

6-1-2020

Battle Simulation Study on Multi-Agent Weapon System-of-Systems Based on Multi-Resolution

Xuefei Yan

Science and Technology on Complex Electronic System Simulation Laboratory of Equipment Academy, Beijing 101416, China;

Xinming Li

Science and Technology on Complex Electronic System Simulation Laboratory of Equipment Academy, Beijing 101416, China;

Liu Dong

Science and Technology on Complex Electronic System Simulation Laboratory of Equipment Academy, Beijing 101416, China;

Li Kang

Science and Technology on Complex Electronic System Simulation Laboratory of Equipment Academy, Beijing 101416, 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.

Battle Simulation Study on Multi-Agent Weapon System-of-Systems Based on Multi-Resolution

Abstract

Abstract: A model based on Multi-Resolution modeling technology with multi-Agent theory was put forward since the problem of the decision and cooperation of traditional multi-Agent system is too complicated in the field of battle simulation of weapon SOS. *The tactic-level cooperation missions based on OA circle(observation-Action)was given to the high-Resolution Agents and the strategy-level decision missions based on reinforcement learning was given to the low-Resolution Agents.* Besides, the class structure of high-Resolution Agent and Aggregation Agent based on the Agent oriented programming(AOP) was designed. At last, the ideas were validated through battle simulation for Weapon SOS based on Java language.

Keywords

Agent, weapon system-of-systems, battle simulation, Multi-Resolution technology, Q-learning

Recommended Citation

Yan Xuefei, Li Xinming, Liu Dong, Li Kang. Battle Simulation Study on Multi-Agent Weapon System-of-Systems Based on Multi-Resolution[J]. Journal of System Simulation, 2017, 29(1): 136-143.

基于多分辨率的 multi-Agent 武器装备体系作战仿真研究

闫雪飞, 李新明, 刘东, 李亢

(装备学院复杂电子系统仿真实验室, 北京 101416)

摘要: 针对基于 multi-Agent 的武器装备体系作战仿真应用中, multi-Agent 的决策与协作行为异常复杂而现有模型不能很好应对的问题, 提出一种基于多分辨率建模与 multi-Agent 理论相结合的作战仿真模型。将战术级协作任务交给高分辨率 Agent, 将战略级决策任务交给具有宏观决策优势的 low-resolution 聚合 Agent, 其中, 高层指挥 Agent 基于强化学习进行决策, 底层作战 Agent 基于 OA 环 (observe-action) 进行协作, 进而大幅降低了计算复杂度, 并提高了决策收益。此外, 基于面向 Agent 编程思想分别设计了高分辨率 Agent 和聚合 Agent。基于 JAVA 语言进行了体系仿真验证。

关键词: Agent; 武器装备体系; 作战仿真; 多分辨率; Q-learning

中图分类号: TP391 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2017) 01-0136-09

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201701019

Battle Simulation Study on Multi-Agent Weapon System-of-Systems Based on Multi-Resolution

Yan Xuefei, Li Xinming, Liu Dong, Li Kang

(Science and Technology on Complex Electronic System Simulation Laboratory of Equipment Academy, Beijing 101416, China)

Abstract: A model based on Multi-Resolution modeling technology with multi-Agent theory was put forward since the problem of the decision and cooperation of traditional multi-Agent system is too complicated in the field of battle simulation of weapon SOS. The tactic-level cooperation missions based on OA circle (observation-Action) was given to the high-Resolution Agents and the strategy-level decision missions based on reinforcement learning was given to the low-Resolution Agents. Besides, the class structure of high-Resolution Agent and Aggregation Agent based on the Agent oriented programming (AOP) was designed. At last, the ideas were validated through battle simulation for Weapon SOS based on Java language.

Keywords: Agent; weapon system-of-systems; battle simulation; Multi-Resolution technology; Q-learning

引言

现代战争的样式已经由过去的以平台为中心的单兵、单兵种对抗演变成现在的以网络为中心的体系对抗, 为了适应体系对抗的新挑战, 必须

加大对国防和军队建设的宏观调控, 从长远入手为武器装备体系的建设和发展规划一个宏伟蓝图, 真正做到在未来的信息化战争中有备无患。武器装备体系是一个典型的复杂巨系统, 具有非线性、涌现性、不确定性、突变性、不可逆性、自组织性, 自相似性等复杂特征。尤其是随着军事变革的发展, 战略、战役、战术之间的界限更加趋于模糊, 多军兵种联合作战更加常态化、信息化程度也越来越高、战场形势瞬息万变, 从而为体系的研究提出了更严峻的挑战。



