

9-17-2021

## Modeling Research of Cognition Behavior for Intelligent Wargaming

Xiaoyuan He

*College of Joint Operations, National Defence University, Beijing 100091, China;*

Shengming Guo

*College of Joint Operations, National Defence University, Beijing 100091, China;*

Wu Lin

*College of Joint Operations, National Defence University, Beijing 100091, China;*

Li Dong

*College of Joint Operations, National Defence University, Beijing 100091, 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.

---

## Modeling Research of Cognition Behavior for Intelligent Wargaming

### Abstract

**Abstract:** Aiming at the problem of cognitive behavior modeling in the construction and application of intelligent wargaming system, *one modeling framework based on Actor-Operations-Scene (AOS) was proposed for C2 agent in wargaming. Then the realization of cognitive behavior modeling method for C2 agent was explored, including the modeling for the scenario oriented knowledge graph, intelligent situation awareness, operational planning, integrated operational control.* It provides a feasible scheme for the construction and application of intelligent wargaming system.

### Keywords

intelligent wargaming, agent for command and control, cognition behavior modeling, situation awareness, operational planning, integrated operational control

### Authors

Xiaoyuan He, Shengming Guo, Wu Lin, Li Dong, Xu Xiao, and Li Li

### Recommended Citation

He Xiaoyuan, Guo Shengming, Wu Lin, Li Dong, Xu Xiao, Li Li. Modeling Research of Cognition Behavior for Intelligent Wargaming[J]. Journal of System Simulation, 2021, 33(9): 2037-2047.

# 面向智能化兵棋的认知行为建模方法研究

贺筱媛, 郭圣明, 吴琳, 李东, 许霄, 李丽

(国防大学 联合作战学院, 北京 100091)

**摘要:** 针对智能化兵棋系统建设运用过程中的认知行为建模问题, 提出一种基于角色-行动-场景 (Actor-Operations-Scene, AOS) 的指挥决策智能体认知行为建模框架, 探索了场景知识图谱服务、智能态势认知、智能决策规划和自主综合控制等关键认知行为模型的实现思路和方法, 为智能化兵棋系统建设及运用提供可行技术方案。

**关键词:** 智能化兵棋; 指挥决策智能体; 认知建模; 态势认知; 决策规划; 综合控制

中图分类号: TP391.9

文献标志码: A

文章编号: 1004-731X (2021) 09-2037-11

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.21-0727

## Modeling Research of Cognition Behavior for Intelligent Wargaming

He Xiaoyuan, Guo Shengming, Wu Lin, Li Dong, Xu Xiao, Li Li

(College of Joint Operations, National Defence University, Beijing 100091, China)

**Abstract:** Aiming at the problem of cognitive behavior modeling in the construction and application of intelligent wargaming system, one modeling framework based on Actor-Operations-Scene (AOS) was proposed for C2 agent in wargaming. Then the realization of cognitive behavior modeling method for C2 agent was explored, including the modeling for the scenario oriented knowledge graph, intelligent situation awareness, operational planning, integrated operational control. It provides a feasible scheme for the construction and application of intelligent wargaming system.

**Keywords:** intelligent wargaming; agent for command and control; cognition behavior modeling; situation awareness; operational planning; integrated operational control

## 引言

作为战争预实践的平台, 兵棋系统通常以“人在回路”或“人不在回路”的方式, 被广泛应用于指挥训练、方案评估、作战问题研究等领域<sup>[1]</sup>。随着以智能化为主要特征的世界新军事革命浪潮汹涌而来, 将人工智能技术和模拟仿真技术结合, 打造智能化的兵棋系统, 成为研究、应对、设计和实践未来智能化战争的有效手段, 受到各主要军事强国的高度重视<sup>[2]</sup>。美军更明确将推动人工智能技术应用和重振兵棋推演作为第三次抵消战略的核心战略, 并以此支撑全域作战、马赛克作战等新型作战

概念和作战样式的设计开发。

智能化兵棋系统中的“智能化”至少包含2个层面的涵义和需求:

(1) 兵棋实体行为及交互模型的智能化, 使兵棋模拟能够反映智能化战争的基本特征。相比于机械化战争对物理域的变革、信息化战争对信息域的变革, 智能化战争实现对认知域的颠覆, 认知空间的直接争夺和对抗成为智能化战争的显著特点。因此, 智能化兵棋除需要体现无人平台、蜂群等新质作战力量的物理空间行为(简称物理行为)建模外, 更应该突出认知空间中指挥决策实体的认知行为建模, 模拟指挥员及其指挥机构判断态势、优选方

收稿日期: 2021-07-21

修回日期: 2021-07-27

基金项目: 军民共用重大研究计划联合基金(U1435218)

第一作者: 贺筱媛(1968-), 女, 博士, 高工, 研究方向为军事运筹与智能决策。E-mail: bingling1922@126.com

案、制定计划及实施控制等功能,更好地支撑智能化条件下的认知对抗。

(2) 兵棋系统推演支撑环境的智能化,辅助指挥员运用兵棋系统进行推演活动,更好地认知智能化战争。复杂也是一种武器,美军马赛克作战的实质就是利用分布式人工智能为己方创造更多的可选择性,为敌方创造更大的战场复杂性,从而在认知上打败对手。因此,智能化兵棋系统,需要打造智能化的辅助决策系统和对抗推演环境,包括辅助态势理解、辅助任务规划、辅助作战控制,提供智能对抗对手、智能导调控制等,使推演人员更加专注指挥决策,更好认知战场,更快地处置情况。

而不管“内嵌”的兵棋实体行为及交互模型的智能化,还是“外挂”的辅助支撑手段和推演环境的智能化,其核心都是用智能技术模拟指挥员及其指挥机构进行态势判断、决策规划、作战控制、效能评估等认知行为。因此,兵棋系统智能化的关键就在于对指挥员及指挥机构的认知行为建模。这里的“认知”是广义的概念,既包括指挥员通过感知进行信息加工获取知识的思维过程,也包括依据知识形成解决方案并监控执行的思维过程,实际涵盖OODA(Oberve, Orient, Decide, Act)作战循环中观察、判断、决策3个环节,因此认知行为建模本质上是对认知思维过程的建模。通过构造各类指挥实体、辅助决策工具及智能对手等认知决策模型,模拟指挥员的认知思维过程,可有效提高智能化兵棋推演的合理性、科学性、对抗性和沉浸感,提升兵棋系统建设运用的质量效益。

