

2-20-2021

Overview of CGF-oriented Cognitive Architecture

Xu Kai

1. College of Systems Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China; ;

Junjie Zeng

1. College of Systems Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China; ;

Weilong Yang

2. The Academy of Military Science, Beijing 100089, China;

Qin Long

1. College of Systems Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073, 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.

Overview of CGF-oriented Cognitive Architecture

Abstract

Abstract: In order to further formalize and boost standardized behavioral model development of Computer Generated Forces (CGF), the CGF-oriented cognitive architecture is reviewed and the implementation details of one of the CGF cognitive behaviors, i.e. plan recognition, upon standard cognitive architecture are designed. The results show that the well-designed architecture has a strong support for complex behavior modeling. Four specific suggestions, including requirement analysis, design implementation, theoretical principle and cooperation mechanism, for architecture design and complex behavior modeling are provided.

Keywords

computer generated forces, cognitive behavioral modeling, cognitive architecture, plan recognition behavior modeling

Authors

Xu Kai, Junjie Zeng, Weilong Yang, Qin Long, and Quanjun Yin

Recommended Citation

Xu Kai, Zeng Junjie, Yang Weilong, Qin Long, Yin Quanjun. Overview of CGF-oriented Cognitive Architecture[J]. Journal of System Simulation, 2021, 33(2): 239-248.

面向计算机生成兵力的认知行为模型架构研究综述

许凯¹, 曾俊杰¹, 杨伟龙^{2*}, 秦龙¹, 尹全军¹

(1. 国防科技大学 系统工程学院, 湖南 长沙 410073; 2. 军事科学院, 北京 100089)

摘要: 为规范和促进计算机生成兵力各类认知行为模型的标准化开发, 对面向计算机生成兵力的认知行为模型架构进行综述研究, 以计算机生成兵力的意图识别行为为例, 探讨了一般认知行为在标准认知架构基础上的功能实现方式。论证结果表明, 良设计的认知行为模型架构对于复杂认知行为建模具有很强的指导意义。还提出了需求分析、设计实现、理论基础、协作机制四个方面具体的研究建议。

关键词: 计算机生成兵力; 认知行为建模; 认知行为模型架构; 意图识别行为建模

中图分类号: TP391.9 文献标志码: A 文章编号: 1004-731X (2021) 02-0239-10

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.20-0937

Overview of CGF-oriented Cognitive Architecture

Xu Kai¹, Zeng Junjie¹, Yang Weilong^{2*}, Qin Long¹, Yin Quanjun¹

(1. College of Systems Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China;

2. The Academy of Military Science, Beijing 100089, China)

Abstract: In order to further formalize and boost standardized behavioral model development of Computer Generated Forces (CGF), the CGF-oriented cognitive architecture is reviewed and the implementation details of one of the CGF cognitive behaviors, i.e. plan recognition, upon standard cognitive architecture are designed. The results show that the well-designed architecture has a strong support for complex behavior modeling. Four specific suggestions, including requirement analysis, design implementation, theoretical principle and cooperation mechanism, for architecture design and complex behavior modeling are provided.

Keywords: computer generated forces; cognitive behavioral modeling; cognitive architecture; plan recognition behavior modeling

引言

计算机生成兵力的认知行为建模, 对于提高模拟仿真训练的逼真度与沉浸性, 实现部队“战训一致”具有重要意义。受限于人工智能发展水平、物理硬件计算效率、模拟实体数量规模、认知行为计算复杂度、仿真应用实时性等一系列约束, 现有模拟仿真系统中的计算机生成兵力普遍具有行为模式固定可预测、对抗与协同推理能力不足、态势分

析与处理水平低等问题, 开发人员在仿真系统实际实现中往往采用复杂模型简化处理、复杂逻辑脚本替代等方式进行处理。

随着物理硬件性能不断提升, 新兴人机交互方式的持续涌现, 采用模拟仿真手段提升部队战斗力的应用覆盖面进一步拓宽, 深入开展人类认知行为建模问题研究方兴未艾。计算机生成兵力的认知行为模型架构研究, 是从认知机理上提高其行为建模水平的重要举措。回顾 20 世纪 60 年代以来世界

收稿日期: 2020-11-28 修回日期: 2020-12-03

基金项目: 国家自然科学基金(61473300)

第一作者: 许凯(1990-), 男, 博士, 讲师, 研究方向为人类行为建模与意图识别。E-mail: xukai09@nudt.edu.cn

通讯作者: 杨伟龙(1991-), 男, 博士, 讲师, 研究方向为作战仿真。E-mail: yangweilong09@nudt.edu.cn

范围内认知行为模型架构研究的发展,行为建模研究人员对认知行为的认识在逐步加深,对认知架构有多种角度的设计与实现。只有从认知机理上提高 CGF(Computer Generated Forces)的行为建模水平,填补适用于模拟仿真系统的人类认知行为模型架构空白,规划认知行为建模问题研究的长期路线,瞄准研究优先项和侧重点,才能逐步提升 CGF 行为表现质量,增强行为真实性和智能性。

