

# 联合作战任务智能规划关键技术及其应用思考

曹雷<sup>1</sup>, 孙或<sup>1,2</sup>, 陈希亮<sup>1</sup>, 吴宜珈<sup>1,3</sup>

(1. 陆军工程大学, 江苏 南京 210001; 2. 31102 部队, 江苏 南京 210000; 3. 32526 部队, 江苏 无锡 214000)

**[摘要]** 作战任务规划是战场指挥和决策的关键一环。随着多军兵种联合作战思想的发展与成熟, 作战任务规划领域正成为传统作战指挥方法与各类新兴技术相结合的集中点, 该领域也不断成为智能化指挥和决策指导未来作战的核心点。本文主要阐述了作战任务规划的基本概念和智能化需求, 并结合战区级联合任务规划系统对智能化关键技术进行了分析研究, 提出了几种具体技术实现架构, 并对未来研究做出了展望。

**[关键词]** 作战任务规划; 深度强化学习; 联合作战; 智能化战役决策

**[中图分类号]** TP391/E91 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1671-4547(2020)03-0049-08

DOI: 10.13943/j.issn.1671-4547.2020.03.10

## 1 引言

随着以人工智能、大数据和云网络等为代表的新兴尖端科技在民用领域蓬勃发展, 特别是以深度学习和强化学习为代表的机器学习技术在路径规划、博弈对抗和即时策略游戏等领域所取得的重大进展, 如 AlphaGo 在围棋领域战胜世界冠军李世石, Alphastan 在星际争霸电子游戏中击败高水平人类玩家等, 民用领域的鲜活事例为加速军用任务规划技术从纯手工作业模式到信息化模式再到决策智能化模式的发展思路提供了很好的启发和借鉴。

虽然目前的人工智能技术还无法全方位解决联合作战任务规划过程中遇到的所有问题, 但在一些局部环节, 如行动序列生成与优化、临机辅助决策行为推荐等方面已经能够为联合作战任务规划提供较强助力。本文认为, 在联合作战即将成为下一步军事变革集中发展方向的今日, 军用任务规划技术与人工智能技术的深度融合必将成为军队从信息化迈向智能化的重要发展方向之一。

## 2 概念分类及发展意义

### 2.1 基本概念

什么是作战任务规划, 目前在国内或军内还没有一致的定义, 外军将其称之为 mission plan 或 operational plan, 这一术语最先是由空军的航线规划体系发展而来的。参照军事运筹学当中对于规划的解释, 一个规划的过程可分三步实现, 一是按照任务要求设计约束条件, 二是综合约束条件形成可行域, 三是根据可行域得出最优解<sup>[1]</sup>。与之类似, 作战任务规划是在现有作战规则的条件下, 运用数学工具和计算机技术, 针对作战任务, 按照标准化的作业流程综合分析敌我情势, 对作战资源、运用方式、作战目标、作战进程、作战行动和作战路线等进行综合筹划和详细设计的过程。其本质是采用工程计算的思想设计战争, 准确化作战思路, 明确化作战样式, 具体化作战行动, 以便迅速精确地生成作战方案、行动计划和任务命令, 从而提高指挥员的指挥效能<sup>[2]</sup>。

**[收稿日期]** 2019-12-06 **[修回日期]** 2020-04-07 **[采用日期]** 2020-04-26

**[基金项目]** 国家重点研发计划(2016YFC0800606)、中国工程院重点咨询课题(2017-XZ-05)、江苏省自然科学基金(BK20161469, BK20150721)、江苏省重点研发计划(BE2015728、BE2016904)

**[作者简介]** 曹雷, 男, 教授, 硕士生导师, 研究方向为指挥信息系统工程及决策理论与方法; 孙或, 男, 助理工程师, 硕士研究生, 研究方向为智能化指挥控制; 陈希亮, 男, 博士, 副教授, 研究方向为深度强化学习、指挥信息系统工程; 吴宜珈, 女, 助理工程师, 硕士研究生, 研究方向为深度强化学习、人工智能。

## 2.2 分类

作战任务规划按照层级可主要分为战略战役层、战术层和武器装备层。战略战役层主要遂行战争设计和联合战役指挥决策等任务;战术层主要遂行单个作战行动设计和军兵种分队协同等任务;武器装备层主要遂行武器平台的航迹和路径规划等任务<sup>[3]</sup>。本文主要论述战区级别的联合作战任务规划技术及其系统构想。

