

基于人机混合智能的协同作战研究

单时卓¹, 裴天翼², 刘泽轩²

(1. 中国人民解放军 92941 部队, 辽宁 葫芦岛 125001;
2. 北京电子工程总体研究所, 北京 100854)

摘要: 体系作战是未来海上战争的主要模式, 兵力协同是面向体系作战的具体手段; 人机混合智能技术将人类智能和机器智能有机地结合起来, 充分发挥人类和机器各自的智能优势, 以提高系统整体的性能和效率, 完成对海上协同作战任务的混合决策与作战; 文章对现有人机混合智能决策作战的研究方法进行了论述和对比分析, 并针对海战场协同作战决策系统, 分析了不同模式的人机混合智能技术在海上协同作战方面的应用; 在此基础上, 提出了一种系统的人机混合智能协同作战方法, 能够提高决策效率、增强态势感知能力和优化资源分配, 为后续深入研究和完善海上智能协同作战提供了理论基础。

关键词: 人机混合; 协同作战; 智能决策; 深度学习

Research on Cooperative Combat Based on Man-machine Combination Intelligence

SHAN Shizhuo¹, PEI Tianyi², LIU Zexuan²

(1. Unite 92941, PLA, Huludao 125001, China;
2. Beijing Institute of Electronic System Engineering, Beijing 100854, China)

Abstract: Combat system is the main mode of the navel warfare in the future, weaponry corporation is a specific method for the combat system. Man-machine combination intelligent technology combines human intelligence and artificial intelligence organically, fully displays the intelligence advantages of humans and machines, improves the performance and efficiency of the whole system, completes the hybrid decisions and operations for cooperative combat mission of the navel warfare. This paper covers the treatment and comparative analysis of the existing research on man-machine combination intelligent decisions in the navel warfare, and analyzes the applications of different man-machine combination intelligent modes for the navel warfare cooperative combat decision system. On this basis, a systemic man-machine combination intelligent method for cooperative combat is proposed, improving the decision-making efficiency and the perception of operational situation and optimal resource allocation. It provides a theoretical basis on intensive study and integrity for navel man-machine combination intelligent cooperative combat.

Keywords: man-machine combination; cooperative combat; hybrid decisions; deep learning

0 引言

伴随国防关键技术与前沿技术的不断突破与广泛应用, 催生了以密集目标群、隐身目标、低空突防目标、高速机动目标等为代表的新型目标威胁。我国的水面作战编组防御装备体系也在面对日益复杂、多变的海空天袭击威胁, 迫切需要提出新的作战概念、研究新的作战模式, 以牵引防御装备作战体系创新发展。

随着科技的飞速发展, 人工智能在军事领域的应用日益广泛, 人机混合智能也逐渐成为协同作战的重要研究方向。当前人工智能从某些角度来说更为准确高效, 但它缺乏人类的创造性和意向性, 解决复杂场景下的任务泛化性较弱, 无法进行准确决策; 人类智能在创新能力和应对复

杂环境变化上具有显著优势, 但其效率相对较低, 持久性不足, 并且有可能因个体情绪因素干扰导致决策效果不尽如人意。因此, 为弥补这一短板, 一种新型的智能形态应运而生, 即“人机融合智能”^[1], 将人类的决策智慧与机器精密的逻辑分析和高速运算能力, 形成了一种互补机制, 实现智能的跨载体和跨认知, 在面对新颖的、复杂的环境中做出更加智能化的决策和行为。

人机混合智能技术的出现也给当代军事智能化提供了更多可行的解决方案^[2-4]。海上协同作战主要是通过分散式编队兵力进行协同, 海上编队实时获取战场态势感知信息, 还要在短时间内生成最佳的作战方案, 实现对海上编队舰艇及装备的协同控制。因此, 利用人机混合智能技术达到科学分配战场资源、集中发挥武器效能、生成最佳决策方

收稿日期: 2023-11-01; 修回日期: 2023-11-14。

作者简介: 单时卓(1979-), 男, 大学本科, 高级工程师。

引用格式: 单时卓, 裴天翼, 刘泽轩. 基于人机混合智能的协同作战研究[J]. 计算机测量与控制, 2024, 32(5): 296-301.

