

9-17-2021

Mechanism Design for Entities' Passive Dimensional Sensing Interaction in Discrete Event Simulations

Yan Fei

1. Beijing Huaru Technology Co., Ltd., Beijing 100193, China; ;

Bin Gan

2. PLA 32179 Troops, Beijing 100012, China; ;3. Science and Technology on Complex Land Systems Simulation Laboratory, Beijing 100012, China; ;

Zhaodi Chen

1. Beijing Huaru Technology Co., Ltd., Beijing 100193, China; ;

Wenjuan Ma

1. Beijing Huaru Technology Co., Ltd., Beijing 100193, 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.

Mechanism Design for Entities' Passive Dimensional Sensing Interaction in Discrete Event Simulations

Abstract

Abstract: Dimensional sensing interaction mechanism is a method of computing the entities' visibility on the basis of the position and visible range, and informing when and where the entities can perceive each other. Entities' active computing on the relative position needs a lot of computation and is low efficiency, and slow down the simulation execution at last. *The mechanism and framework of the passive dimensional sensing interaction, including the spatial grid models, discrete movement models, and passive sense models are researched. Dimensional sensing interaction manager is designed to realize the computation of entities' dimensional sensing interaction in discrete event-based battle simulations.* Compared with the traditional mechanism of the dimensional sensing interaction by using the approach of scanning the whole simulation objects, the mechanism of passive dimensional sensing interaction *resolves the N^2 problem and improves the efficiency of simulation.*

Keywords

dimensional sensing interaction, discrete event, battle simulations, reconnaissance

Authors

Yan Fei, Bin Gan, Zhaodi Chen, Wenjuan Ma, Luyao Li, and Zhang Ke

Recommended Citation

Yan Fei, Gan Bin, Chen Zhaodi, Ma Wenjuan, Li Luyao, Zhang Ke. Mechanism Design for Entities' Passive Dimensional Sensing Interaction in Discrete Event Simulations[J]. Journal of System Simulation, 2021, 33(9): 2234-2242.

离散事件仿真中实体被动式空间感知交互机制设计

闫飞¹, 甘斌^{2,3}, 陈招迪¹, 马文娟¹, 李路遥⁴, 张柯¹

(1. 北京华如科技股份有限公司, 北京 100193; 2. 中国人民解放军 32179 部队, 北京 100012;

3. 复杂地面系统仿真重点实验室, 北京 100012; 4. 陆军指挥学院作战实验室, 江苏 南京 210045)

摘要: 空间感知交互机制是根据作战实体的空间位置和感知范围进行可视计算, 并告知作战实体相互之间在何时何地可能感知到对方的一种方法。针对由实体自身根据相对位置主动计算方式计算量大、效率低、影响仿真速度的问题, 研究基于离散事件的作战仿真系统中实体的被动式空间感知交互机制及其模型框架, 包括空间栅格模型、离散化运动模型及被动式感知模型。设计空间感知交互管理器, 以实现离散事件仿真中作战实体的空间感知交互计算。相对于传统的仿真实体全扫描的空间感知交互计算方法, 该空间感知交互机制可解决空间感知交互计算的 N^2 问题, 提高仿真运行效率。

关键词: 空间感知交互; 离散事件; 作战仿真; 预警侦察

中图分类号: TP391.9

文献标志码: A

文章编号: 1004-731X (2021) 09-2234-09

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.20-0451

Mechanism Design for Entities' Passive Dimensional Sensing Interaction in Discrete Event Simulations

Yan Fei¹, Gan Bin^{2,3}, Chen Zhaodi¹, Ma Wenjuan¹, Li Luyao⁴, Zhang Ke¹

(1. Beijing Huaru Technology Co., Ltd., Beijing 100193, China; 2. PLA 32179 Troops, Beijing 100012, China;

3. Science and Technology on Complex Land Systems Simulation Laboratory, Beijing 100012, China; 4. Army Command College, Nanjing 210045, China)

Abstract: Dimensional sensing interaction mechanism is a method of computing the entities' visibility on the basis of the position and visible range, and informing when and where the entities can perceive each other. Entities' active computing on the relative position needs a lot of computation and is low efficiency, and slow down the simulation execution at last. *The mechanism and framework of the passive dimensional sensing interaction, including the spatial grid models, discrete movement models, and passive sense models are researched. Dimensional sensing interaction manager is designed to realize the computation of entities' dimensional sensing interaction in discrete event-based battle simulations.* Compared with the traditional mechanism of the dimensional sensing interaction by using the approach of scanning the whole simulation objects, the mechanism of passive dimensional sensing interaction *resolves the N^2 problem and improves the efficiency of simulation.*

Keywords: dimensional sensing interaction; discrete event; battle simulations; reconnaissance