如何进行认知行为建模,却一直是军事仿真建模领域一大难点。美国国防部建模与仿真办公室曾在研究报告“人和组织行为建模:在军事仿真中的应用”中指出<sup>[3]</sup>:“对个体、群体的认知行为建模很可能是人类迄今承担的最困难的工作。”基于CGF(Computer Generated Force)的智能实体模型<sup>[4-6]</sup>,如SAF(Semi-Automated Forces),IFOR(Intelligent Forces),CFOR(Command Forces)等虽然具有一定

独立完成面向作战目标的判断、规划、推理、决策等认知行为能力,但大多采用有限状态机(Finite State Machine, FSM)或产生式规则的专家系统实现,普遍存在过于教条、刻板等问题,缺乏多样性、灵活性和适应性,无法满足复杂战场情况下,尤其是智能化战争条件下的认知决策需求。究其原因,正如《孙子兵法·虚实篇》所说的:“人皆知我所以胜之形,而莫知吾所以制胜之形”,人类的指挥决策具有很强的艺术性,在很多情况下属于指挥者“运用之妙,存乎一心”的隐性思维活动,决策推理往往披有“只可意会、不可言传”的神秘面纱。因此,过去试图通过简单、机械、教条的规则去归纳指挥决策的复杂思维规律并设计认知决策模型,却寄希望智能体能像身经百战的指挥员一样具有丰富的指挥决策经验,并能像卓越的指挥员一样做出高明的决策,很难实现。

以深度学习、增强学习、知识图谱为代表的人工智能技术在围棋(AlphaGo, Muzero)、德州扑克(DeepStack)、星际争霸(AlphaStar)等对抗博弈领域及知识加工服务方面的突破<sup>[7-10]</sup>,为认知行为建模带来了曙光。但由于战争系统和人类认知活动的超高复杂性,传统建模理念和单一方法的运用难以实现满足认知行为建模的需求,需要依据指挥决策层次、认知功能机制和模型运用方式等多个维度,基于新的建模框架和方法,综合运用各种技术方法进行模型构建<sup>[11]</sup>。

基于以上考虑,本文基于复杂系统思想、人机融合理念和知识数据混合驱动方法,提出一种面向智能化兵棋的认知行为建模方法。该方法基于角色-行动-场景(Actor-Operations-Scene, AOS)的认知建模框架,面向具备认知能力的指挥决策智能体的构建问题,探索场景知识服务、智能态势认知、智能决策规划和自主综合控制等认知行为模型的实现思路和方法,为智能化兵棋系统建设运用提供可行技术方案。

# 1 面向兵棋指挥决策智能体的认知行为建模框架

## 1.1 认知行为建模与指挥决策智能体

在兵棋系统中, 主动仿真实体主要模拟能够单独执行或同其他实体一起执行具有意义的行动的实体, 是模拟人的认知和行为能力, 例如组织机构、个人、武器装备、部队单位等。按照认知行为和物理行为能力属性, 主动实体又可分为作战实体、指挥实体和复合实体。

“作战实体”指能遂行作战任务的仿真实体, 仅具有物理空间的行为能力, 如作战、侦察、保障实体等, 其认知判断能力和行动控制由推演人员直接或通过辅助工具进行指挥控制; “指挥实体”主要模拟担负组织、指挥其他智能实体(包括指挥实体和作战实体)遂行作战任务的仿真实体, 仅具备情况判断、指挥控制等认知行为能力, 包括联合战役指挥所、海军舰队指挥中心等实体, 其行动执行由其下属作战实体完成; “复合实体”兼具作战实体的物理行为属性和指挥决策实体的认知决策属性, 如指挥舰艇编队遂行海上作战任务的旗舰、指挥空中编队遂行空中作战任务的长机, 甚至能够进行自主态势判断、情况处置的飞行编队、合成部队等仿真实体。

理想情况下, 智能化兵棋的实体都应为复合实体, 即兼有物理行为能力和认知行为能力。然而, 目前大部分兵棋系统重点关注的是作战实体的物理行为建模, 而认知行为更多交给参与推演的人来完成, 即使有部分实体被赋予指挥实体或复合实体的角色, 但由于这些实体的认知行为能力有限, 导

致系统的智能性、可靠性、鲁棒性不高, 其根本原因就在于认知行为建模是对人认知决策思维过程的模拟, 与看得见、摸得着、可量化表征的物理空间行为建模具有本质的差别, 如表 1 所示。

为更好地体现认知行为模型特点, 将实体的认知属性从实体模型中抽取出来, 将其单独构建为具有上下级指挥关系和认知行为能力的认知行为模型, 统一称为指挥决策智能体。

相比于指挥实体, 指挥决策智能体是一个更加泛化的概念, 它既可以表示内嵌在兵棋系统中的各级指挥实体(如战区联指、旅指挥所等), 也可以是作为外挂辅助推演人员进行指挥对抗的辅助决策智能体(岗位替代、部门替代等), 还可以是智能蓝军系统或智能导调席位。

实际推演中, 指挥决策智能体接收上级作战意图和构想, 通过处理态势感知信息, 经过态势认知、决策规划和作战控制等思维过程, 形成态势判断结论、方案计划及组合指令等认知产品, 并控制下级指挥决策智能体或作战实体达成作战目标。指挥决策智能体实际是作战实体的指挥控制中心。

## 1.2 基于角色-行动-场景的认知建模框架

相对于作战实体, 指挥决策智能体具有更复杂的力量构成、行为要素和交互关系, 更重要的是其行为和交互体现的是认知空间的思维活动和效果, 难以基于传统实体-行为-交互(Entity-Behavior-Interaction, EBI)战争系统建模框架对其进行统一的抽象和描述。为此, 本文在 EBI 框架基础上, 提出一种基于 AOS 的指挥决策智能体认知建模框架。