案,对提升海上综合作战能力有着重要意义。

1 协同作战的优势

在作战体系构建上,遵循网络信息体系理念,以信息为主导,将物理空间分散部署的平台和要素节点进行体系集成、协同融合,支持感知战场态势、指挥控制兵力行动、协同运用软硬武器,支撑兵力持久部署、体系精确交战、保障精准高效;利用这种黏合编组内外各类作战要素和作战单元的优势,可支撑水面作战编组形成和发挥体系作战能力^[5]。

通过构建“架构灵活、分布处理、态势统一、综合运用”的水面编组作战体系,重点解决水面作战编组感知资源统一管控、多域情报融合处理、态势一致生成、指挥决策判断、火力综合运用等问题,快速构建水面编组作战所需各类信息流程,优化作战使用模式,倍增武器装备效能,提升体系作战能力。其作战优势主要体现在以下几方面:

1) 能够生成水面作战编组统一的指挥级态势和火控级目标情报,支撑武器装备跨平台交战,提升了水面作战编组抗击敌水面及空中目标等威胁方面的能力。

2) 能够根据统一态势,自动解算作战参数、生成作战决策建议,实时掌握水面作战编组内各平台武器系统状态,提高指挥员决策效率。

3) 运用分布式复合跟踪处理、跨平台目指及自动辅助决策、跨平台宽带通信等核心技术,能够满足水面作战编组体系下协同作战指挥需求。

4) 通过综合运用水面作战编组协同探测、复合跟踪、威胁判断、辅助决策及协同作战^[6]等技术和手段,实现兵力联合、统一筹划、火力运用、效果评估,有力增强了水面作战编组协同作战能力。

2 面向作战决策系统的人机混合智能模式

作战决策系统一直都是海上协同作战领域中重要的研究课题,针对战场态势,对打击目标、作战方案、火力分配、作战行动等过程进行联合设计。在整个协同作战体系中,人机呈现高度一体化趋势,它们的有机结合将成为未来协同作战体系重要的发展方向。根据人在系统中的参与作用可以划分为3种模式:“人在回路内”“人在回路上”和“人在回路外”,以适应不同态势、不同操作手状态下对作战决策的需求。

2.1 人在回路内的人机混合智能模式

在这种人机协作模式中,人被视为作出决策和执行操作的主体。这种情况下为了确保机器的准确运行和决策者之间的信息交流,深度的人为和人机协同参与不可或缺。在此模式下,机器负责保障模型运算、数据统计分析等基础服务。指挥员依据机器所提供的数据及信息进行分析判断并做出决策,最终的决策控制权依然在人的手中。在整个分层化的模型系统中,人类的作用发挥体现在系统中多

个组成层。采取对系统进行层级化解耦的方式^[7],实现了对系统的绝对控制,提高了系统的鲁棒性和可靠性。具体来说,人利用规划层向任务层发出控制命令,并由人在任务层做出深度优化决策,然后在执行层实施特定的命令操作。

人在回路内的模式主要是由人主动参与并控制,而机器的智能性相对较弱。基于物理交互与任务分类,提高了人机协同执行任务的准确性和可靠性。

2.2 人在回路上的人机混合智能模式

该模式下人与机器处于同一回路,机器拥有更多的自主权,在人类的监督下执行任务。在决策流程中,机器与人类共同参与并发挥同等重要作用,机器承担着模型计算、数据收集的任务,并能提出决策参考意见,将这些信息显示出来;指挥员依据个人的专业判断和实践经验,在关键时刻适时介入,最后通过人机协同配合达成决策共识。此时人的作用主要在任务层级上的间接监控,通过可视化界面查看外部数据并获取实时状态反馈,仅在必要时刻进行人为干预^[8]。图3为人在回路上扮演监督角色的任务规划示意图。这种模式下将人类认知心理模型、生理认知特征或决策模型引入传统的机器学习算法中,借助机器的强大算力优势,建立一个集成化的人工监控系统,从而构筑起一个能够有效解决复杂的管理决策问题的智能决策系统,减少因信息过载等因素导致的性能不佳,持续提升决策的可解释性。

