

6-2-2020

## Research of Partial Synchronization-based Movement Modeling

Yang Mei

*College of Information Systems and Management, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China;*

Xu Xiao

*College of Information Systems and Management, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China;*

Peng Yong

*College of Information Systems and Management, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China;*

Rusheng Ju

*College of Information Systems and Management, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China;*

*See next page for additional authors*

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.

---

## Research of Partial Synchronization-based Movement Modeling

### Abstract

**Abstract:** *An effective method of partial synchronization-based movement modeling was proposed according to the characteristics of running fast and aggregated modeling. A mediate-based ABS M&S framework was analyzed to provide movement mediator for movement modeling. The situations of simple movement and movement with sense interactions were investigated on the basis of movement directive and typical sensor models, and the movement models were built, and the updates and synchronizations of positions were analyzed.* The research shows that, the partial synchronization-based movement modeling in high level military analytic simulation can be effectively built to reduce redundant updates and computations of movement.

### Keywords

high level decision-making, discrete event simulation, partial synchronization, sense interaction, movement modeling

### Authors

Yang Mei, Xu Xiao, Peng Yong, Rusheng Ju, Kedi Huang, and Jiao Peng

### Recommended Citation

Yang Mei, Xu Xiao, Peng Yong, Ju Rusheng, Huang Kedi, Jiao Peng. Research of Partial Synchronization-based Movement Modeling[J]. Journal of System Simulation, 2017, 29(9): 1880-1885.

## 一种基于部分重同步机制的运动建模研究

杨妹, 许霄, 彭勇, 鞠儒生, 黄柯棣, 焦鹏

(国防科技大学信息系统与管理学院, 长沙 410073)

**摘要:** 针对面向高层辅助决策支持的军事分析仿真系统的高效运行和聚合建模特点, 提出一种基于部分重同步机制的运动建模方法。研究了基于仲裁中间件的军事分析仿真系统运行框架(MABSF), 为运动模型提供运动仲裁器。基于运动指令和典型传感器模型研究了部分重同步机制下简单移动和有感知交互移动时运动建模的方法, 以及位置更新和同步的方式。研究表明, 可以有效实现 MABSF 框架下基于部分重同步机制的运动建模, 从而减小冗余位置更新和计算。

**关键词:** 高层辅助决策支持; 离散事件仿真; 部分重同步机制; 感知交互; 运动建模

中图分类号: TP391.9 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2017) 09-1880-06

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201709002

## Research of Partial Synchronization-based Movement Modeling

Yang Mei, Xu Xiao, Peng Yong, Ju Rusheng, Huang Kedi, Jiao Peng

(College of Information Systems and Management, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

**Abstract:** An effective method of partial synchronization-based movement modeling was proposed according to the characteristics of running fast and aggregated modeling. A mediate-based ABS M&S framework was analyzed to provide movement mediator for movement modeling. The situations of simple movement and movement with sense interactions were investigated on the basis of movement directive and typical sensor models, and the movement models were built, and the updates and synchronizations of positions were analyzed. The research shows that, the partial synchronization-based movement modeling in high level military analytic simulation can be effectively built to reduce redundant updates and computations of movement.

**Keywords:** high level decision-making; discrete event simulation; partial synchronization; sense interaction; movement modeling

## 引言

计算机作战模拟已经被证明是支持战争辅助决策的有效手段, 成为各军事强国争夺未来战争决策优势的“没有硝烟的战场”<sup>[1]</sup>。特别是在战略/战役级作战中, 指挥员面临着复杂的战场态势和时空关

系, 往往需要在有限时间内快速地制定出可行作战方案。高层作战的大规模特点和战争的不确定性特征使作战方案的拟制超出人力所及范围, 亟需建立面向高层辅助决策支持的军事分析仿真系统, 以便为指挥员实现其军事意图提供可选行动方案, 和这些行动方案受到各种因素影响时的可能发展结果。

为了满足决策支持系统高效运行和军事应用的需求, 军事分析仿真系统需要采用合适的粒度和分辨率建立作战实体模型<sup>[2]</sup>。一般来说, 军事行动中指挥员面对比其自身低两级的作战单元<sup>[3]</sup>, 高层



收稿日期: 2017-06-15 修回日期: 2017-07-13;  
基金项目: 国家自然科学基金(61403402), 湖南省自然科学基金(2017JJ3371);  
作者简介: 杨妹(1985-), 女, 湖南长沙, 博士, 讲师, 研究方向为系统仿真, 作战模拟; 许霄(1989-), 男, 陕西安康, 博士生, 研究方向为作战模拟。

