

12-12-2019

Data Model of Battlefield Geographic Environment Simulation Object Based on Cognition

Zhu Jie

1. *Institute of Geospatial Information, Information Engineering University, Zhengzhou 450052, China;*;2. *73021 Troops, Hangzhou 315023, China;*

You Xiong

1. *Institute of Geospatial Information, Information Engineering University, Zhengzhou 450052, China;*

Xia Qing

1. *Institute of Geospatial Information, Information Engineering University, Zhengzhou 450052, 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.

Data Model of Battlefield Geographic Environment Simulation Object Based on Cognition

Abstract

Abstract: Aiming at the urgent demands on present battlefield environment cognition active service, its requirements are hard to be satisfied by the traditional battlefield environment data model, thus a kind of battlefield environment simulation data model needs to be constructed. *The characteristics of task-orientated battlefield geographic space cognition progress are analyzed, and the cognitive process concept model is constructed. The characteristics of battlefield environment object recognition structure are analyzed; the hierarchical structure division is implemented on battlefield geographic environment simulation object with object-orientated method; and object data models are described uniformly with SEDRIS. Based on cognitive-driven mechanism of workflow, the cognition process and simulation object data are integrated, and the dynamic data model is established.* The battlefield environment information system data service framework is designed based on this model, and its rationality and extensibility are verified through application.

Keywords

battlefield environment simulation object, dynamic data model, cognitive-driven, SEDRIS (Synthetic Environment Data Representation and Interchange Specification), work flow

Recommended Citation

Zhu Jie, You Xiong, Xia Qing. Data Model of Battlefield Geographic Environment Simulation Object Based on Cognition[J]. Journal of System Simulation, 2019, 31(6): 1070-1084.

基于认知的战场地理环境仿真对象数据模型

朱杰^{1,2}, 游雄¹, 夏青¹

(1. 信息工程大学地理空间信息学院, 河南 郑州 450052; 2. 73021 部队, 浙江 杭州 315023)

摘要: 针对目前战场环境认知主动服务的迫切要求, 使得传统战场环境数据模型难以满足其需求, 需要构建一种面向认知的战场环境仿真数据模型。分析了面向任务的战场地理空间认知过程的特点, 构建认知过程概念模型; 分析战场环境对象认知结构特征, 通过面向对象方法对战场地理环境仿真对象进行层次化结构划分, 并使用 SEDRIS 统一描述对象数据模型; 基于工作流的认知驱动机制, 对认知过程和仿真对象数据模型进行集成, 建立动态数据模型。基于该模型设计战场环境信息系统数据服务框架并应用, 验证其合理性与可扩展性。

关键词: 战场环境仿真对象; 动态数据模型; 认知驱动; SEDRIS(Synthetic Environment Data Representation and Interchange Specification); workflow

中图分类号: TP391.9 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X(2019)06-1070-15

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.17-0200

Data Model of Battlefield Geographic Environment Simulation Object Based on Cognition

Zhu Jie^{1,2}, You Xiong¹, Xia Qing¹

(1. Institute of Geospatial Information, Information Engineering University, Zhengzhou 450052, China; 2. 73021 Troops, Hangzhou 315023, China)

Abstract: Aiming at the urgent demands on present battlefield environment cognition active service, its requirements are hard to be satisfied by the traditional battlefield environment data model, thus a kind of battlefield environment simulation data model needs to be constructed. *The characteristics of task-orientated battlefield geographic space cognition progress are analyzed, and the cognitive process concept model is constructed. The characteristics of battlefield environment object recognition structure are analyzed; the hierarchical structure division is implemented on battlefield geographic environment simulation object with object-orientated method; and object data models are described uniformly with SEDRIS. Based on cognitive-driven mechanism of workflow, the cognition process and simulation object data are integrated, and the dynamic data model is established.* The battlefield environment information system data service framework is designed based on this model, and its rationality and extensibility are verified through application.

Keywords: battlefield environment simulation object; dynamic data model; cognitive-driven; SEDRIS (Synthetic Environment Data Representation and Interchange Specification); work flow

引言

环境信息系统下支持的战场虚拟现实是当前



收稿日期: 2017-05-09 修回日期: 2017-07-24;
基金项目: 国家自然科学基金(41271393), 河南省科技计划项目(142101510005);
作者简介: 朱杰(1983-), 男, 浙江宁波, 博士生, 工程师, 研究方向为战场环境认知与战场位置服务; 游雄(1962-), 男, 福建罗源, 博士, 教授, 研究方向为战场环境仿真。

军事测绘重要保障模式, 是指挥员认知战场的重要手段, 为战场表达与指挥员认知有效结合提供支持^[1]。战场虚拟现实离不开战场环境仿真, 通过其建立多尺度、多要素的战场环境模型, 构建可进入、可量算的虚拟战场环境, 实现战场环境的可感知化和模型化^[2]。随着战场位置服务的广泛应用, 战场环境信息系统正在从“事件”设计转向为“用户”

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

• 1070 •

设计的趋势发展, 构建以面向作战任务为核心的战场环境仿真, 为用户提供个性化的认知服务, 有效地实现信息表达与知识应用相结合的主动服务, 有利于提高部队获取全维信息优势的能力。

战场环境仿真数据模型, 是战场环境仿真的基础, 是以数字地图数据为基础, 结合水文气象、交通路况、兵要地志等战场信息建立起来的。基于地图的数据模型是对现实空间世界的认知与抽象, 是对空间要素及其空间关系的表达, 从空间数据的存储、管理与分析的角度上, 目前通用的数据模型有基于空间场、空间要素、空间网络以及面向对象的数据模型等^[3]。由于战场环境的复杂性, 一方面用户需要从战场环境认知的角度获取丰富的战场信息, 另一方面要求对空间对象及其相互之间关系的有效管理, 因而, 传统基于图层的空间数据模型不能完全满足复杂战场环境数据组织的需求, 将面向对象的理论应用于地理空间对象的表达并建立基于对象的数据模型, 相比传统基于图层的空间数据模型更灵活、更具内涵^[4]。目前, 已有一些学者在此基础上研究战场环境仿真对象数据模型, 以建立对虚拟战场环境描述的统一性、可扩展性和完整性。徐立等^[5]立足空间认知角度用面向对象的方法表达空间实体, 提出一种基于地理实体的空间数据模型以满足 GIS 高效表达丰富的空间信息; 李欢等^[6]提出面向海战场的域和域对象的概念, 建立海战场环境和态势信息多源异构数据一体化数据模型; 陆筱霞^[7]提出一种基于上下文的场景数据组织本体模型, 用于满足海量地形场景的实时绘制过程中对数据处理优化策略的需求; 为了促进空间对象在不同仿真系统之间的共享与交互, 符合面向对象思想的 SEDRIS 的建立为环境数据模型在数据需求准确一致描述上提供良好的基础, 刘卫华等^[8]提出一种基于面向对象和场结合的方法分别描述静态与动态环境数据模型, 孙丽卿等^[9]依据 SEDRIS 标准表示环境数据并探讨了环境数据库的设计与开发, 谢孔树等^[10]采用 SEDRIS 基本框架提取海战场自然环境特征并建立面向海战场的环境数据模型。

从上述多种构建战场环境数据模型参考文献中, 可以发现, 虽然采用面向对象设计思想建立战场环境数据模型, 但并没有从空间认知角度上对环境数据对象进行划分和结构化处理, 更多的是在阐述综合自然环境数据描述形式, 缺少以任务为核心的战场环境数据模型的构建。战场环境仿真是对战场环境的认知与抽象, 且本身具有时空特性和动态性, 因此, 需要构建一个符合空间认知过程的战场环境仿真数据模型来有效管理战场环境仿真实体数据。本文以面向作战任务的认知过程为基础, 采用面向对象思想建立战场地理环境仿真数据模型, 实现空间实体及其时空关系符合认知规律, 较完整的表达不同对象之间的相互关系, 并有效地进行复杂对象之间的关联分析。

1 面向任务的地理空间认知过程

高俊从地图学角度, 认为空间认知是人们认识自己赖以生存的环境, 包括其中的诸事物、现象的相关位置、依存关系以及它们的变化和规律^[11]。鲁学军^[12]对比和分析不同空间模型, 指出空间认知模式包含 3 个层次: 空间特征感知、空间对象认知和空间格局认知。地理空间认知是空间认知的特殊形式, 在 GIS 中地理空间认知的环境信息流处理过程是指人们在日常生活中如何逐步对地理空间进行理解、分析和决策, 包括地理信息的知觉、编码、存储、记忆和解码等一系列反映在人大脑中的心理过程^[11]。