人在回路上的核心特征在于融合了人的认知计算能力与机器智能的混合决策模式,其中人在必要时刻介入以修正或指导决策进程,借由人类的先验经验和智慧极大地提升了系统的准确度和可信度。同时,机器也拥有自主行动能力,并为人类设计了一系列交互途径,从而使整个指挥决策流程得以直观展现。

2.3 人在回路外的人机混合智能模式

该模式下人类转变为辅助机器的角色,而机器则实现了完全自主决策。机器依赖于事先输入的规则和算法来制定精准决策,人不干预机器的运行。这种人机混合智能模式最典型的应用就是任务型对话系统^[9],主要利用人机交互、深度学习等方法,进行人机对话,用更自然的方式与机器进行交流。人通过自然语言与机器层进行会话交互;系统接收输入后调用资源层信息形成结构化语言,经对话层对信息数据进行解析,生成相应的文本对话后输出。

人在回路外的一个显著特征在于其以机器为核心的自动化控制和决策机制,不用持续的人为介入。该模式的特点是其决策过程具有较高的透明度和易理解性,展现出优越的适应性和自主运行能力,从而扩展了系统能够独立指挥决策的能力范畴。

2.4 人机混合智能模式的对比分析

基于以上概述分析,本节将以上3种不同类型的混合智能模式进行全面比较,汇总对照结果,见表1。

表 1 人机混合智能不同模式对比

模式	人在回路内	人在回路上	人在回路外
人的作用	深度参与、主动控制	监督和干预	机器的助手
主要特点	人机交互	认知交互	对话交互

从表 1 中能够明显观察到，不同的人机混合智能模式的核心差异在于人类介入的深度及其对机器活动的影响。在“人在回路内”模式下，人起到了决定性作用，对机器实施全面控制，机器的所有动作均受指令驱动。而在“人在回路上”模式下，机器在某些环节具备一定的自主操作权限，与此同时，人类持续监测并对必要的情况进行适时干预和决策接手，这一模式的关键在于认知层面的交互，整合知识库资源实现对人类决策过程的动态模拟和辅助。人在回路外的模式中，机器占据了主导地位，拥有广泛的控制权限并能够独立作出决策，而人类的角色相对而言转变为支持和协助，基于自然语言模处理的端到端模型，实现人机对话，机器的自主性和智能性较高。

3 人机混合智能在协同作战中的应用

3.1 人在回路内的协同作战

人在回路内的协同作战系统采用互动式的训练方法，在模拟仿真平台上逐步建立和完善作战模型，并通过反复迭代训练来寻求最佳实战效果。以人作为主导，将军事知识图谱融合模型中引导模型训练，能够充分利用人类的优势，如丰富的经验和直观洞察能力，同时结合机器无可比拟的大规模存储、快速检索与强大算力，从而增强混合智能决策的可解释性和可靠性。

人在回路内的作战决策系统整体架构^[10]如图 1 所示。其中模型训练所依赖的计算、存储等核心业务由资源层级予以保障；而支持层则构建了一个军事领域知识库，服务于实战训练过程，历经多次优化演算后，为作战行动提炼出最优化的策略建议；在交互层面，系统通过多元化的信息交流方式为人机之间搭建了高效的互动接口；最后，在指挥层级上，指挥官依据实时的战场动态环境，并参考系统优选的作战计划，制定出指挥决策计划。

3.2 人在回路上的协同作战

人在回路上的协同作战系统主要采用基于认知计算的人机混合智能决策，机器模拟人类对外界环境的认知和推理过程^[11]，从战场原始态势信息中提炼关键特征，并与内部认知模型建立对应关系，形成有效的信息映射机制，进行决策方案的生成和作战行动输出。

将机器决策过程类比为人类认知过程，其显著特点是人机双向认知交互，机器通过学习人的认知和情感表达来实现智能认知计算。人在回路上决策系统被划分为三个核心层次，如图 2 所示。信息获取层的功能在于整合多元数据资源，实时捕获战场环境和战斗进程的关键情报；核心的认知计算层承担了处理信息并生成战略决策的任务；最终行为层将前两层产生的决策计划实现为具体的军事行动。