## 2.3 发展意义

无论是从战场态势、作战维度、信息复杂程度还是人员装备等要素来说,现代战争的运行远远超过了人脑的运转负荷,必须依靠任务规划技术及以计算机平台为基础的任务规划系统才能实现对战场的全局把握及准确决策。传统的任务规划技术从本质上来说还是以仿真模型和数据处理为基本框架的模拟执行系统,主要按照指挥员和参谋人员的意图实现辅助决策、模拟评估和行动调度管理等目标,基本解决了手工作业电子化的问题,但在战场态势研判和智能化决策等方面并没有实际意义上的突破。而人工智能技术在感知智能与认知智能方面取得的突破性进展为解决联合作战任务规划问题提供了思路。美军“第三次抵消战略”的核心思想就是利用人工智能技术加快“观察-判定-决策-行动”(OODA)指挥控制的循环,同时打破对手的OODA环,本质上就是利用人工智能技术提高指挥决策的速度与质量<sup>[4]</sup>。战区作为主要作战方向的指挥中枢,往往处在对敌军事行动的一线,迫切需要以深度学习、强化学习、大数据和数据挖掘等新兴科技为驱动,加紧开展符合战区智能化作战需要的任务规划技术和体系研究与建设,提高战役战术级别指挥决策的速度及准度,为打赢未来智能化战争奠定基础。

# 3 研究现状和智能化需求

## 3.1 外军现状

自20世纪70年代以来,西方军事强国大力发展作战任务规划系统,并取得了重要进展。作战任务规划系统已成为其规划与组织作战的必备工具,最具代表性的当属美军的作战任务规划系统。经过数十年的持续发展和实战检验,该系统目前已完成从战略到战役再到战术全覆盖、成体系的作战任务规划系统建设,能够支持从战略制

定到行动规划再到武器使用等多个层级的作战样态,经历了海湾战争、科索沃战争、伊拉克战争和阿富汗战争等近几场现代化局部战争的实战检验,在牵引美军军事变革并全面提升美军体系作战能力方面发挥了不可或缺的作用<sup>[5]</sup>。美军的作战任务规划系统经过长期积累与实战运用,逐步形成集流程、人员及方法手段为一体的作战任务规划体系,规划层次清晰,分为战略规划、战役任务规划和战术任务规划三层,每个层次解决不同的规划问题,每一层次的规划都有相应的规划系统作为支撑,且各类规划系统之间有效衔接,互为体系。其作战任务规划体系可以用“二类规划(周密规划、危机行动规划)、三个层级(战略战役层、战术行动层、武器平台层)、四种系统(联合作战规划执行系统、战役规划支撑系统、兵种行动规划系统、战术任务规划系统)和五种成果(作战计划、方案计划、职能计划、作战命令、任务加载数据)”进行概括。随着人工智能技术的兴起,美军也在不断寻求将人工智能技术和作战任务规划进行融合,如“深绿”(Deep Green,简称DG)计划意图建立与真实战场实时同步的虚拟仿真系统,实现作战指挥的实时决策。

其他西方军事大国在任务规划系统建设和发展方面也取得了重要进展且各有特色。法军依托著名的达索航空工业公司着重发展以Pathfinder 2000为代表的各类飞行作战任务规划系统,目前已有多种衍生版本,主要承担飞行导航、空战模拟和路径规划等专项任务;英军则侧重战术导弹等武器平台的任务规划系统研究,主要有战斧Block-III型导弹规划系统和潜射弹道导弹规划系统等,已在马岛战争和阿富汗战争等多次局部军事冲突中得到应用。

## 3.2 军队现状及智能化需求

相较而言,军队任务规划体系的建设和发展较为滞后。但近年来,随着军队编制体制的不断调整改革和发展理念不断完善优化,军用任务规划技术和体系建设正处在发展的快车道上。总体来说,目前军队重点关注作战任务规划系统中基础理论与模型算法的研究,如资源冲突消解算法、自组织动态任务规划方法、战术决策支持系统和任务规划问题建模与优化技术等,成熟且专业的作战任务规划系统较少,战役战术级别的任务规划系统多处在预研阶段<sup>[6]</sup>。由于战区作战行

动涉及多军兵种联动, 无论是战场环境还是敌情我情都相对复杂, 在设计作战行动计划中往往要考虑到各类复杂情况, 这就对任务规划提出了更高要求。

一是要实现战场态势的主动感知及精确判断。无论是战前预先规划还是作战行动中的临机规划, 都建立在对战场态势准确和快速理解的基础之上, 长期以来, 这项工作主要依赖人工判读和预测。现代联合作战的“陆、海、空、天、火、电、网”多维态势融合, 战场空间急剧扩展且相互交连, 要求任务规划系统能够快速自主分析敌我兵力部署、装备情况和地理特征对战役的影响并做出基本预判。