表 1 实体认知行为建模与物理行为建模的差异

Tab. 1 Difference between entity cognition modeling and physical behavior modeling

建模	模型输入形式	过程	行为特点	模型输出形式
认知行为	上级作战意图 战和场态势特征	观察、判断、决策、控制等虚拟的思维过程	艺术性, 只可意会不可言传, 与推演人员经验、个性、喜好相关	判断结论/方案计划/组合指令等改变认知状态的产品
物理行为	行动指令参数	发射、防御、侦察等现实动作序列的执行过程	科学性, 可观察、可量化, 可显性表征, 与推演人员经验、个性、喜好无关	毁伤、探测等改变物理状态的效果

场景(Scenes)是描述角色所处战场环境要素的快照,由行动与环境交互产生<sup>[12]</sup>。场景模型即包括对战场各类实体属性、能力、状态及相互关系描述,同时也包括对事件、任务、意图及交互效果的描述。相对于客观存在的态势,场景包含了角色的认知判断,核心体现在态势认知上,其设计需要满足针对不同目标和行动的评估需求,如关键场景(枢纽态势)、目标场景(终止态势)的定义和选取。

行动(Operations)是指角色为达成作战目标,通过战场态势判断、推理、决策等认知行为产生的待执行的作战方案、计划及任务组合。行动模型由角色所属下级作战实体所能执行的任务(Task)及目标,按照一定因果逻辑关系组合而成,具有明确的目的性。行动的属性描述包括行动类型、行动内部的组成结构(包括所用力量规模、可用资源、任务属性)、逻辑关系(包括时序、因果、关联等)、风险因素、触发条件(时间触发、事件触发、场景触发等)及预期效果(战果战损、关键态势、目标态势等)。从指挥决策的角度看,行动是为完成作战任务所决策规划的 COA(Course Of Action)或一系列计划指令,其设计体现在决策规划上,是角色基于上级意图的理解进行层次化任务和目标分解的结果,需要针对不同的角色,体现不同的行动与场景之间的对应关系。

角色(Actors)是认知行为的主体,即带有上下级指挥关系的指挥决策实体。角色模型除了包括其下属作战实体的属性状态及物理行为,最重要的是要有本级的认知属性状态及认知行为能力<sup>[13]</sup>。认知属性状态主要指角色所具备的知识、经验、直觉等属性及所处情景(Scenario)状态,其中情景是指一定时间范围内的一系列关联的场景和行动序列。角色的认知行为能力包括感知、推理、决策、控制和学习等,其中感知是角色通过感知战场环境信息结合自身知识形成场景的过程;推理是利用知识、经验、直觉等匹配场景,形成新行动方案的过程;决策行为是根据角色的目标和当前状态,按照某种最优化准则选择最优行动方案和计划的过程;控制行为是

驱动所属作战实体执行方案计划并达成目标的过程;学习是角色在指挥控制过程中自主适应环境并形成新认知的过程。角色是具有作战和认知能力的指挥决策主体,其设计体现在总体控制上,需综合考虑指挥决策的组织实施过程中上级意图的接收与分解,又要考虑本级任务和目标的决策规划,同时还要考虑所属作战实体的协同控制。

在 AOS 模型框架下,指挥决策智能体的认知决策过程可以描述为基于上级意图的任务式指挥过程:角色接收上级意图和作战构想,通过态势认知形成构建决策场景描述,通过基于知识、经验、直觉等的推理决策等形成作战行动策略,基于行动策略驱动所属作战实体实现作战目标,同时通过反馈学习形成新的知识、经验或直觉,如图 1 所示。

## 2 指挥决策智能体认知行为模型构建方法

### 2.1 指挥决策智能体认知行为模型功能结构设计

基于 AOS 框架,指挥决策智能体模型关键在于场景模型、行动模型和角色模型的构建,而场景模型构建依赖于态势认知,行动模型设计体现于决策规划,而角色模型建模的关键在于综合控制模型及认知知识体系的构建。

本文设计了如图 2 所示的模型功能结构,主要包含场景知识图谱服务模型、智能态势认知模型、智能决策规划模型和智能综合控制模型。其中:基于场景知识图谱的知识服务模型主要用于角色感知、推理、决策、控制等认知行为的知识获取、组织和场景化服务;智能态势认知模型主要用于将不完全、不完美的复杂态势信息抽象加工形成场景,并进行关键场景的判断、识别和分类;智能决策规划模型主要基于场景和知识进行推理决策形成行动方案计划;综合控制模型一方面对方案计划的执行进行全局优化控制,另一方面控制智能体与上级指挥员(人或智能体)、场景知识图谱和作战仿真环境的交互。