引言

作战仿真是不同技术背景下研究战争问题、分析和评估作战方案的重要手段^[1-2]。各式各样的作战仿真系统得以建立, 以支持不同作战层次、不同

作战域的作战模拟训练、作战问题研究和作战计划辅助决策。例如: 基于 HLA 的联合作战仿真训练系统^[3]、海上区域作战模拟系统^[4]、潜艇作战仿真训练系统^[5]、空军战役作战模拟训练系统^[6], 以及作战指挥控制建模与仿真系统^[7]等。在以上作战仿

收稿日期: 2020-06-28

修回日期: 2020-07-31

第一作者: 闫飞(1987-), 男, 硕士, 研究方向为离散事件仿真, 智能体建模, 作战仿真。E-mail: yanfei@huaru.com.cn

真系统中实体的战场空间感知是作战实体观察和获取战场环境信息、发现和识别目标实体, 以及复杂军事行动决策的信息输入, 影响着作战实体的侦察、探测、预警、态势感知等军事行动的模式描述。

因此, 作战实体的空间感知建模得以相继展开研究。聂忠等^[8]研究海战场赛博空间感知能力建模, 并将模型为感知层、理解层和预测层 3 个层级。龙颖斌等^[9]分析了战场信息感知体系技术, 认为战场信息感知体系要素包括: 空间战场感知能力、航空战场感知能力、地面战场感知能力、战场感知网络化。李志亮等^[10]研究面向语义的物联网战场感知模型, 将本体论方法应用于物联网战场感知语义模型。目前作战实体的空间感知模型通常采用仿真实体全扫描方法来实现空间感知交互计算, 虽然算法简单, 但是计算效率较低。为了提高计算效率, 仲辉等^[11]根据作战实体的感知区域特性, 对战场空间进行划分, 并基于划分的战场空间建立作战实体的感知交互模型, 即在每一个时间步长里只对某个空间区域里的目标实体进行扫描, 从而过滤了部分仿真实体, 减少了计算量。

基于离散事件的作战仿真系统中实体状态的变化和更新由离散事件驱动, 而作战仿真系统的运行是由离散事件推进的, 一般采用离散事件调度法来实现仿真引擎^[12]。那么, 如何基于离散化的实体状态, 例如离散化的实体运行状态, 设计有效率的实体空间感知交互模型将成为一个重要的研究问题。一般来说, 离散事件既包括随机时间的离散事件, 也包括等步长或周期性离散事件。本文所研究的感知交互基于实体的空间运动形成的感知关系变化, 一般空间运动属于连续时间过程, 在离散事件仿真中采用周期性或等步长方式进行时间、空间采样, 用周期性离散事件的方式进行刻画。

1 被动空间感知交互机制的含义

作战仿真中实体的战场空间感知交互是实体的感知范围与目标实体位置的一种空间重叠交互事件, 驱动着作战实体模型的空间感知计算, 包括

实体双方的空间距离、地理环境、气象条件、探测概率、侦察结果等。假设实体和目标实体的空间位置分别为 $P_1(x_1(t), y_1(t), z_1(t))$ 和 $P_2(x_2(t), y_2(t), z_2(t))$, 那么实体双方的距离可定义为

$$d(t) = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2} \quad (1)$$

实体的感知范围是半径为 r 的球体, 当 $d(t) \leq r$ 时, 实体的感知范围与目标实体位置重叠, 产生空间感知交互事件, 触发作战实体模型的感知计算, 即进行探测概率和感知结果的计算, 以确定是否发现目标实体。

常规的感知建模方法为主动感知机制或仿真实体全扫描方法, 即探测方在自身的探测活动模拟过程中采用, 扫描所有仿真实体的空间位置, 计算实体与所有目标实体之间距离 $d(t)$, 判断 $d(t) \leq r$ 时, 进行实体模型的感知计算^[11]。基于仿真实体全扫描的空间感知交互模型虽然算法简单, 但是浪费了大量计算资源, 在每一个探测行为里都需要扫描所有仿真实体, 并进行空间距离判断。然而, 在仿真过程中目标实体可能长时间不出现在实体的感知范围内, 或者目标实体处于感知范围内, 但是长期没有进行空间运动, 因此不需要进行实体的空间感知交互计算。作战仿真过程中大量的作战实体之间存在感知、探测、侦察, 需要进行大量的实体空间感知交互计算, 且计算量为 N^2 (其中 N 为作战实体数量), 降低了仿真运行效率。