军事任务是具有空间位移和时态特性的一种空间行为, 承担任务行动的作战人员是一个特殊的认知群体, 从心像地图角度考虑, 作战人员通过多种手段获取战场空间信息后, 在大脑中形成对战场环境的抽象认知, 既而存在对战场环境的认知制图过程。目前, 对作战人员地理空间的认知主要偏重于任务区域地理要素几何结构和关系的认知探讨, 而对用户地理空间认知过程的研究较少, 因而, 有必要结合空间认知理论和已有的认知地图、认知心理学、空间认知模型等研究成果, 对基于作战任务

的地理空间认知过程作一阐述。

面向任务的地理空间认知区别于一般的地理空间认知,其是在任务需求驱动下形成的有目的性的战场环境认知过程,是作战人员以任务为目的主动获取和认知战场空间信息的过程。面向任务的地理空间认知过程符合认知预期、认知实践和认知结果三个阶段^[13],具体由“作战任务理解—任务区

域环境认知需求(认知预测)—战场环境信息刺激—要素认知选择(认知实践)—战场空间认知—认知战场位置地图(认知结果)—作战行为”构成(图1)。地图是触发“认知—行为”过程的中间件,任务是提取地理空间特征的认知因素,区域战场环境则是用户验证认知结果和强化认知特征的对象化描述。

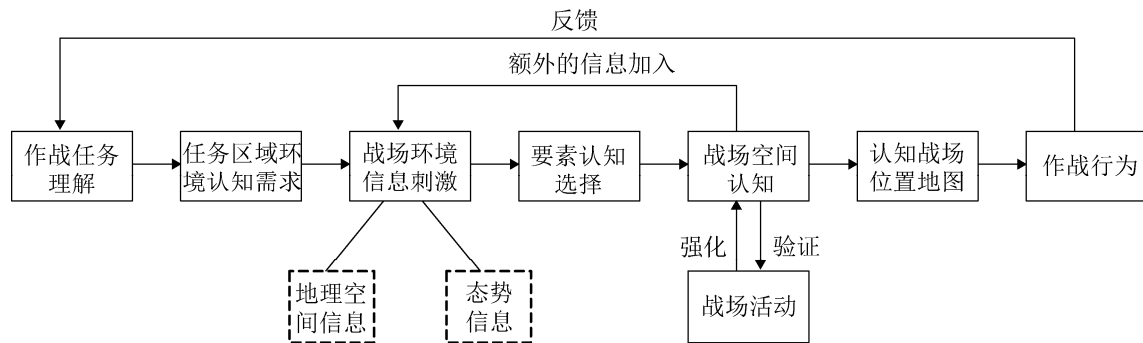


图1 战场地理空间认知信息处理过程

Fig. 1 Procedure of battlefield geospatial cognitive information processing

从上述认知过程的描述,可以发现面向任务的地理空间认知相比较一般的空间认知,其不同的特征包括:

(1) 任务驱动下的认知要素选择性。作战人员对战场环境认知具有很强的要素选择性,即认知目的性明确。从位置服务的理念上讲,用户重点关注自身的位置及与其任务相关的信息资源,而忽略不感兴趣的信息,并将这些信息按照一定的规则组合起来形成对战场环境理解的心像地图,形成对任务区域战场地理环境的空间认知。

(2) 空间认知模式下的信息流转过程性。作战人员的地理空间认知在于对生存环境(行为空间)中诸事物、现象的形态与分布,相互位置,依存关系以及变化和趋势的认识的能力和过程^[14],因而,空间信息通过获取、处理、存储、理解等系列步骤形成空间知识,得到解决空间问题的能力,这一过程贯穿于整个以任务为目的的地理空间认知过程,构成了完整的信息链。

(3) 满足任务需求的对象特征性。不同的作战实体、不同时期的作战任务与作战样式所需要

的环境信息各有侧重,为达成某具体的任务目标,作战人员集中关注的是符合其目的和活动需求的地理空间对象特征,从有关空间实体各组成部分的属性特征感知基础上形成特征功能集以实现对空间实体的对象化认知。

(4) 任务触发认知过程变化的时态特性。任务是空间行为发生变化的因素,即是引起认知过程发生变化的外因。任务本身具有时态特性,将任务看作事件,可划分为若干个子过程的集合,每一个子过程有生成时间,也有消亡时间,下一个子过程的生成即是上一个子过程的消亡,那么,基于过程的空间对象从时间分布上存在旧对象的消亡和新对象的生成,战场环境对象的认知由于其特殊性,认知时间可以从数分钟、数小时到数天,与任务主导的空间行为相依托,具有鲜明的时态性。

(5) 贯穿于空间对象变化的认知过程连续性。作战人员的地理空间认知预测、认知实践和认知结果具有过程连续性,在对任务解析后产生区域环境的认知需求,根据自身经验和各类相关信息形成区域战场环境的认知预测,在实践任务活动的行为过

程中对空间对象变化的信息进行验证和强化, 由此形成对区域认知的连续性, 从而体现过程中发生变化的空间对象关联性。

复杂的认知过程可由若干个简单的认知过程组成, 简单的认知过程可分解为具有时空特性的子过程, 直至分解至不可再分的单元, 记作基本过程单元 P , 按照单元要素组成 $P=\{P_ID, P_Object, P_Spatial, P_Time, P_Attribute\}$ 形成五元组模型, 其中, P_ID 表示过程的唯一标识号; P_Object 表示过程关联的空间对象集合, $P_Object = U_{i=1}^m P_Object(i), (i=1, 2, \dots, m)$; $P_Spatial$ 表示过程发生的空间区域; P_Time 表示过程发生的时态信息; $P_Attribute$ 表示过程属性, 包括认知过程的空间属性、时间属性和语义属性。

2 基于地理空间认知的战场环境对象

文献[12]指出“空间对象”与“空间特征”是空间认知的两个基本单位, “空间特征”是“空间对象”属性分类的标志, 那么, 实现战场环境认知也是基于环境对象特征的空间认知。人类认知地理空间是通过空间对象的分类建立起来的, 地理空间对象可看作是由分布在其中的地理实体和现象组成^[15], 因此, 战场地理空间认知是对战场环境实体和现象的认知。由于空间对象所处的环境不同和人们对空间对象认知方式存在差异, 需要对战场环境对象按照认知需求进行划分并对其结构化。空间对象的划分是由其本身自然的边界和认知需要制定的边界共同组成: 自然边界是由空间对象的几何特征构成, 包括点、线、面、体等基本对象类型及对象之间的拓扑关系; 认知边界是由认知需求定义下产生的对空间对象属性划分, 如地理空间网格即是人类在认识地理环境过程中对地球空间进行多尺度、多分辨率、连续有规则的空间对象组织与划分。

战场环境对象由其几何特征和属性特征相组合构成标识表示其在地理空间中唯一性, 这种特征组合形成战场环境对象的层次结构表达。按照“部

分—整体”认识地理空间的原则, 战场环境对象认知可以划分为“个体—部分—整体”认知层次, 如图 2 所示, 构成整体的对象类是若干个对象集按照一定规则进行组合而成, 对象集是由若干个对象单元按照各自特征分别组合而成的集合, 对象单元是通过对象个体的几何特征和属性特征构成, 这样从层次上描述了战场环境对象在空间认知上的结构, 每一层次都是由相关的特征集组合形成认知意象, 同时认知意象贯穿于对象特征选择及层次结构的划分。

