

军事任务推演的时空模型与驱动机制*

李欢, 马伯宁, 孔龙星

(国防科技大学 电子科学与工程学院, 湖南 长沙 410073)

摘要:针对军事信息系统的作战任务推演需求,提出了一种基于时空事件序列的、较为完备的高效任务推演方法。论述了基于层次化分解的任务表达机制与实体化策略;针对保障数据定制问题提出了面向任务的时空数据应用模型,以任务最小需求为准则对一体化时空数据集进行多维筛选,有效降低数据的冗余度;详细讨论了时空事件序列模型的定义及其在军事任务推演中的数据驱动模式;结合具体仿真实例进行了应用探讨。原型系统的实现证明了该思路的有效性和可行性。

关键词:军事信息系统;任务推演;时空数据模型;数据驱动

中图分类号:TP391 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-2486(2013)03-0138-06

The spatiotemporal model and driving pattern in military mission rehearsals

LI Huan, MA Boning, KONG Longxing

(College of Electronic Science and Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: Aiming at the rehearsal demand in military information system, an efficient and integrated mission rehearsal method based on Spatiotemporal Event Series (SES) is proposed. First the mission expression based on hierarchy decomposing and materialization strategy by capability was put forward, and then a mission-oriented data application model was advanced for data customization, which minimized the integrative spatiotemporal dataset according to the least demand of battle mission. After that, the event definition model of SES and its data driving pattern were illustrated. Finally the application method was discussed with specific emulation example. The experimental prototype system proved their validity and feasibility.

Key words: military information system; mission rehearsal; spatiotemporal data model; data driving

在现代高科技战争中,军事信息系统是信息化作战的集中体现。作战任务推演是军事信息系统的一个特色功能,对于作战任务的制定、演示、修改和评估具有重要作用。军事任务推演包括两个方面的内容:一种是针对尚未进行但计划要进行并且过程中存在不确定性的军事行动进行模拟评估,从而为计划的合理性判断和修改完善提供参考依据;另一种是对已完成的作战行动进行仿真重现,从而对其过程和效果进行科学的评估和总结。无论是对作战计划的模拟,还是对完成行动的重现,任务推演作为典型的四维时空仿真过程,其准确表达都离不开时空数据模型的支持。

已有的时空数据模型根据其所描述的重点不同,大致可分为2类^[1-2]:一类侧重于对时空目标状态自身的描述,如序列快照模型、基态修正模型、时空立方体模型、时空复合模型等;另一类侧重于对时空目标变化过程的描述,如时间驱动的

时空数据模型、事件驱动的时空数据模型等。

通过对以上模型的深入分析可知,目前的时空数据模型主要是基于三域思想构建的,“三域”即语义域、空间域和时间域。在三域模型中,实体、空间和时间都是作为独立概念来建模的,通过在不同层次或对象中动态链接这三种类型的对象来表示地理概念和空间实体。这种数据模型可以从三个角度来表达现实世界,即以实体、以位置和以时间为中心的角度;它能表示地理信息中六种基本类型的变化,即属性变化、静态空间分布、静态空间变化、动态空间变化、过程转变、实体移动。

在军事作战推演领域,三域模型存在着局限性,其本质源自于认知主体上的差异。一般事物或过程的认知主体包括实体、空间、时间,即特定空间、时间内的实体状态,这是以实体为核心的,其模型可表示为{Entity, Status, Space, Time},而军事作战流程是以任务(Mission)作为描述基元

* 收稿日期:2012-09-28

基金项目:国家部委资助项目

作者简介:李欢(1980—),男,河北辛集人,讲师,博士,E-mail:lhwx888@126.com

进行组织的。作战任务是武装力量在作战中需要达到的目标及承担的责任,通常是上级作战意图的体现,依据任务的层次可分为战略任务、战役任务和战斗任务^[3]。一般而言,作战任务是笼统的、宏观的,无法直接被基层作战单元理解和执行,需要各级指挥员进行详细分解,同时界定基层执行单元执行具体任务的行为边界。军事行动的认知主体是任务,各级作战单位都依照对应的任务要求开展行动,此外还包括空间、时间和实体,表达特定空间、时间内任务的实体完成状态,其模型可表示为{Mission, Entity, Status, Space, Time}。