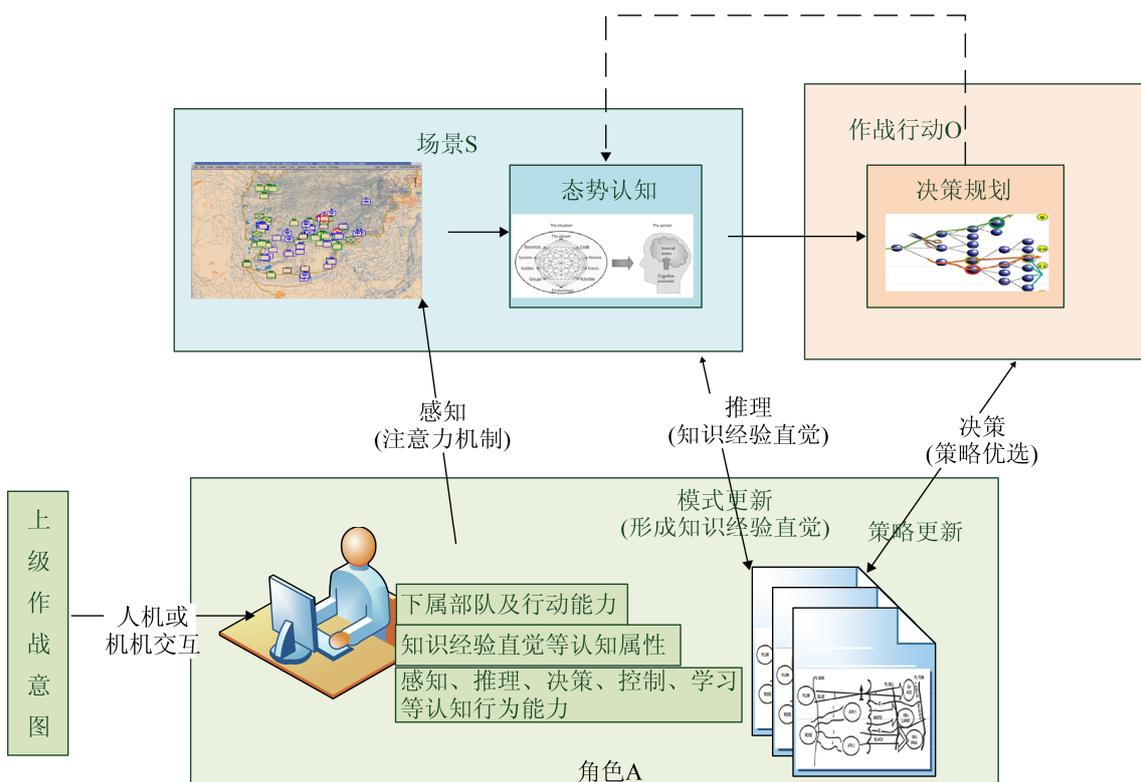


图 1 基于 AOS 框架的指挥决策智能体认知决策过程

Fig. 1 Procedure of C2 based on AOS

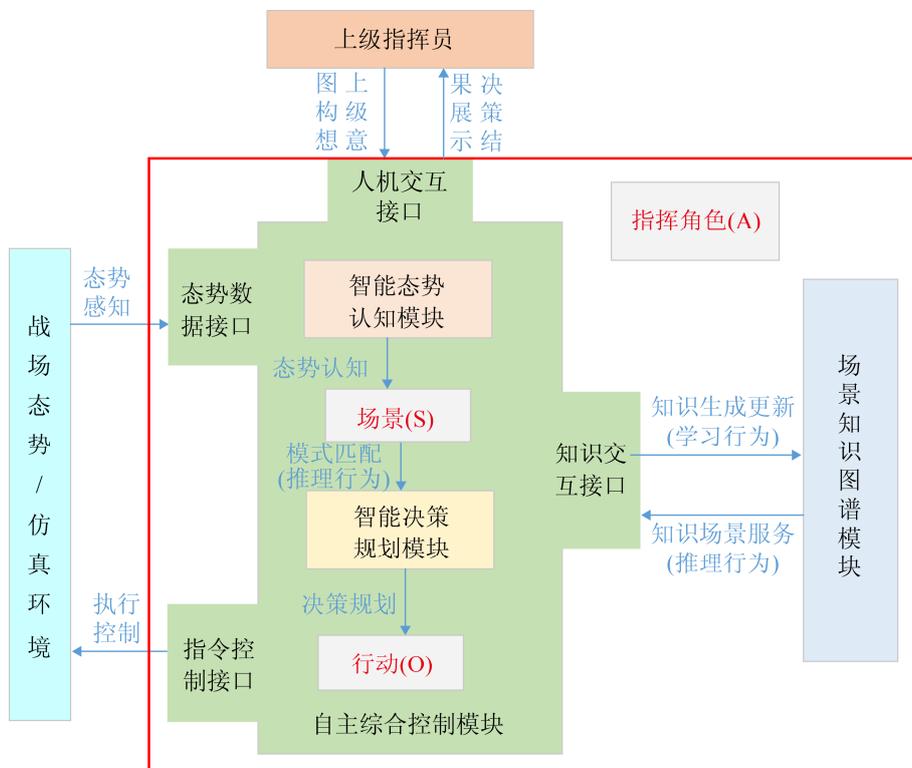


图 2 指挥决策智能体模型的功能结构

Fig. 2 Function structure of C2 agent

## 2.2 基于场景知识图谱的类脑化知识服务模式构建方法

作战是一门经验学科，而指挥是艺术和科学的结合<sup>[14]</sup>，指挥的艺术来自于指挥员阅历和知识基础上的经验直觉，可以说知识是指挥员赖以高效指挥决策的基础，认知建模的前提就是要将作战的常识、规则、条令、案例等知识进行有效地表征，服务认知模型进行推理判断和决策。

认知决策的知识可以分为3类：①科学知识，就是人类通过长期实践、归纳总结并能够以规则、定理、公式等形式化方法描述的规律性知识，比如基本作战知识和规则；②经验直觉知识，是指挥员在具备基本作战知识的基础上，通过实践内化到大脑中，所形成的“只可意会不可言传”的非形式化知识；③衍生知识，就是指挥员具备科学知识和经验知识的基础上，通过假定、想象、实验等方式衍化得出的知识。复杂系统的认知建模需要将规则、定理等显性知识和经验、直觉等隐性知识融合起来才更加完备。

知识图谱是进行知识组织和推理的有效手段。然而传统知识图谱仅模拟基于形式化知识的逻辑思维能力，缺乏基于非形式化知识的形象思维能力的模拟，更不具备逻辑思维与形象思维的交互联想能力，使得形式化知识和非形式化知识难以有效融