认知行为模型架构是人类复杂认知行为与底层生物计算基础的中间抽象层次,常类比于建筑架构或计算机架构,为态势感知、规划决策、协同协作、情绪情感等 CGF 复杂认知行为表达,提供一般或分层的问题求解框架、高效灵活的规则匹配与推理机制,以及知识表示/学习/推理等一系列必要且非冗余的基础认知能力,是认知科学、人工智能、心理学、神经科学、脑科学等多学科交叉的研究热点。

美军将认知行为模型架构视为 CGF 认知行为建模的重要理论与方法基础,是描述人类信息处理过程和认知行为的可计算仿真模型,并将其归入国防部个体、组织与社群行为建模活动(DoD Individual, Organization and Society, DoD IOS)中的微观形式模型范畴^[1]。美国国家科学委员会在美国空军研究实验室委托下,开展了 IOS 行为建模调查研究,报告详细阐述了 ACT-R(Adaptive Control of Thought-Rational), Soar(State, Operator and Result), EPIC(Executive Process/Interactive Control), COGNET(Cognition as a Network of Tasks), OMAR(Operator Model Architecture), MIDAS(Man-machine Interaction Design and Analysis System), SAMPLE(Situation Awareness Model for Person-in-the-Loop Evaluation)等架构的发展现状、需求相关性、技术约束与未来发展趋势,其地位与作用可见一斑。

模拟仿真系统中的 CGF 行为建模受各种因素影响,往往偏好于行为效果的表述,而忽视具体认知过程的计算与模拟。在强调统计规律的分析类仿

真应用中尚可规避这一问题,但对于存在不同层次人机交互的训练仿真系统则会有较大影响。此外,充分考虑仿真应用领域问题特征的认知行为模型架构设计,将会进一步规范和促进各类认知行为模型的标准化开发。

1 认知行为模型架构

构建人类认知行为模型架构思想,起源于人工智能先驱者 Allen Newell 等开发的通用问题求解器(General Problem Solver)^[2]相关工作,试图在人工智能所擅长的特定问题求解外,探索通用人工智能与一般性的问题求解方法。受其思想启发,一系列认知行为模型架构如雨后春笋般陆续诞生,截至 2018 年,从公开文献、在线日志、谷歌学术等信息源中可确知的认知行为模型架构(下文统称“认知架构”)有近 200 种^[3]。这些架构所强调的研究重点、面向的领域问题各不相同,由此采用的核心设计原理也各有出入。

1.1 研究边界

为了明确认知架构的研究边界,本文首先讨论其与计算机架构、知识工程,以及人工智能语言、工具与框架三者间的异同。

人们在对认知架构进行研究之初,常将其与计算机架构进行横向对比。计算机架构包括存储器、处理器、数据结构、输入/输出设备的完整设计。其中,存储器承载数据与程序;处理器执行程序指令、实现基本操作、在存储器中传递数据并确定下一条待执行指令。为此,还要设计基本的计算机语言控制以上计算过程。这就对这种操作语言提出了两方面要求,其一是具有通用性和灵活性,其二是要具有较高的计算效率。受计算机架构启发,认知架构同样需要具备记忆、处理与控制、数据表示、输入/输出等要素。不同之处在于,前者的目标在于实现通用计算,而认知架构则是围绕知识的获取、表示与运用,支撑人类认知行为计算。特别需要指出的是,认知架构不同于面向单一问题求解的

知识或算法,其具有领域无关性并可在较长时间维度上保持稳定性,这一点正是其“架构”两字的题中应有之意。因此,如何对架构内分别构建的环境感知、推理判断、规划决策、语言处理、行为学习等各种能力进行统一协调,以求解一般性问题则是其挑战之一。

尽管是围绕知识组织和展开的,认知架构却与知识工程迥异。后者单纯以知识本身作为研究对象,研究内容涉及大规模知识的获取、验证、表示与推理,比较著名的知识工程如 Watson^[4]、Cyc^[5]系统等。广受关注的知识图谱也在这一问题范畴之内。而认知架构则关注人类对知识的学习、理解与运用过程,强调构建可以支撑知识学习、知识表示以及在动态环境中运用知识求解问题、执行任务的运算结构。此外,知识工程不会对内外部交互过程进行建模,且一般不包括具有“if...then...”结构的过程性知识(Procedural Knowledge)。尽管两者不尽相同,但仍应认识到知识工程对认知架构设计的积极作用,尤其是知识存储、读取与挖掘等架构机制设计中应该充分借鉴知识工程的现有研究成果。