收稿日期: 2015-04-24 修回日期: 2015-06-15;
基金项目: “核高基”重大专项支持课题(2013ZX01045-004-002);

作者简介: 闫雪飞(1989-), 男, 内蒙赤峰, 博士生, 研究方向为作战仿真与体系评估; 李新明(1965-), 男, 湖南益阳, 博士, 研究员, 研究方向为体系评估。

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

基于 multi-Agent 的建模仿真 (Multi-Agent Based Modeling and Simulation, MABMS) 是 20 世纪 90 年代兴起的一种新的建模仿真范式, 因其与战争过程的很多特性非常相似, 被认为是研究作战行为的一个有效途径, 已经越来越多地引入到作战仿真领域^[1]。经过几十年的发展, MABMS 技术已经在作战仿真领域得到了广泛应用并取得了大量的研究成果, 形成了一定规模专门的理论体系, 获得了军事界的一致认可^[2-3]。尤其是随着一大批基于 MABMS 的作战仿真实验平台的推出, 典型的如美国海军资助的 ISAAC、在 ISAAC 基础上发展起来的 EINSTEIN、由新西兰军队资助研制的 MANA 以及国内某高校开发的 JCass, 进一步将 MABMS 技术推向了作战仿真的前沿, 使其成为军事领域最热的研究方向之一^[4-6]。

1 建模的基本思想

1.1 多分辨率建模的必要性

分辨率是指物体可以被分辨的最小尺度, 在作战仿真领域, 主要是指模型描述现实世界的详细程度, 也就是指模型对事物细节描述的多少。多分辨率建模, 也被称为可变分辨率建模、混合分辨率建模、跨分辨率建模或者多粒度建模, 主要是指对所研究的问题在不同分辨率尺度上建立的多种分辨率模型^[7]。早在 1995 年, 美国国防部建模与仿真办公室便在其《建模与仿真主计划》中提出“要建立实体、行为和进程的多粒度模型”, 并一直致力于如何将不同分辨率的模型集成到同一仿真环境中的研究^[8], 足见其对多分辨率建模技术的重视。

之所以要将多分辨率建模技术应用于体系作战仿真领域, 除了体系本身所具有的多层次特性外, 还考虑到其所具有的诸多单分辨率建模所不具备的好处。一方面, 多分辨率建模方法可较好地从不不同角度不同层次描述战场实体和行为过程^[9]; 另一方面, 可同时实现高低分辨率仿真模型间的相互校准, 进一步提高仿真的准确度^[10]。此外, 由于低分辨率模型(比如战略层面)具有更

加广泛的视角, 因此更有利于进行宏观的考察和分析决策^[11]。多分辨率建模技术是近年来建模与仿真领域研究的热点^[12], 并被认为是解决复杂系统仿真最为有效的方法之一^[7]。

目前, MABMS 技术正在作战仿真领域暴露出一些比较棘手的问题, 其中一个便是传统的 Agent 决策算法难以应对复杂系统尤其是体系级作战仿真的复杂行为建模。以 BDI(信念-愿望-意图)决策模型为例, Agent 在进行决策时, 如果不进行任何化简的话, 需要考虑的所有信念多达上百种, 能够做出的意图也有几十种, 如果将 Agent 的决策看作是信念到意图的映射, 则可能建立的规则总数高达 10 的几十次方量级, 远远超出了现代计算机的处理能力。需要说明的是, 通过 Agent 交互产生的信念集由于与 Agent 的数量呈指数增长的关系, 因此产生的复杂性尤其突出, 可见, 对 Agent 交互的化简和研究更加重要, 这也正是文章的初衷所在。

有学者基于认知型 Agent 提出了改进 BDI 决策算法^[13], 也有学者基于反应型 Agent 提出有限状态机决策算法^[14]。然而, 这些方法都没有达到特别理想的效果, 究其根本原因, 是因为他们的模型都是单分辨率模型, 在单一层次上对 Agent 的决策机制进行建模时, 由于没有针对不同层次分别讨论, 导致 Agent 推理过程极其复杂, 且由于没有结合战争实际, 决策结果往往不够理想。