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

• 1880 •

军事分析仿真中对指控实体的建模粒度至少需要达到营级。根据分辨率的不同, 作战实体模型通常可以分成高分辨率的实体级作战模型和低分辨率的聚合级作战模型。实体级作战模型有利于为中等大小的部队建立更为可信的作战模型。而更大规模的部队则需要使用聚合作战模型来仿真大范围地形和大规模部队。军事仿真系统应根据应用目的选择不同的抽象层次, 使模型在满足作战可信性需求的同时又能尽可能减小存储空间并提高运行效率。

高层辅助决策支持系统主要服务于战略/战役级的指挥机构和指挥员, 因而以此为目的的军事分析仿真系统中作战实体仿真模型有别于战术级、任务级等其他层级的仿真模型。基于上述原则, 面向高层辅助决策支持的军事分析仿真系统通常采用低分辨率的非单个作战实体或平台的聚合模型, 对聚合作战实体运动的建模也侧重于对运动目标、路线、运动速度的描述。

聚合作战实体模型在地面的运动典型地受到地形模型的影响<sup>[4]</sup>。地形模型为聚合作战实体的运动模型提供通行能力, 作战实体在仿真系统中模拟的运动路线也受到地形模型假设条件和地形数据的约束。按照地形表示方法的不同, 可以建立不同的运动模型。根据地形的表示方法, 高层军事分析仿真系统中实体运动模型的主要类型有: 基于六角格的运动模型、基于道路网的运动模型、基于网格的运动模型、基于责任区的运动模型等。这些模型的运动速度受到地形条件的限制, 与所在区域或弧-节点内地形数据相关。实体的运动路线在运动方向上被地形区域中的节点或区域边缘分割成多个小段。同时, 有的地形模型的假设条件也对运动方向有直接影响, 如, 联合战区仿真系统采用基于六角格的运动模型<sup>[5]</sup>, 作战实体经过地形六角格区域时, 经过六角格的中间点, 因而作战实体的直线行进运动被六角格拆分成锯齿状的运动。

运动模型中位置状态的更新时机也受到仿真时间推进机制的影响。大规模高层军事分析仿真中的运动模型是关于仿真时间的动态模型。作战实体

的位置随着仿真时间的推进更新。根据仿真时间推进机制的不同, 运动模型主要有: 基于固定时间步长或变步长的时间驱动仿真中, 运动模型在每一个时间间隔点同步更新系统中所有作战实体的位置信息; 基于事件驱动仿真中, 运动模型在事件执行时刻更新位置信息。

由此可见, 运动模型是军事分析仿真系统中作战实体模型的基础部分, 运动模型的更新效率也能极大影响大规模军事分析仿真系统的运行效率。本文将通过研究面向高层辅助决策支持的军事分析仿真系统的运行框架, 建立一种基于部分重同步方法的运动模型。案例研究表明, 该运动模型可以在运行框架下有效实现。

## 1 基于仲裁中间件的军事分析仿真系统运行框架

为了建立面向高层辅助决策支持的军事分析仿真系统, 本文作者在文献[6]中提出了面向高层辅助决策支持的军事分析仿真系统运行框架 MABSF(Mediate-based ABS M&S Framework), 并在文献[7]中对该框架进行了更为详细的描述。MABSF 是一种基于 Agent 和 DES 混合仿真的框架, 在研究战争复杂性、涌现性的同时为大规模军事分析仿真系统提供高效运行能力。该框架可以划分为 Agent 模型、仿真平台和环境数据 3 大部分, 如图 1 所示。

每一个 Agent 模型由“sense-think-lookahead-act”行为模型和 Agent 状态模型两大部分组成。其行为模型有别于传统的“sense-think-act”行为模型<sup>[8]</sup>, 除了拥有模拟感知的 sense 组件、模拟决策的 think 组件和模拟行为执行的 act 组件以外, 还包含一个 lookahead 组件, 用于在执行行为之前对该行为在未来时间内可能发生的交互关系进行预测。Agent 状态模型提供了 Agent 的状态信息集合。Agent 的决策过程依赖于历史状态信息和当前战场态势。决策过程产生一系列的有序行为集, Agent 行为的执行过程引起状态的变化。