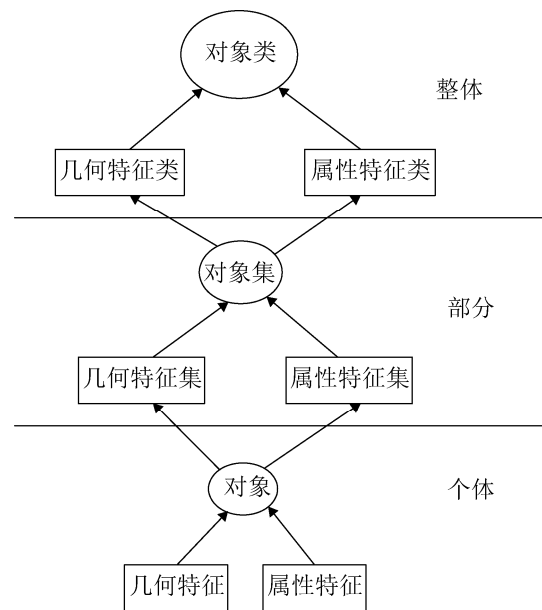


图 2 空间对象层次结构划分

Fig. 2 Spatial object hierarchy structure division

其中, 对象集之间的组合并不是简单特征相加, 而是根据对象的几何空间特征与属性特征分别在自然边界与认知边界上的映射来确定, 并且决定对象类的特征集范围从对象“个体”到“整体”依次减小, 同时对象类的概念范围依次扩大。从概念模型角度, 将战场环境空间模型定义为 E : E_1, E_2, \dots, E_n 表示 n 个组成战场环境空间要素的实体对象或者现象, 每个实体对象结构由唯一标识、空间特征、时间特征、属性特征等参数组成, 可形式化描述为五元组:

$$E_i = \{O_ID, O_Spatial, O_Time, O_Attribute,$$

O_Operation}, 其中,

O_ID 表示实体对象在战场环境空间中的唯一标识码,用以区分对象之间的关系;

O_Spatial 表示对象空间特性,包括对象的几何特性与位置特性;

O_Time 表示对象时间特性,表示对象发生变化的有效时间区间;

O_Attribute 表示对象属性特性,通过对象的语义属性反映实体语义信息;

O_Operation 表示对象的几何操作和语义操作,包括几何运算、关系运算和拓扑运算等操作。

在任务过程中,按照认知规则对不同要素和现象抽取特征,将特征相同的对象组成对象集 $M = \bigcup_{i=1}^m Ei(i=1,2,\dots,m)$, 且 $M \in E$, 从而在“部分—整体”上实现对象概念的表达,此时,对象特征集 $W = \{IR, ER\}$, IR 为内部特征, ER 为外部特征,且 $W \in \bigcup_{i=1}^m Ei\{O_Spatial, O_Attribute\}(i=1,2,\dots,m)$, 从空间尺度上,由于同一对象在不同尺度下存在不同几何表达,属性特征作为其内部特征给出特征集标识,这也是与一般地理空间认知的区别。

由于作战任务过程的复杂性和动态性,作战人员对地理空间认知存在不确定性,为了提高面向地理空间认知的战场环境对象特征分类的效率,在文献[16]基础上可通过基于地理空间认知的多尺度语义结构分析,建立对象从“部分—整体”的最优划分,使其具有层次结构和特定语义特征,然后采用决策树机器学习的方法自动构建对象的语义特征网络模型,从而结合特征判别策略实现其快速分类功能。

3 基于认知过程的战场地理环境仿真对象动态数据模型

3.1 基于对象的战场地理环境仿真数据概念模型

基于对象的数据模型是以空间对象为单位,采用类似于面向对象程序设计中的类的概念来表达

空间对象,战场地理环境仿真对象数据模型是以战场地理环境实体为对象,按照战场空间认知规则对环境对象进行层次结构划分,从而满足不同尺度下战场地理环境对象数据的表达。

3.1.1 战场环境空间结构特征

现代战争的战场环境最显著的特征是多维性,不仅包含传统战场空间(陆地、海洋、天空),还涉及太空和网络空间,从要素组成上包括地理环境、气象环境、电磁环境和核生化环境^[2],每一种要素均有其自身的空间形态描述及构成要素来分别描述位置与空间关系、自身变化规律与相互关系。从空间结构上看,战场环境空间结构具有如下特点^[17]:

(1) 区域结构边界确定。从作战目的和作战样式角度,战场空间受到敌对双方疆域和领土的制约,其边界是由遂行作战行动的目的或计划需求而确定的,战场环境各实体对象在此区域空间中的组合形式表现出该区域环境特性。

(2) 空间属性特征明显。战场环境要素空间属性包括位置、范围、形状、方向和距离,以此对区域环境提取结构特征,对确定打击目标、选定集结地域、确定机动方式及路线等战场谋划起到了关键性的作用。

(3) 尺度描述层次多级。战场环境尺度描述主要包括空间尺度和要素描述颗粒度,与作战层次相对应,从战略、战役、战术到战斗,每一层次作战任务关注的战场环境尺度不同,一般情况下,空间尺度和要素颗粒度依次从概略到精细,环境要素空间结构特征在尺度描述上呈金字塔形。

(4) 要素易变动态复杂。战场环境不是一成不变的,随着作战过程的推进,战场环境空间尺度和要素属性都会发生变化。战场环境各要素之间相互影响,其构成要素的几何特征和属性特征在过程中会发生动态变化,并对相关的战场活动产生不同程度的影响。

3.1.2 基于战场认知的地理环境对象层次结构

战场认知是作战人员依靠作战经验和知识, 在战场感知信息的基础上, 形成对战场的理解和认识的过程。战场认知过程具有明显的时空特性, 空间特征主要是作战人员对一定地域结构内若干个战场环境实体形成的空间特性提取, 时态特性主要表现在作战人员发生认知行为过程的时间特性。从面向对象的角度, 战场环境实体对象之间具有固定的层次结构关系, 根据作战人员对战场环境认知层次结构, 将战场环境对象可分为简单对象与复杂对象, 简单对象是战场环境对象基本单元, 具有对象最基本的空间特征和属性特征, 复杂对象是由简单对象根据一定规则组成的集合, 是对象特征功能集合的表达。如图 3 所示, 对象之间的区分通常由其属性特征来标识, 对象之间的层次关系由认知规则确定。

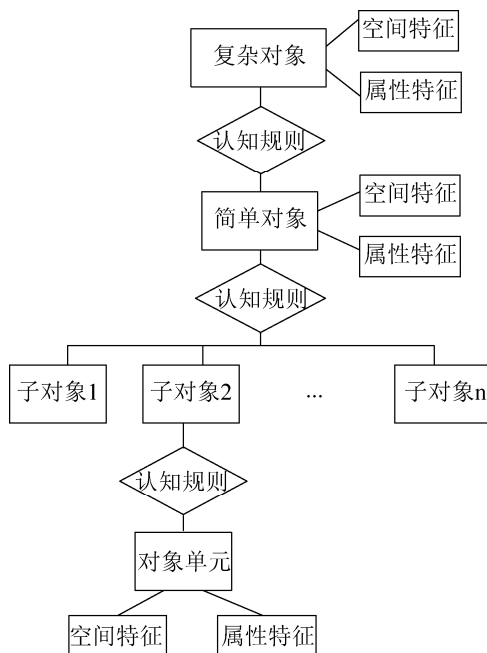


图 3 基于认知的空间对象层次结构表示

Fig. 3 Hierarchical representation of spatial objects based on cognition

基于行为地理学及认知意象的相关研究^[18], 将作战人员对战场环境的认知意象构成可分为五个要素, 即任务区域、关键要素、空间边界、过程时间和空间关系, 具体如表 1 所示。

任务区域是识别区域环境的概况, 相当于环境对象特征集形成的类概念; 关键要素是区域内对认知起到决定性因素的环境对象, 是认知意象产生的主导元素, 与任务因素相关联; 空间边界是任务区域在空间上的分隔界线, 每一个任务过程都有其对应的区域边界, 反映在认知上可强化作战人员对不同区域的感知; 过程时间作为任务过程的持续时间, 也是环境对象发生动态变化的过程记录; 空间关系包括环境对象内部的关系和对象之间的相互关系, 通过语义关系将各个空间对象组织在一起, 形成具有区域环境空间性质的认知意象。基于认知意象的战场地理环境对象的层次结构可建立如图 4 所示。

区域概况对象类是对任务区域地理环境的总体把握, 主要包括作战地区的地理位置及其重要性, 地形的种类、形态和分布特征等; 地理要素对象类通过空间边界对区域内的自然构成合理分片划块, 逐片逐块地分析其诸要素的相互关系和战术价值; 过程动态对象类是对环境要素在时间上的动态表达, 包括位置、时间、天候气象等引发战场地理环境可能发生变化的动态因素; 空间关系对象类是对对象属性在语义关系和语义操作上的封装。