目前已有的军事任务推演成果主要集中在任务的形式化表达和作战效能评估方面^[4-5],理论性较强而实用性则略显不足,缺乏可支持实战应用的、较为完备的军事任务仿真推演机制。本文针对这一需求,提出了一套较为完备实用的军事任务推演方法,以作战任务为核心总线,具体包括任务层次化分解机制、面向任务的时空数据应用模型、时空事件序列模型及其数据驱动模式四个内容,对应解决了任务分解定义、任务数据定制、推演流程定义和推演流程实现四个关键问题,实现了整个军事任务的仿真推演流程。

1 任务层次化分解机制

定义1 元任务:作战任务分解过程中无需进一步分解即可执行的任务。元任务具有最小的任务粒度,对应具体的作战单元,具有明确的作战能力需求和数据保障需求。

定义2 子任务:作战任务分解过程中的中间任务结点,辅助建立任务的分解和细化思路。子任务可分解为元任务或粒度更小的子任务。

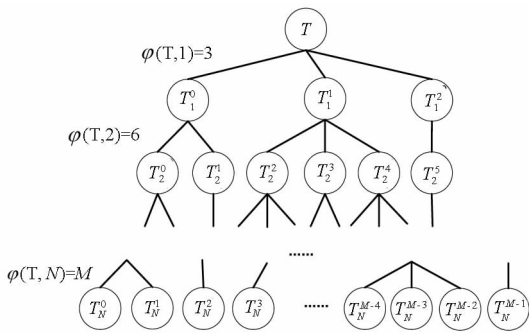


图1 军事任务的层次分解模型

Fig. 1 Hierarchy decomposing model for military mission

基于以上定义,作战任务的层次化描述机制如图1所示。设军事任务的形式化表达为 T_N^n ,其中正整数 N 表示任务的层次维,非负整数 n 为对应层次维中的子任务索引。对于某个任务 T ,可依据其实现复杂度进行层次分解。设分解运算为

$\varphi(T, n)$,表示对任务 T 进行第 n 次分解,返回值为该次分解后的子任务个数,则任务 T 可表示为最终的元任务集合:

$$T = \bigcup_{i=0}^M T_N^i \quad N = n \mid \varphi(T, n) = \varphi(T, n-1), \quad M = \sum_m \delta(T_N^m)$$

其中 $\delta(x)$ 为扩展布尔函数,当 x 存在且有意义时, $\delta(x) = 1$, 否则 $\delta(x) = 0$; N 为任务分解级数,与作战任务的执行级别相关,任务承接单位的级别越高,下属单位层级越复杂, N 就越大; M 为执行任务的基本作战单元数,与任务的复杂度相关,任务越复杂,对应的作战执行单元越多, M 越大。

任务作为军事流程的组织核心,可有效表达一个军事目标实现的逻辑过程,但目标的最终实现还是要通过实体去完成,军事任务的完成实体即作战单元,二者之间通过军事需求密切关联。军事需求是军事使命任务对军队作战能力的基本需求,表现为达成作战目的对作战能力的刚性需求,通常能够反映出实现目标任务所需能力和军队能力现状之间的差距^[6-7]。

为描述军事任务(Mission)与作战单元(Battle Unit)之间的联系,引入能力(Capability)的概念。能力既是对任务实现需求的抽象表达,又是作战单元的重要属性,因此用于构建任务同作战单元之间的映射关系最为直接有效。如图2,每个元任务的执行都对应一组能力需求集合,而每个能力需求通过作战单元的能力属性可确定一个或一组作战单元(U)及其行为(A)或状态(S),这样军事任务就可最终映射为一组作战单元及其行为状态的集合,即任务执行的实体化流程。

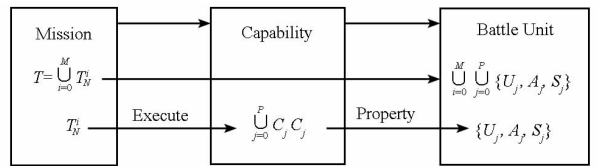


图2 任务-作战单元映射关系

Fig. 2 Mapping relations between mission and battle unit

为了实现作战能力与作战单元的显式关联,需建立完备的军事实体信息库。在作战单元的的属性表中包含其详细的能力信息,如作战武器的性能参数、舰船的航程、排水量、武器系统等,并建立其与元任务的显式对应关系,将任务的能力需求映射为具备该能力的作战单元或其集合。