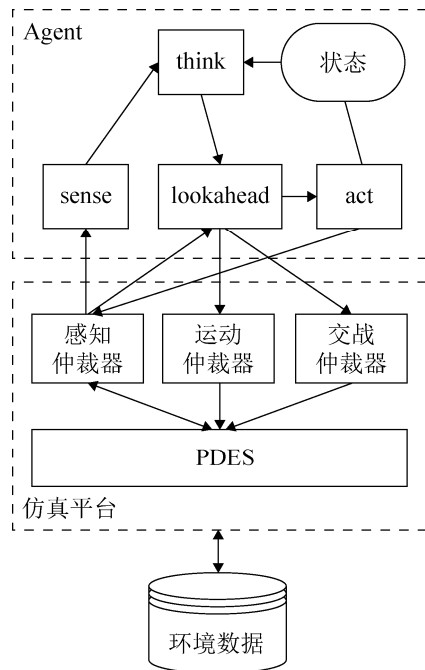


图 1 MABS 框架结构示意图

Fig. 1 Construction of MABS Framework

仿真平台为 Agent 模型的运行提供了仿真引擎和公共功能支持。该仿真引擎为离散事件处理引擎，根据系统性能需要可以为并行离散事件仿真引擎 PDES。仿真引擎中包含一个或多个事件队列，主要负责管理事件队列，并通过调用与事件相关的事件例程来处理队列中的相应事件，进行仿真的时间推进。公共功能提取并实现与 Agent 模型相关的公共计算，并将之实现为仲裁器。仲裁器作为 Agent 模型和仿真引擎之间的中间件，一方面可以协调各 Agent 实体模型之间的交互，基于环境数据执行与这些交互相关的公共计算，另一方面创建与 Agent 交互相对应的离散事件，并将之插入仿真引擎的事件队列中，使这些交互在未来的既定时刻得以“发生”。

在聚合级作战实体模型中，作战实体之间的交互典型地由感知、运动、交战、通信等基本行为单元触发。战场空间中的通信行为依托于通信设施和通信链路实现，可以根据应用需求不进行显示通信建模<sup>[9]</sup>，或采用基于数据分发或通信网络建模的方式模拟作战实体之间指控命令和消息的传输。而感知、运动、交战等基本行为单元直接影响战争过程

的推进，是高层军事分析仿真系统需要实现的基本行为。受到实体数较多的影响，在确定交互对象时若采用强力匹配法遍历所有实体进行计算，往往容易导致计算效率低，极大地影响了系统的运行效率。因此，在 MABS 框架结构中主要包含感知仲裁器、运动仲裁器和交战仲裁器 3 种类型。

其中，运动仲裁器和交战仲裁器都属于行为仲裁器。它们用于为行为发生前的预测过程提供行为事件的调度序列。这些行为事件是可以预测能够“安全”发生的最大可能行为集合。它与计划行为集合的不同之处在于：(1) 计划行为集合由 think 组件产生，是专家系统以感知作为输入进行 COA 决策的结果，其表现形式为行为序列集；最大可能行为集合由 lookahead 组件调用行为仲裁器产生，通过行为仲裁器被调度为一系列行为事件，将按照行为发生的顺序依次由相应 Agent 模型的 act 组件直接处理执行。(2) 最大可能行为集合是在当前态势下预测可发生的安全行为集合。如果后续执行的 Agent 交互事件都不影响该 Agent 的行为，那么这些行为事件将随着仿真时间的推进依序发生。这也意味着，最大可能行为集合中的行为事件有可能因为战场空间中其他 Agent 模型的行为事件的发生而不得被取消。例如，某作战实体在运动过程中可能因为被其他作战实体消灭而取消该运动过程的后续事件——移动到目标点事件。(3) 最大可能行为集合来源于计划行为集合，是计划行为集合的子集。最大可能行为集合是对计划行为序列中行为的分解，一系列最大可能行为对应了一个计划行为的执行。

感知仲裁器维护并管理战场空间中的感知交互 Agent 对，为 Agent 模型的 sense 组件提供感知对象并创建感知事件。感知事件的内容包括被感知的对象和感知事件发生的时间。每一感知事件的发生意味着发生感知交互的 Agent 的状态更新和 Agent 之间的同步。感知仲裁器中采用基于网格的兴趣匹配算法以集中计算的方式减少了冗余匹配计算、提高了感知计算的效率，同时减少了 Agent