最后讨论认知架构与人工智能语言、工具集以及通用模型框架的异同。由于同样具有为智能体或智能系统开发提供指导的功能,如果不仔细剖析,非常容易将上述内容混淆。人工智能语言,例如 Lisp,通常在开发智能体时不会对其记忆、知识表示、决策控制以及学习机制进行约束。人工智能的工具集或中间件,通常是不同设计机制下的一系列模型或算法的集合,如神经网络、模糊逻辑、遗传算法、规则系统、搜索算法、路径规划器、语义网络等,不具备完整的行为控制机制而只是以工具形式供开发者按需调用。通用模型框架与认知架构最为相似,其尝试为智能体的行为建模与构造开发提供公共方法与统一范式,常见的模型框架有规则系统^[6-7]、黑板系统^[8]、逻辑^[9]、基于行为的系统^[10]、有限状态机、BDI 模型^[11]以及 GOMs^[12]等,其在知识表示、运算处理以及数据存储机制上各不相同。但是,由于其目标止步于提供模式统一的智能体建

模方法,而不是从人类认知角度出发,实现记忆、决策、学习、情感等不同认知行为的合理抽象,故往往不能同认知架构相提并论。

1.2 抽象层次

在明确认知架构的研究边界后,进一步探究认知架构在人类智能中所处的抽象层次。Newell 提出将人类行为按照时间维度进行划分的观点^[13],行为持续时间跨度短则 100 μ s,长则持续数月,并据此将人类行为自底向上分为生物层、认知层、理性层以及社会层。Laird^[14]提出人类智能信息处理的三大层次,如图 1 所示。其中最底层为物理(生物)层,执行大脑神经元层面的信息处理工作,为认知层提供基础计算能力。认知层将物理层的数值运算转换为符号运算,屏蔽底层细节并构建自然语言处理、任务规划、经验学习、情绪情感等通用认知能力,向上支撑知识层在不同理性程度下基于知识内容、任务目标的知识运算。每一层次的抽象均为上一层次屏蔽了下层细节,且行为所处的层次越高,其遂行的时间周期往往越长。

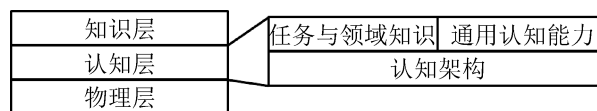


图 1 人类智能信息处理层次

Fig. 1 Information processing level of human intelligence

从图 1 可以看到,认知架构是物理层与认知层的交互接口,为知识流转提供了基本的数据结构、控制与运算能力以及与环境的输入输出接口,并成为知识层更加复杂认知能力的构建基础。针对认知行为与认知架构、知识的关系,Laird 提出,“行为=架构+知识”^[14]。好的认知架构只包含为实现认知能力所需的必要结构与功能,而不应过度冗余,在面对求解问题或任务时,只需加入相应的领域/通用知识即可实现。此外,行为的多样性与适应性取决于认知架构中所写入的知识多寡,CGF 个体差异性可以由知识规模、连接程度、推理速度等因素反映和刻画,即知识影响行为。

此外, 研究人员还探讨了不同认知功能不同实现机制的优劣。即, 哪些功能适宜在架构层作为基本能力进行实现, 哪些功能又适合借助通用知识进行表达, 并通过架构的问题求解机制表现出来。

1.3 架构分类

根据研究目标的不同, 现有认知架构大致可以分为人脑认知建模、智能体行为建模以及人类行为建模, 其中人脑认知建模从神经科学、脑科学角度出发, 尝试建立符合人脑认知的一般反应时间、错误率甚至是功能性磁共振脑成像(fMRI)结果的人类行为模型。ACT-R 即属于这类认知架构, Anderson 等采用控制变量法设计行为实验, 通过观察不同认知任务下不同脑区的血液氧饱和水平检测(blood oxygen level-dependent, BOLD), 尝试建立规则推理、知识存储与查询、视觉感知、行动控制等基础性功能与人脑常见区域的映射关系。智能体行为建模从人工智能的角度出发, 综合运用多种 AI 方法和技术, 尝试构建可与环境交互, 具备态势感知、规划决策等能力的智能体行为模型。这种研究范式对人类认知层面的问题关注较少, 在行为表现上不强求与真实的人类认知行为严格对标, 如早期的 CIRCA 架构。人类行为建模则以构建尽可能丰富、准确地表示人类行为和认知能力的智能系统为目标, 这类架构具有以下特征: 通用自适应的问题求解能力、以知识为中心的认知行为计算、类型丰富的长期记忆以及迭代累加式的行为学习。Soar 即具有上述架构特征。

除以研究目标为架构类型的划分标准外, 认知架构还可以从具体采用的信息表示与处理方法出发, 分为符号主义(Symbolic, 也被称为认知主义)架构、联结主义(Connectionist, 或涌现的)架构以及混合架构。这些对人类智能产生与处理方式的不同观点, 在认知行为研究领域有近 30 年的争论^[15-16]。符号主义架构将概念表示为符号, 并且可以定义类似“if...then...”结构的规则集对其进行操作, 如 EPIC、ICARUS、Prodigy 等。由于