二是实现高效快速的任務规划及应变规划。要实现根据态势及环境变化快速形成甚至调整作战方案计划, 就迫切需要发展作战计划智能生成技术, 加快决策速度, 在瞬息万变的形势中赢得战争的主动权。

三是提升作战方案的推演及智能化评估能力。现代战争中, 方案计划的复杂度和囊括度呈指数级攀升, 指挥参谋人员有限的决策能力越来

越无法适应急剧变化的战场需求。这就需要系统具备处理海量样本数据、形成多种决策方案的智能化作战方案推演和评估能力, 可辅助指挥参谋人员在资源、装备、人员、空间和环境等多方向和视角综合分析战场中的敌情我情, 对战争的趋势和走向做出预判。

#### 4 联合作战任务智能规划系统总体框架

联合作战任务智能规划系统着眼构建战区级智能化作战任务规划系统, 为战区指挥机构进行联合作战筹划提供科学高效的方法手段, 并按照标准化的作战流程、交战规则和指挥作业程序, 区分预先规划和临机规划, 对作战行动、作战要素和作战资源进行精细筹划, 推动军队从传统粗放的作战筹划向全面精细的作战规划转变。以期改变军队基本上按预先概略计划各自为战的现状, 发挥体系对抗的整体威力, 并协同战区以下各军兵种战术及武器平台任务规划系统建设, 力求实现任务规划体系全域覆盖的最终目标。战区级联合作战任务规划流程如图1所示。