本文采用基于离散事件的仿真推进机制, 并提出了实体的被动式空间感知交互计算机制。首先, 仿真推进的时间步长不再是常数, 而是由事件发生的时间确定(可以是时间步长或周期性事件)。作战实体空间位置的改变和更新由离散事件触发, 而不再以固定时间步长周期性地计算和更新。其次, 将作战实体的空间感知交互计算功能从作战实体模型中分离出来, 设计独立于单个实体的、仿真实空间全局的、通用的空间感知交互管理器, 实现所有实体的空间感知交互计算。当作战实体的空间位置发生变化或者实体感知范围发生变化时, 才进行战场空间感知交互计算, 从而避免无效计算。空间感知

交互计算的触发条件具体描述为式(2)的其中之一：实体空间位置发生变化；实体的感知半径发生变化；目标实体的空间位置发生变化。

$$\begin{cases} P_1(x_1(t), y_1(t), z_1(t)) \neq \\ P_1(x_1(t + \Delta t), y_1(t + \Delta t), z_1(t + \Delta t)) \\ r(t) \neq r(t + \Delta t) \\ P_2(x_2(t), y_2(t), z_2(t)) \neq \\ P_2(x_2(t + \Delta t), y_2(t + \Delta t), z_2(t + \Delta t)) \end{cases} \quad (2)$$

当发生空间感知交互时，空间感知交互管理器通过发送离散事件方式通知实体双方何时何地可能感知到对方。作战实体模型被动地接收空间感知交互事件，然后进行空间感知计算，即根据自身的传感器类型、地理环境(高程、通视性等)、气象等条件来计算最终发现目标实体的概率和感知结果。

2 空间感知交互模型框架

作战实体的空间感知交互机制设计依赖于战场空间模型、传感器模型、作战实体运动模型。作战实体的战场空间感知交互模型框架描述如图 1 所示，主要包括 3 个部分：空间栅格列表、作战实体列表和传感器列表。战场空间依据坐标体系被划分为多个相同的三维立体空间栅格，覆盖空中、陆地、水面和水下等地理空间。每一个空间栅格采用

列表记录了处于其内部的所有作战实体。作战实体制定空间运动计划，并交由其运动组件执行机动，出入空间栅格时向空间栅格提交位置注册和注销请求^[13]。同样地，作战实体的传感器在开关机或者跟随实体运动时，根据传感器的探测范围向空间栅格提交兴趣注册或者注销请求。空间栅格采用列表记录了对其空间感兴趣的传感器，当发现作战实体进入或者离开空间栅格时，向作战实体的感知组件发送空间感知交互事件。作战实体的感知组件接收到空间感知交互事件时，依据传感器性能参数、气象条件、地理环境等，计算发现目标实体的概率和探测结果。

2.1 空间栅格模型

作战仿真中整个战场是一个边界有限的三维立体空间，可描述为 $S(v_0, v_\psi)$ ，其中 $v_0(x_0, y_0, z_0)$ 是战场空间三维坐标的原点； $v_\psi(x_\psi, y_\psi, z_\psi)$ 是战场空间三维坐标中原点对角线的顶点。为了支持战场空间感知交互建模，采用边长为 r 的立方体空间栅格对战场空间 $S(v_0, v_\psi)$ 进行区域划分，即

$$S(v_0, v_\psi) = \{s_i(v_i), i \in [1, \rho]\}$$

式中： $\rho = [(x_\psi - x_0)(y_\psi - y_0)(z_\psi - z_0)] / r^3$ ； $v_i(x_i, y_i, z_i)$ 为空间栅格 $s_i(v_i)$ 的中心点坐标。

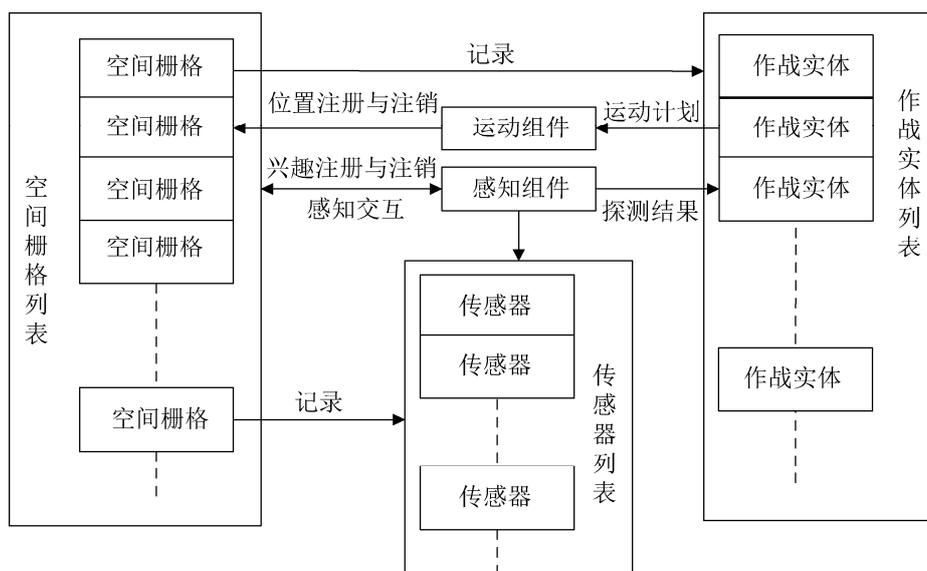


图 1 作战实体的战场空间感知交互模型框架
Fig. 1 Spatial sense interact model framework of battle space entity