的无关状态更新和同步。

运动仲裁器管理战场空间中所有 Agent 模型的运动指令, 确定每一 Agent 的运动过程中受到道路交通等环境影响或其他 Agent 的状态和行为影响可能发生的中间状态更新事件。这些运动中间事件使 Agent 运动指令得到“跳跃”执行, 省略了跳跃时刻之间的其他无关位置更新和同步。

交战仲裁器协调管理交战过程, 裁定交战结果的执行事件。

MABSF 框架充分利用了离散事件仿真高效执行的特点, 并通过仲裁器实现了 Agent 公共功能的实现, 可以极大地提高基于 Agent 的仿真系统的开发和运行效率。

## 2 基于部分重同步的运动模型

### 2.1 部分重同步机制<sup>[7]</sup>

离散事件仿真中, 根据仿真状态同步机制不同, Agent 的属性更新可以采用以下几种主要的方法<sup>[10-11]</sup>:

(1) 固定时间同步: 所有的 Agent 按照固定时间间隔更新状态信息。时间步长越小, 仿真所丢失的交互越少, 仿真结果越精确。其优点在于实现简单。其缺点在于 Agent 状态存在冗余更新; 为了使仿真结果正确而采用的小步长通常极大地增加了 Agent 的更新行为, 甚至是当没有事件发生时, 也需要检查 Agent 的状态变化情况。而且, 固定时间步长的时间步长需要采用所有交互可能发生的最短间隔。对于战场环境来说, 战场中发生的交互是随机的, 且 Agent 数量众多, 因而这种定步长方法所增加的计算负担不足以满足军事分析仿真提出的高速计算要求。

(2) 变量时间同步: 所有的 Agent 需要同时更新其状态, 更新要求可以由仿真中任何 Agent 提出。仿真过程中 Agent 进行状态更新的步长不是固定的。该方法仍然面临冗余状态更新的问题, 存在许多不必要的计算过程。

(3) 乐观同步: 每个 Agent 不考虑其他 Agent 而单独进行状态更新, 只有它发现已经发生了与其他 Agent 之间的交互而产生因果错误时, 才采用回滚机制使 Agent 的状态回退到交互发生之前。其优点是能充分发挥 Agent 的并行性。缺点是, 当引起因果错误的行为过多时, 频繁的回退对系统的整体运行效率影响很大。

(4) 有重同步的异步方法: 与完全异步的方法不同, Agent 可以根据自身的状态变化情况更新状态变量, 同时也对何时将要发生交互进行保守估计, 并在交互发生之前请求相关 Agent 进行状态更新, 即进行重同步。根据 Agent 进行重同步的范围, 可以将有重同步的异步方法分成完全重同步和部分重同步。

a. 完全重同步: 在每一个重同步时刻, 所有 Agent 都更新其状态。

b. 部分重同步: 在每一个重同步时刻, 只有需要的 Agent 才更新状态。

### 2.2 基于部分重同步的 Agent 位置更新与同步

#### (1) 无交互时的简单移动

Agent 执行运动的过程可以通过多个路径点进行分段。每一段路径的执行可以使用运动指令来描述, 移动过程称为执行运动指令的过程。简单的无交互运动指令执行过程中产生的事件为: 开始移动和结束移动, 如图 2 所示。

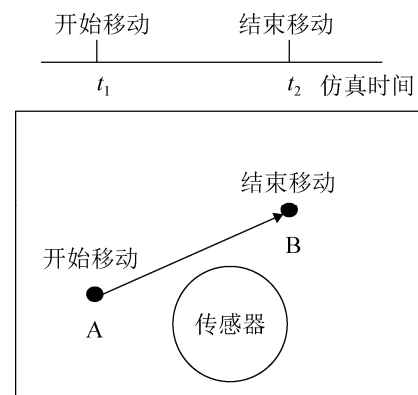


图 2 Agent 简单移动的事件

Fig. 2 Events of Agent when moving without interaction

该实例存在一个运动 Agent 和一个传感器 Agent, 在运动 Agent 于  $t_1 \sim t_2$  时刻从位置 A 运动到位置 B 的过程中, 二者没有发生交互, 无需进行位置的同步更新, 如图 3 所示。