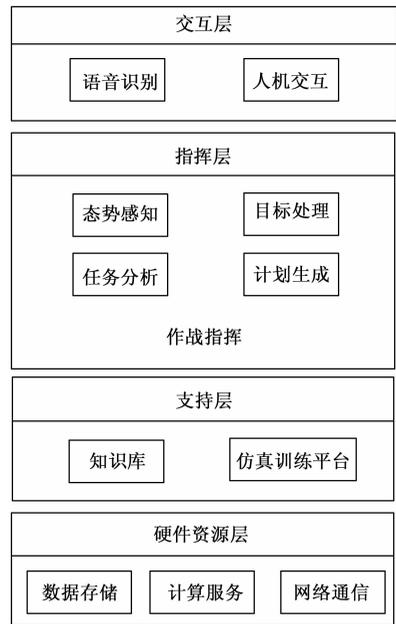


图 1 人在回路内作战决策系统框架图

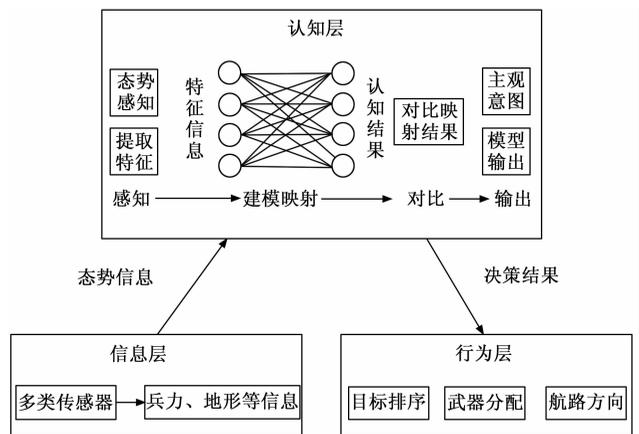


图 2 人在回路作战决策系统框架图

3.3 人在回路外的协同作战

人在回路外的协同作战系统中，当接收到用户的查询时，系统会基于内部数据库及专业知识库资源，对问题深入分析并综合处理，最终向用户提供精确的答案，在这种循环往复的过程中实现完整的对话交流。整个系统一般由语音识别、自然语言处理、对话管理、自然语言生成、语音合成这五大部分组成，系统整体架构如图 3 所示。

4 设计基于人机混合智能的协同作战过程

4.1 态势感知系统的作战过程

搜集并分析情报是协同作战中首要的步骤，指挥员依据卫星、雷达等多种类型的传感器设备来获取战场情报。指挥控制系统通常包括了静态数据库和动态数据库，静态数据库中储存着已认知到的敌我双方情报数据，譬如战斗人员数量、武器战术指标等信息；而动态数据库中则不断

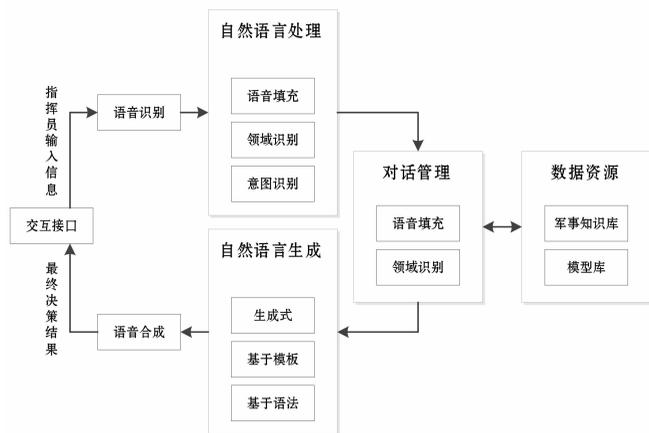


图 3 人在回路外作战决策系统框架图

更新存储着战场实时态势信息。态势感知系统通过数据库中的信息对所有态势情报进行分析、比对、消除重复、识别性质、威胁评估等一系列综合处理,对战场态势进行一个整体的判断。这些判断结果被储存起来以作后续决策的参考,或者被分发给相关指挥员的席位。