此外, 每一个空间栅格维护着一个作战实体列表 $E = \{e_i, i \in [1, N_e]\}$, 其中 N_e 是战场空间中作战实体的总数。 e_i 为战场空间中第 i 个作战实体指针, 通过该指针可获取作战实体的具体位置坐标、平台形状、运动速度和方向等信息。如果作战实体 e_i 存在于空间栅格的实体列表中, 那么说明该作战实体的空间位置处于该空间栅格中。同时, 每一个空间栅格维护着一个传感器列表 $D = \{d_i, i \in [1, N_d]\}$, 其中 N_d 是战场空间中传感器的总数。 d_i 表示战场空间中第 i 个传感器指针, 通过该指针可获取作战实体模型的感知组件, 以及传感器性能参数。如果传感器 d_i 存在于空间栅格的传感器列表中, 那么该传感器的探测范围与该空间栅格重叠。

r 的选取直接影响机制的运行效率, 当 r 为整个战场空间边长时, 战场变为一个栅格, 本机制无法发挥任何作用; r 越小, 过滤越精确, 感知的无效计算越小, 但同时空间感知交互管理器的计算量也越大; 由于战场实体空间位置的非均匀分布和动态变化特点, 难以给出一个统一的 r 设置方法, 针对不同的仿真实定, 可以通过设置不同的 r , 运行仿真并观测和统计感知计算有效性, 获取一个全局最佳的 r 值。

2.2 离散运动模型

作战实体的运动路线离散化为多条弧段和多个节点组成的轨迹。作战实体的运动沿着弧和节点不断地向前行进, 一般在结束一个弧段, 到达一个新的节点时产生一个实体空间位置更新事件, 根据仿真对空间分辨率的要求, 也可以在弧段中进行更细化的位置更新, 但这种更新在不引起栅格变化时, 只会影响已有探测关系的计算, 不会产生新的探测关系, 从而避免无意义的计算。作战实体在每一弧段上的运动速度取决于弧段所在的地形地貌、气象条件、道路等级以及作战实体的运动平台性能参数等。那么, 根据作战实体所在弧段时的运动速度、运动方向可对实体的空间位置进行预测, 并在特定的位置点设置离散事

件, 以触发空间感知交互计算、作战指令执行计算等。例如: 飞机实体执行机动时, 在起始弧段的开始点添加请求起飞指令, 在获得机场塔台准许之后即可起飞离港。对于无法预测的复杂运动模型, 也可以由实体自身更新, 但由全局的管理器根据更新情况导致的栅格变化设置事件以触发空间感知交互。

离散运动模型的执行流程描述如图 2 所示。在组合式作战实体建模过程中, 一般由作战实体的指控组件制定运动计划, 即规划实体运动的起始点、目标点、行动路线(即弧段和节点), 以及运动过程中需要执行的动作指令, 然后将运动计划提交给运动组件执行机动。运动组件接收运动计划之后, 对运动计划中动作指令、运动路线进行解析, 然后按照运动路线中的每一个弧段执行机动。在机动过程中运动组件可访问环境服务, 获取弧段所处地形地貌、气象条件等信息, 计算机动速度, 并预测每一个弧段机动完毕的时间点, 在该时间点插入实体的空间位置计算与更新事件, 或者按照仿真要求插入更多的位置更新事件。作战实体在运动过程中从一个空间栅格移动到另一个空间栅格, 需要从先前空间栅格的实体列表中注销, 再在新的空间栅格实体列表中注册。那么, 作战实体在不同空间栅格之间的转移点并不一定是弧段的两端节点, 转移点的时间由空间感知交互管理器根据作战实体当前位置、运动速度和运动方向进行预测, 或者由实体的更新事件进行计算栅格切换时间点, 并在该时间点插入离散事件, 以触发作战实体在空间栅格实体列表的注销和注册。