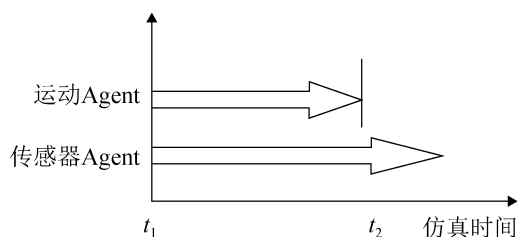


图 3 Agent 简单移动时位置的同步

Fig. 3 Synchronization of position for Agent when moving without interaction

## (2) 有交互时的移动

与传感器发生探测交互时, 移动过程中与位置更新相关的事件主要有: 开始移动、结束移动、进入探测、退出探测、探测、跟踪、丢失探测等。

探测、跟踪事件的发生时间和次数与传感器类型相关, 典型传感器探测模型有以下 5 种:

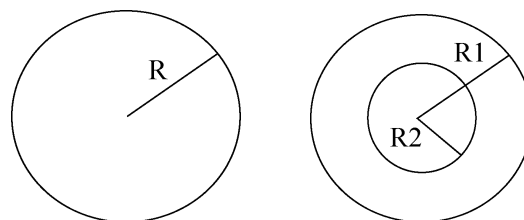
a. 简单探测模式的传感器类型。其探测模型假设对探测范围内的所有目标 Agent 的探测概率都为 100%, 即目标 Agent 进入传感器范围即触发探测事件的执行, 如图 4(a)所示。

b. 常量探测时间模式的传感器类型。其探测模型假设目标 Agent 进入探测范围一定时间后被探测到, 即目标 Agent 进入传感器范围经某常量时间延迟后发生探测。

c. 随机分布模式的传感器。其探测模型假设目标进入探测范围某一服从随机分布的时间后被探测到, 即目标 Agent 进入传感器范围经某随机时间延迟后发生探测。

d. 环形探测模式的传感器类型。其探测范围被建模成多个同心圆覆盖的区域, 每一同心圆区域对 Agent 的探测概率为  $P_D$ ,  $P_D$  随着目标 Agent 与传感器距离的接近呈指数增长, 即目标 Agent 进入传感器范围后, 随距离的远近有一定的概率发生探测和跟踪, 如图 4(b)所示。

e. 移动目标指示器模式的传感器类型。其探测的发生由探测范围内 Agent 运动状态的改变触发。目标 Agent 被传感器探测以后, 可能由于二者相对运动改变或依据传感器探测模型发生持续探测(跟踪)、丢失探测。



(a) 简单探测模式

(b) 环形探测模式

图 4 2 种典型传感器探测模型举例

Fig. 4 Two examples of detection models for typical sensors

假设常量延时为  $D$  的传感器 Agent 静止不动, 另一运动 Agent 执行  $t_1 \sim t_2$  时刻从 A 点移动到 B 点的移动指令, 如图 5 所示。因此,  $t_1$  时刻运动 Agent 执行移动指令时, 可调度“开始移动”事件在  $t_2$  时刻即刻发生, 事件处理过程中更新运动 Agent 的位置为 A; 调度“结束移动”事件在  $t_2$  时刻发生, 事件处理过程中更新运动 Agent 的位置为 B。由于运动 Agent 的运动路线经过传感器 Agent 的探测范围, 于  $t_3$  时刻和  $t_4$  时刻分别进入探测和退出探测, 因此, 执行移动指令时, 还可调度“进入探测”事件在  $t_3$  时刻发生, “退出探测”事件在  $t_4$  时刻发生, 事件处理过程更新运动 Agent 的位置, 同时调度传感器与探测相关的事件。当“进入探测”事件发生时, 传感器 Agent 调度对运动 Agent 的“探测”事件在  $t_D$  时间后(即仿真时间  $t_3+t_D$  时刻)发生。当“退出探测”事件发生时, 传感器调度对运动 Agent 的“丢失探测”事件即刻发生。由于“探测”和“丢失探测”过程涉及传感器 Agent 对目标运动 Agent 的识别和位置信息的采集, 因此也需要更新运动 Agent 的位置状态。

运动 Agent 与传感器 Agent 发生感知交互时, 二者进行位置状态的同步更新, 如图 6 所示。由图可见, 当 Agent 与其它 Agent 不发生交互时, 无需同步更新状态。

