

专家系统与多 agent 协作系统^{*})

Expert Systems and multi-Agent Cooperative Systems

吴建林 姜丽红 薛华成

(复旦大学管理学院管理科学系 上海200433)

摘要 In recent years, research focus of the Artificial Intelligence has been shifted from traditional Expert Systems to the Multi-Agent Cooperative Systems for workgroups. After general concepts of the Expert Systems and the Multi-Agent Cooperative Systems are formulated, this paper analyzes differences between them in detail.

关键词 Expert systems, Agent, Multi-agent cooperative systems

一、引言

最近几年, AI 研究重点逐步从专家系统(ES)转移到面向工作组的多 Agent 协作系统(MACS)^[1], 这种改变源于 AI 设计者已经意识到: 为了建立一个成功的、而不是执行与环境隔离的应用, 必须考虑应用场所的背景信息(Contextual Information)^[2]。当考虑任务背景时, 传统 ES 方法就不能很好地发挥作用, 这是因为:

(1) 当应用场所是一组为达到共同目标而在一起协作工作的 Agent 时, 单个 ES 负责完成的任务只是达到目标的一部分, 为了达到整体目标, 单个 ES 还要和其它 Agent 协调、和应用场所中的其它活动交流。

(2) ES 必须沟通应用场所的文化背景。对于一个应用程序来说, 这意味着它必须使用应用场所的词汇, 而非计算语言或抽象概念。

(3) ES 必须适应用户的知识结构、思维习惯, 即它应按照用户熟悉的方式求解问题。

(4) 任务的完全自动化可能不是最好的选择, 因为求解很多非结构化问题需要人类的智慧, 因此更好的方法是自动化一些活动, 辅助一些活动, 留一部分活动让人来完成。

在日益复杂和动态多变的信息时代里, 知识和信息的数量大大增加, 涌现出来的问题的复杂程度

和非结构化程度不断提高。为了适应社会, 人们制定决策的机会增加, 制作决策的时间要求缩短。由于信息的不确定性、环境的复杂性、个人能力的有限性, 单独依靠 ES, 或者单独依靠个人来制定质量要求越来越高的决策是很困难的。它需要人机共栖于应用环境中, 发挥各自的优势, 协作决策。因此, 本文在阐述 ES 和 MACS 一般概念的基础上, 详细讨论了二者间的区别。

二、关于 ES 和 MACS 的一般知识

2.1 ES

ES 是一个具有大量专门知识的程序系统, 它根据一个或多个专家提供的特殊领域知识进行推理, 模拟专家作决定的过程来解决那些需要专家才能解决的复杂问题^[3]。ES 和传统计算机程序最本质的区别是 ES 所要解决的问题一般没有算法解, 而且经常要在不精确或不确定信息基础上作出结论。ES 包括知识获取、知识库、推理机和解释界面四个主要部件, 开发 ES 的关键是如何获取、表示和运用专家知识, 而其中知识获取又是关键。

2.2 MACS

AI 中的 Agent 概念出现于70年代, 80年代后期才成长起来。现在, 由于计算机网络技术的发展, Agent 引起了科学界、教育界、工业界和娱乐界的广泛兴趣, Agent 也成为 AI 研究乃至整个计算研究议程

^{*}) 本文研究得到国家自然科学基金项目《基于案例学习的群体决策支持系统》资助。吴建林 博士后, 薛华成 教授, 博士生导师。

中的中心主题。

1) Agent 的内涵及性质 Agent 是分布式 AI 中的一个术语,它是一种在异质的协同计算环境中能够持续完成自治的、面向目标行为的软件实体^[4]。一个 Agent 实现的目标往往是目标集的一部分,它可能与社会中其它 Agent 进行交互以完成复杂任务。Agent 不仅能作用于自身,而且可以施动作于环境,并能接受环境的反馈信息,重新评估自己的行为;同时,它能与其它 Agent 协同工作,反复此过程,即构成了 Agent 的行为,如图1所示。

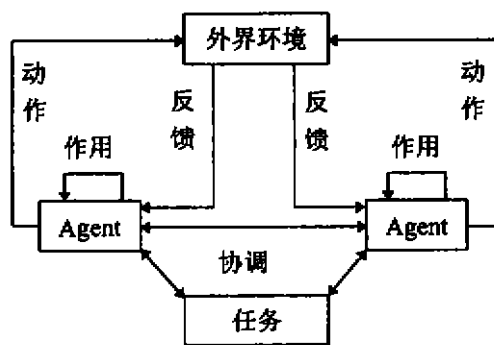


图1 Agent 行为

一般来讲,一个 Agent 拥有有限的知识源,具有多个目标,以及适应动态环境的能力^[5]。Agent 拥有的知识是关于它所处世界或它所需求解问题的描述,这些知识可以是人赋予的,也可以是 Agent 通过感知学习得到的,包括自我认识 (autoepistemic) 知识,即一般技能和经验知识^[6],以及主客观背景知识,同时,与其它 Agent 协作时还应包括有关协作结构方面的知识。Agent 所采取的一切动作都是面向目标的,目标可以是静态的,也可以是动态的。静态目标指 Agent 的行为是为了满足某个断言;动态目标指随时空变化的目标。Agent 要达到目标,首先必须能感知环境,然后利用内部知识和能力形成一系列可执行的动作计划,并选择执行。Agent 适应动态环境的能力是指其所具有的推理、决策、计划、控制能力。

Agent 具有独立性、自主性和交互性^[7]。Agent 是协作系统中的独立行为实体,它能够根据内部知识和外部激励决定和控制自己的行为,而且可和其它 Agent 有效地协同工作。