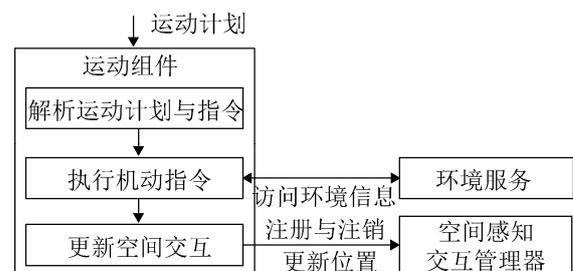


图 2 离散运动模型执行流程

Fig. 2 Execution process of discrete movement model

实体运动的空间栅格变化是被感知的必要条件,但在计算具体感知结果时仍然需要实体在栅格内的具体位置,因此对于运动实体来说,仍然需要且一般采用周期性(不同运动特性的实体、同一实体在不同时间阶段可能采用不同的周期)的空间位置计算方法。

2.3 被动感知模型

作战实体模型不再周期性地扫描战场空间里的目标实体,而是被动地等待战场空间感知交互事件通知。由于作战实体的种类多样,且可以挂载各种类型的传感器,例如,人的视觉、红外探测仪、地面雷达、机载雷达、卫星、声呐等,因此传感器的探测范围形状可成圆球形、半球形、圆锥形、扇形等。那么,传感器感知范围将与多个空间栅格相交,部分空间栅格被感知范围完全覆盖,而部分空间栅格仅仅涵盖部分感知范围。但是,只要与感知范围相交的空间栅格,传感器就要在空间栅格中进行兴趣注册和注销,以便于有作战实体进入该空间栅格就可以接收到空间感知交互事件,然后再计算目标实体是否处于其探测范围内,以及发现该目标实体的概率和探测结果。

传感器挂载到作战实体上,可以随着作战实体运动而移动,并与作战实体具有相同的运动速度和方向,例如机载雷达随着飞机的飞行而在空中移动,其探测范围也是在空间中动态变化的。那么,传感器模型在移动过程中需要根据其感知范围的变化,动态地注册和注销感兴趣的空间栅格。此外,由于作战实体的运动过程抽象为沿着弧段和节点的机动,且只在节点计算和更新作战实体的空间位置,那么需要预测传感器在移动过程中与目标实体的空间感知交互,并用预测的时间点设置空间感知交互事件,对实体空间位置进行计算和更新。

被动感知模型的执行流程描述如图 3 所示。目标实体执行空间运动,计算更新位置信息,并向空间栅格注册和注销。空间感知交互管理器根据目标实体的空间位置和传感器的探测范围进行计算,判断目标实体的位置是否处于传感器感兴趣的空间

栅格,并行向作战实体模型的感知组件发送空间感知交互事件。感知组件接收到空间感知交互事件后,计算目标实体的位置是否处于其感知范围,如果是那么根据传感器性能参数、气象条件、地理环境等计算发现概率。

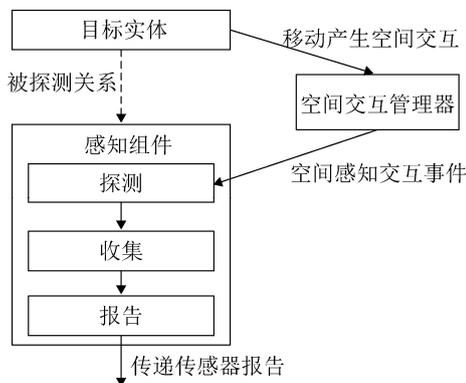


图 3 作战实体的感知模型执行流程
Fig. 3 Execution process of BSE's sense model

3 空间感知交互管理器设计

为了增强仿真系统可扩展性和仿真模型可重用性,提高仿真模型开发效率,离散事件仿真引擎一般采用面向服务的组合式仿真框架技术,即将仿真模型中通用的或者共用的功能抽取出来统一设计和开发,并以组件的形式嵌入到仿真引擎中作为服务或者管理器,为仿真模型提供功能调用^[14]。依此思想,将作战实体的空间感知交互模型设计成空间感知交互管理器,并以组件的形式嵌入到仿真引擎中。作战实体模型通过仿真引擎指针可调用空间感知交互管理器函数,实现相应的感知交互功能计算。

3.1 结构设计

空间感知交互管理器的类结构设计如图 4 所示。仿真引擎的管理器向量存储空间感知交互管理器指针。空间感知交互管理器挂载一个战场空间栅格向量,以存储战场空间栅格。空间栅格直接挂载一个作战实体向量(Entity Vector),以存储处于该空间栅格的作战实体指针;同时挂载一个传感器向量(Sensor Vector),以存储对该空间栅格感兴趣的传感器组件指针。