可见, 对模型的有效化简是关键, 尤其是对 Agent 交互的化简, 为此, 提出一种基于多分辨率建模与 multi-Agent 相结合的手段, 合理地将二者的优势结合到一起, 实现对复杂体系的仿真研究。具体方法是, 对低层次高分辨率的不同类别 Agent, 仅根据它们的功能(如侦查、打击等)来构建对应的协作机制, 而对高层低分辨率 Agent, 可根据其掌握的全局信息进行有限指令(如进攻、撤退等)的映射并将决策结果反馈到低层。以此达到高层仿真指导低层仿真而低层仿真支持高层仿真的目的^[15], 在不降低模型真实性的基础上, 实现 multi-Agent 决策与协作行为的大幅化简。

需要说明的是，基于多分辨率的建模方法与层次化建模方法有很大区别。在层次化建模中，高层实体是实际存在的，对应于各级指挥中心。而在多分辨率模型中，低分辨率实体是抽象的，在实际作战中并不存在，只是为了寻求某种最佳的指挥决策机制，发挥体系的更大潜力。

1.2 整体建模思路

武器装备的 Agent 建模是作战仿真的基础，而 Agent 建模的核心内容则是 Agent 的决策机制，这是作为 Agent 智能性的唯一体现，其它行为（通信、交互、移动等）均由决策模块决定，为此首先研究 Agent 的决策机制。传统的 Agent 决策机制之所以未能达到预期的效果，究其根本，是没有结合战争的本身特点。实际上，对于现代战争，尤其是信息化战争，作战过程更依赖于装备和信息化技术，可以这样讲，谁的装备越强，谁的战胜概率就越大，因此，在进行 Agent 的决策时，更需要落实到具体的装备上分析，充分发挥装备的作战优势，完全展现体系的真正效能，为指挥员的准确决策提供指导。

众所周知，现代战争可抽象为“侦查、判断、决策、行动”的循环往复，美军称之为 OODA 环^[16]，而维系 OODA 环的核心要素则是信息，信息流向则基本代表了装备之间的协作流程，而协作流程与决策机制息息相关。鉴于此，可将 Agent 按功能分为侦查类、指挥类、打击类，分别对应于 OODA 环的侦查、判断与决策、行动，而 Agent 的决策机制则根据相应的类别和职责制定，如侦查类 Agent 的主要任务就是负责侦查并将信息发送到打击链的下一级，指挥类 Agent 的决策机制稍微复杂些，需要对侦查信息进行一定的处理和分析并向最合适的打击类 Agent 发布打击任务，而打击类 Agent 的主要任务只需要执行相应的打击命令即可。最近，有学者提出了基于 OODA 环的体系建模方法，表明了基于 OODA 环进行体系研究的可行性^[17]。

然而，在“网络中心战”思想的指引下，发现

即意味着行动和打击，由此可将 OODA 环缩短，使之变为只包括“侦查、行动”的 OA 环，弱化指挥类 Agent 的建模，其必要的决策和分析交由侦查类 Agent 负责即可，使得模型更加精简，如图 1 所示。需要说明的是，在同一时刻，可以有多个这样的 OA 链并行执行。可见，在信息化条件下，Agent 的决策行为并没有那么复杂，它们只需根据自身的职责履行应尽的义务即可。

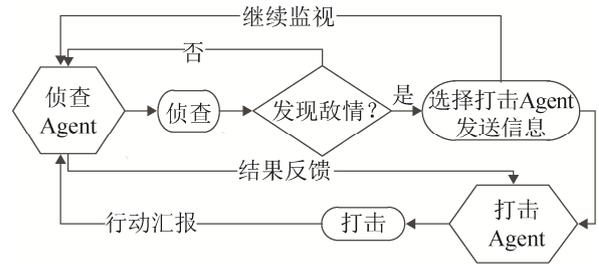


图 1 基于 OA 环的 Agent 协作流程
Fig.1 The cooperation framework based on OA circle

当然，重复执行 OA 环只是底层 Agent 间的协作行为，还缺乏对宏观局势的把握，为此，通过多分辨率建模技术将高分辨率实体聚合为一个抽象的低分辨率实体，它根据聚合信息制定全局的决策，如该进攻还是防守，而后将决策结果发送到底层 Agent 作为愿望实现对底层的指导，基于多分辨率(MRM)的 multi-Agent 体系架构如图 2 所示。