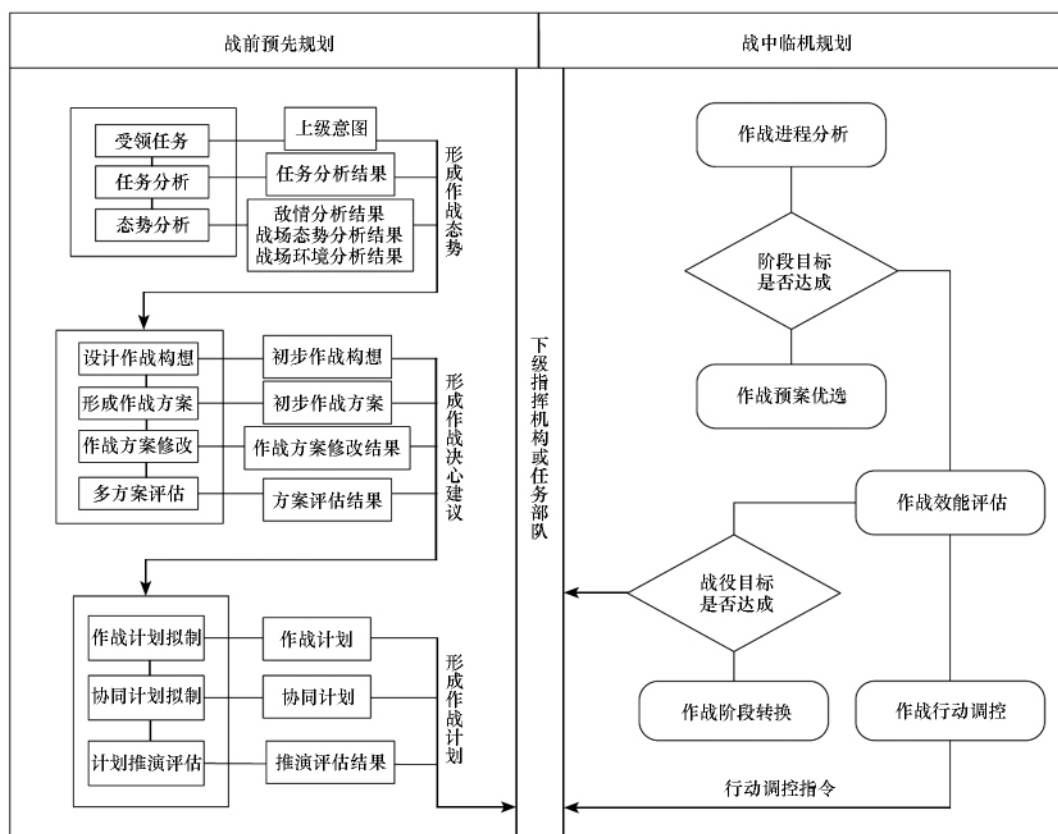


图1 战区级联合作战任务规划流程

系统在组成框架上按照“一整套系统、四方面层级、多元化应用”的方式进行布置。采用面向服务的软件架构,分为数据模型、规划环境、

公共业务和数据显示等层次,构建标准统一、接口一致并可互联互通的软件框架,系统按需定制、灵活部署,总体框架如图2所示。

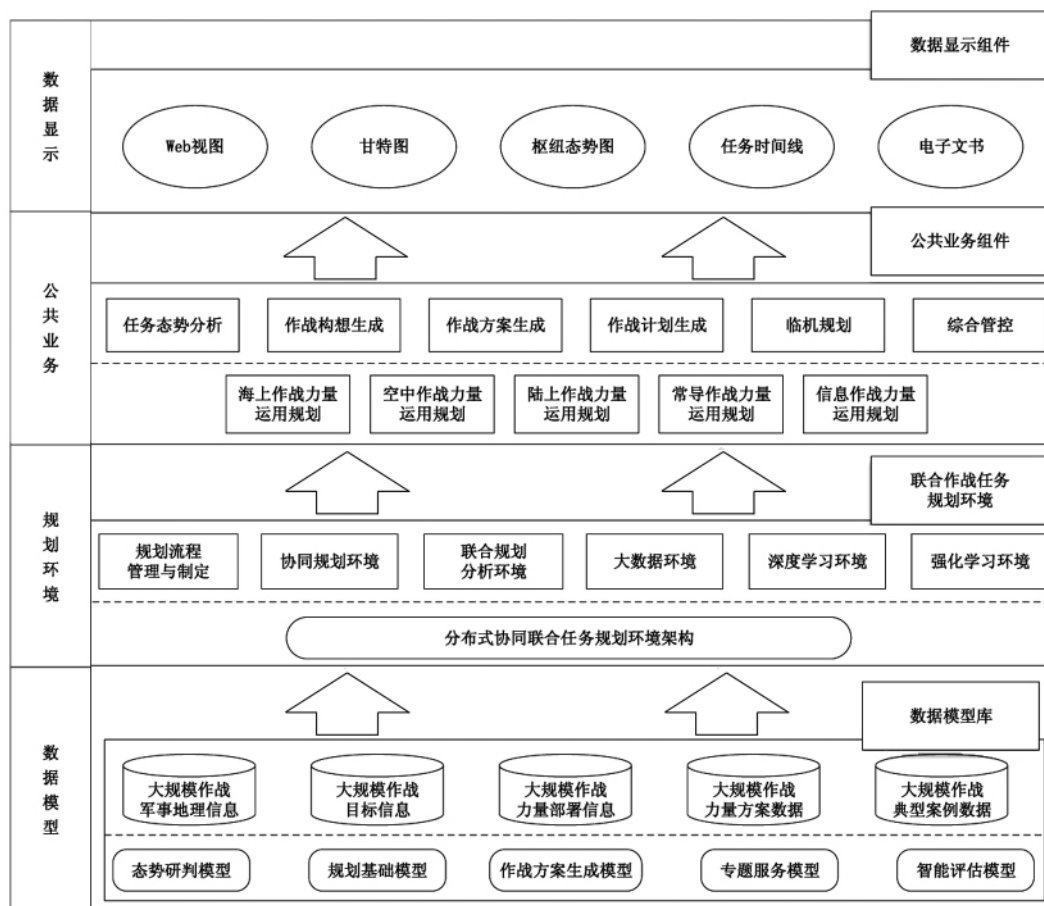


图2 联合作战任务规划总体框架

数据模型层: 包括态势研判、多维多军兵种任务规划、作战方案分析与生成、专题服务和智能评估等基础模型架构。在此基础上结合军事地理、作战目标、力量部署、力量方案和典型案例等数据信息进行模型集成,为作战任务规划提供智能化支撑。

规划环境层: 包括深度学习、大数据、强化学习、协同规划、联合规划分析和规划流程管理等联合作战规划环境,采用分布式协同组合架构,能够支撑战区内作战任务部队的基本业务管理。

公共业务层: 包括各军兵种作战力量运用规划模块,集中完成任务态势分析、作战构想、方案、计划生成、临机规划生成和综合管控等主要业务。

数据显示层: 包括 Web 视图、甘特图、枢纽

态势图、任务时间线和电子文书等数据显示组件,主要实现作战任务规划各项数据的可视化直观展现。

## 5 关键智能技术及运用

以建设战区联合作战任务智能规划系统为主旨,围绕战场态势预先感知、作战方案计划生成、作战进程模拟仿真与推演评估等内容,研究战场态势智能感知与分析、自主化生成作战计划、智能化仿真推演与评估等核心技术,以提升联合作战任务规划能力为导向。本文将按照OODA环的组织实施流程对联合作战任务智能规划系统的关键技术及应用进行阐述。