合与灵活推理，需要借鉴人脑的高效知识处理与灵活推理机制，通过类脑机制提高知识的处理速度和推理能力，减轻指挥决策智能体应对海量态势信息的认知负载，弥补机器对碎片和稀疏知识认知的局限，以辅助指挥员获得更快、更全、更准、更深的认知结果。基于此，本文提出了基于场景知识图谱的类脑化服务模式，通过生成场景依赖的知识图谱在具体场景下进行认知推理，被称为知识类脑化，其核心是基于指挥决策智能体所处的具体场景，把认知决策所需的显性与隐性知识总结出来，构建包含具体作战场景、指挥决策过程、相关条令法规和武器装备等作战知识的全息类脑知识图谱，通过基于场景知识的自主演化成长，建立指挥决策智能体主观认知基础。包括类脑化知识的组织，工具化生成和场景化服务。其中类脑化知识的组织是实现基于场景的知识体系描述；工具化生成是单向开放环境下知识网络的自动生成和成长；场景化服务是建立起与智能运用系统的支撑与反馈接口。

(1) 场景驱动的知识图谱类脑构建。其核心是对作战场景要素的分解，如图3所示。在作战要素分解的基础上，通过感知关联机制获得相关场景要素知识，经类脑化处理后，最终得到类脑知识图谱，包含当前场景下的即时知识图谱、短时知识图谱以及通过案例总结的长时知识图谱。

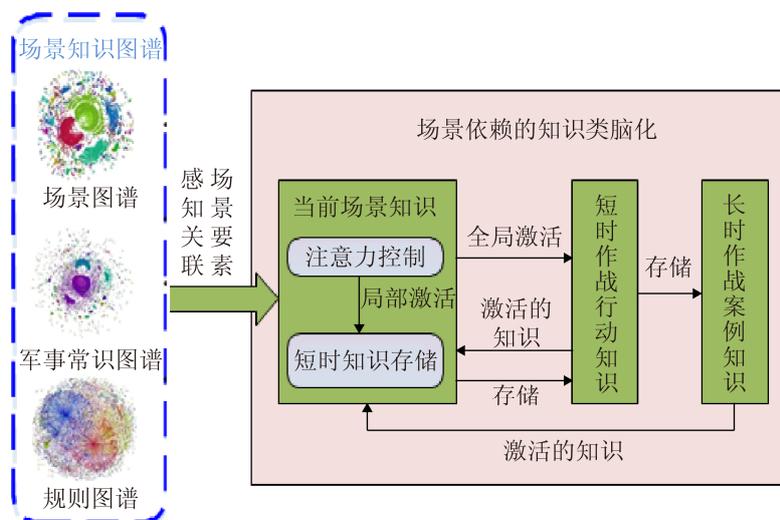


图3 类脑化知识图谱构建  
Fig. 3 Building of mind-oriented knowledge graph

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

• 2042 •

(2) 类脑知识图谱的成长进化。其核心是解决封闭数据环境下复杂知识图谱的进化成长问题。包含认知反馈更新、知识推理扩展和知识扩充更新 3 种成长方式, 如图 4 所示。

### 2.3 面向场景生成的智能态势认知模型构建方法

智能指挥决策以有效的态势认知为前提。目前, 针对态势认知已有了较多研究, 如基于知识的专家系统、战场势能图、D-S 证据理论等。近年来又出现了以大数据挖掘、深度强化学习、复杂网络分析等技术为代表的智能技术, 极大地推进了态势认知研究的进展。但到了战役层级, 一方面由于战场态势的高度复杂性导致现有的态势认知技术无法很好地实现对战场态势的有效认知; 另一方面以深度强化学习为代表的先进智能技术可解释性不足, 也限制了其在态势认知领域的应用。为了解决这一问题, 本文设计了以面向场景生成的人机融合态势认知框架, 将多种智能技术嵌入到指挥员认知过程, 由此实现人机的互理解, 并在此基础上进一

步实现态势认知的可解释性。

指挥员及其指挥机构进行态势认知的过程可区分为多源态势数据获取、态势信息表示、态势信息融合以及态势预测及推理, 如图 5 所示。该框架下, 为实现有效的态势认知, 在获取多源态势数据的基础上, 机器智能辅助指挥员首先将战场态势抽象为多层的作战能力空间分布图, 能力分布图颜色的深浅变化表示作战能力在空间范围内的强弱变化, 在有效提取态势特征的同时降低态势表示的复杂度, 以此构建人机对于态势信息共同理解的语义基础。

态势信息融合将人类知识和作战能力空间分布图进行深度融合, 利用人类知识补充作战能力空间分布图对于态势信息表达的不完整性和局限性, 并运用注意力机制引导机器进行态势认知。可供利用的智能技术包含知识表示与推理(Knowledge Representation and Reasoning, KRR)、多智能体系统(Multi-Agent Systems, MAS)、机器学习(Machine Learning, ML)等。