作战任务从类型区分为指挥活动和部队行动两类过程, 指挥活动按照时间划分为决策计划和战场指挥两个阶段, 部队行动按任务性质具体分为集结、机动和作战 3 个阶段, 不同的阶段和规模对环境要素的需求各不相同。以地面机动任务为例, 陆战场地理环境对象的层次结构可描述如图 5 所示。

其中, 地区概况特征类包括地貌和土壤土质两个子类, 主要是描述任务地区的景观类型, 指出执行的作战样式(如城市战场、高原山地战场、丘陵地战场等)。地面特征类基于任务地理空间, 按其地物要素包括居民地、植被、水系、道路、桥梁等 5 个子类, 主要描述相应空间范围内的环境要素特征。动态特征类集合位置、时间、天候、气象等 4 个子类, 用于描述时空变化和天气季节等影响因素。

表 1 战场环境认知意象构成要素及内容
Tab. 1 Elements and content of battlefield environment cognitive image

要素类型	内容
任务区域	按照地理环境形成的对作战主体的影响划分任务区域，如平原环境、山地环境、丘陵环境、城市环境等；
关键要素	任务区域内对任务认知最具影响的地理环境要素组成；
空间边界	任务区域在空间上的分界线；
过程时间	认知过程执行的有效时间；
空间关系	统一参考系下各环境要素对象之间的几何关系与属性关系。

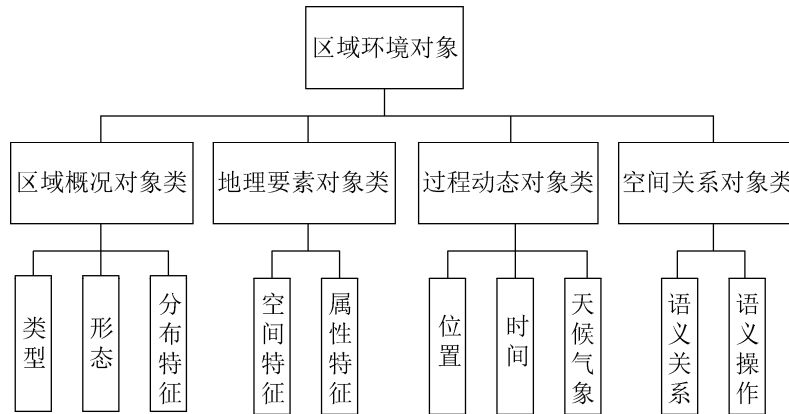


图 4 战场地理环境对象的层次结构图
Fig. 4 Hierarchical structure of battlefield geographical environment object

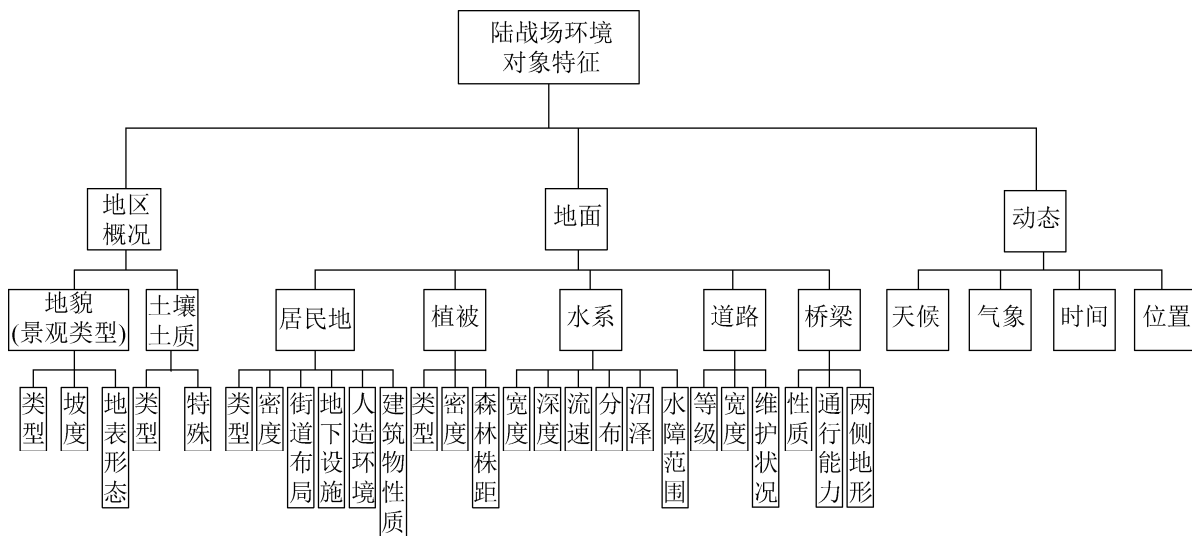


图 5 陆战场地理环境对象的层次结构图
Fig. 5 Hierarchical structure of land battlefield geographical environment object

3.2 基于认知过程的战场地理环境仿真对象逻辑模型

3.2.1 基于 SEDRIS 的仿真对象数据表示模型

SEDRIS 作为综合环境数据表示与交换的规范，具有完整的综合环境数据表示方法和数据交换

机制，较好地解决了数据一致性与共享性的问题，从环境数据的语法结构和语义关系上实现数据之间的逻辑关系和关联性^[19-20]。为了满足战场地理环境仿真对象数据组织与表达的一致性，本文采用 SEDRIS 数据表示模型(DRM)对其进行描述，结合

战场地理环境空间结构特点和作战人员对战场地理环境的认知过程,对任务区域地理环境仿真对象数据进行无歧义描述。根据战场环境空间对象五元组模型,基于认知过程的环境对象是通过空间特性、时间特性、属性特性和语义操作来动态表达,因而,可将概念模型中的组成要素抽象为几何对象类、时间对象类、属性对象类和语义对象类来构建战场地理环境仿真对象类。战场地理仿真对象可以用模型类(Model)下属的几何基本对象类(Geometry hierarchy)、特征对象类(Feature hierarchy)和拓扑关系类(Topology hierarchy)组成描述,如图 6 所示。

其中,实体对象关联的 Geometry Model 是由 Geometry hierarchy 继承类 Primitive Geometry 类描述的, Primitive Geometry 类同时包含 Point Geometry、Column Geometry、Linear Geometry 和 Polygon Geometry 等 4 个继承类,用以描述对象的几何特征;实体对象关联的 Feature hierarchy 是由 Property Table 类、Property Value 类描述;实体对象关联的 Topology hierarchy 是由 Geometry Topology Hierarchy 和 Feature Topology Hierarchy 两个继承类描述。对象集中的每个类定义了与对象相关的属性,通过继承、聚合和关联等方式将各对

象类之间的关系关联起来,形成层次化结构。

3.2.2 基于认知过程的逻辑关系表示

基于认知过程的对象数据逻辑关系是对战场环境仿真对象在认知过程中空间关系和属性关系语义的描述。战场地理环境认知过程主要是战场环境实体对象空间特征的感知记录,侧重于关注影响战场认知的对象空间功能特征,按照影响认知意象的要素(即任务区域、关键要素、空间边界、过程时间和空间关系)进行环境对象认知。基于过程的空间关系语义包括空间对象本身的关系,对象与对象之间的关系,对象与过程之间的关系。一个对象可能参与若干个过程,一个过程可能有若干个对象参与。根据认知过程特征和基于环境对象的认知特征,对象的位置、距离和方向对认知影响最显著,因而,战场地理环境仿真对象空间关系包括位置关系、距离关系、方向关系和拓扑关系。其属性语义描述由对象本身属性数据及构成对象功能特征的属性数据来确定。当认知过程通过认知规则确立,战场环境仿真对象便能按照空间认知关系建立对象数据逻辑关系,如图 7 所示。