2 面向任务的时空数据应用模型

目前通用的时空数据模型主要侧重于对多源数据的一体化组织管理,通过将多源数据依照空

间格网划分和时间先后排列形成有序的逻辑集合。这些模型面向作战应用存在弊端,即无法体现出不同作战任务对于数据的针对性要求,在数据传输和应用过程中存在较大的冗余。在军事通信带宽有限的前提下,由于战场形势瞬息万变,这种弊端对于军事行动的影响往往是致命的。为提高数据的军事应用效率,本文提出了面向作战任务的时空数据应用模型,以支持军事推演流程中相关作战任务的数据保障,为其提供最小冗余度的完备数据集。

粒度和地域信息可确定所需数据的精度,以此为依据可对保障信息进行精度筛选。完成筛选后对多个关联元任务的数据进行整合,就可得到上级子任务或整个任务所需的最小化保障数据集。

3 时空事件序列

任务的实体化结果最终表现为一组作战单元及其行为状态的集合,为了便于对该结果进行有效描述和推演,提出了时空事件序列这一概念。时空事件序列(Spatiotemporal Event Series, SES)是以军事实体或实体集为行为主体、以离散的时间和空间域为索引维度、以实体的行为或状态变化为基本事件构建的,用以表达实体集动态过程的序列化模型。

事件(Event)是SES的描述基元,目前在地理信息领域尚没有公认的明确定义。Peuquet和Duan在其提出的基于事件的时空数据模型中将“事件”定义为变化,对渐变而言,事件在变化累积到某种足够大的程度时发生^[8];黄杏元等认为事件既是导致对象特征状态变化的原因,又是导致另外一个后继事件的原因^[9]。

SES中的事件是指实体对象(Entity)在具体的时间片(Time Slice)和空间域(Space Region)内发生的与作战任务密切相关的行为或状态。在军事应用中,战场上各种不同类型的实体作战单元被统一抽象为目标,目标是决定战场形势的核心要素。目标在庞大的战场环境中一般表示为矢量点对象(含运动趋向),其作战路径(轨迹)表示为线要素,其探测、作战范围表示为面要素。因此,战场环境中事件的地理表达体现为特定时空域内有限点对象及其附属线、面要素以及点、线、面之间的逻辑关系。这种结构与程序设计中的对象具有很大的相似性,因此基于面向对象的思想对事件进行建模无疑具有最佳的适应性。

军事任务中的“事件”作为目标实体的行为或状态在时空域的离散映像,其对象模型的构建思路如下:具有相似或协同能力、面向同类任务的军事实体集抽象为类,类的属性对应实体集共有的能力和状态,类的方法对应实体集共有的行为,类的关系体现为任务实现过程中各实体之间的关联、协同、依赖等关系,类的实例则为实体集中的个体或个体集合。时间抽象为时刻、时段和时长三种类型:时刻表达的是瞬态时间,即时间轴上的一点;时段表达的是连续时间,即时间轴上的一段;时长表达的是一种属性,只通过一个数值表达行为或状态持续性的