其对知识表征的直观性, 符号主义架构在早期设计的认知架构中非常普遍。其擅长处理传统的规划与推理任务, 但面对动态环境、感知信息处理等问题时缺乏足够的灵活性与鲁棒性。联结主义架构普遍采用神经网络方法解决上述问题, 将信息处理表示为输入信号在网络中的逐层传递过程, 如 Leabra, ART, Darwinian Neurodynamics 以及 Subsumption 等。然而“收之东隅, 失之桑榆”, 联结主义架构不具备良好的行为可解释性, 指导行为生成的领域/通用知识散落在整个网络中, 而不再以符号集的形式存在。上述两类架构各有优缺点, 前者在构建初始知识或专家知识库时耗费巨大, 但一旦建成即可投入使用; 后者设计与构建相对简单, 但必须经过大量训练才能产生合理的认知行为。

同当前人工智能研究中两种范式逐渐融合的路径一致, 混合架构尝试采用不同设计策略对两者进行有机结合。Kotseruba 和 Tsotsos 在其认知架构综述中, 重新对符号、联结、混合不同架构特征与定义进行梳理总结, 并按照不同融合策略进一步将混合架构分为符号次处理(symbolic sub-processing)架构与完全混合架构^[3]。前者强调架构主体(如知识运算、逻辑推理等)仍基于符号化的表示与运算, 但至少存在一个模块(如环境感知)采用联结主义方法。例如 3T, ATLANTIS, RCS, DIARC 等均是机器人架构, 其中任务规划模块采用符号化表示, 用以控制整个系统行为, 而同时存在一个或多个采用神经网络方法负责图像与音频处理的模块。完全混合架构则尝试在符号化表示基础上综合运用一系列非符号化方法进行强化。其中一种如 ACT-R, Soar, CAPS, Clarion 等架构将符号化概念与规则, 同激活阈值、随机选择过程、强化学习等非符号化方法结合。LIDA, PolyScheme, GMU-BICA 等架构则允许同一功能模块同时存在多种不同表示的实现方式, 彼此间互相竞争发挥作用。ACT-R/DIARC, ICARUS/DIARC 等架构则分别将 2 个各自独立的认知架构, 通过设计接口与中间件实现两者通信, 取长补短共同发挥作用。

2 典型的认知行为模型架构

本节分别对 ACT-R 和 Soar 两个发展最为充分的认知行为模型架构进行简要介绍。如前文所述, ACT-R 发端于认知科学研究并逐步延展到人工智能领域,通过分析不同认知活动刺激下的血液氧饱和水平,将人类认知能力映射到相应脑区。同时, ACT-R 认知架构还可与其他联结主义认知架构相结合,例如基于神经网络的 Leabra 认知架构^[17]。此外, Anderson 等^[17]从 1994 年起就建立了以 ACT-R 认知架构为中心的研究社群,开展了一系列认知行为实验与具体的应用探索。Soar 由 Allen Newell, John E. Laird 等^[13]设计和开发,起源于人工智能并最终拓展到认知科学,同 ACT-R 一起是现有认知架构中演化发展时间较为持久、可支撑认知行为较为丰富的认知架构。以上两个认知架构均具有机器人应用方面的具体实践。下面,本文具体给出其基本结构与功能组成。

2.1 ACT-R

ACT-R 认为受大脑(Brain)物理结构与功能约束,人类认知(Mind)能力是按照模块化方式进行组

织的。通过功能性磁共振脑成像技术,可以确认 8 个分别负责不同认知行为的脑区,包括视觉、听觉、语音、手部动作 4 个周边模块,以及想象、意图、陈述性知识和过程性推理 4 个核心模块,如图 2 所示。

在图 2 所示的 ACT-R 6.0 认知行为模型架构中,高等级视觉认知的主要活跃脑区为梭状回(fusiform gyrus),负责处理大量的视觉信号。高等级的听觉处理模块由第二听觉皮层负责。手部动作模块主要对应大脑的中央沟(central sulcus)区域,同时也包括一部分的运动与感知皮层。语音模块同样对应于运动皮层,并包括一部分的感知皮层。想象模块对应于大脑顶叶皮层(parietal cortex)的后部,该区域同时负责空间关系处理,在符号与概念表示转换的过程中尤为活跃。陈述性知识模块对应于大脑前额叶皮层(prefrontal cortex)部分区域,对于知识的存取操作尤为敏感。意图模块对应于大脑的前扣带皮层(anterior cingulate cortex),这一区域在人类行为控制中有突出作用。一般认为,大脑的基底神经节(basal ganglia)在产生式规则推理中发挥作用,例如模式识别、认知动作选择等任务。