### 5.1 战场态势智能感知技术

态势智能感知技术主要用于对区域联合作战

环境下的战场态势数据进行提取和分析, 并融合相关信息知识评估当前态势并对未来态势进行预测, 为产生作战方案提供信息支撑<sup>[7]</sup>。该技术主要用于提升 OODA 环中的观察和判定能力。第一, 该技术以指挥员的军事指挥经验为牵引, 以联合作战任务为导向, 利用模糊认知技术进行认知建模; 第二, 利用多智能体学习方法对多军兵

种联合作战的协同配合进行仿真模拟; 第三, 利用深度学习方法构建以大数据为基础的非线性神经网络模型, 实现对战时态势的有效感知和准确评估, 预测敌方作战部署、作战意图、作战动向以及敌我双方作战力量对比。战场态势智能感知技术是提升联合任务规划能力的基础和关键, 它在联合作战任务规划体系中的流程框架如图 3 所示。

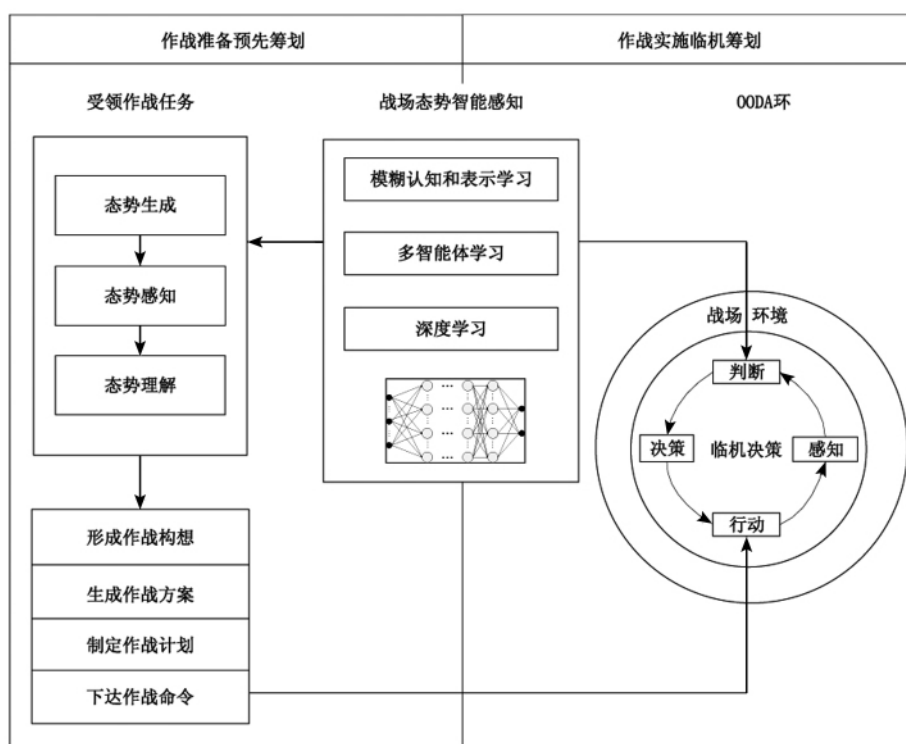


图 3 战场态势智能感知技术流程框架

首先, 利用模糊认知和表示学习技术, 结合概率论、模糊数据论等理论综合解决战场态势复杂性、模糊性、涌现性和不确定性等问题<sup>[8]</sup>, 特别是针对信息维度极高和作战力量多元化程度极强的联合作战战场态势, 能够生成较好的形式化生成和参数化表征能力, 为指挥决策提供依据。其次, 基于单智能体的个体认知, 利用多智能体学习技术并综合考量形成整体化的态势认知结果, 结合多种博弈理论方法进行探索, 同时针对联合作战中各军兵种协同实施模拟仿真, 从而整合成为群体协作认知。最后, 将深度学习技术与人机交互技术相结合, 以指挥人员的军事专业知识为依据, 通过改变深度神经网络中的网络层数和节点数量, 强化对敏感态势的认知水平, 进而达到仿真学习指挥人员的行为认知的目标, 实现在联合作战环境下对态势的高效评估和预测。