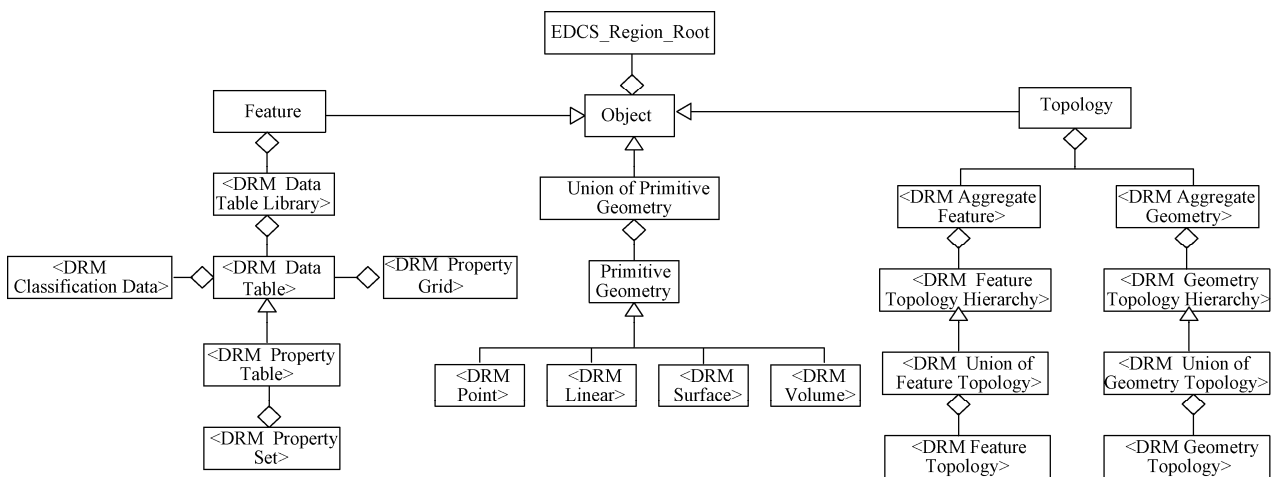


图 6 基于 UML 的战场地理环境仿真对象数据表示建模

Fig. 6 Representation model of battlefield geographical environment simulation object data based on UML

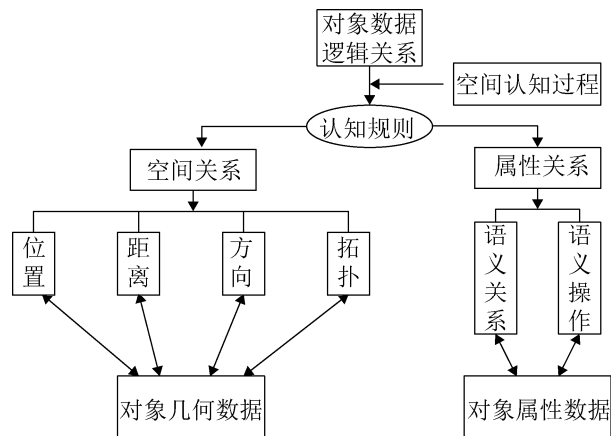


图7 基于认知过程的对象数据逻辑关系

Fig. 7 Logical relationship of object data based on cognitive process

(1) 位置关系。对象位置关系是对象与任务区域及其空间边界之间空间关系的表达，对象在区域内记为 $A \in R^0$ ，部分在区域内记为 $\partial A \in R^0$ ，不在区域内记为 $A \notin R^0$ 。

(2) 距离关系。对象之间的距离关系受多种因素影响，如路线节点、达成目的时间、中途障碍数量和现实实际距离等因素，因而，对象距离关系在认知过程中主要按时间决定模式，及关键节点重要程度顺序描述。对象之间几何距离记为 D ，节点权值记为 μ ，转化为时间因子记为 δ ，距离关系 $F: f(D, \mu, \delta)$ 表示认知距离与实际距离之间的关系。

(3) 方向关系。对象之间方向关系在认知过程中并不是实际地理方位关系，大部分情况下是将对象之间的相对位置关系作为其方向关系，因而在空间参照系下，以某个关键要素对象为主要定向依据，以此对其他对象进行顺序和拓扑关系判别。

(4) 拓扑关系。对象拓扑关系主要是从对象的几何特征建立对象间相离、相接和相交关系，如对象在欧氏空间结点、弧段、面域相互之间的关联关系，以此作为对象位置关系和方向关系的基础。

(5) 属性关系。对象属性关系是通过认知规则建立，包括对象属性的语义关系和语义操作，对象在认知过程中由认知规则触发生成新的认知过程，新的认知过程也能在认知规则下触发生成新的对象。

3.3 基于认知过程的战场地理环境仿真对象物理模型

3.3.1 基于过程域的仿真对象数据组织

基于认知过程的战场地理环境仿真对象数据是以任务区域为研究对象，按照认知过程对地理环境对象数据进行组织，一方面从时空性上对数据建立域边界，以区域地理环境构建对象类，包含多种地理环境要素，能够保持数据完整性和一致性，另一方面从数据库检索与读取上避免数据多次操作，提高效率。

定义 1 过程域(Process Region)是战场认知过程中对地理环境信息及认知行为持续时间的抽象表征。设 E 表征环境信息， T 表征时间特性，则过程域 $R = \{E, T\}$ 。

定义 2 过程域对象(Process Region Object)是应用面向对象的方法对过程域抽象并对其要素进行功能封装，包括域的结构、属性、操作，形成可量化的独立环境认知对象类。设 R 为过程域表征， A 为对应域属性， U 为操作规则，则域对象 $RO = \{R, A, U\}$ 。过程域对象具有环境对象实体的时空特征，每一个对象可通过映射规则建立其数据库中相应的对象表、过程表和规则表。

基于过程域的战场环境仿真对象利用认知过程时空特性转化为实体结构，其结构体定义如下：

```
Struct Process_Region_Object{
//空间特征
long ID; //对象 ID, 唯一标识, 主键
Sdo_Geometry Geobject; //对象几何信息
struct Position; //对象位置信息
//属性特征
string Description; //属性描述
struct Attribute; //属性信息
//时间特性
Data Process_Begin; //过程起始有效时间
Data Process_End; //过程终止有效时间
//语义关系
struct Rule; //语义操作规则
//调用数据库表操作
void GetDateFromDateBaseIndex(char index); //读取
```

对应数据库索引并返回数据

```
void UpdateDateToDataBaseIndex(BLOB Data,char
index); //修改数据并返回索引
}
```

3.3.2 基于工作流的认知驱动机制

工作流(Workflow)是业务过程的部分或整体在计算机应用环境下的自动化,按照一系列过程规则,文档、信息或任务能够在不同的执行者之间传递、执行^[21]。工作流模型是抽象和概括已制定的工作流程及其各操作步骤之间业务规则并对其规范化描述,包含控制流和数据流。战场环境认知驱动过程是以作战任务为核心将实际的认知流程结构化为一个工作流程,认知驱动机制相当于工作流模型中的控制流程,体现认知活动与仿真对象数据之间的交互,仿真对象数据流随着控制流推进而流转。在实时工作流^[22]基础上进行扩展,建立战场地理环境认知工作流数据模型,如图 8 所示。

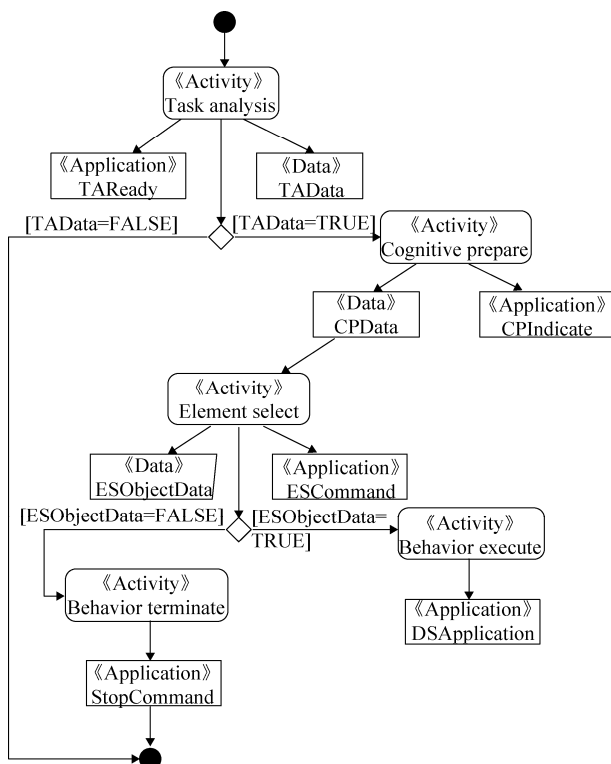


图 8 战场地理环境认知实时工作流数据模型

Fig. 8 Real time workflow data model based on battlefield geographical environment cognition