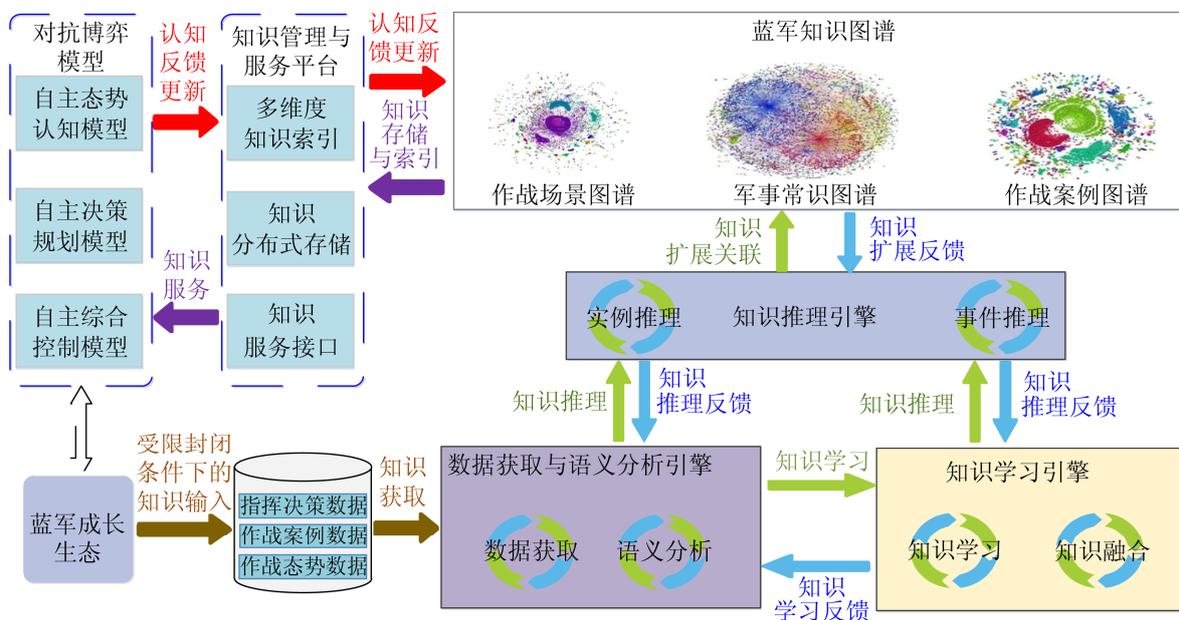


图 4 类脑知识图谱更新过程  
Fig. 4 Update process of mind oriented knowledge graph

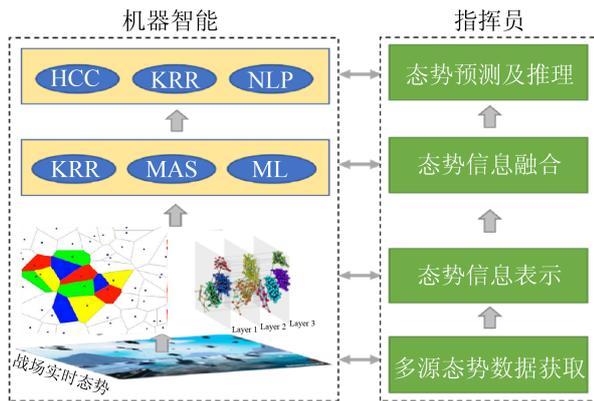


图5 人机融合态势认知框架

Fig. 5 Framework for human-machine integrated situation awareness

态势认知的结果仍然表示为作战能力空间分布图,此时该能力分布图最终反映作战空间范围内,作战能力在未来 $T$ 时间内的分布,可以作为场景的描述方式。但作战能力空间分布图生成过程中,对态势信息进行了大量的抽象和融合,造成敌我力量对比、飞机在空数量、敌重点目标损伤情况、红蓝作战任务和意图等对指挥官指挥决策需重点关注的细节性态势特征信息的缺失,如果仅以作战能力空间分布图作为场景的描述方式,智能决策模型将无法有效识别态势细节特征。

为解决上述问题,在作战能力空间分布基础上,设计关键信息标签、基础信息标签2类统计性态势特征信息用于描述战场态势的细节性信息,最终形成由作战能力空间分布图、关键信息标签、基础信息标签共同构成场景特征信息。其中基础信息标签包括时间、场景关联等态势要素,关键信息标签包括关键目标位置、关键动作、行为意图等特

征。因此,基于态势认知结果构建的场景可以如图6所示进行描述。统一抽象的场景为指挥决策智能体进行感知、推理、决策、控制、学习等认知行为以及角色知识库的构建提供了共同的特征描述标准体系。

## 2.4 知识与数据融合的决策规划模型构建方法

美军将作战决策定义为“选择能达成任务最佳行动方案的过程”。美军FM6-0将决策分为2类:分析式决策(Analytic Decision Making)和直觉式决策(Intuitive Decision Making)。分析式决策以MDMP (Military Decision Making Process)为典型代表,更多是在计划阶段使用,需要考虑的因素较为全面。分析式决策的基本思路是在充分分析任务的基础上拟制多套行动方案,然后进行比较择优,选择最优方案执行,实际代表了基于知识推理的慢思考过程;直觉式决策以RDSP (Rapid Decision-making and Synchronization Process)为典型代表,更多是在作战执行阶段使用,要求快速采取相应行动。直觉式决策主要聚焦当前状况,直接产生可行的解决方案,指挥员素养、经验、直觉及个性特质等是影响直觉式决策的关键因素,实际代表了基于直觉经验的快思考过程。