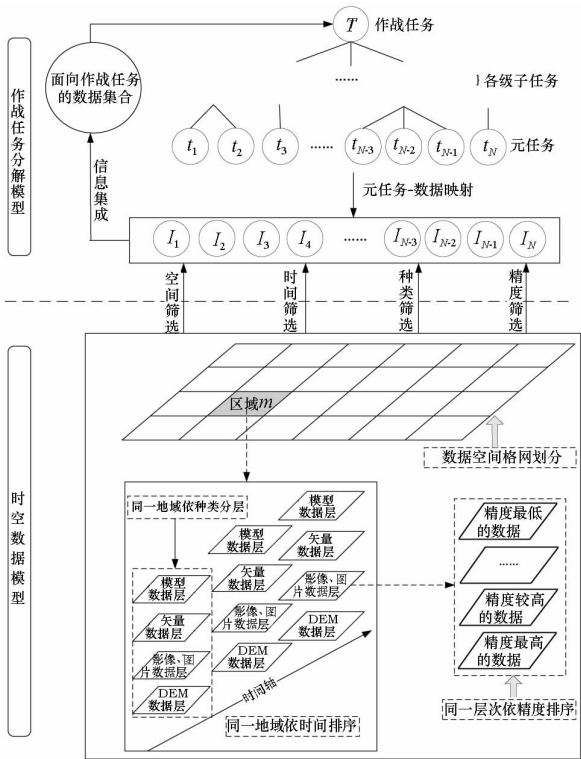


图 3 面向作战任务的时空数据应用模型

Fig. 3 Mission oriented spatiotemporal data application model

如图 3 所示,该应用模型的核心思想就是以作战任务需求为标准,对通用时空数据进行最小化精简。其精简过程就是以任务分解模型为基础,获取元任务对应的保障数据种类,形成基于特定任务的最小数据需求集和对应的时空范围,然后根据时空范围和任务粒度确定数据精度需求,最后在通用数据集中提取出需求集之内的且符合对应时空范围和精度的数据,并集成为一体化的作战任务数据包(公共作战视图 COP)。

不同作战任务所需的保障信息一般不同,但是任务分解后的元任务所对应的需求数据种类则比较稳定,一个元任务可能对应一个或若干个基本环境信息,以此可对保障信息进行种类筛选。元任务属性中包含地域与时间属性,以此为依据可对保障信息进行地域和时间筛选。根据任务的

一种度量。时间关系表现为超前 (<)、滞后 (>)、同时 (=)、准同时 (≈)、不早于 (≥)、不晚于 (≤)、介于 (< >) 共 7 种类型。军事任务中“空间”抽象为位置、区域和形状三种类型:位置是空间中的离散点或点集;区域是空间中的连续块,可以闭合,也可以非闭合,最常见的是

矩形区域;形状是实体的空间占据属性,一般采用多边形进行逼近,它与具体的空间位置无关,只反映实体自身形态。空间关系表现为相离 (Disjoint)、相接 (Touch)、重叠 (Overlap)、相等 (Equal)、包含 (Contain)、被包含于 (Within) 共 6 种类型^[10]。与事件相关的模型定义如图 4 所示。

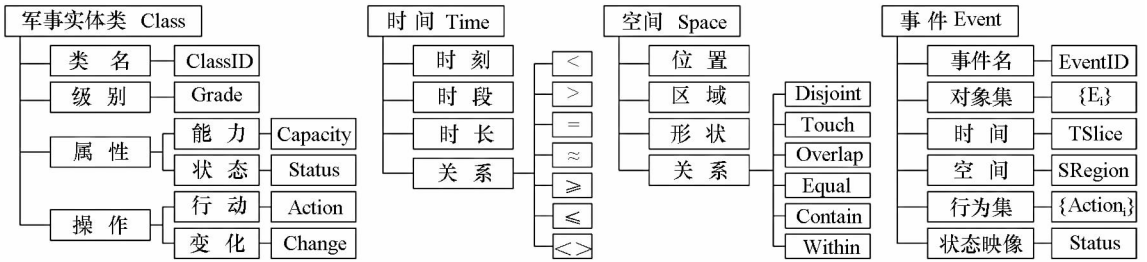


图 4 军事任务事件相关模型

Fig. 4 Relative models of military mission event

时空事件序列作为针对特定时间、空间内任务实现的事件集,其模型可相应表示为

$$SES = \{ Mission, Time, Space, \cup_i Event_i \}$$

其中 Mission 为 SES 面向的军事任务,Time 为任务对应的有效时段,Space 为任务对应的空间区域,事件序列则体现为与元任务划分对应的、依照时间和任务实现逻辑组织的有序事件集。

4 数据驱动模式

军事任务推演是以作战任务的实现流程为主线,在指定的空间、时间内对离散事件序列的可视化过程。一般的时空数据模型通常采用时间驱动方式、事件驱动方式或因果驱动方式的一种,而任务推演则必须采用时间、事件、因果三者混合驱动的模式,这是由军事作战流程的特点决定的。例如任务“敌作战编队进入指定海域后发动进攻,如 30 分钟内结束战斗,则实行封岛计划,否则撤离”,显然该流程的起始是通过事件“敌作战编队进入指定海域”触发的,而在以后 30 分钟内的攻