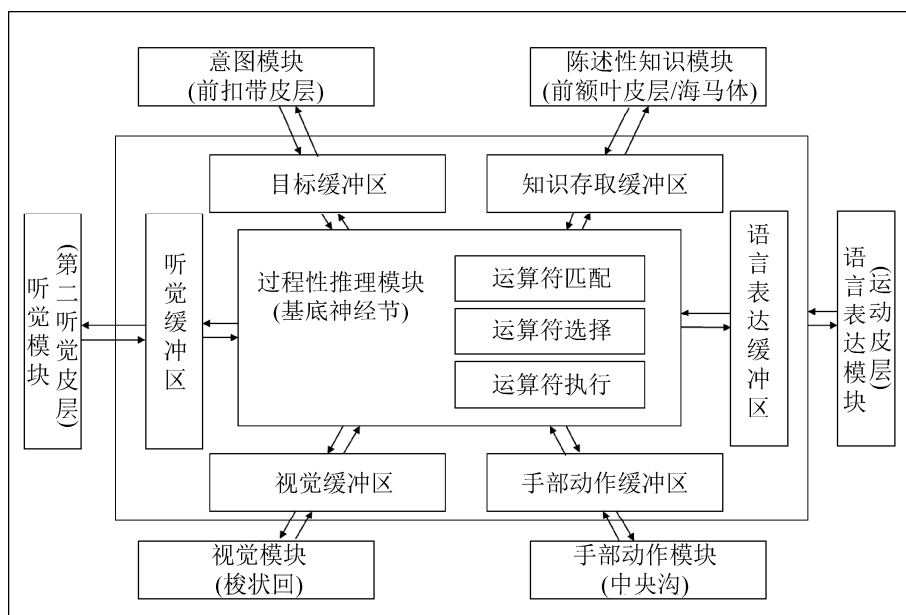


图 2 ACT-R 6.0 认知行为模型架构基本组成

Fig. 2 Components of ACT-R 6.0

ACT-R 认知架构中各模块以异步并行方式推进,并由图2中的过程性推理模块提供全局控制。每个模块内部执行并行运算,但只产生一个结果并将其存入模块对应的缓冲区中。缓冲区中的计算结果用于过程性推理模块中的运算符匹配计算,并经过运算符选择与执行步骤,将推理结果向外输出,进一步触发与其他相关模块的计算活动。

2.2 Soar

Soar 有近 40 年的发展历程,受 Newell 的统一认知理论与通用问题求解器(GPS)启发,并在多年发展后逐步成为一个符号与联结相混合的认知行为模型架构。尽管 Soar 本身在不断迭代演进(当前为 Soar 9.6.0 版本),但却始终围绕其架构核心,即问题空间计算模型(Problem Space Computational Model, PSCM)进行认知能力与计算方法的不断扩充。Soar 9 认知行为模型架构基本组成如图3所示,其中长短期记忆(或知识)用方形标识,计算过程用圆角形状标识,箭头则指向信息的流转过。输入信息从环境感知模块进入,并存储于短期感知记忆中。进而,从短期感知记

忆中抽取符号化知识结构,加入到 Soar 的全局短期工作记忆(working memory)中。该记忆一方面根据所存储的信息向上查询符号化长期记忆,另一方面为向下的动作触发提供条件。

图3中的三类长期记忆是相互独立的,分别对应不同的知识学习方法,其中过程性记忆负责存储计算过程的控制知识,这类知识在 Soar 认知架构中表示为产生式规则,不同规则按照并行方式匹配工作记忆中的状态内容。可以通过 Soar 中的组块学习机制(chunking)获取新的规则知识,并进一步结合强化学习方法修改规则权重。语义性记忆保存静态的一般性事实,着重描述概念与概念间的关系。片段性记忆则定期存储工作记忆中的状态快照,并为其标记时戳,从而支持与场景相关的知识回忆与知识关联。不同记忆均可被工作记忆查询获取,并用于符号化的推理计算中。动作输出可以有两方面影响,一是驱动执行器直接影响外部环境,二是通过想象机制对短期的感知记忆内容进行修改。