因此,基于知识驱动的分析式决策和基于数据驱动的经验直觉式决策相结合,是解决智能决策规划问题的有效路径。基于此,本文设计了如图7所示的自主决策规划流程框架。

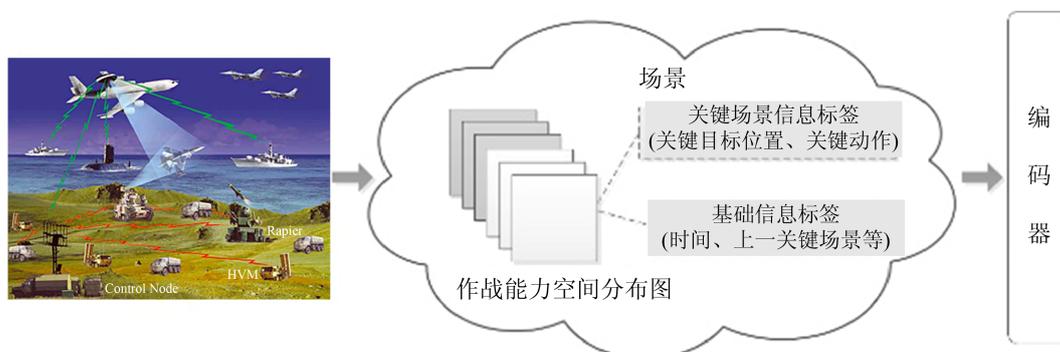


图6 场景构建示意图

Fig. 6 Illustration for construction of scene

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

• 2044 •

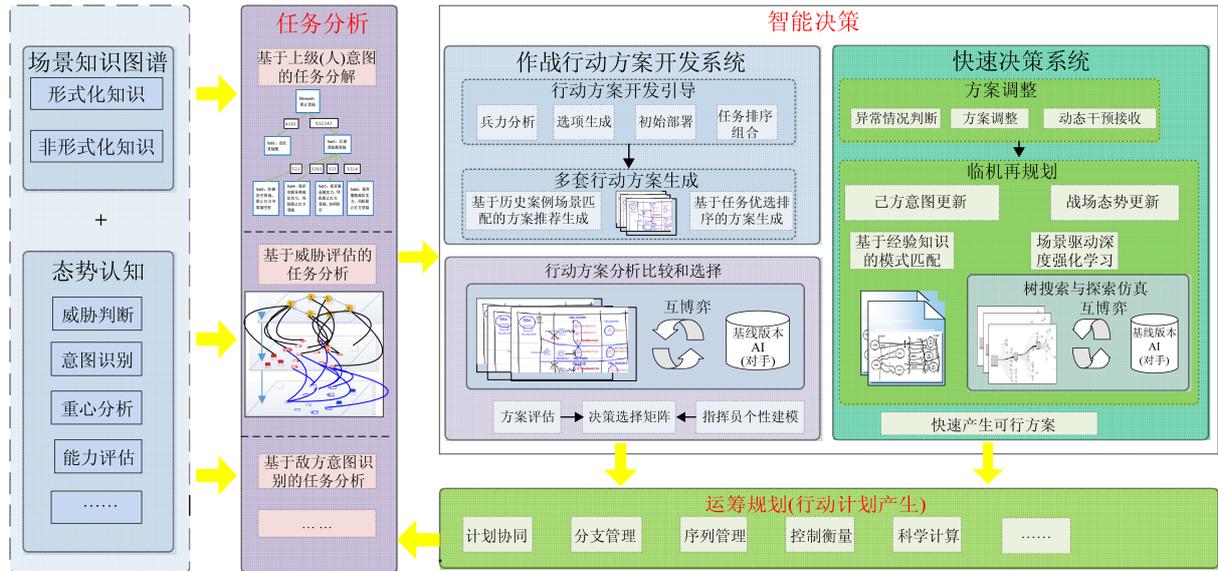


图 7 自主决策规划模型设计

Fig. 7 Model design of intelligent operational planning

任务分析是进行决策的基础。在接收任务和态势认知的基础上,分别按照上级意图、威胁评估和敌方情况进行任务分析和分解,形成任务池。

智能决策部分包括作战行动方案开发系统和快速决策系统,分别完成对分析式决策和直觉式决策的模拟。前者模拟指挥员运用规则条令等正式化知识和一切可用资源,在充分考虑各种因素基础上形成的分析式决策在行动方案开发引导程序的基础上,自主生成或推荐产生多套行动方案(COA),进行行动方案分析、比较和选择;后者模拟指挥员聚焦当前状况,直接产生可行的解决方案,采用神经网络对指挥员素养、经验、直觉及个性特质建模,采用深度强化学习和层次强化学习决策。

智能规划部分等效联合规划系统以及相关军兵种支持的典型任务规划系统,包含科学计算和作战计划自动生成 2 部分。科学计算考虑多任务分支管理和协同等现实需求,将作战目标、可用资源、分支协同、冲突消解等因素表示成目标函数及约束条件,任务规划问题形式化后,按照数学问题的性质采用不同的计算方法求解;作战计划自动生成支持从作战方案到作战计划的自动转译,并考虑运筹规划的结果,形成可执行的详细作战计划。

## 2.5 人机融合的综合控制模型构建方法

红蓝对抗过程中,双方均包含多域多层、相互嵌套、并发运行的 OODA 环,而指挥决策智能体主要实现多重 OODA 循环下的自主博弈。自主综合控制是将态势智能认知与智能决策规划进行统筹管控,以协同运行的方式,实现面向群体智能和开放环境的指挥决策智能体自主决策。其与智能态势认知和智能决策规划的关系,包含了对内控制和对外控制 2 个方面的内容。对内控制实现对多智能体及其指挥决策协同的控制,包括 OODA 环内部控制、多智能体/人协调控制、多 OODA 环控制和 OODA 环进化控制;对外控制实现认知决策智能模型与类脑知识图谱、外部生态环境的交互控制,包括计算、数据资源的管理分配、外接应用系统接口控制、验证评估反馈控制和人机交互控制。

在架构设计上,自主综合控制提供应用调度、人机融合、学习进化等控制功能,其总体架构如图 8 所示。智能模型驱动调度是自主综合控制框架的核心,实现整体指挥决策智能化的关键组件。不仅提供个体智能模型的运行支撑,还需要在整个认知活动的层次,为多智能模型提供一个联合运行环境,实现对各模型的组合调用与协同控制。

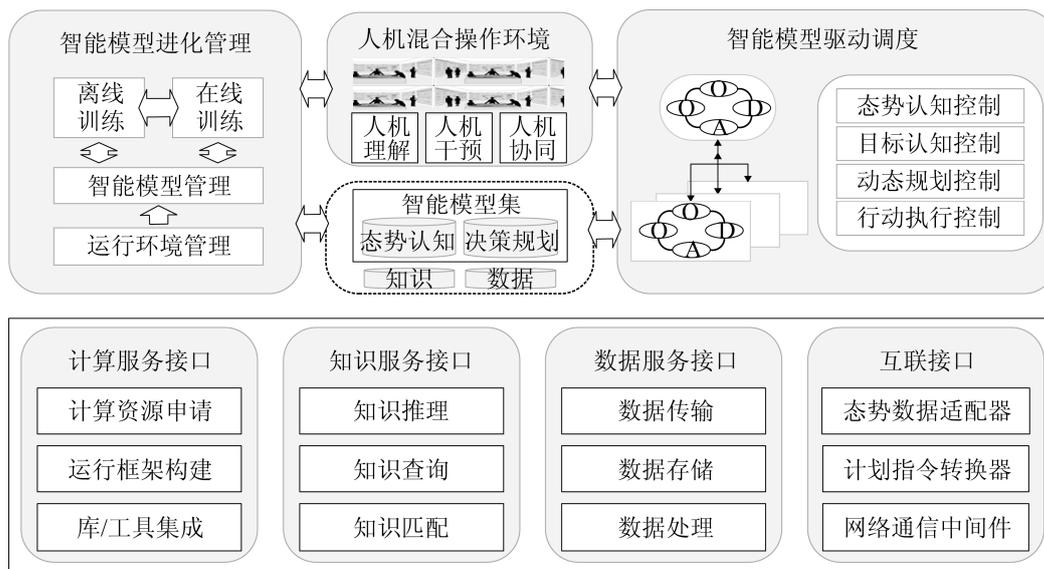


图8 自主综合控制架构设计

Fig. 8 Architecture design of intelligent integrated control

模型驱动提供关于智能模型的基本调用，而模型调度是将智能模型组织起来，以一定的逻辑协同运行，过程上体现出指挥决策智能体对多层多域并发OODA活动的管理过程，效果上涌现智能。