实时工作流过程包括活动、迁移、参与者、应

用程序和工作流数据等元素,战场地理环境认知工作流由 5 个活动组成,包括任务解析(Task analysis)、认知准备(Cognitive prepare)、要素选择(Element select)、行为执行(Behavior execute)和行为终止(Behavior terminate),当作战人员执行作战任务时,认知工作流被启动,活动任务解析准备启动,执行应用程序 TARReady,生成工作流相关数据 TADData, TADData 参与路由判断,准备完毕后交与活动认知准备,执行应用程序 CPIIndicate,生成工作流相关数据 CPData,然后启动认知过程,触发活动要素选择,执行应用程序 ESCommand,生成工作流相关数据 ESObjectData, ESObjectData 参与路由判断,匹配符合执行允许启动分析活动,执行应用程序 DSApplication,匹配不符合启动终止认知活动,执行应用程序 StopCommand 并返回。各个活动均具有时态特性,反映在工作流时间约束信息,当活动时间超过预设时间限定时,应用程序会执行触发异常,使之迁移至终止活动流程。

基于工作流的认知驱动机制能清楚的体现认知活动触发对象数据的流程,在满足触发规则的条件下建立组成过程活动、执行应用程序和生成相关数据流之间的关系,达成在认知驱动下对环境要素建模的需求。

3.3.3 动态数据集成表示模型

仿真对象动态数据集成表示模型是将仿真对象数据模型、认知驱动工作流模型和任务过程模型关联起来,实现其相互之间协同工作、数据流转及功能组合,如图 9 所示。

(1) 仿真对象数据模型与认知驱动工作流模型之间的触发关系。仿真对象数据流的生成是由认知驱动工作流控制的,并随着认知驱动应用程序的触发产生数据的重构与更新,因而,仿真对象数据模型中的对象数据类型与工作流接口属性相对应,一种对象数据类型关联多个工作流接口,一个工作流接口服务多个对象数据类型。

(2) 任务过程模型与认知驱动工作流模型之间的关联关系。认知驱动工作流是对任务过程模型

活动的抽象,任务过程模型关联认知驱动 workflows 的服务接口,将任务过程模型作为认知驱动的事件,从作战目的和作战样式角度,一种任务过程类型可包含多种 workflow,一种 workflow 可服务多种任务类型,两者形成多对多的关联关系。

(3) 仿真对象数据模型与任务过程模型之间的映射关系。任务过程模型与仿真对象数据模型没有直接关联关系,而是通过认知驱动 workflow 与仿真对象产生关联,一方面从作战任务类型的确立,其关联的环境要素也是相对稳定和可量化的,认知驱动 workflow 可根据任务过程对应的环境要素获取最优数据组合,另一方面作战任务过程随时间变化,认知驱动 workflow 可相应发生动态变化,环境仿真对象数据模型随之发生重构,workflow 模型的动态性和扩展性使得仿真对象数据模型可面向不同任务过程。

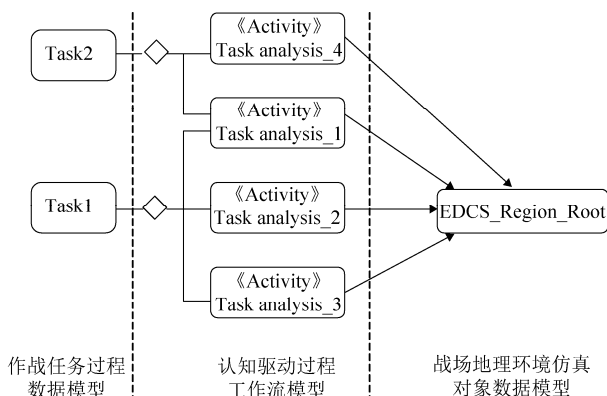


图 9 战场地理环境仿真对象动态数据集成模型
Fig. 9 Dynamic data integration model of battlefield geographical environment simulation object

4 应用实例

战场环境信息系统是将多源战场环境信息以作战任务为核心需求为作战人员提供科学、直观的可视与分析功能,辅助作战人员作出快速、准确的决策。从作战任务、作战样式及可能涉及的范围出发,战场地理环境认知过程一般按照确定环境分析范围,判断环境要素,分析环境特点,判定环境对作战行动的影响的顺序进行。将此过程以 workflow 模型为基础设计战场环境信息系统数据服务,具体来说,通过各种传感器和无线通信接收与任务相关信

息并对其进行解析,在任务解析过程完成之后,进入认知环境信息过程,确立任务与战场环境仿真对象数据之间的映射关系,其次按照认知规则调用对应的仿真对象数据模块,然后,在时空变化的进程下,随认知过程发生变化,环境仿真对象数据特征相应改变,触使生成新的仿真对象数据,整个过程处于实时动态数据流转。基于认知过程的数据服务框架主要由任务信息供应层、任务信息解析层、仿真对象数据模型层、认知过程 workflow 模型层、数据交互层和数据应用层这 6 个层次组成,如图 10 所示。

以地面战术机动任务为例,将任务过程、认知分析需求与地理环境仿真对象数据三者关系可描述成如结构图 11 所示,并以此作为先验知识模板嵌入认知过程控制流中,形成仿真对象数据组织层次结构。

实验环境是以 XX 型战场环境信息系统为软件基础平台,采用 B/S 架构建立实验系统,系统由数据层、服务层和应用层 3 个层次组成。数据层主要是应用数据库系统对战场环境数据进行存储、检索、管理等操作;服务层主要是响应用户和数据之间请求,提供各种数据的查询、分析等操作;应用层主要是为用户提供数据操作界面,能够支持移动终端和 PC 端多种平台的浏览器。服务端以 Java+MyEclipse 为开发工具,客户端以 JavaScript+Webstorm 为开发工具,数据库采用 MySQL5.5。实验中使用的战场地理环境数据包括:1:5 万系列比例尺矢量数据;任务区域分辨率为 10m 的遥感影像数据;相关专题兵要数据。系统嵌入所使用的主要战场环境分析模型包括:(1)沿道路机动分析模型和越野机动分析模型,主要是通过环境诸要素的修改得到最优路径选择;(2)通视概率及远距离通视分析模型,主要是判断观察点与通视区域内高程点的关系;(3)间瞄火炮射击效能分析模型主要是判断敌火力打击范围,得到对己方机动的威胁点;(4)隐蔽性能分析模型主要是分析机动过程中植被覆盖的疏密程度对部队执行隐蔽机动的的影响指数。