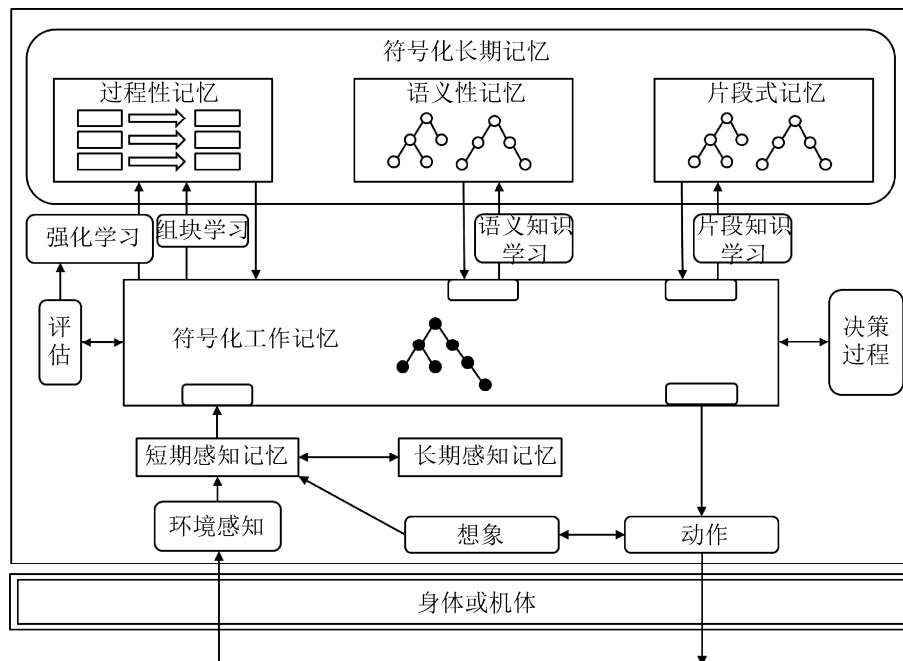


图3 Soar 9 认知行为模型架构基本组成
Fig. 3 Components of Soar 9

Soar 认知行为决策过程是按照问题空间计算模型(PSCM)进行组织的。PSCM 模型以算子(operator)运算为核心部分, 围绕提议(proposal)、评估(evaluation)、决策(decision)、完善(elaboration)、应用(application)环节依次展开, 如图 4 所示, 其中方形结构及其内部的信息环路表

示知识查询操作, 圆角模块表示 PSCM 中固定的处理程序。根据以上环节的完整程度以及行为计算过程中知识的利用程度, 可以将现有问题空间计算模型进行分类^[14], 如标准冯诺依曼架构下的计算机系统、通用问题求解器 GPS^[1]、STRIPS^[18]等, 具体内容不在此展开。

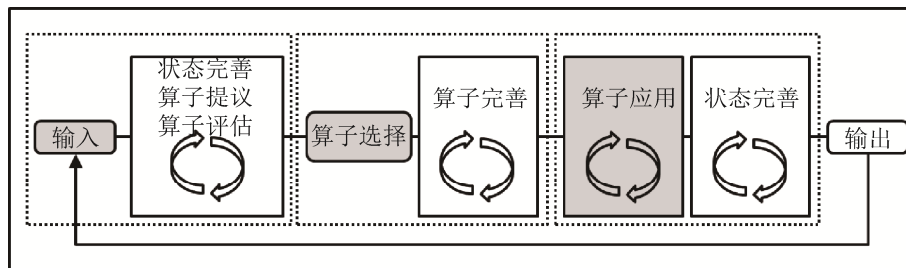


图 4 Soar 认知行为模型架构中围绕算子的决策过程

Fig. 4 Decision process of operators in soar

图 4 中, 一前一后的 2 个状态完善模块, 负责处理信息输入与动作输出前的中间过程计算。算子提议在领域无关的通用知识指导下, 提出当前工作记忆中切实可行的算子, 算子评估进一步加入领域知识, 根据当前任务目标, 进一步从可行算子集合中筛选确定当前应该执行的偏好算子。经过算子选择后, 交由算子应用模块计算, 修改当前状态并向环境输出动作。图 4 中标灰部分表示可以对工作记忆产生永久性影响(即不可撤销)的操作, 点状方框则表示一个由永久性与非永久影响模块共同组成的处理阶段。上述结构可以针对不同的应用问题进行裁剪。

图 4 中的结构表示了单一层次的完整 PSCM 模型。由于 Soar 在计算过程中可能遇到无法在单一问题空间求解的复杂问题, 如知识不足、任务存在分层结构、物理动作具有持续性等原因, 将进入当前 PSCM 下的一个问题求解僵局(impasse), 并进一步引导问题进入子状态求解, 即嵌套在当前 PSCM 下的下一层问题空间。新的问题空间具备顶层空间的全部功能, 且理论上可向其下层无限嵌套。这种设计机制极大丰富了 Soar 慎思型的复杂认知能力, 使其能够像人一样表现出层次化任务分

解、子目标、前瞻规划、想象、对手行为预测、语义及片段知识读取等行为。

当前, Soar 认知行为模型架构仍处于不断演化发展过程中, 进一步囊括了认知科学中的情感计算等相关内容。同时基于 Soar 的应用领域也在不断拓展, 如 SGI 飞行员模拟器、Descent 3, Unreal Tournament, Quaker II 等商业或基于游戏的环境仿真, ModSAF, JSAF, OneSAF, VR ForcesTM, JCATS, STAGE, simJr 等军用仿真系统, 微软机器人开发平台、USARSIM 等机器人仿真环境, 乐高 Mind Storms、PUMA 机器臂、iRobot Create 等机器人平台, HLA, DIS, Java 消息服务、COM 等企业级软件中间件, 以及 Robo-Cup 机器人足球仿真^[19]、RL-Glue^[20]、通用游戏服务器等学术研究环境^[21]。

3 标准认知架构基础上的行为实现

随着人们对人类思维与心智过程的认识不断深化, 认知行为模型架构研究也在不断推向纵深。Laird 等^[14]总结现有认知架构在结构设计、信息处理、基本认知能力等方面的重要共识, 提出标准认知行为模型架构^[22], 成为未来认知架构设计的重要参考依据。