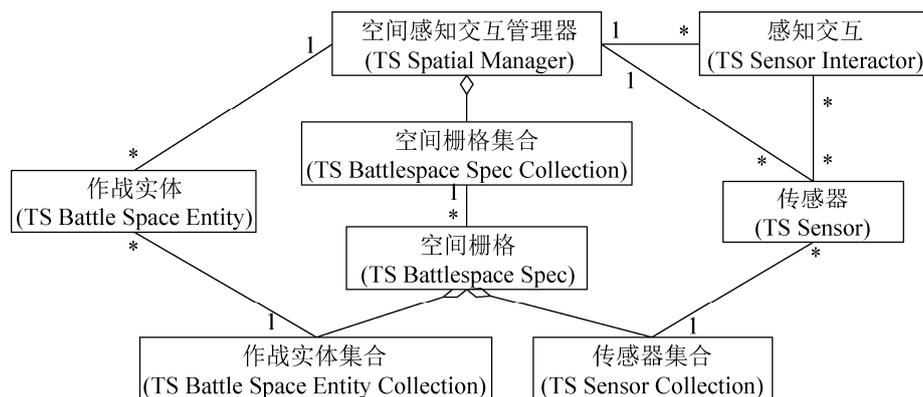


图 4 空间感知交互管理器类结构
Fig. 4 Class structure of spatial sense interaction manager

(1) 空间感知交互管理器(TS Spatial Manager)

以组件形式嵌入到仿真引擎中, 实现作战实体的空间感知交互模型集成管理, 向作战实体模型和传感器组件提供功能调用接口, 接收实体的运动状态和位置更新, 以及传感器的位置更新和感兴趣空间栅格注册与注销。

(2) 空间栅格向量(TS Battlespace Collection)

作为空间感知交互管理器的属性变量, 以数组的形式实现战场空间栅格的存储管理, 包括空间栅格的查询、删除、更新等操作。

(3) 空间栅格(TS Battlespace Spec)

实现战场空间栅格的描述, 包括空间栅格中心坐标点、空间栅格类型、空间栅格的经纬度、编号、所含实体向量、传感器向量等, 其中空间栅格类型包括: 空中、地面、水面、水下等。

(4) 作战实体向量(TS Battle Space Entity Collection)

作战实体向量作为空间栅格的属性变量, 以数组形式存储了作战实体指针, 实现作战实体空间位置、运动速度和方向的信息查询。

(5) 作战实体(TS Battle Space Entity)

作战实体类描述了战场空间中的作战单元及其属性, 并集成了指控组件、运动组件、感知组件等功能模块, 完成作战实体的运动、感知等功能计算, 同时描述了实体的地理空间位置、运动速度和方向、感知特性等。

(6) 传感器向量(TS Sensor Collection)

传感器向量作为空间栅格的属性变量, 以数组形式存储了传感器组件指针, 实现对该空间栅格感兴趣的传感器的管理, 并提供了获取传感器性能参数的接口。

(7) 传感器(TS Sensor)

传感器类描述了传感器的类型、感知性能参数等属性, 并集成到感知组件中完成感知计算功能。传感器类可通过仿真引擎服务接口访问环境服务, 获取自然环境、大气、地理等信息, 并根据这些环境因素来计算目标实体是否处于该感知范围内, 以及发现目标实体的概率和结果。

(8) 感知交互(TS Sensor Interactor)

感知交互类描述了实体之间可能感知到对方的交互事件及其参数, 包括空间栅格类型和编号、被探测的目标实体集合、传感器等。当作战实体进入空间栅格或者在空间栅格中移动时, 空间交互管理器产生空间感知交互事件, 并插入仿真引擎的事件管理器中, 向对该空间栅格感兴趣的传感器发送感知交互事件。事件管理器在处理该事件时, 调用作战实体的事件处理函数, 然后交由感知组件进行感知计算。感知组件通过感知交互类实例(TS Sensor Interactor)可获取目标实体位置、运动速度和方向、形状大小等信息。

3.2 接口设计

空间感知交互管理器集成了作战实体之间感

知交互计算模型，实现了战场空间的栅格划分，及空间栅格存储管理，为作战实体和传感器提供了空间栅格访问接口，以及空间栅格兴趣注册与注销的接口。空间感知交互管理器接收作战实体和传感器的位置更新信息，计算和预测作战实体位置与传感器感知范围的交互的时间和地点，产

生空间感知交互事件并插入仿真引擎的事件管理器。空间感知交互管理器的主要接口描述如表 1 所示，主要包括：初始化接口、实体注册与注销接口、传感器注册与注销接口、获取空间栅格接口、获取空间栅格中实体或者传感器接口，以及实体和传感器状态更新接口。