态势感知系统是指挥决策的首要基础,整体结构如图 4 所示,现代战场上的传感器包括雷达、激光、声纳、卫星、红外设备等^[12]。然后由接收机将这些传感器获取的信号统一接收,然后进行信息预处理。预处理模块对态势信息进行正确性核验,若数据格式规定协议规则则继续处理,否则舍弃此无效信息;另外要进行坐标转换,统一成以态势感知系统为原点的坐标系,再送至综合处理模块。综合处理模块是系统对态势信息进一步的精加工过程,主要功能包括了目标编批、同一性融合,目标轨迹的平滑处理等等。此处引入了人工干预模块,能够和机器相结合共同对态势信息进行综合处理。显示模块则是将综合处理后的态势信息进行图表化的输出,供指挥员实施后续的决策和作战。

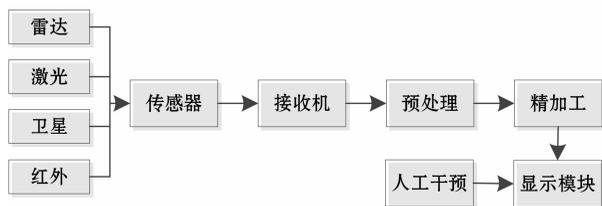


图 4 态势感知系统结构框图

4.2 指挥决策系统的作战过程

基于获取的战场态势情报,就可以根据受领到的任务来制定作战计划,包括作战部署、协调和指挥程序。指挥员将待打击目标输入到指挥控制系统,指挥控制系统基于态势信息生成多个作战方案,并进行推演评估,最后选择最优的方案,以图形化和文本化的方式进行显示。指挥员再根据先验知识和对战况的感知,辅助指挥控制系统进行决策。

指挥决策系统作为协同作战中重要的一环,直接为指挥员面对的决策问题提供解决方法和战略支持。它根据当前形势和即将发展的趋势,向指挥员提供有效、最佳的作战方案。智能化指挥决策系统由先验知识库、人工智能模块以及人机交互接口这三部分构成,如图 5 所示。

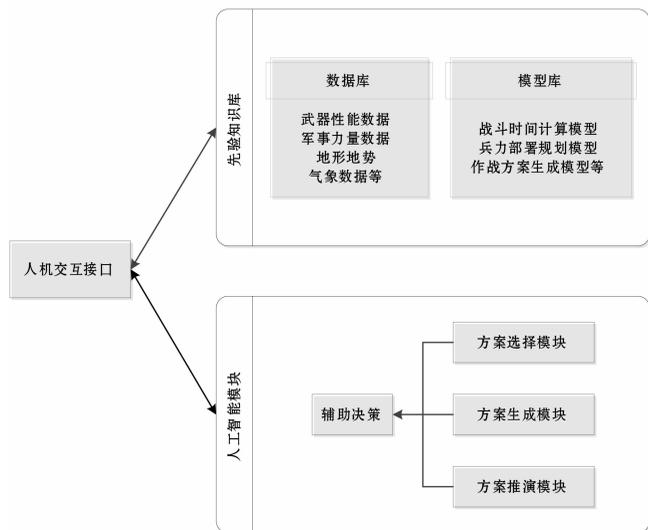


图 5 指挥决策系统结构框图

先验知识库主要包括数据库和模型库,数据库中存储着敌我各方的武器性能数据、军事力量数据、地形地势和气象数据等;模型库中存储了各类作战模型,涵盖了诸如等等。人工智能模块的功能是通过深度学习、强化学习等技术方式进行态势评估、作战计划生成、作战方案推演等过程。人工智能模块在进一步处理态势信息的基础上,将其输入到作战计划生成模型。该模型对输入进行求解,将最接近的战况计划与战况模板进行匹配,并利用深度学习、强化学习等进行作战推演^[12],生成一系列可能的作战结果,基于预测结果和可行性分析返回评估值。最终将最佳战况所对应的计划反馈给指挥员,以便其根据推荐计划进行进一步的判断和决策,同时通过人机交互接口也可支撑指挥员进行策略的修改。人机交互接口通过多通道和指挥员进行信息的交互,它将人工智能模块输出的计划进行显示,也提供了接口供人进行参数的选择、模型的选择,人类拥有最终的决策权,可以选择、改进或者取消机器生成的作战计划。