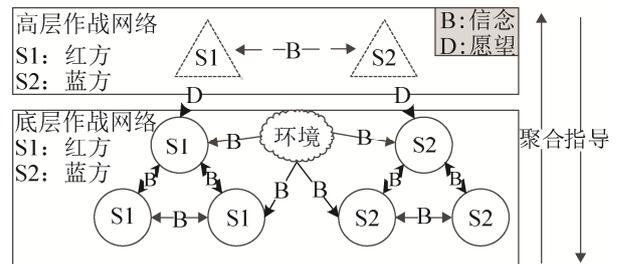


图 2 基于多分辨率的 multi-Agent 体系架构
Fig.2 The multi-Agent framework based on MRM

其中箭头表示通信，虚线表示高层 Agent 是虚构的，它们在通信时无需使用 Agent 通信语言因此也就不会占据物理通信带宽，它们可直接拿到必要的信息来负责全局决策的制定，而实际仿

真运行在最底层。这便是基于多分辨率进行 multi-Agent 作战仿真的核心思想, 它利用了高低分辨率模型间的校准以及高层模型更有利于决策的特点。其实, 与此类似的层次化建模技术, 也是利用了高层更利于宏观决策的特点^[18]。

2 基于 AOP 的建模过程

2.1 高分辨率 Agent 的建模过程

根据建模思路, 首先进行高分辨率装备实体的 Agent 建模。根据 Agent 的决策机制将 Agent 分为两类: 侦查类、打击类(后期研究中可以增加通

信类和信息干扰类)。采用面向 Agent 编程(AOP)的思想, 首先定义最基本的 WarAgent 类, 由 WarAgent 类继承出侦查类 ScoutAgent 和打击类 AttackAgent, WarAgent 类结构如表 1 所示。

其他类由于是继承自 WarAgent 类, 因此具有 WarAgent 类的所有属性和行为。除了具有 WarAgent 类的属性和行为, 其它 Agent 还具有自己的扩展属性和扩展行为, 表 2~3 分别为 ScoutAgent 和 AttackAgent 的扩展类结构。采用这种建模方法, 基本可以映射所有的主战装备, 能够保证作战场景的真实性。

表 1 WarAgent 类结构

Tab.1 The class structure of WarAgent

结构	名称	含义	符号表示
属性	阵营	代表 Agent 是红方还是蓝方	AgentIFF
	序号	Agent 的唯一全局编号	AgentID
	类型	代表 Agent 是侦查类、指挥类还是打击类	AgentType
	被发现概率	代表 Agent 被敌方发现的概率, 即 Agent 的隐蔽性能	HideProbability
	通信能力	代表 Agent 能够通信的最大距离	CommunicateDistance
	编队号	代表 Agent 属于哪个编队, 有可能只有一个	TeamID
	移动速度	Agent 在一个时间步长内的移动距离	MoveRange
	视野范围	Agent 可看到的战场环境大小	SightRange
	健康值	反映 Agent 的破损程度, 关系到作战能力, 最高 100	AgentHealth
	行为	接收信息	接收其它 Agent 的信息并存入信息列表
发送信息		从发送信息列表中按顺序选择信息向其它 Agent 发送	SendMessage()
移动		根据移动速度向指定方向运动	Move()

表 2 ScoutAgent 类扩展结构

Tab.2 The class structure of ScoutAgent

结构	名称	含义	符号表示
属性	侦查 Agent 的类型	地基侦查或空中侦察或海基侦查类	scoutType
	发现概率	侦查 Agent 的对敌发现概率	scoutProbability
行为	决策	选择最合适的打击类 Agent 发布打击命令	Strategie()

表 3 AttackAgent 类扩展结构

Tab.3 The class structure of AttackAgent

结构	名称	含义	符号表示
属性	打击 Agent 的类型	空中装备或地面装备或海面装备	attackType
	杀伤范围	代指 Agent 的轰炸范围	attackRange
	命中概率	Agent 命中既定目标的概率	attackProbability
	射程	Agent 的打击距离	attackDistance
	杀伤系数	被 Agent 轰炸目标的毁伤效果	attackAbility
行为	弹速	发射弹头的飞行速度	missilevelocity
	打击	根据接收到的目标方位信息执行打击任务	Attack()

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

2.2 低分辨率 Agent 的建模过程

低分辨率 Agent 由高分辨率 Agent 聚合而来, 可将一定规模的高分辨率 Agent 集合或编队聚为一个低分辨率 Agent 直到最低分辨率 Agent 只有一个, 在聚合过程中可获取相关 Agent 的任何信息。相比于传统的“聚合-解聚”法, 文章省去了较难实现的解聚过程, 且在聚合过程中, 可根据决策需要对高分辨率模型所有信息进行有取舍的聚合, 因此要更容易实现。还要强调的是, 聚合是针对作战双方的, 聚合后的 Agent 都在同一个分辨率层次上, 这时也完全可以认为是得到另一个