击过程是按照时间驱动的,30 分钟后的行动则是典型的条件因果驱动方式:if(攻击行动成功) then(封岛); else(撤离)。

军事任务推演的数据混合驱动模式如图 5 所示,将环境数据分为静态(Static)和动态(Variable)两类,静态数据一般不随时间或事件而改变,因此重点在于动态数据的组织与调度。动态数据采用常态时间、瞬态事件、逻辑事件因果驱动的混合模式,即常态情况下依据既定的离散时间片序列驱动数据;当事件发生时暂停时间机制,进入事件驱动模式并启动计时;当事件后果可引发多种逻辑分支时暂停事件驱动,进入因果驱动模式,继续计时;因果逻辑完成后结束因果驱动模式,返回事件驱动模式并修正时间;事件完成后结束事件驱动模式,返回时间驱动模式,根据非时间驱动模式下的累积时长完成时间偏移修正后继续原有时间机制。以上过程虽然穿插了多种驱动模式,但由于采取了较为合理的模式转换策略,不会造成时间上或逻辑上的错位和混乱。

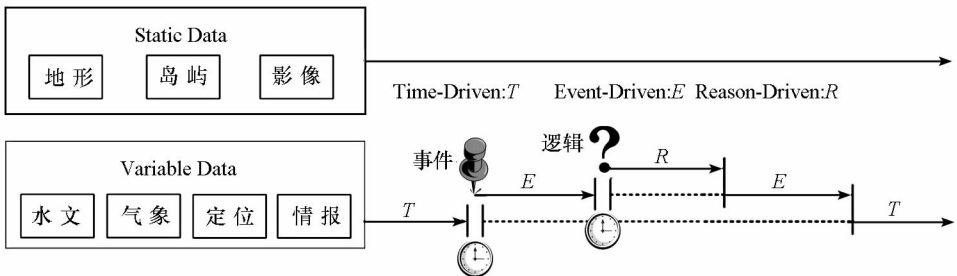


图 5 军事任务推演的数据混合驱动模式

Fig. 5 Complex driving pattern for military mission rehearsal

基于 SES 实现军事任务推演的具体流程:

- 1) 确定推演任务 T 及其对应的执行时段 t 和目标区域 r , 并将 T 细分为元任务集 $\{T_0, T_1, \dots, T_n\}$;
- 2) 根据任务—能力需求关系和军事实体属性库将 T_i 实体化为对应的军事单位及其行为 $\{U, A\}$;
- 3) 确定时间粒度 Δt , 依据军事单位集和对应的行为集生成 $t/\Delta t$ 个目标行为的离散状态映像;
- 4) 建立总体 SES 模型, 依据作战计划生成流程诱因事件和逻辑分支事件; 5) 依据 SES 模型中涉及的时空范围和军事单位, 完成保障数据的导入和初始化过程, 绘制静态数据作为所有事件发生的背景环境, 启动计时器开始常态的时间驱动流程;
- 6) 依据时间序列依次“播放”对应的事件, 如遇诱因事件, 则启动新的事件驱动流程, 如遇逻辑分支事件, 则启动新的因果驱动流程, 暂停原有计时器并建立新的计时器获取时间偏移量;
- 7) 当事件或因果驱动的新流程结束后, 返回原有时间驱动模式, 修正时间偏移量并恢复计时, 继续“播放”对应事件;
- 8) 循环执行第 6)、7) 步, 直至整个军事任务完成。

5 应用实例与原型系统

以我国海军索马里护航为应用背景, 进行了一次模拟的军事任务推演实验。总体任务 $T =$ “护送货轮 Ship 由 A 海域安全到达 B 海域”; 由 T 分解得到的元任务集 $\{T_i\} = \{T_0: \text{全程伴行威慑}; T_1: \text{海盗船只监测}; T_2: \text{正面攻击}; T_3: \text{快速追击}; T_4: \text{后勤补给}\}$; 元任务集的实体化结果 $\{U_i: A_i\} = \{\text{货轮 Ship: 由 A 海域前往 B 海域}; \times \times \text{驱逐舰 } S_1: \text{伴行护卫货轮}; \times \times \text{监测船 } S_2: \text{监测海盗船只}; \times \times \text{驱逐舰 } S_3: \text{攻击海盗船只}; \times \times \text{鱼雷快艇 } S_4: \text{追击海盗船只}; \times \times \text{补给舰 } S_5: \text{随行货轮补给营救}\}$; 设无海盗滋扰的情况下总航程 $t = 2\text{h}$, 时间粒度 $\Delta t = 1\text{min}$, 则共需生成离散状态映像 120 帧, 每帧映像为各目标船只在不同时间的位置和状态, 对应的时空事件序列如表 1 所示; 该流程中的诱因事件为 $\{E_1: \text{“发现海盗船只}(x, y)\text{”}; E_2: \text{“海盗船只攻击}(x, y)\text{”}; E_3: \text{“海盗船只逃逸}(x, y)\text{”}; E_4: \text{“发现人员落水}(x, y)\text{”}; E_5: \text{“作战状态解除”}\}$; 相应的因果驱动逻辑为 $\{\text{if}(\text{event}) \text{ then}(\text{event}_1); \text{else}(\text{event}_2)\}$, 具体如表 2 所示; 相关任务的保障数据统一采用了对应的矢量电子地/海图和卫星遥感影像。