4.3 武器控制系统的作战过程

指挥员下定作战决心后,指挥控制系统根据其选择的最佳方案,自动高效地进行诸元计算、作战命令拟定等等。在指挥员确认后,行动要素和作战命令将通过通信设备快速发布,显示在执行命令的武器操作终端上,然后根据指令执行作战行动^[13-15]。

武器控制系统根据指挥决策模型下发的方案,协同控制各类武器完成作战任务,主要分为指挥引导模块和武器控制模块。指挥引导模块主要功能是引导舰船执行航行、

机动、火力运用等战术行动，并将计算出的数据及时报告给上级指挥所，以便向目标导航并占据有利的攻击位置。主要包括信息处理子模块、引导计划子模块和执行控制子模块。武器控制模块根据指挥命令分配武器并发射武器，武器控制系统整体结构如图 6 所示，过程中需要由人进行操作和控制干预，以防止意外情况的发生。

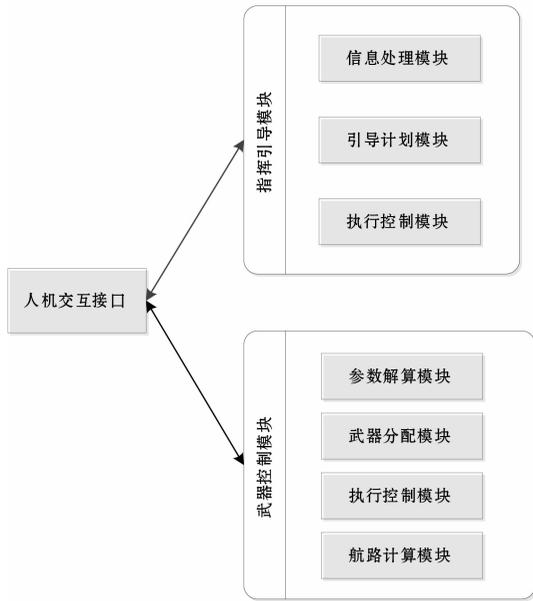


图 6 武器控制系统结构框图

5 建立基于人机混合智能的协同作战模型

5.1 基于贝叶斯网络的态势感知模型

目前对态势感知的研究更多的集中在多传感器的信息融合技术，很少涉及作战策略对态势的影响。换言之，知识层融合的缺失，使态势感知仅能作为客观世界的信息表达。然而目前随着传感器大幅的增加，指挥员也面临着严重的信息爆炸问题，如何在海量的信息中进行高效的态势感知成为了现代战争中的一个重要挑战^[16]。

通过人工智能的方法，训练贝叶斯网络模型用于战场态势评估。贝叶斯网络由多个节点组成，每个节点代表一个对应的事件。首先需要明确协同作战过程中的态势评估都包括了哪些事件，将它们分成 4 个层次。第一层的事件为引起全局战况的根本原因，例如我方兵力部署情况占优则做出进攻的决策等。第二层事件类型为全局态势，包括敌军采取的战略行为如进攻、防御、进攻、撤退等。第三级事件则是将全局态势拆解为子态势，比如进攻的态势可以拆解为主攻、支援、掩护、佯攻等多个子态势^[17]。第四级事件是作战行为事件，例如雷达开关机、机动、接力等。

贝叶斯网络通常包含着较强的因果关系，在确定了节点上的事件内容后，需要采用特定的方法来继续确定每个节点事件是否属于其他节点事件的原因或结果。除了上级层次是下一层级事件的原因外，在同一层级上节点事件间

也存在一定程度的因果关系。

将某个无父节点的事件节点设为 V ，假设其子节点为 α ，那么它的概率分配由两方面构成：对无父节点的事件节点指定先验概率 $P(V)$ ；指定子节点事件的条件概率为 $P(V | P_{\alpha}(V))$ 。设置概率分配的步骤涉及到专业性极强的军事理论知识，目前这部分工作主要由军事专家和科研人员一同完成。也因此态势评估贝叶斯网络中包含了军事领域的专家知识。

在确定节点内容、节点关系和网络参数的训练的过程中，通常采取交叉执行的方法，不断地修正网络参数和节点关系，最终完成贝叶斯网络模型的构建，实现了以任务和态势为核心认知的人机混合智能感知系统。整合多类异构广义传感器的数据信息特征，基于人的知识经验和机器的智能对战场信息进行评估；同时在协同作战过程中，将指挥决策和作战执行过程中的感知，形成新的认知并反馈到感知部分，实现了完整战场态势的智能化呈现，支持作战行动的有效实施。

