划服务，计算所承担运输任务的最优路径，随后按照智能体所拥有的平台的运输速度，计算智能体平台的实时位置，反馈到浏览器界面上。

依托地理信息系统路径规划功能，示例系统具备实现时间最短、通过障碍点最少、高等级道路优先等目标下的路径规划能力；智能体的行为模型实现了运输任务的灵活执行，可在任务竞争的情况下，根据当前任务执行情况，灵活推迟后续任务的执行时间。

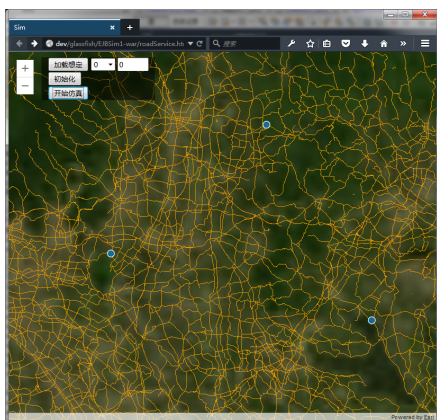


图 12 运输任务仿真截图
Fig. 12 Screen Snapshot of a Maneuver Simulation

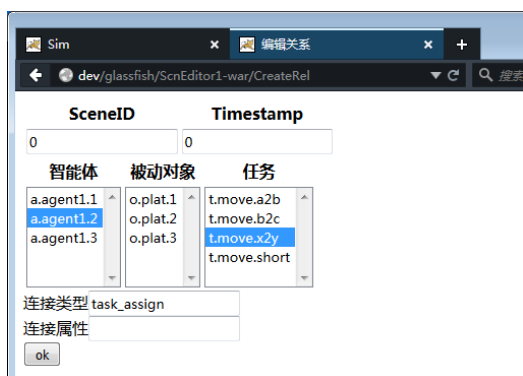


图 13 运输任务指派关系编辑界面
Fig. 13 Scenario Editor UI of Maneuver Task Assignment Relation

4 结论

现代地理信息系统“云+端”的发展趋势，使越来越多的地理分析功能得以以服务的形式发

布，将地理分析服务与基于智能体的动态任务仿真相结合，与当前的一些智能体仿真平台集成的地理信息插件相比，能够降低空间分析功能的获取难度，为智能体仿真提供丰富的空间分析功能。此外，地理分析服务提供的成熟的空间分析能力可以为智能体建模提供更细致的建模粒度和更准确的空间描述，从而能够进行更细致的建模仿真。

本文在地理处理服务与基于智能体的动态任务仿真相结合方面进行了尝试，通过试验性的仿真实例，初步验证了本文设计的仿真框架的正确性和有效性。利用 web 技术和服务工具，整合地理信息系统和基于智能体仿真的相关功能，有利于实现复杂的服务设施体系在实际运用场景中的建设问题的模拟分析，能够为服务设施体系建设提供有力支撑。

参考文献:

- [1] Fraile A, Sicilia J A. Decision model for siting transport and logistic facilities in urban environments: A methodological approach[J]. Journal of Computational and Applied Mathematics (S0377-0427), 2016, 291: 478-487.
- [2] Adeva J J G, Reynolds M. Web-based simulation of fruit fly to support biosecurity decision-making[J]. Ecological Informatics (S1574-9541), 2012, 9: 19-36.
- [3] Rao M, Fan G, Thomas J, et al. A Web-based GIS decision support system for managing and planning USDA’s Conservation Reserve Program (CRP)[J]. Environmental Modelling and Software (S1364-8152), 2007, 22(9): 1270-1280.
- [4] 吴健宏, 翁文国, 倪顺. 基于 GIS 和 Multi-Agent 的城市应急疏散[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2010, 50(8): 1168-1172.
Wu Jianhong, Weng Wenguo, Ni Shun. Urban emergency evacuation plans based on GIS and multi-agent systems[J]. Journal of Tsinghua University (Science & Technology), 2010, 50(8): 1168-1172.
- [5] Walsh S J, Page P H, Mcknight S A, et al. A reservoir siting tool for North Carolina: System design & operations for screening and evaluation[J]. Applied Geography (S0143-6228), 2015, 60: 139-149.
- [6] Aye Z C, Sprague T, Cortes V J, et al. A collaborative (web-GIS) framework based on empirical data collected