智能模型进化管理围绕着智能模型的训练更新而构建，需要能够配置训练所需的软硬件支撑环境、能够对智能模型进行更新管理、能够配置离线训练和在线训练的流程，主要对业务逻辑过程的资源管理与调度提出要求。

人机混合操作环境既将机器决策过程中的信息提供给人，又需要人的干预引导机器决策，是关于人机融合的应用框架。人机混合决策是指指挥决策智能体的主要运用模式，在不同的机器智能化和自主程度上，应该有不同的交互模式，也对应着指挥决策智能体不断进化完善的过程。

### 3 结论

本文面向智能化兵棋系统建设需求，提出一种指挥决策智能体的认知建模方法。该方法基于AOS的认知建模框架，面向具备认知能力的指挥决策智能体的构建问题，探索了场景知识服务、智能态势认知、智能决策规划和自主综合控制等认知决策模

型的实现思路和方法，为智能化兵棋系统建设运用提供可行技术方案。在下一步的工作中，面向特定层次指挥决策智能体，结合具体想定场景对相关方法进行算法设计和仿真实验，验证该认知行为建模方法的可行性。

### 参考文献:

- [1] 胡晓峰, 司光亚, 吴琳, 等. 战争模拟原理与系统[M]. 北京: 国防大学出版社, 2009: 386-387.  
Hu Xiaofeng, Si Guangya, Wu Lin, et al. War Gaming & Simulation Principle and System[M]. Beijing: National Defense University Press, 2009: 386-387.
- [2] 胡晓峰, 贺筱媛, 陶九阳. AlphaGo的突破与兵棋推演的挑战[J]. 科技导报, 2017, 35(21): 49-60.  
Hu Xiaofeng, He Xiaoyuan, Tao Jiuyang. AlphaGo's Breakthrough and Challenges of Wargaming[J]. Science & Technology Review, 2017, 35(21): 49-60.
- [3] Pew R W, Mavor A S. Modeling Human and Organizational Behavior: Application to Military Simulations[M]. Washington, DC: National Academy Press, 1998: 1-19.
- [4] Reece D, Brett B, Franceschini D, et al. ModSAF as a Model of Cognition[C]//Eleventh Conference on Computer-Generated Forces and Behavior Representation. SAIC 12901 Science Drive Orlando, FL, 2002:325-335.
- [5] Courtemanche A J, Wittman R L. OneSAF: A Product Line Approach for a Next-Generation CGF[C]//Eleventh

- Conference on Computer-Generated Forces and Behavior Representation. SAIC 12901 Science Drive Orlando, FL, 2002: 32826-33014.
- [6] Salisbury Marnie R, Seidel David W, Booker Lashon B. A Brief Review of the Command Forces (CFOR) Program[C]//Winter Simulation Conference Proceedings, Orlando, Florida: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1996: 1-8.
- [7] Silver D, Huang A, Maddison C J, et al. Mastering the Game of Go with Deep Neural Networks and Tree Search[J]. Nature (S0028-0836), 2016, 529(7587): 484-489.
- [8] Schrittwieser, J., Antonoglou, I., Hubert, T. et al. Mastering Atari, Go, Chess and Shogi by Planning with a Learned Model[J]. Nature(S0028-0836), 2020, 588(7839): 604-609.
- [9] Brown N, Sandholm T. Superhuman AI for Heads-up No-limit Poker: Libratus Beats Top Professionals[J]. Science (S0036-8075), 2017, 359(6374): 1733.
- [10] Vinyals O, Babuschkin I, Czarnecki W M, et al. Grandmaster Level in StarCraft II Using Multi-agent Reinforcement learning[J]. Nature (S0028-0836), 2019, 575(7782): 350-354.
- [11] 胡晓峰, 贺筱媛, 陶九阳. 认知仿真: 是复杂系统建模的新途径吗?[J]. 科技导报, 2018, 36(12): 46-54.  
Hu Xiaofeng, He Xiaoyuan, Tao Jiuyang. Cognitive Simulation: Is It a New Approach for Complex System modeling?[J]. Science & Technology Review, 2018, 36(12): 46-54.
- [12] Ulbrich S, Menzel T, Reschka A, et al. Defining and Substantiating the Terms Scene, Situation and Scenario for automated Driving[C]//2015 IEEE 18<sup>th</sup> International Conference on Intelligent Transportation Systems. Gran Canaria, Spain: Nstitute of Electrical and Electronics Engineers, 2015: 982-988.
- [13] 吴金平, 王永浩, 田立业. 潜艇作战实体认知行为建模研究[C]//第 18 届中国系统仿真技术及其应用学术年会论文集(18<sup>th</sup> CCSSTA 2017), 安徽, 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2017: 66-70.  
Wu Jinping, Wang Yonghao, Tian Liye. Modeling Research of Entity Cognition Behaviors in Submarine Operation[C]// 18th Conference of China System Simulation Technology & Application. Hefei, Anhui: University of Science and Technology of China Press, 2017: 57-61.
- [14] 胡晓峰. 战争工程论: 走向信息时代的战争方法学[M]. 北京: 国防大学出版社, 2013: 1-50.  
Hu Xiaofeng. On War System Engineering:Methodology Towards Information Age's War[M]. Beijing: National Defense University Press, 2013: 1-50.