低分辨率的 multi-Agent 作战仿真模型。但为了提高仿真置信度, 模型依然运行在最高分辨率层次上, 而聚合 Agent 只是为了实现高效的宏观决策。

实际上, 在进行宏观决策时, Agent 需要依据的信息主要包括位置信息、战损信息、敌我力量对比信息, 具体聚合方法可参看文献[9]。考虑到聚合过程的计算开销和宏观决策的有效期较长, 可根据实际间隔多个时间步长(聚合周期 T_a)后再执行一次聚合操作。这里建立的聚合 Agent (AggregationAgent)类结构如表 4 所示。

表 4 AggregationAgent 类结构
Tab.4 The class structure of AggregationAgent

结构	名称	含义	符号表示	
属性	阵营	聚合 Agent 的隶属阵营	AAIFF	
	位置	聚合 Agent 的空间坐标	AALocation	
	健康值	集合内 Agent 数目, 一个受伤 Agent 的数目要乘以健康值折算	AAhealth	
	敌军数	集合内 Agent 探测到的敌军总数	AAenemy	
	损毁值	聚合周期内 Agent 的受伤数目, 与受伤程度相关	AAinjury	
	杀伤值	聚合周期内集合 Agent 对敌阵营的总毁伤值	AAlethality	
	损毁增加率	相比上一聚合周期的损毁值增加率	AAinjuryRate	
	杀伤增加率	相比上一聚合周期的杀伤值增加率	AAlethalityRate	
	行为	决策	综合聚合 Agent 的属性信息制定决策	AAstratege()
		发布命令	根据决策信息, 对集合内所有 Agent 发布命令	AAsendorder()

2.3 聚合 Agent 的决策算法

相比高分辨率 Agent, 聚合 Agent 的决策行为要更加复杂, 要求具有一定的智能性与合理性, 下面对聚合 Agent 的决策行为进行研究, 制定切实可行的决策算法。

2.3.1 问题域分析

与有限理性 Agent^[19]、个性 Agent^[2]、情感 Agent^[2]的决策思路不同, 本文更加注重的是研究作战 Agent 的最佳决策, 尽可能忽略其他任何偶然因素, 追求武器装备效益的最大化发挥, 从而为指挥员的随机应变和临阵决策提供有价值指导, 并更客观的实现武器装备体系进行效能评价。此外, 传统的 Agent 决策都是在一定的作战想定背景下进行的, 其中融合了一定的人工干

预, 不利于进行更多类别作战场景的仿真研究。因此实现更客观真实的作战仿真, 是文章进行聚合 Agent 决策研究所要遵循的基本原则。

为了简化算法, 首先忽略聚集 Agent 的移动决策制定; 在消耗战条件下, 忽略聚集 Agent 的撤退决策制定; 同时, 将聚合 Agent 的本身初步决策限定为两个: 进攻或援助、防守并求助, 其中求助和援助决策只针对于同级分辨率 Agent。当聚合 Agent 作出决策后, 将决策作为愿望发送到所有隶属 Agent, 而隶属 Agent 根据愿望进行作战行动。

下面研究聚合 Agent 的自身决策的制定过程。设某个聚合 Agent 的 AAhealth 值为 h , AAenemy 值为 e , AAinjury 值为 i , AAlethality 值为 l , AAinjuryRate 值为 ir , AAlethalityRate 值为 lr 。这些是聚合 Agent 在进行决策制定时的所有依据, 共

有 6 个变量, 如果所有变量一齐考虑而不作处理, 其复杂度可想而知。为此, 考虑到在进行决策时人们更趋向于关注相对值而不去关注具体值, 例如在选择走哪条路时只需要选最短的哪条, 而不用去管具体有多长。同样, 在对敌作战时, 指挥官也更趋向于考虑相对值, 如敌我力量对比、敌我伤亡对比等等。为此, 将以上 6 个变量的相同类别两两相减, 这样可以缩减到 3 个变量, 它们分别是: $a = (h - e) / e$, $b = (l - i) / i$, $c = (lr - ir) / ir$, 分别代表 Agent 数目超过感知到的敌方 Agent 数目的程度、本聚合周期内对敌毁伤数超过自身伤亡的程度、相对于上一聚合周期杀伤增加率超过损毁增加率的程度。为了制定初步决策, 需要根据这 3 个变量评估该聚合 Agent 的态势是处于优势还是处于劣势, 如果是优势则对应于进攻或援助, 如果是劣势则对应于防守并求助。