- from three case studies in Europe for risk management of hydro-meteorological hazards[J]. *International Journal of Disaster Risk Reduction* (S2212-4209), 2016, 15: 10-23.
- [7] Wanderer T, Herle S. Creating a spatial multi-criteria decision support system for energy related integrated environmental impact assessment[J]. *Environmental Impact Assessment Review* (S0195-9255), 2015, 52: 2-8.
- [8] Wu A, Convertino G, Ganoë C, et al. Supporting collaborative sense-making in emergency management through geo-visualization[J]. *International Journal of Human-Computer Studies* (S1071-5819), 2013, 71(1): 4-23.
- [9] Li X, Zhu H. Development of a web-based information system for shield tunnel construction projects[J]. *Tunnelling and Underground Space Technology* (S0886-7798), 2013, 37(6): 146-156.
- [10] Yu Z, Liang R, Wang Y, et al. The Research on Landslide Disaster Information Publishing System Based on WebGIS[C]. 2012 International Conference on Future Energy, Environment, and Materials. Hong Kong: Elsevier Ltd., 2012.
- [11] Martino F D, Mele R, Sessa S, et al. WebGIS based on spatio-temporal hot spots: an application to oto-laryngo-pharyngeal diseases[J]. *Soft Computing* (S1432-7643), 2016, 20(6): 1-13.
- [12] Byrne J, Heavey C, Byrne P J. A review of Web-based simulation and supporting tools[J]. *Simulation Modelling Practice and Theory* (S1569-190X), 2010, 18(3): 253-276.
- [13] Kuljis J, Paul R J. A appraisal of web-based simulation: whither we wander?[J]. *Simulation Practice and Theory* (S1569-190X), 2001, 9(1/2): 37-54.
- [14] Page E H, Opper J M. Investigating the application of web-based simulation principles within the architecture for a next-generation computer generated forces model[J]. *Future Generation Computer Systems* (S0167-739X), 2000, 17(2): 159-169.
- [15] Cant R P, Cooper S J. Simulation in the Internet age: The place of Web-based simulation in nursing education. An integrative review[J]. *Nurse Education Today* (S0260-6917), 2014, 34(12): 1435-1442.
- [16] Granlund R, Berglund E, Eriksson H. Designing web-based simulation for learning[J]. *Future Generation Computer Systems* (S0167-739X), 2000, 17(2): 171-185.
- [17] Beam E L, Smith S M, Pullen C, et al. Design and Development of Bioterrorism Response Education Programs[J]. *Clinical Simulation in Nursing Education* (S1876-1399), 2006, 2(2): 65-68.
- [18] Wang H, Zhang H. Using collaborative computing technologies to enable the sharing and integration of simulation services for product design[J]. *Simulation Modelling Practice and Theory* (S1569-190X), 2012, 27: 47-64.
- [19] Fortmann-Roe S. Insight Maker: A general-purpose tool for web-based modeling & simulation[J]. *Simulation Modelling Practice and Theory* (S1569-190X), 2014, 47: 28-45.
- [20] Miller J A, Seila A F, Xiang X. The JSIM web-based simulation environment[J]. *Future Generation Computer Systems* (S0167-739X), 2000, 17(2): 119-133.
- [21] Northwestern University. NetLogo Web[OL]. [2017-09-01]. <https://www.netlogoweb.org/info>.
- [22] Open Geospatial Consortium, Web Processing Service[OL]. [2017-09-07]. <http://www.opengeospatial.org/standards/wps>.
- [23] Moulin B, Chaker W, Perron J. MAGS Project: Multi-agent geosimulation and crowd simulation[C]. *Conference on Spatial Information Theory (COSIT)*. Switzerland: Kartause Ittingen, 2003.