## 5.2 基于任务分层和行动推理的作战计划生成技术

以联合作战为代表的现代化作战样式的代表性特点就是作战节奏极快, 敌我双方对抗极为激烈, 战场不确定性极强。可以说, 交战双方谁能够快速整合战场资源并制定出高效的作战计划, 谁就能取得战争的胜利。基于任务分层和行动推理的作战计划生成技术主要用于提升 OODA 环中的决策能力, 其实质就是依据作战资源、时间空间、起始态势和目标态势等各类相关要素, 通过合理规划每个作战行动序列实现从起始态势到目标态势的转变, 这也与战区联合任务规划系统的主要任务目标高度契合。

基于任务分层的行动计划生成技术的原理就是利用分层任务网络将总体构想视作高层行动, 通过应用任务分解将高层行动替换为低层任务的

集合。如将联合作战构想逐层分解为海上作战、空中作战和陆上作战等多种子任务,并进一步分解为更为细致的具体作战行动。每个任务分层均结合了基于着色 Petri 网的智能推理技术,充分利用该建模工具强大的状态表示及资源、时间调度

能力生成作战行动序列,最后采用基于时间和资源推理的鲁棒性多目标资源调度方法实现作战行动的时空频火力目标的协同分配,形成总体联合作战行动计划,其基本构架如图4所示。

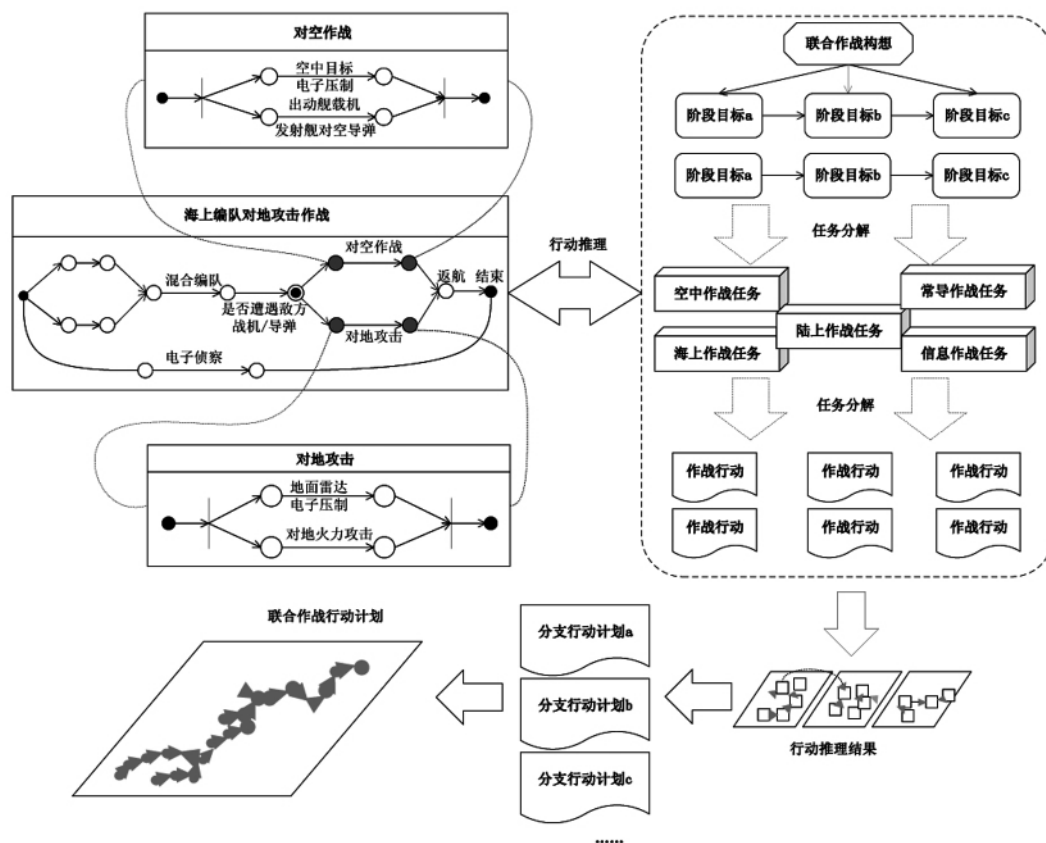


图4 基于任务分层与行动推理的计划生成技术实现基本构架

### 5.3 基于深度强化学习的推演评估与计划优选技术

作战推演评估技术在方案分析、战法实验及模拟对抗等多种领域中都有应用。联合作战不同于战术战斗层级的同质化、单一化的对抗范畴,是体系与体系之间的对抗,涉及多要素、宽领域、深维度,需要推演评估多种复杂方案计划并最终实现优选,系统支撑尤为重要<sup>[9-10]</sup>。此外,以深度学习为代表的人工智能技术对样本数据依赖性较强,特别是对数据的规模和质量要求较高,而当前军队各级指挥机构所掌握的对抗样本数据十分有限,且多以冲突消解类数据为主,特征性十分有限。不仅如此,由于当前形势下对实战环境进行数据提取的可能性不大,高仿真条件下的作战推演所产生的样本数据由于具有廉价、