2.3.2 决策过程

Q-learning 算法是一种广泛使用的模型无关的强化学习算法^[21-22], 在无需任何先验知识的情况下即可实现 Agent 对未知环境的学习, 达到自适应的目的, 提高了对不确定环境的适应能力。考虑到聚合 Agent 的决策模型的不确定性和未知性, 可采用 Q-learning 学习算法实现聚合 Agent 自主适应环境并自主决策。

用符号 *defence* 表示防守并求助, *attack* 表示进攻或援助, 设三维状态空间按下式确定:

$$s = \{a', b', c'\} \\ (|a - a'| < \mu_1, |b - b'| < \mu_2, |c - c'| < \mu_3) \quad (1)$$

其中: a', b', c' 代表区间中点; μ_1, μ_2, μ_3 代表区间长度; 上式表示根据 a, b, c 落入的区间号来作为当前状态标识。设 $v \in \{\text{defence}, \text{attack}\}$ 表示当前动作集, 则要存入经验库的状态-动作对表示形式为一个四元集合, 例如 $\text{rule}' = \{(a', b', c'); (\text{defence})\}$ 。将求解的 $Q'(s, v)$ 函数定义为: 从状态 s 开始使用 v 作为第一个动作时的最大折算累积回报, 采用迭代求解的办法, 如式(2)所示:

$$Q'(s_t, v_t) = Q(s_t, v_t) + \\ \alpha[r_t + \gamma \max_v Q(s_{t+1}, v) - Q(s_t, v_t)] \quad (2)$$

其中: t 为当前时刻; $t+1$ 为下一时刻; Q 为初始函数; α 为学习率; r_t 为 Agent 在 t 时刻采用动作 v 得到的瞬时奖赏值; γ 为折扣因子。一次完整的学习周期为一次作战仿真的完整过程, 且可通过多次学习提高学习效果。

可以看出, Q-learning 算法的难点是初始 Q 函数的确定和瞬时奖赏函数 r 的确定。对于作战仿真情形, 可设定初始 Q 函数等于瞬时奖赏函数, 而瞬时奖赏函数可看做是奖赏系数乘以参数 a, b, c 的某种加权组合, 参数权值可通过层次分析法确定, 而其它参数还需要在实际仿真中根据经验确定。还要说明的是, 式(1)只是针对单 Agent 系统下的学习算法, 当聚合 Agent 不止一个时, 可通过多 Agent 之间的实时经验共享达到共同学习的目的, 从而提高学习效率。

3 仿真实证

为了对文章提出的基于多分辨率的 multi-Agent 作战仿真有效性进行验证, 采用面向对象高级编程语言 JAVA 进行了原型系统的初步实现, 主要依据本文所提出的多分辨率与 OA 环相结合的思想进行 Agent 建模与决策。目前, 系统采用了两层分辨率模型, 基于 JAVA3D 技术进行三维可视化展示, 支持多节点分布式以及单节点并行计算, 其截取的仿真情景如图 3 所示。

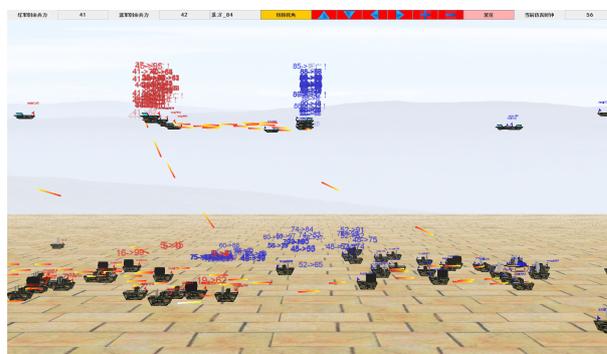


图 3 基于 JAVA3D 技术的可视化作战进程
Fig.3 The visualization battle scene based on JAVA3D

3.1 双方兵力部署说明

通常,在进行作战仿真实验时,要有具体的作战想定编辑,主观性较强,仿真效率低,为此,系统省去了作战想定编辑环节,只需要设置双方的侦察 Agent 和打击 Agent 兵力参数即可实现仿真的部署和运行。