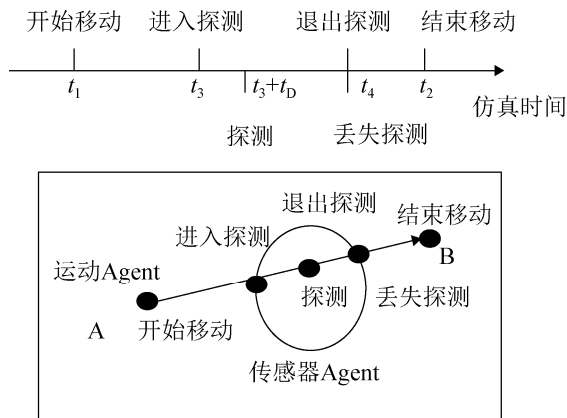


图 5 与传感器交互时 Agent 的事件

Fig. 5 Events of Agent when interacting with sensor

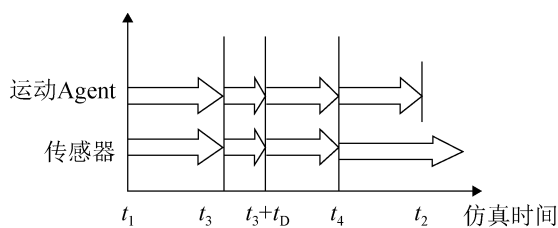


图 6 与传感器交互时 Agent 位置的同步

Fig. 6 Synchronization of position for Agent when interacting with sensor

### 3 结论

本文首先分析高层军事仿真系统建模特点和运行特点,建立了基于仲裁中间件的军事分析仿真系统运行框架,为运动模型提供了协调管理的框架。以典型传感器模型为基础,提出了基于部分重同步机制的运动模型建立方法。由案例可见,基于部分重同步的运动模型实现机制可以减少冗余的位置计算和更新。

#### 参考文献:

- [1] 黄柯棣, 赵鑫业, 杨山亮, 等. 军事分析仿真评估系统关键技术综述 [J]. 系统仿真学报, 2012, 24(12): 2439-2447. (Huang Kedi, Zhao Xinye, Yang Shanliang, et al. System design description infrastructure overview for military simulation and analysis system [J]. Journal of System Simulation, 2012, 24(12): 2439-2447.)
- [2] 杨妹, 杨山亮, 许霄, 等. 面向高层辅助决策的作战

分析仿真系统框架 [J]. 系统工程与电子技术, 2016, 38(6): 1440-1449. (Yang Mei, Yang Shanliang, Xu Xiao, et al. Framework of operational analytic simulation in high level decision-making system [J]. Journal of Systems Engineering and Electronics, 2016, 38(6): 1440-1449.)

- [3] John Surdu, John Hill. Simulations in Command Posts of the Future [C]// Proceedings of 2002 Advanced Simulation Technology Conference. San Diego, USA: AST, 2002: 77-86.
- [4] Caldwell W. Aggregated Combat Models [D]. Monterey, USA: Operations Research Department of Naval Postgraduate School, 2000.
- [5] Ellen Roland, Bernie Wisthoff, Edward Kelleher. Hex Size in JTLS [R]. Monterey, USA: ROLANDS & ASSOCIATES Corporation, 2002: 1-12.
- [6] Yang Mei, Zhou Yun, Yang Shanliang, et al. A Mediate-based ABS Framework in Large-scale Military Analytic Simulation [C]// Asia Sim 2013. Helderberg, Germany: Springer Verlag, 2013: 340-347.
- [7] 杨妹. 面向高层辅助决策支持的军事分析仿真系统关键技术研究 [D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2014. (Yang Mei. Research on Key Technologies of Military Analytic Simulation for High Level Decision-making [D]. Changsha, China: National University of Defense Technology, 2014.)
- [8] Maria Hybinette, Eileen Kraemer, Yin Xiong, et al. SASSY: A Design for a Scalable Agent-Based Simulation System Using a Distributed Discrete Event Infrastructure [C]// Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference. USA: IEEE, 2006: 926-933.
- [9] Andreas Tolk. Engineering Principles of Combat Modeling and Distributed Simulation [M]. USA: John Wiley & Sons, 2012.
- [10] Seungman Lee, Amy Pritchett, David Goldsman. Hybrid Agent-Based Simulation for Analyzing the National Airspace System [C]// Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference. USA: WSC, 2001: 1029-1036.
- [11] Hu Xiaolin, Alexandre Muzy, Lewis Ntamo. A Hybrid Agent-Cellular Space Modeling Approach for Fire Spread and Suppression Simulation [C]// Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference. USA: WSC, 2005.