5.2 基于强化学习的指挥决策模型

强化学习是一种基于环境的反馈而行动的方法，通过不断与环境的交互、试错，指导训练对象每一步如何决策，最终完成整体行为的收益最大化。例如 AlphaGo、AlphaStar 等基于强化学习的决策型智能体就在围棋和各类游戏中表现优越。同样地，强化学习也适用于海上协同作战领域的指挥决策任务，能够在日益复杂的现代战争中，为指挥员提供更优的决策建议。

强化学习的基本要素包括智能体、环境、状态、行动、奖励这 5 个基本部分，学习的过程符合马尔科夫决策过程，如图 7 所示。马尔科夫决策过程的核心思想是下一步的状态只和当前的状态以及当前状态下将采取的行动有关，也就是只回溯一步。

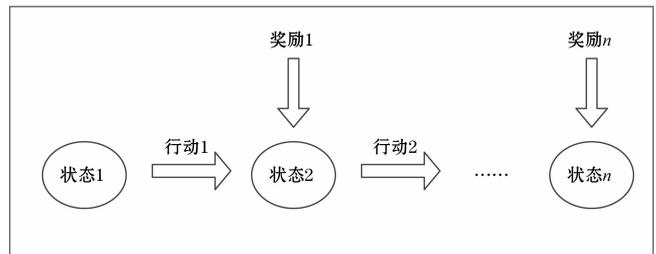


图 7 马尔科夫决策过程示意图

为得到更多的对抗作战数据，除收集真实战场的的数据外，参考 AlphaStar 的训练方法^[18]，设计一种基于强化学习的分布式训练方法，包括了数据采样、分布式学习和预测 3 个步骤构成，如图 8 所示。

构建多个战场仿真环境，利用计算机集群与其开展并行交互与计算^[19]。将整个决策过程分解为若干状态，通过数据采样器收集各个状态下智能体的状态数据，数据的构成为“状态，行动，奖励”，通过对样本的预处理和奖励计算，将处理后的数据放至样本数据库中。同时数据采样器

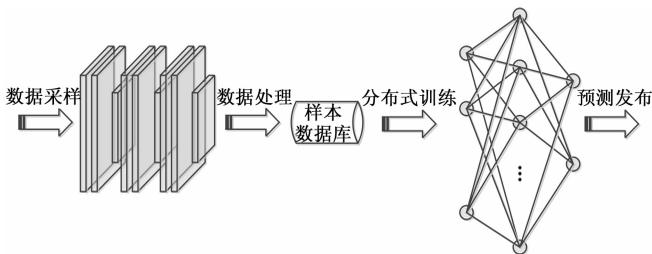


图8 强化训练过程示意图

通过与智能体的交互,获取下一步将要执行的行动,通过指令解码器将行动翻译为决策系统能够理解的指令。根据上述过程可以获取大量的训练数据;然后通过分布式学习提升训练速度,当采集的数据满足一批的数量后,输入到神经网络中经过前馈计算,通过模型选定的损失函数,计算出梯度的更新值,不断更新各层神经网络的参数值,得到针对协同作战任务的决策智能体。利用仿真环境中对行动得到状态进行评价,再反馈给智能体模型,如此迭代训练,实现神经网络参数的调优过程;最后的预测部分是基于当前智能体的状态信息,输出指挥决策序列,将智能体模型预测出的决策和指令集分发至各仿真环境,能够支撑多个战场仿真环境的指挥。

5.3 基于“规则+网络”的武器控制模型

武器控制的过程本质上是一个多重决策的过程,“规则”代表了人类智能,“网络”则代表了机器智能。武器控制过程中结合人的知识判断与机器的人工智能并复合优化,实现有机集成。

遗传模糊决策树方法原理是将人类经验模糊化,适用于整个任务空间的决策,形成模糊决策规则^[20];接续基于模糊规则的输入输出关系,将各种规则与参数相耦合,形成协同作战的模糊决策规则树;最后,根据作战需求,选择并设计目标适应度函数,将模糊决策树中的相关变量转换为目标的优化函数。通过遗传算法等优化方法不断遍历决策树,寻找最优解。