为节省篇幅,这里只列出部分关键参数的设置,如表 5~6 所示,其中阵营为“双方”的表示该型号 Agent 为双方共有,单位均为归一化单位,本次仿真中共有 140 个 Agent。从表中可以得知,双方兵力部署大体相同,唯一区别的是蓝方 3 型侦察 Agent 的视野范围要比红方 1 型侦察 Agent 高 5。需要说明的是,双方兵力设置类型多样、数量众多,显然已经构成了复杂系统,除了基于 Agent 的建模与仿真研究,似乎没有更好的方法。此外,本次样例中共有 3 个计算节点参与仿真,其中 2 个为分节点,负责接收 Agent 并为其分配进程,另外一个为主节点,负责 Agent 的调度、负载的均衡、仿真时钟的推进、三维可视化呈现等,其配置与普通个人办公用台式机基本相同。

表 5 红蓝双方侦察类 Agent 的部署情况

Tab.5 The deploy of scout Agents for both sides

型号	阵营	数量	健康值	通信能力	视野范围	空间类别
1 型	红方	20	80	10	15	空基
2 型	双方	10	60	20	30	地基
3 型	蓝方	20	80	10	20	空基

表 6 红蓝双方打击类 Agent 的部署情况

Tab.6 The deploy of attack Agents for both sides

型号	阵营	数量	健康值	杀伤范围	射程	杀伤系数	空间类别
1 型	双方	10	100	5	20	50	地基
2 型	双方	10	100	8	20	80	地基
3 型	双方	10	100	7	20	80	空基
4 型	双方	10	100	5	10	50	地基

3.2 仿真结果及分析

在仿真前,用户可以定制要导出的数据,在这里我们定制了双方 Agent 总数变化数据、侦察

类 Agent 以及打击类 Agent 的变化数据。仿真结束后系统会自动将相关数据导出到 MATLAB 中供分析研究,如图 4 所示利用 MATLAB 绘制的双方兵力演变结果图。

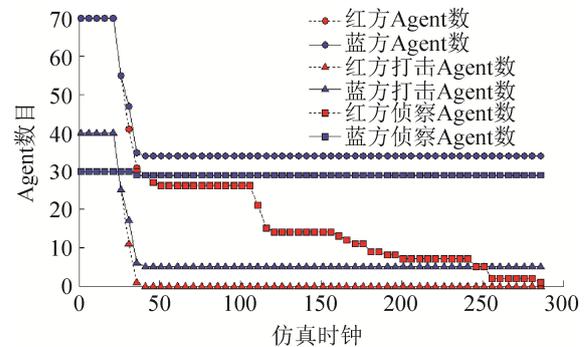


图 4 红蓝双方 Agent 数目随时钟的变化

Fig.4 The development of Agent number with Tick

正如预期的那样,由于蓝方部分侦察 Agent 的探测距离比红方远,因此在 OA 环对抗过程中会“先敌发现、先敌攻击”,使得在作战开始便占据绝对优势。在双方接触后发生过一段激烈的消耗,然而蓝方凭借开始的优势迅速占据上风,获得了战场主动权,之后红方一直处于被动和挨打的局面,直至作战结束,符合实际情形。而通过更加直观地对作战进程进行可视化因果追溯分析,也进一步证明了上述结论。

4 结论

基于 multi-Agent 的作战仿真研究是军事领域的研究热点。文章针对基于 multi-Agent 的武器装备体系作战仿真应用中,Agent 决策与协作行为异常复杂多变而现有模型不能很好应对的问题,提出一种基于多分辨率建模与 multi-Agent 理论相结合的作战仿真模型,并基于 JAVA 语言进行了系统实现与仿真验证,证明了该模型的可行性和有效性。该模型一方面降低了仿真系统的算法复杂度;另一方面由于建模理念更加切合作战实际,使得 Agent 决策与协作行为更加合理。需要说明的是,基于 multi-Agent 的作战仿真研究是一项非常复杂和艰难的课题,再加上 Agent 决策与协作问题本身的复

杂性, 文章只是对其作了初步的探索, 但希望能对后续研究起到抛砖引玉的作用。

参考文献:

- [1] 余文广, 王维平, 柏永斌, 等. 基于多进程的Agent行为描述及其仿真调度研究 [J]. 系统仿真学报, 2012, 24(3): 509-520.(YU W G, Wang W P, PAI Y B, et al. Process-based Description and Simulation Scheduling for Agent Behavior [J]. Journal of System Simulation, 2012, 24(3): 509-520.)
- [2] Tomonari Honda, Hiroshi Sato, Akira Namatame. Evolutionary Learning in Agent-Based Combat Simulation [M]. Germany Berlin Springer-Verlag Heidelberg, 2006: 582-587.
- [3] Richard B HenckeAN. Agent-Based Approach to Analyzing Information and Coordination in Combatnaval [D]. USA: Postgraduate School Monterey California, 1998.
- [4] 陆铭华, 吴金平, 董汉权. 基于多Agent仿真的编队协同反潜作战效能分析方法研究 [J]. 系统仿真学报, 2011, 23(3): 446-450.(LU M H, WU J P, DONG H Q. Effective Analysis Method Research of Formation Cooperative Acti-submarine Warfare Based on Multi-Agent Simulation [J]. Journal of System Simulation, 2011, 23(3): 446-450.)
- [5] 李云芳. 战场环境下基于HLA的BDI Agent仿真研究与实现 [D]. 南京: 南京航空航天大学, 2012.(Li Y F. HLA-based Research and Implementation on BDI Agent Simulation in Battlefield Environment [D]. Nanjing, China: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2012.)
- [6] Ibrahim C, Murat M. A multi-agent architecture for modelling and simulation of small military unit combat in asymmetric warfare [J]. Expert Systems with Applications (S0957-4174), 2010, 37: 1331-1343.
- [7] 陈建华, 李刚强, 傅调平. 基于多分辨率的海军作战仿真建模研究 [J]. 系统仿真学报, 2009, 21(22): 7316-7319.(CHEN J H, Li G Q, FU T P. Research of Multi-Distinguish Modeling on Warship Formation Operation Simulation [J]. Journal of System Simulation, 2009, 21(22): 7316-7319.)
- [8] 杜燕波, 杨建军, 吕伟, 等. 多分辨率建模与仿真相关概念研究 [J]. 系统仿真学报, 2008, 20(6): 1386-1389. (DU Y B, YANG J J, LV W, et al. Study of Relevant Conceptions about Multi-resolution Modeling and Simulation [J]. Journal of System Simulation, 2008, 20(6): 1386-1389.)
- [9] 李京伟. 多分辨率建模在航母战斗群作战仿真中的应用研究 [J]. 系统仿真学报, 2013, 25(8): 1924-1929. (Li J W. Research on Application of Multi-resolution Modeling in carrier combat Group Operation Simulation [J]. Journal of System Simulation, 2013, 25(8): 1924-1929.)
- [10] 华玉光, 徐浩军. 多分辨率建模航空武器装备体系对抗效能评估 [J]. 火力与指挥控制, 2009, 34(1): 8-14. (HUA Y G, XU H J. System Conflict based on Multi-resolution Modeling [J]. Fire Control & Command Control, 2009, 34(1): 8-14.)
- [11] 郭强, 毕义明. 多分辨率建模在联合作战仿真中的应用研究 [J]. 指挥控制与仿真, 2007, 29(6): 86-89. (GUO Q, BI Y M. Study on Application of Multi-Resolution Modeling in joint Operations Simulation [J]. Command Control & Simulation, 2007, 29(6): 86-89.)
- [12] 李明忠, 毕长剑, 刘小荷. 基于多分辨率的空军作战仿真建模研究 [J]. 指挥控制与仿真, 2007, 29(5): 63-66. (Li M Z, BI C J, LIU X H. A research on Air Force Combat Simulation Modeling Based on Multi-Resolution [J]. Command Control & Simulation, 2007, 29(5): 63-66.)
- [13] 杨克魏. 半自治作战agent模型及其应用研究 [D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2004.(YANG K W. Research and Application of Semi-Autonomous Combat Agent Model [D]. Chang Sha: Graduate School of National University of Defense Technology, 2004.)
- [14] Wooldridge M. 多Agent系统引论 [M]. 石纯一, 等译. 北京: 电子工业出版社, 2003. (Wooldridge M. An Introduction to MultiAgent Systems [M]. SHI C Y, et al Translation. Beijing, China: Publishing House of Electronics Industry, 2003.)
- [15] 杨峰. 面向效能评估的平台级体系对抗仿真跨层次建模方法研究 [D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2003. (YANG F. Study on Inter-hierarchy Modeling Approach in Weapon-Platform Level System-of-systems Combat Simulation For Operational Effectiveness Evaluation [D]. Changsha, China: Graduate School of National University of Defense Technology, 2003.)
- [16] 黄建明, 高大鹏. 基于OODA环的作战对抗系统动力学模型 [J]. 系统仿真学报, 2012, 24(3): 561-574. (HUANG J M, GAO D P. Combat Systems Dynamics Model with OODA Loop [J]. Journal of System Simulation, 2012, 24(3): 561-574.)

(下转第 153 页)

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