高效、针对性强以及可灵活定制等优点,将成为解决此类问题的突破口。但军队现阶段战役级别作战推演主要基于传统的人在回路,需要大量各类作战人员参与整个过程,推演流程极为复杂,人力成本极大,时间周期长,很大程度上限制了推演的实际效能。如此积累下来的样本数据无论从规模上还是质量上,都不足以支撑智能化技术研究。

基于深度强化学习的作战推演技术主要通过计划决策的智能化模拟仿真来提升OODA环中的行动能力。该技术旨在将人工智能技术引入作战推演,通过人工规则结合深度强化学习的方法,建立和优化各类作战单元及群体编队的作战对抗行为模型,实现机—机自主对抗,大幅减少“OODA环”中“人在回路”的比率。同时,该技术借助机器自我博弈,快速产生大量对抗样

本, 通过充分模拟多种可能的交战过程和结局, 为强化学习环境提供足量和可信的数据支撑, 使学习结果具有较高的置信度和说服力。而在模拟推演中, 智能化的机器既可以充当蓝方, 也可以作为参谋或智能下级辅助指挥人员高效开展作战推演, 与红方指挥人员共同训练、相互学习以提升指挥水平。

具体来说, 强化学习技术在系统中主要用于获得最优结果从而对作战计划的选择上, 通过指挥实体与作战环境的不断交互, 并根据环境的反馈完成下一步行动决策的指导信号, 整个学习过程通过不断调整参数产生最优策略 (即最优作战方案计划)。强化学习在作战任务规划系统中的基本交互过程如图 5 所示, 其中  $S_t$  和  $a_t$  分别表示当前状态和动作,  $S_{t+1}$  和  $a_{t+1}$  分别表示与战场态势交互后得到的下一个状态和做出的下一个动作  $r$  为回报值, 即 reward。

而深度神经网络模仿人类的决策反馈过程,



图 5 强化学习在联合作战任务规划系统中的基本交互过程

符合指挥员面对复杂决策问题的思维特征, 能够有效解决战场状态空间和决策空间巨大的问题。基于两者结合的深度强化学习技术可在联合作战任务规划系统模拟仿真环境中融合大量作战领域知识数据、指挥员经验数据和战场态势数据并进行多次迭代训练, 不断更新深度神经网络并指导其连续的行为选择, 最终生成最优作战计划。基于深度强化学习的推演评估与计划优选技术框架结构如图 6 所示。