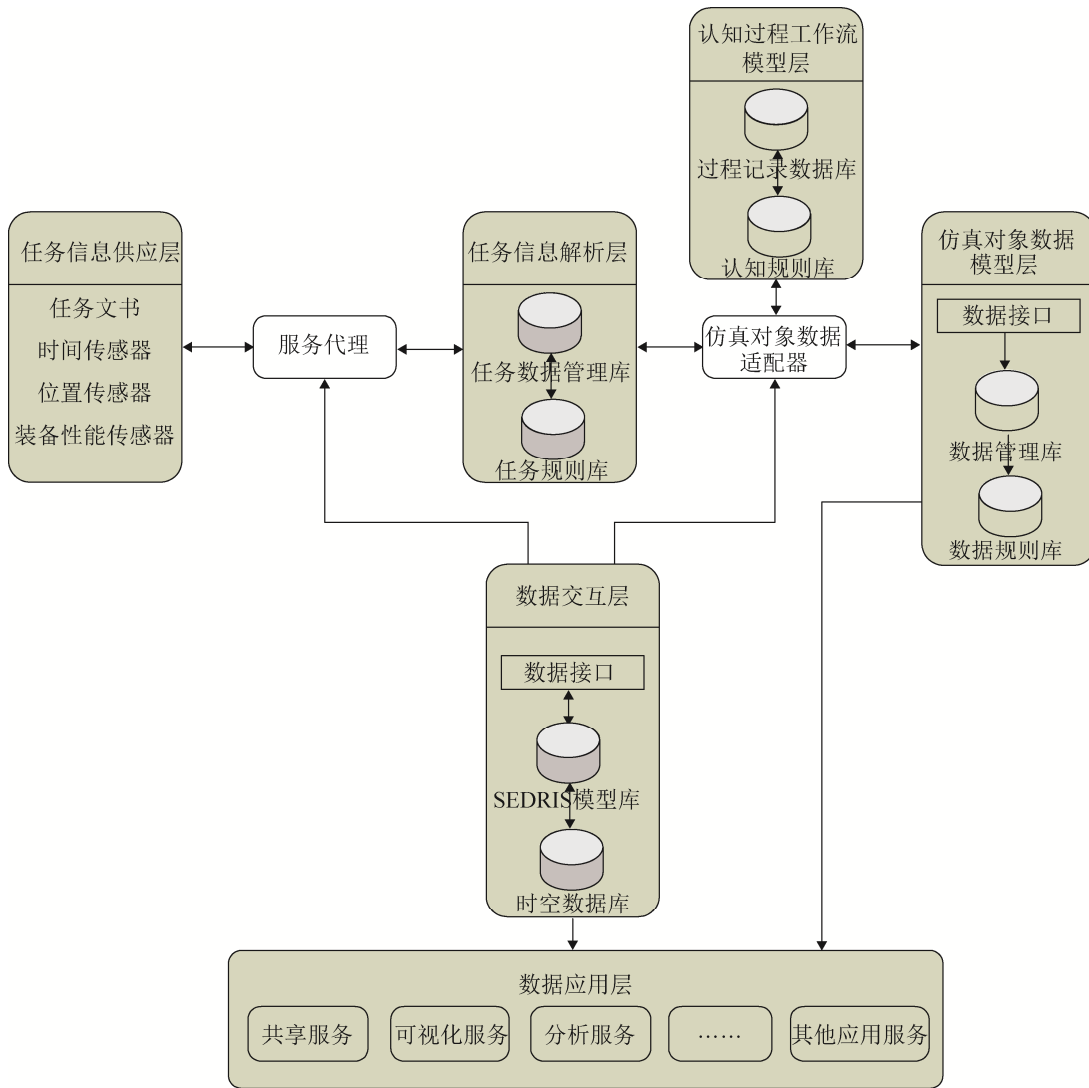


图 10 基于认知过程的仿真对象数据服务框架

Fig. 10 Framework of simulation object data service based on cognitive process

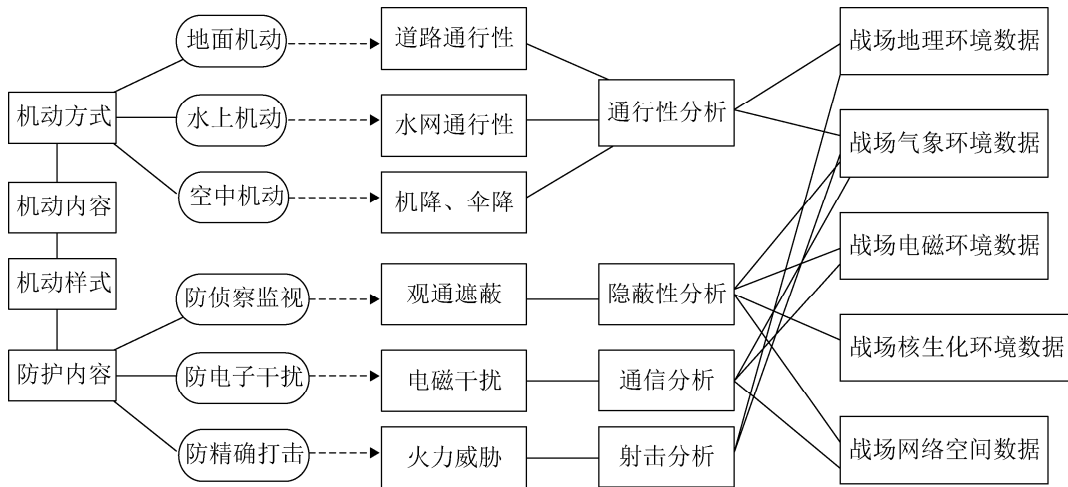
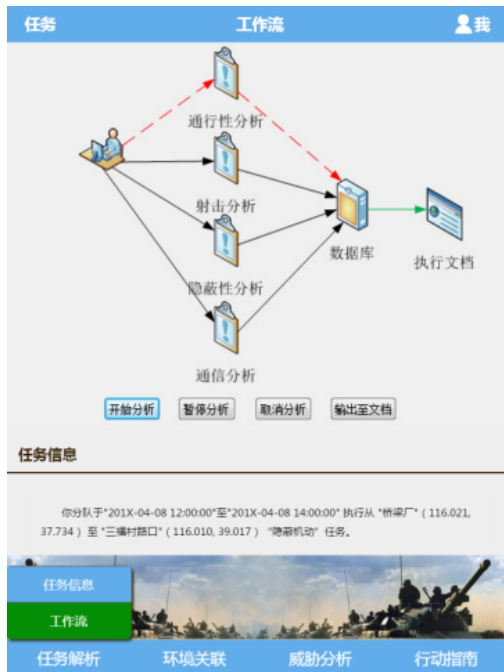


图 11 机动任务与环境对象数据映射关系图

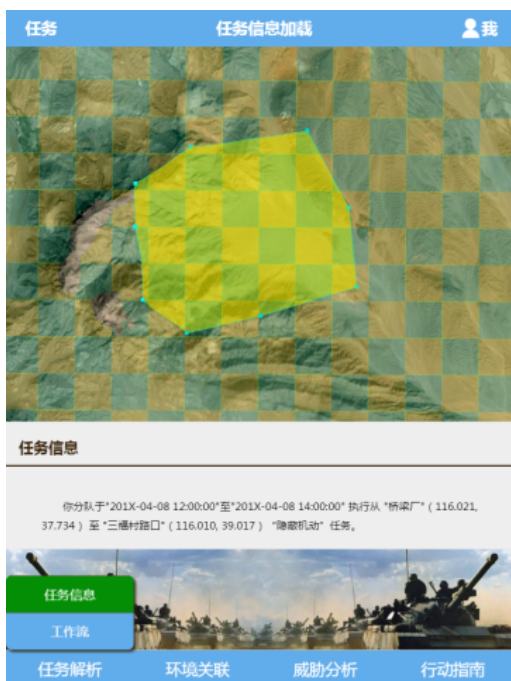
Fig. 11 Mapping relation between maneuvering task and environment object data

任务命令按照规定格式接收后,在后台对其进行解析,如图 12(a)所示为作战任务接收的界面,然后使用 workflow 模式对当前任务建立数据关系,如图 12(b)所示为 workflow 模型执行界面。

通过认知过程 workflow,将任务类型与仿真对象数据相关联,以隐蔽机动任务为例,后台分析作战地域内与隐蔽机动相关联的环境因素,重点判明作战地域与关心地区的道路数质量情况,如道路的通行能力,隐蔽与掩蔽条件,观察与射界条件,分别从点状要素、线状要素和面状要素表达区域环境关键要素,如图 13 所示结果界面。



(a) 作战任务信息加载界面



(b) 工作流加载界面

图 12 作战任务信息加载及工作流界面
Fig. 12 Combat task information loading and workflow interface



(a) 点状要素对象表达界面



(b) 线状要素对象表达界面



(c) 面状要素对象表达界面

图 13 战场地理环境仿真对象数据表达界面

Fig. 13 Battlefield geographic environment simulation object data expression interface

5 结论

基于认知过程构建面向对象的战场地理环境仿真动态数据模型,主要有以下几个特点:(1)通过分析面向任务的地理空间认知过程特点,对战场环境认知过程进行形式化描述,并以此对战场环境对象特征进行结构化描述;(2)采用面向对象的方法对战场地理环境对象进行层次结构划分,并使用 SEDRIS 对对象数据模型进行统一描述;(3)通过 workflow 模型建立认知过程驱动机制,将过程模型和仿真对象数据模型集成表达。但是,本文对战场环境认知过程的描述与建模仍存在局限性;认知 workflow 模型的扩展性需要进一步探讨;对数据模型适用性需要进一步验证和优化;对构建面向对象的认知方法需要进一步结合人工智能计算方法(如机器学习)的研究,以适应未来战场环境保障智能化的需求。

参考文献:

- [1] 高俊,夏运钧,游雄,等. 虚拟现实在地形环境仿真中的应用[M]. 北京: 解放军出版社, 1999: 22-27.
Gao Jun, Xia Yunjun, You Xiong, et al. Application of virtual reality in terrain environment simulation[M]. Beijing: PLA Press, 1999: 22-27.
- [2] 游雄. 战场环境仿真[M]. 北京: 解放军出版社, 2012: 20-24.