表 1 时空事件序列实例

Tab. 1 SES instance

事件 ID	军事对象	时间	海域	行为	状态
CE01001	Ship	08:00	53.41, 12.48	向 B 海域航行	航向 0.3282, 航速 60
CE02001	S_1	08:00	53.41, 12.48	伴行 Ship 护航	航向 0.3281, 航速 61
CE01002	Ship	08:01	53.39, 12.48	向 B 海域航行	航向 0.3279, 航速 59
CE02002	S_1	08:01	53.39, 12.48	伴行 Ship 护航	航向 0.3281, 航速 60
.....
CE01120	Ship	10:00	51.43, 11.81	到达目的地	停靠
CE02120	S_1	10:00	51.43, 11.81	护航完成返回	航向 -0.3258, 航速 60

表 2 因果驱动逻辑实例

Tab. 2 Consequence driving instance

条件事件 event	“是”逻辑事件 event ₁	“否”逻辑事件 event ₂
发现海盗船只 (x, y)	全体进入实战戒备状态	按计划正常航行
海盗船只攻击 (x, y)	S_3 正面迎击, S_1, S_4, S_5 围拢保护货轮	保持戒备状态航行
海盗船只逃逸 (x, y)	S_4 追击, S_1, S_3 保护货轮	S_3 全力将其击沉, S_1, S_3 辅助攻击
发现人员落水 (x, y)	S_5 实施营救	保持原状态航行
作战状态解除	全体恢复正常航行状态	保持原有戒备状态

基于 ESRI 的 ArcGIS Engine 10.0, 在 Visual C#. Net 2010 上实现了一个军事任务推演原型系统。系统由两部分组成: 一部分实现任务推演脚本的半自动生成, 用户通过可视化交互界面输入

任务的目标类型、运动路径、时间粒度、关键事件等核心信息, 系统即可自动生成对应的脚本序列; 另一部分借助 GIS 平台实现任务脚本的驱动, 以实景仿真的形式呈现用户定制的军事任务流程,