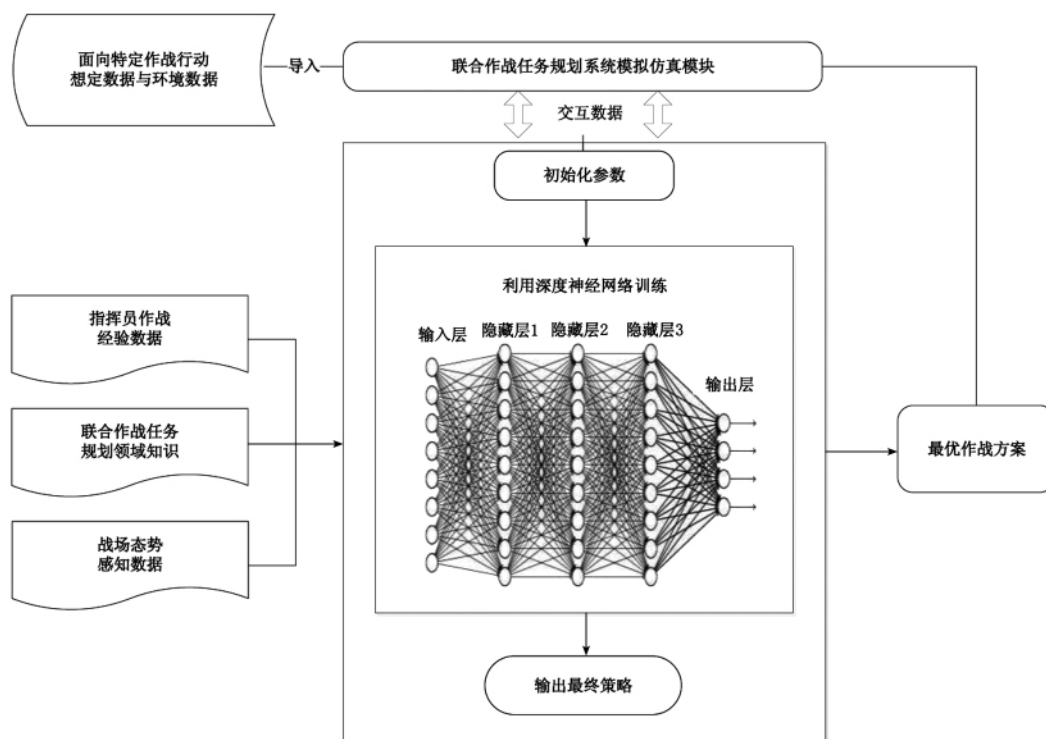


图 6 基于深度强化学习的推演评估与计划优选技术流程

总体来说, 联合作战任务智能规划系统将当下较热的人工智能深度强化学习技术与作战规划系统相结合, 将成为军队未来智能化任务规划领域的发展趋势。但目前该方案在理论和实践方面

仍需解决以下主要问题。例如, 如何解决复杂作战环境下高维海量状态动作空间导致深度强化学习难以收敛的问题, 如何解决智能技术在面对真实环境的可解释性问题以及如何提升强化学习面

对不同作战领域的学习泛化能力和迁移能力。

## 6 结语

本文简要阐述了作战任务规划的基本概念,分别介绍了当下美军及军队作战任务规划系统的基本发展概况,并以战区级联合作战任务规划系统作为切入点,对智能化技术在任务规划系统中的具体应用和提出了设想,为下一步战役级别任务规划系统的实施打下了基础,对提升军队联合作战任务规划能力具有一定借鉴意义。

## 参考文献

- [1] 胡晓峰,荣明.关于联合作战规划系统的几个问题[J].指挥与控制学报,2017,3(4):273-280.
- [2] 牛鹏飞.对作战任务规划的理解与思考[C]//中国指挥与控制学会.第六届中国指挥控制大会论文集(上册).北京:中国指挥与控制学会,2018:215-220.

[3] 赵国宏.作战任务规划若干问题再认识[J].指挥与控制学报,2017,3(4):265-272.

[4] 曹雷.指挥信息系统[M].北京:国防工业出版社,2016:53-58.

[5] 谢苏明,毛万峰,李杏.关于作战筹划与作战任务规划[J].指挥与控制学报,2017,3(4):281-285.

[6] 杜思良,韩家启,张永亮,等.陆军战术级作战任务智能规划技术研究[J].舰船电子工程,2018,38(12):25-29.

[7] 李昌玺,于军,徐颖,等.联合作战条件下战场态势感知体系构建问题研究[J].中国电子科学研究院学报,2018,13(6):680-684.

[8] 朱丰,胡晓峰,吴琳,等.基于深度学习的战场态势高级理解模拟方法[J].火力与指挥控制,2018,43(8):25-30.

[9] 陈希亮,张永亮.基于深度强化学习的陆军分队战术决策问题研究[J].军事运筹与系统工程,2017,31(3):20-27,57.

[10] 陈希亮,曹雷,何明,等.深度逆向强化学习研究综述[J].计算机工程与应用,2018,54(5):24-35.

## The key technology in intelligent planning for joint operations and its application

CAO Lei<sup>1</sup>, SUN Yu<sup>1,2</sup>, CHEN Xiliang<sup>1</sup>, WU Yijia<sup>1,3</sup>

(1. Army Engineering University, Nanjing 210001, China; 2. Unit 31102 Nanjing 210000, China;  
3. Unit 32526, Wuxi 214000, China)

**Abstract:** Operational mission planning is a key link in the command and decision-making in the battlefield. As the concept of joint operation develops and matures, operational mission planning technology, as the best combination of traditional means and emerging technologies, is gradually becoming the key to the intelligent warfare in the future. This paper mainly expounds the basic concept and intelligent requirements of operational mission planning, analyzes the key intelligent technologies in combination with the theater-level joint mission planning system, and proposes several specific enabling architectures with a prospective look into the future.

**Key words:** operational mission planning; deep reinforcement learning; joint operations; intelligent campaign decision-making

(责任编辑:王姝)