标准架构的主要部件如图 5 所示,包括感知与运动、短期工作记忆、描述性长期记忆以及过程性长期记忆 5 个模块。其中每一模块均可进一步展开为多个模块或子模块,例如多种不同模式的感知和运动机制,多个工作记忆缓冲区,语义性或片段性的描述性长期记忆,以及多个阶段的过程性知识匹配、选择和执行。短期记忆是各个模块间沟通交互的信息通道,同样可以视为包括听觉、视觉等多模态形式的聚合记忆形态。长期描述性记忆模块、感知模块、运动模块只能对与之相关的短期记忆缓冲区进行修改。所有的长期记忆包括一种或多种与之相关的知识学习机制,从而具备信息处理过程中对知识的存储、修改、调整能力。

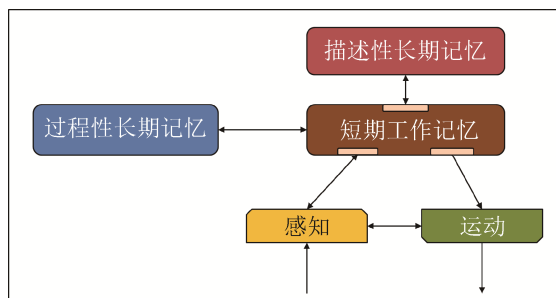


图 5 标准认知行为模型架构
Fig. 5 Standard cognitive architecture

标准架构对认知信息处理的完整环路如下:具有“if...then...”结构的过程性知识引导每一轮慎思的推理决策与动作输出,工作记忆的改变可能对应一次内部的抽象推理,或是执行外部动作的一次内部想象,同时还可以触发对长期描述性知识的查询运算、外部动作输出,以及自上而下规划调动的主动感知能力。自然语言处理、意图识别、规划决策等内外部复杂认知行为均通过多轮运算产生,而一轮认知循环的计算时间大概在 50 ms 左右。

记忆模块提供知识存储、知识维护与知识检索等各项功能,记忆中的知识主要以符号及符号间的关系进行表示。知识之上存在定量化的元数据标注,从而对意图识别、规划决策、知识推理等认知计算进行影响,知识元数据包括使用频率、近度

(recency)、同现性(co-occurrence)、相似性(similarity)、效用以及更一般的激活概念。知识元数据可以将符号与次符号化的表示和处理过程更紧密的结合起来,为混合认知架构(如当前发展阶段的 ACT-R, Soar, CAPS 架构)提供计算基础。此外,元数据集及其关联机制在认知架构中相对固定。

尽管具体实现方式不同,大部分认知架构如 ACT-R, Soar 等均具有以上功能模块,由它们提供交互接口、问题求解、规则计算、知识存储与表示等基本认知能力,为复杂认知行为提供支撑。本文以面向计算机生成兵力的意图识别行为建模为例,简要探讨认知架构基础上的认知行为实现方式。

常见的意图识别行为建模方法,一般包括 2 类:(1)以随机过程模型作为被识别者决策行为表示、滤波算法实现意图推理的概率意图识别算法;(2)以规划库/与或树/正式语法为行为表示的符号化推理方法。前一种方法由于涉及复杂的概率计算,可以借鉴符号次处理架构模式,即在架构主体基于符号化的表示与运算基础上,将意图识别作为一个独立模块进行设计和实现,由短期工作记忆发送识别请求,意图识别模块计算后将结果返回工作记忆。具体实现可参考 Soar 架构基础上逐渐拓展的空间想象、情感计算、强化学习等功能^[23]。

第二种符号化的识别方法可以自然地同符号主义架构相结合,因此同样也可在混合架构基础上实现。考虑 Soar 认知架构,通过合理抽取识别算法的产生式规则,这类意图识别方法可以嵌套在分层的问题空间计算模型中进行推理计算。

4 结论

本文从问题的研究边界、认知的抽象层次以及不同的架构分类三个角度,对认知行为模型架构进行了初步探讨。在此基础上,总结回顾了 ACT-R 和 Soar 这两类具有典型意义且发展最为充分的认知行为模型架构。以面向计算机生成兵力的意图识

别行为为例, 探讨其在架构基础上的功能实现方式。综上, 开展认知行为模型架构研究, 对于从认知机理上提高 CGF 行为建模水平, 促进模型标准化与模块化开发具有重要价值。为了进一步开展认知行为模型架构的相关研究工作, 本文针对性地提出以下几点建议:

(1) 从未来领域问题特征和实际仿真应用需求出发, 客观准确、动态持续地开展 CGF 认知行为模型架构的需求分析, 确定架构设计基本原则;

(2) 综合考虑人机交互内容与层次、基本认知模块的信息交互关系以及仿真平台基础上的功能实现, 结合复杂系统工程思想开展 CGF 认知行为模型架构及其计算框架的设计与实现;

(3) 协同开展人类认知行为的生理基础、行为表现、认知心理学等方面的科学研究与实验, 为认知行为模型架构设计与复杂认知行为建模提供坚实的理论指导与可借鉴的实践经验;