6 结束语

在智能化协同作战过程中,人和机器是相辅相成的两部分,基于人机混合智能的作战指挥效果具有快速的信息处理能力,能够在短时间内对大量信息进行分析、判断和处理,从而提高决策效率。通过人机混合智能技术对战场环境进行实时分析,有效整合各类情报信息,增强了对战场态势的感知能力。此外还能够根据战场实际情况,实时调整兵力、物资等资源分配,实现最优配置。然而目前人机混合智能的研究与应用仍存在一些挑战。例如如何确保人工智能技术的成熟度以适应实际作战需要,以及如何实现人机之间的平滑切换与协同等问题。这些将是在研究人机混合智能技术中需要进一步探索的方向。

参考文献:

[1] 吴朝晖,郑能干. 混合智能:人工智能的新方向[J]. 中国计

算机学会通讯,2012,8(3):59-64.

- [2] 刘伟. 智能与人机融合智能[J]. 指挥信息系统与技术,2018,9(4):1-7.
- [3] 刘伟,张玉坤,曹国熙. 有关军事人机混合智能的几点思考[J]. 火力与指挥控制,2018,43(10):1-7.
- [4] 李智军,石光明,杨辰光,等. 人机混合智能专题简介[J]. 中国科学:信息科学,2019,49(5):646-648.
- [5] 吴坚,郭齐胜,等. 面向武器装备需求论证的作战任务体系生成技术[M]. 北京:国防工业出版社,2015.
- [6] 吴森堂. 导弹自主编队协同制导控制技术[M]. 北京:国防工业出版社,2015.
- [7] MUSIC S, HIRCHE S. Control sharing in human-robot team interaction[J]. Annual Reviews in Control, 2017, 44: 342-354.
- [8] 丁炎炎,冯建航,叶玲,等. 人机混合智能决策范式及作战应用研究[J]. 计算机科学,2023:1-14.
- [9] 张家培,李舟军. Q2SM:基于BERT的多领域任务型对话系统状态跟踪算法[J]. 中文信息学报,2020,34(7):89-95.
- [10] ADAM CHENG, LIANG R P, WU H, et al. Human-machine symbiosis operational decision-making system: development vision and key technologies[J]. Firepower and Command and Control, 2022, 47(7):1-6.
- [11] 吴丽华,龙海侠,冯建平. 智能机器的认知学习机理及计算模型研究[J]. 电子技术与软件工程,2021(21):106-109.
- [12] 孙宇祥,周献中,徐爽,等. 智能指挥与控制系统人机混合模型研究[J]. 火力与指挥控制,2020,45(12):80-86.
- [13] LOTTEF, CONGEDOM, LECUYERA, et al. A review of classificational gorithms for EEG-based brain-computer interfaces[J]. Journal of Neural Engineering, 2007, 36(4): R1.
- [14] 卢晓敏. 基于混合传感器的机器人人机交互技术研究[D]. 广州:华南理工大学,2014.
- [15] 王市辉,代冀阳,蒋沅,等. 多无人机协同编队飞行目标跟踪控制仿真[J]. 计算机仿真,2019,36(2):40-44.
- [16] 刘伟,匡兴国,王飞. 关于人机融合智能中深度态势感知问题的思考[J]. 山东科技大学学报(社会科学版),2017,19(6):10-17.
- [17] 吕少楠. 基于深度学习的态势评估方法[D]. 西安:西安电子科技大学,2020.
- [18] RISI S, PREUSS M. Behind DeepMind's AlphaStar AI that reached grandmaster level in StarCraft II: Interview with Tom Schaul, Google DeepMind[J]. KI-Kü Nstliche Intelligenz, 2020, 34: 85-86.
- [19] 郭洪宇,初阳,刘志,等. 基于深度强化学习潜艇攻防对抗训练指挥决策研究[J]. 指挥控制与仿真,2022,44(1):103-111.
- [20] 邓平煜,裘旭益,姚子羽. 航空军事领域的人机混合智能技术[J]. 航空科学技术,2020,31(10):3-6.