- You Xiong. Battlefield environment simulation[M]. Beijing: PLA Press, 2012: 20-24.
- [3] 崔珂瑾,程昌秀. 空间数据模型研究综述[J]. 地理信息世界, 2013, 20(3): 31-35.
Cui Kejin, Cheng Changxiu. Research Review on Spatial Data Models [J]. Geomatics World, 2013, 20(3): 31-35.
- [4] 陆守一,陈飞翔. 地理信息系统 [M]. 2 版. 北京: 高等教育出版社, 2017: 24-34.
Lu Shouyi, Chen Feixiang. Geographic Information System [M]. 2th ed. Beijing: Higher Education Press, 2017: 24-34.
- [5] 徐立,陈晓慧,王俊超. 一种基于实体的地理空间数据模型[J]. 测绘与空间地理信息, 2012, 35(4): 20-22.
Xu Li, Chen Xiaohui, Wang Junchao. An Entity Based Geographic Spatial Data Model[J]. Geomatics & Spatial Information Technology, 2012, 35(4): 20-22.
- [6] 李欢,汤晓安,孙茂印,等. 基于域对象的海战场信息数据集成与应用[J]. 计算机工程与科学, 2010, 32(4): 95-98.
Li Huan, Tang Xiaohan Sun Maoyin, et al. Information Integration and Application in the Marine Battlefield Based on Region Objects [J]. Computer Engineering & Science, 2010, 32(4): 95-98.
- [7] 陆筱霞. 海量地形场景数据组织管理与传输技术研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2013: 18-27.
Lu Xiaoxia. Research on Data Management and Transmission Technology of Massive Terrain Scene[D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2013: 18-27.
- [8] 刘卫华,王行仁. 综合自然环境数据模型设计与数据库实现[J]. 系统仿真学报, 2004, 16(9): 1978-1981.
Liu Weihua, Wang Xingren. Design of Data Model and Implementation of Database for Synthetic Natural Environment[J]. Journal of System Simulation, 2004, 16(9): 1978-1981.
- [9] 孙丽卿,王行仁. 综合自然环境数据库开发的研究[J]. 系统仿真学报, 2007, 19(16): 3688-3692.
Sun Liqing, Wang Xingren. Research on Development of Synthetic Natural Environment Database[J]. Journal of System Simulation, 2007, 19(16): 3688-3692.
- [10] 谢孔树,赵国荣,蒋潇睿,等. 一种基于 SEDRIS 的海战场自然环境描述方法[J]. 计算机应用与软件, 2012, 29(6): 196-198.
Xie Kongshu, Zhao Guorong, Jiang Xiaorui, et al. A Sedris-Based Description Method for Sea Battlefield Natural Environment[J]. Computer Applications and Software, 2012, 29(6): 196-198.
- [11] 高俊. 地图的空间认知与认知地图学[C]//第四届全国地图学学术讨论会论文选集. 北京: 中国地图出版社,

- 1992: 12-18.
- Gao Jun. Spatial cognition and cognitive map cartography[C]//The 4th National Symposium on cartography papers. Beijing: SinoMaps Press, 1992: 12-18.
- [12] 鲁学军, 秦承志, 张洪岩, 等. 空间认知模式及其应用[J]. 遥感学报, 2005 (3): 277-285.
- Lu Xuejun, Qin Chengzhi, Zhang Hongyan, et al. Spatial Cognitive Mode and Its Application[J]. Journal of Remote Sensing, 2005 (3): 277-285.
- [13] 马耀峰, 李君轶. 旅游者地理空间认知模式研究[J]. 遥感学报, 2008, 12(2): 378-383.
- Ma Yaofeng, Li Junyi. Study on Schemes Mode of Tourists' Geospatial Cognition[J]. Journal of Remote Sensing, 2008, 12(2): 378-383.
- [14] 高俊. 战场感知的地理空间数据保障[C]//高俊院士论文集. 北京: 测绘出版社, 2012: 335-340.
- Gao Jun. Geospatial data support for battlefield perception[C]//Symposium of Academician Gao Jun. Beijing: Surveying and Mapping Press, 2012: 335-340.
- [15] 马荣华, 黄杏元. GIS 认知与数据组织研究初步[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2005, 30(6): 539-542.
- Ma Ronghua, Huang Xingyuan. Preliminary Study on GIS Cognition and Data Organization[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2005, 30(6): 539-542
- [16] 顾海燕, 闰利, 李海涛. 语义网络模型的遥感影像面向对象分类[J]. 测绘科学, 2016, 41(1): 185-189.
- Gu Haiyan, Run Li, Li Haitao. Object-based image classification of remote sensing based on semantic network model[J]. Science of Surveying and Mapping, 2016, 41(1): 185-189.
- [17] 张为华, 汤国建, 文援兰, 等. 战场环境概论[M]. 北京: 科学出版社, 2013: 344-350.
- Zhang Weihua, Tang Guojian, Wen Yuanlan, et al. Introduction to Battlefield Environment[M]. Beijing: Science Press, 2013: 344-350.
- [18] 杨瑾, 崔蓉, 刘苗, 等. 旅游者地理空间认知模型与知识研究[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2012, 42(6): 1011-1015.
- Yang Jin, Cui Rong, Liu Miao, et al. On tourists' spatial cognition model and knowledge[J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 2012, 42(6): 1011-1015.
- [19] 林连雷, 丁蔚. 一种基于 MM5 和 SEDRIS 的虚拟大气环境构建方法[J]. 系统仿真学报, 2015, 27(5): 1064-1066.
- Lin Lianlei, Ding Wei. Construction of Virtual Atmospheric Environment Based on MMS and SEDRIS[J]. Journal of System Simulation, 2015, 27(5): 1064-1066.
- [20] 涂乐德, 仇建伟, 王家润. 基于 SEDRIS 的战场态势信息描述[J]. 计算机与现代化, 2014(1): 231-234.
- Tu Lede, Qiu Jianwei, Wang Jiarun. Battlefield Situation Information Describing Method Based on SEDRIS[J]. Journal of System Simulation, 2014(1): 231-234.
- [21] 陈广智, 潘嵘, 李磊. 工作流建模技术综述及其研究趋势[J]. 计算机科学, 2014, 41(6A): 11-15.
- Chen Guangzhi, Pan Rong, Li Lei. Survey and Research Trends of Workflow Modeling Techniques[J]. Computer Science, 2014, 41(6A): 11-15.
- [22] 陈丹, 王勇, 王瑛. 基于工作流的科研协同平台的研究与实现[J]. 计算机工程与设计, 2014, 35(3): 791-795.
- Chen Dan, Wang Yong, Wang Ying. Research and implementation of research collaboration platform based on workflow[J]. Computer Engineering and Design, 2014, 35(3): 791-795.

(上接第 1069 页)

- [11] Huang X, Vodenska I, Havlin S, et al. Cascading Failures in Bi-partite Graphs: Model for Systemic Risk Propagation[J]. Scientific Reports(S2045-2322). 2013, 3(2): 1219-1219.
- [12] Caccioli F, Shrestha M, Moore C, et al. Stability analysis of financial contagion due to overlapping portfolios[J]. Journal of Banking & Finance (S0378-4266), 2014, 46(3): 233-245.
- [13] Greenwood R, Landier A, Thesmar D. Vulnerable banks [J]. Journal of Financial Economics (S0304-405X), 2015(3): 471-485.
- [14] 张吟, 朱淑媛, 张瑞, 等. 基于投资组合关联的金融系统性风险影响因素研究[J]. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2016, 52(4): 425-429.
- Zhang Yin, Zhu Shuyuan, Zhang Rui, et al. Analysis of financial contagion based on overlapping portfolios[J]. Journal of Normal University (Natural Science), 2016, 52(4): 425-429.
- [15] 方意, 郑子文. 系统性风险在银行间的传染路径研究—基于持有共同资产网络模型[J]. 国际金融研究, 2016, 350(6): 61-72.
- Fang Yi, Zhen Ziwen. A study on the contagion path of systemic risk among banks—Based on the model of common assets[J]. Studies of International Finance, 2016, 350(6): 61-72.