表 1 空间感知交互管理器接口
Tab. 1 Interface of spatial sense interaction manager

接口函数	说明
Intitial(TSPParameter*parameter)	初始化空间感知交互管理器
RegisterEntityInGrid(int Id, TSBattleSpaceEntity* entity)	指定空间栅格中注册实体
RegisterSensorInGrid(int Id, TSSensor* sensor)	指定空间栅格中注册传感器
UnRegisterEntityInGrid(int Id, TSSensor* sensor)	指定空间栅格中注销传感器
GetBattlespaces()	获取空间栅格集合
GetBattlespace(int Type, int Id)	获取指定类型和编号的空间栅格
GetGridChangesForMovement()	获取实体运动即将进入的空间栅格
GetGridChangesForSensor()	获取传感器感知范围变化的空间栅格
GetBsesInGrid(int Id)	获取指定空间栅格中的所有作战实体
GetBsesAsFriendInGrid(int Id)	获取指定空间栅格中友方作战实体
GetBsesAsEnemyInGrid(int Id)	获取指定空间栅格中敌方作战实体
GetSensorsInGrid(int Id)	获取指定空间栅格中所有注册的传感器
GetSensorsAsFriendInGrid(int Id)	获取指定空间栅格中注册的友方传感器
GetSensorsAsEnemyInGrid(int Id)	获取指定空间栅格中注册的敌方传感器
UpdateMovementStatus(TSBattleSpaceEntity* entity)	更新作战实体的运动状态
UpdateSensorStatus(TSSensor* sensor)	更新传感器状态

3.3 运行流程

空间感知交互管理器的运行流程描述如图 5 所示，主要包括以下几个主要步骤：①仿真系统启动并加载想定文件时对仿真引擎进行初始化，同时初始化空间感知交互管理器，包括管理器参数的设置、战场空间范围的定义，以及空间栅格的创建；②作战实体和传感器在创建过程中或者运动状态更新过程中向空间感知交互管理器进行空间位置和感知兴趣注册与注销；③当作战实体的位置或者传感器感知范围发生变化和更新时，空间感知交互管理器预测和判断实体之间的空间感知交互，直至仿真运行结束。当预测或者判断到存在空间感知交互时，产生空间感知交互事件，并将事件插入仿真引擎的事件管理器，以通知作战实体双方在何时何地可能感知到对方，触发作战实体模型的感知组件进行探测概率计算。

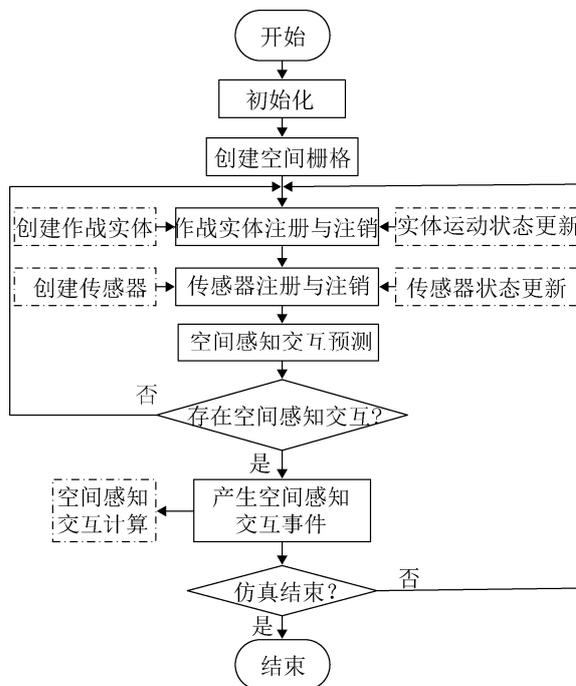


图 5 空间感知交互管理器运行流程
Fig. 5 Execution process of spatial sense interaction manager

4 结论

作战实体相互之间的空间感知是实现 OODA、模拟战争迷雾的基础, 传统主动式的感知交互由各作战实体根据自身传感器状态和空间信息对所有其他实体进行过滤计算, 由于实体数量众多和感知行为的频繁触发, 使得空间感知消耗了仿真中大量的算力, 严重降低了仿真速度。本文所提出的方法采用全局计算的被动式方式, 通过空间栅格的划分对所有实体按照位置进行分类, 由全局离散运动模型预测和更新实体跨栅格行为; 进而通过传感器感知能力与空间栅格的匹配, 使得传感器仅针对感知能力范围栅格内的实体进行探测; 既可以使用低精度感知模型, 也可以在栅格基础上进行高精度感知计算。相对于传统主动式的仿真实体全扫描机制, 本文提出的被动式空间感知交互机制可以解决空间感知交互计算量为 N^2 的问题, 同时极大提高了仿真运行效率, 对于战役级作战仿真的实体数量众多、交互关系复杂、作战时间跨度巨大的特点改善尤为显著, 为大样本统计仿真提供时间和计算资源两方面的可行性。

参考文献:

- [1] 黄柯棣, 刘宝宏, 黄健, 等. 作战仿真技术综述[J]. 系统仿真学报, 2004, 16(9): 1887-1895.
Huang Kedi, Liu Baohong, Huang Jian, et al. A Survey of Military Simulation Technologies[J]. Journal of System Simulation, 2004, 16(9): 1887-1895.
- [2] 王飞跃. 指控 5.0: 平行时代的智能指挥与控制体系[J]. 指挥与控制学报, 2015, 1(1): 107-120.
Wang Feiyue. CC 5.0: Intelligent Command and Control Systems in the Parallel Age[J]. 2015, 1(1): 107-120.
- [3] 张家海, 徐耀群. HLA 联合作战仿真训练系统研究[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2006, 38(2): 304-325.
Zhang Jiahai, Xu Yaoqun. Training System for HLA Join Operation Simulation[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2006, 38(2): 304-325.
- [4] 顾浩, 王祥祖, 程健庆. 海上区域作战模拟分析系统技术[J]. 计算机仿真, 2005, 22(10): 47-50.
Gu Hao, Wang Xiangzu, Cheng Jianqing. Sea Area Campaign Simulation and Analysis System[J]. Computer Simulation, 2005, 22(10): 47-50.

- [5] 吴金平, 陆铭华, 薛昌友. 潜艇作战仿真训练系统联邦中 HLA 接口规范研究[J]. 计算机工程, 2006, 32(5): 235-237.
Wu Jinping, Lu Minghua, Xue Changyou. HLA Interface Specification Research in Submarine Combat Simulation Training System Federation[J]. Computer Engineering, 2006, 32(5): 235-237.
- [6] 穆富岭, 罗鹏程, 周经伦. 基于解析模型的空军战役作战模拟系统研究[J]. 系统仿真学报, 2007, 19(8): 1723-1726.
Mu Fuling, Luo Pengcheng, Zhou Jinglun. Study on Air Force Campaign Simulating System Based on Analytical Models[J]. Journal of System Simulation, 2007, 19(8): 1723-1726.
- [7] 李小龙, 刘建英, 毕明光. 作战仿真中指挥控制建模初探[J]. 现代防御技术, 2013, 41(1): 70-75.
Li Xiaolong, Liu Jianying, Bi Mingguang. Preliminary Discussion of Command and Control Modeling in Warfare Simulation[J]. Modern Defense Technology, 2013, 41(1): 70-75.
- [8] 聂忠, 黄高明, 李仙茂. 海战场赛博空间态势感知能力定量分析[J]. 舰船电子对抗, 2011, 34(6): 39-41.
Nie Zhong, Huang Gaoming, Li Xianmao. Quantitative Analysis on Sea Battlefield Cyberspace Situation Awareness Capability[J]. Shipboard Electronic Countermeasure, 2011, 34(6): 39-41.
- [9] 龙颖斌, 刘蕴锋. 战场信息感知体系技术浅析[J]. 科学导报, 2014(增 1): 178-179.
Long Yingbin, Liu Yunfeng. Brief analysis of Battle Space Sense SoS Technology[J]. Science Guide, 2014(S1): 178-179.
- [10] 李志亮, 邢国平, 崔跃山, 等. 面向语义的物联网战场感知模型[J]. 兵工自动化, 2013, 32(11): 77-80.
Li Zhiliang, Xing Guoping, Cui Yueshan, et al. Semantic-Oriented the Internet of Things Battlefield Awareness Model[J]. Ordnance Industry Automation, 2013, 32(11): 77-80.
- [11] 仲辉, 李群, 王维平, 等. 作战单元战场空间感知建模研究[J]. 系统仿真学报, 2007, 19(19): 4363-4367.
Zhong Hui, Li Qun, Wang Weiping, et al. Research on Modeling Battle Space Perception of Combat Unit[J]. Journal of System Simulation, 2007, 19(19): 4363-4367.
- [12] 郭勇陈, 沈祥. 基于离散事件仿真原理的多主体仿真控制方法[J]. 计算机仿真, 2015, 32(6): 349-355.
Guo Yongchen, Shen Xiang. Control Method of Multi Agent Simulation Based on Principle of Discrete Event Simulation[J]. Computer Simulation, 2015, 32(6): 349-355.

- 349-355.
- [13] 张柯, 孙昊, 闫飞, 等. 作战仿真中组合式实体模型的资产管理组件设计[J]. 指挥与控制学报, 2017, 3(1): 33-37.
Zhang Ke, Sun Hao, Yan Fei, et al. Component Design of Assembled Entity Models for Managing Entities' Assets in War Simulations[J]. Journal of Command and Control, 2017, 3(1): 33-37.
- [14] 北京华如科技股份有限公司. 可扩展仿真平台 XSimStudio[EB/OL]. [2020-03-18]. <http://www.huaru.com.cn/product>.
Beijing Huaru Technology Co., Ltd. eXtensible SimulationPlatform, XSimStudio [EB/OL]. [2020-03-18]. <http://www.huaru.com.cn/product>