并提供军事标注、测量等相关辅助功能。原型系统的典型功能界面如图6所示。

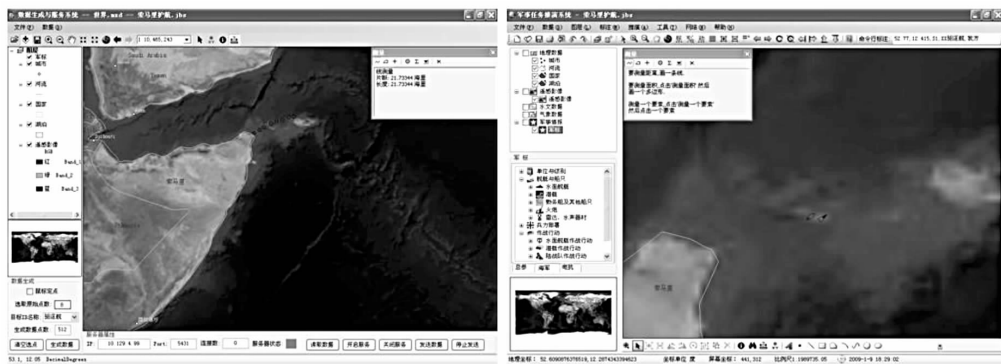


图6 军事任务推演原型系统界面

Fig. 6 Interfaces of the mission rehearsal prototype system

6 结束语

军事任务推演模型是针对军用信息系统中作战任务流程仿真的应用需求而提出的。任务层次化解机制是军事作战流程在概念层的组织表达方法,基于能力的实体化过程则实现了由逻辑任务集合到作战单位实体及其行为集的映射;面向任务的时空数据应用模型紧密围绕作战任务需求,实现了针对特定任务的数据筛选,有效提高了数据传输和应用效率;时空事件序列阐明了“事件”在军事作战领域的特定概念,通过实体类、空间、时间、事件等一系列对象模型的定义,解决了军事目标实体及其行为状态的形式化描述问题,为任务推演流程的实现奠定了基础;时间、事件、因果有机结合的时空数据混合驱动模式满足了军事任务执行过程中蕴含的复杂逻辑需求,支持多重组合逻辑的复杂事件序列。基于以上成果最终明确了军事任务推演的具体实现流程。典型应用实例和原型系统的实现基本验证了思路的正确性,取得了较为满意的结果。

本文方法的不足之处在于,提出的军事任务推演模型只适用于可预知的逻辑事件流程,对前期作战计划的完备性要求较高,没有考虑实际执行过程中可能存在的随机性未知小概率事件,需要在以后的深入研究中进一步完善。

参考文献 (References)

[1] 张山山. 地理信息系统时空数据模型分类[J]. 测绘科学, 2012(4):215-217.
ZHANG Shanshan. Classification of spatiotemporal data model in GIS[J]. Science of Surveying and Mapping, 2012(4): 215-217. (in Chinese)

[2] 余江峰, 冯学智, 都金康. 时空数据模型的研究进展评述[J]. 南京大学学报:自然科学版, 2005, 41(3):259-267.
SHE Jiangfeng, FENG Xuezhi, DU Jinkang. A review on

progress in spatiotemporal data modeling [J]. Journal of Nanjing University: Natural Sciences, 2005, 41(3):259-267. (in Chinese)

[3] 中国人民解放军总参谋部. 中国人民解放军军语[S]. 北京:军事科学出版社,1997:87.
General Staff Department, PLA, China. The military Language of the PLA[S]. Beijing: Military Science Pres, 1997:87. (in Chinese)

[4] 杨俊强, 杜佳. 作战计划拟制中行动方案的形式化建模[J]. 系统仿真学报, 2009, 21(23):7386-7389.
YANG Junqiang, DU Jia. Formal modeling of course of action in operation planning[J]. Journal of System Simulation, 2009, 21(23):7386-7389. (in Chinese)

[5] 程恺, 张宏军, 黄亚. 基于扩展 IDEF3 方法的作战任务描述及效能评估[J]. 计算机技术与发展, 2011, 21(2):198-202.
CHENG Kai, ZHANG Hongjun, HUANG Ya. Combat mission description and effectiveness evaluation based on extended IDEF3 method[J]. Computer Technology and Development, 2011, 21(2):198-202. (in Chinese)

[6] Jeffery K. Effect driven, capability based, planning for operation[C]//The 22nd International Symposium on Military Operational Research, Chicago, 2005:96-99.

[7] 王本胜, 王涛. 基于任务-能力匹配的联合作战需求建模[J]. 指挥信息系统与技术, 2011, 2(3):5-9.
WANG Bensheng, WANG Tao. Modeling for joint operation requirements based on task-capability matching[J]. Command Information System and Technology, 2011, 2(3):5-9. (in Chinese)

[8] Peuquet D J, Duan N. An event based spatiotemporal data model (IJSTDM) for temporal analysis of geographical information system[J]//International Journal of Geographical Information Systems, 1995, 9:7-24.

[9] 黄杏元, 马劲松, 汤勤. 地理信息系统概论[M]. 高等教育出版, 北京, 2001.
HUANG Xingyuan, MA Jinsong, TANG Qin. Summarization of GIS (Geographic Information System)[M]. Higher Education Press, Beijing, 2001. (in Chinese)

[10] 黄茂军, 杜清运, 杜晓初. 地理本体空间特征的形式化表达机制研究[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2005, 30(4):832-835.
HUANG Maojun, DU Qingyun, DU Xiaochu. Formal representation of spatial properties of geographic ontology[J]. Editorial Board of Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2005, 30(4):832-835. (in Chinese)