(4) 逐步积累形成一系列认知行为建模研究成果, 通过举办线上线下学术讨论、依托知名国际学术会议定期举办专题研讨会, 吸引建模与仿真、人工智能、心理学、认知学、脑科学相关科研人员参与协同研究社群。

未来, 可尝试采用 DoDAF 一类复杂系统分析和建模方法, 设计一套适用于训练仿真系统的 CGF 认知行为模型架构, 在仿真平台基础上开展认知架构计算框架的开发与实现, 构建自然交互、知识表示、逻辑推理、决策学习等基础认知能力, 为 CGF 智能人机交互、意图识别与判断、任务规划决策、情感表达等复杂认知行为的设计、开发与实现提供统一功能接口与标准规范。逐步推动认知架构的版本迭代和功能完善, 积极投入模拟仿真训练相关应用, 在实践应用中检验效果。

参考文献:

- [1] Council N R. Behavioral Modeling and Simulation: From Individuals to Societies[M]. USA: National Academies Press, 2008.
- [2] Ernst G W, Newell A. GPS: A Case Study in Generality and Problem Solving[M]. USA: Academic Pr, 1969.
- [3] Kotseruba I, Tsotsos J K. 40 Years of Cognitive Architectures: Core Cognitive Abilities and Practical Applications[J]. Artificial Intelligence Review (S0269-2821), 2018, 53: 17-94.
- [4] Ferrucci D, Brown E, Chu-Carroll J, et al. Building Watson: An Overview of the DeepQA project[J]. AI Magazine (S0738-4602), 2010, 31(3): 59-79.
- [5] Lenat D B. CYC: A Large-scale Investment in Knowledge Infrastructure[J]. Communications of the ACM (S0001-0782), 1995, 38(11): 33-38.
- [6] Brownston L, Farrell R, Kant E, et al. Programming Expert Systems in OPS5[M]. USA: Addison-Wesley, 1985.
- [7] Hill E F. Jess in Action: Java Rule-based Systems[M]. USA: Manning Publications, 2003.
- [8] Corkill D D. GBB: A generic blackboard development system[C]. AAAI. Vancouver, CAN: AAAI Press, 1986: 1008-1014.
- [9] Pollock J L. Rational Cognition in OSCAR[C]. International Workshop on Agent Theories, Architectures, and Languages. Orlando, Florida, USA: Springer, 1999: 71-90.
- [10] Brooks R A. Cambrian intelligence: The Early History of the New AI[M]. Cambridge, MA, USA: MIT press, 1999.
- [11] Bratman M. Intention, Plans, and Practical Reason[M]. Cambridge, MA, USA: Harvard University Press Cambridge, MA, 1987.
- [12] Card S K, Moran T P, Newell A. The Psychology of Human-computer Interaction[J]. American Journal of Psychology (S0002-9556), 1983, 25(4).
- [13] Newell A. Unified Theories of Cognition[M]. Cambridge, MA, USA: Harvard University Press, 1994.
- [14] Laird J E. The Soar Cognitive Architecture[M]. Cambridge, MA, USA: MIT Press, 2012.
- [15] Kelley T D. Symbolic and Sub-symbolic Representations in Computational Models of Human Cognition: What Can Be Learned from Biology[J]. Theory & Psychology (S0959-3543), 2003, 13(6): 847-860.
- [16] Sun R, Bookman L A. Computational Architectures Integrating Neural and Symbolic Processes: A Perspective on the State of the Art[M]. Berlin, Germany: Springer Science & Business Media, 1994.
- [17] Anderson J R. How Can the Human Mind Occur in the Physical Universe[M]. Oxford, UK: Oxford University

- Press, 2009.
- [18] Fikes R E, Nilsson N J. STRIPS: A New Approach to the Application of Theorem Proving to Problem Solving[J]. Artificial Intelligence (S0004-3702), 1971, 2(3/4): 189-208.
- [19] Marsella S, Adibi J, Al-Onaizan Y, et al. On Being a Teammate: Experiences Acquired in the Design of RoboCup Teams[C]. Third Annual Conference on Autonomous Agents. USA: ACM Press, 1999: 221-227.
- [20] Tanner B, White A. RL-Glue: Language-independent software for reinforcement-learning experiments[J]. Journal of Machine Learning Research (S1532-4435), 2009, 10(9): 2133-2136.
- [21] Genesereth M, Love N, Pell B. General Game Playing: Overview of the AAAI Competition[J]. AI Magazine (S0738-4602), 2005, 26(2): 62.
- [22] Laird J E, Lebiere C, Rosenbloom P S. A Standard Model of The Mind: Toward a Common Computational Framework Across Artificial Intelligence, cognitive Science, Neuroscience, and Robotics[J]. AI Magazine (S0738-4602), 2017, 38(4): 13-26.
- [23] Laird J E. The Soar Cognitive Architecture[M]. Cambridge, MA, USA: MIT Press, 2012.