2) Agent 的基本能力 基于环境和任务的本质,Agent 的软件结构应该包括下列能力^[4]:(1)表达

知识的能力;(2)达到目标、完成计划的能力;(3)和环境交互的能力;(4)处理预料外事件的能力;(5)与其它 Agent 协调与合作、使用语言和学习的能力。

Agent 不同于早期的自动设备,因为它具有计算能力,具有图灵机能力^[8],它能接管人类的工作,并以类似人类的工作方式和人们进行交互。一些 Agent 还具有这种潜力,即根据环境的需求形成自己的目标和意图,在没有明确的指令和指导情况下,按照自己的方式制定并执行行动计划,并将产生的建议提供给人们,这时的 Agent 就充当了人类助手角色。

3) Agent 辅助用户的方式 当前,基于计算机的活动越来越多,绝大部分自动体 (automaton) 都要求用户明确启动所有任务,并监视所有事件,或者说,用户必须直接操纵这些活动,但当未受训练的用户需要有效地使用该自动体时,用户会有一种明显不适应计算机的感觉。自治的 Agent 可以用来补充“直接操纵”的人机交互模式,在称为“间接管理”的人机交互方式中,用户从事于与 Agent 的协作过程,用户和 Agent 既启动通讯、监视事件,又执行任务。Agent 可以按照一系列不同方式辅助用户工作^[9]:

(1)与用户协作完成任务时,Agent 隐藏了任务的复杂性。

(2)在相同环境下和用户合作工作时,当 Agent 了解了用户的兴趣、习惯、偏好后,它能逐渐代替用户有效地执行任务。

(3)当 Agent 熟悉了处理某类任务的一般方法和过程后,它能培训并施教于初学者。

(4)当不同的用户需要合作工作时,Agent 可以充当协调或通讯的角色,如:依赖于各个用户的 Agent 可以对合作计划进行调度。

(5)Agent 能够象用户一样监视事件和过程。

4) MACS 在群体问题求解领域中的主要应用类型 MACS 在群体问题求解领域中的应用主要有以下三种类型^[10]:

(1)合作推理系统 (CRS)。CRS 中的 Agent 在一起合作求解相同问题。其关键不在于分解问题并将子问题分配给 Agent,而在于如何指导和协调 Agent 间的交互,以便问题能够由群体同时解决。Agent 间的合作通过下列手段得到加强:信息共享、观点的互相激励、帮助群体聚焦于待求解问题最相关的信息。

(2)分布式问题求解系统 (DPSS)。待求解问题

被分解成若干子问题,分配给各个 Agent。每个 Agent 异步地设计动作、提交解答,以便与其它 Agent 的解答集成。DPSS 中的 Agent 间既共享问题,又共享数据。由于 Agent 能够异步地完成问题的部分解答,所以,DPSS 具有高度的灵活性,因而,合理设计协调策略变得尤为重要。

(3) 联结主系统 (CS)。CS 中的 MACS 视 Agent 为计算单元,每一个 Agent 没有智能,但结合在一起却能够快速解决问题,这种联结模型可以帮助多 Agent 间达到自组织、自适应的协调。

三、ES 和 MACS 间的区别分析

不少文献^[1,11,12]都或多或少地谈到 ES 和 MACS 的区别,本文从下列几个方面对 ES 和 MACS 进行详细比较:认知方式、用户和机器的地位、问题及解答的性质要求、问题求解过程特性、控制与灵活性、学习方式等。

3.1 认知方式

任何待求解问题都具有认知性,即它需要人们去思维、考虑,然后识别问题的本质结构。人是自然认知系统,能够提供问题求解所需的认知性。AI 的研究与发展使得其它认知系统成为可能,最直接的就是智能机器——基本人工认知系统,它的代表就是传统 ES。

ES 模拟人类自然认知方式,其行为与人类解决复杂问题类似,但它假设:用户在解决具体问题时,知道最终应达到的目标,只是缺乏求解问题所需的经验和背景知识。因此,ES 将焦点置于技术上,过分重视知识获取和知识表达,而忽视了适应能力,即:ES 将被谁使用?如何使用?

现实用户经常与传统 ES 的构建假设不一致。首先,面对一个复杂问题,用户在制定问题求解决策时,有时很难明确陈述问题求解的最终目标状态是什么,在许多决策任务中,最终目标状态甚至不可能很好定义,此时,实际目标变成了:按照常规思维方式,采用合适的资源完成一个满意的工作。这种目标是很难预先完好定义的,因此,人们可能更需要和多个领域内有经验的专家一起讨论问题。换句话说,当人们面对某些很难描述最终目标的复杂问题时,他们需要的不是 ES 的

经验和技能,而是协作 Agent 的构造及其交互知识,特别是面对具有创造性本质的任务更是如此。其次,ES 中的知识虽然涵盖了大多数普通环境,但由于知识的模糊性和不确定性,使得有些知识很难在实际环境中使用,而且没有被知识涵盖的情形经常出现,如果缺乏类似情形下的经验知识,问题求解决策就无法制定。

ES 和用户之间是一种人机依赖的关系,对于问题求解需要多个各自带有部分专家知识的 Agent 协作完成的情况,由于 Agent 可以是人,也可以是机器,所以 MACS 是人机共栖的集成系统。考察这种系统时,应该注重其整体性能,而不是其中任何一部分性能。这是另外一种认知系统,称为联合认知系统 (Joint Cognitive System)^[11]。

综上所述,ES 采用的是人工认知方式,而 MACS 采用的是联合认知方式。

3.2 用户和机器的地位

1) 用户的地位 ES 基于内部知识库进行推理,帮助缺少经验的用户解决一些问题,这对于求解那些有最终解而又很难发现的问题很有效,因此,ES 中的用户被视为初学者,而对于有经验的专家来讲,ES 的作用就不是很明显。

MACS 中,机器的回答不一定是整个系统的回答,因为人是系统的一部分。正是因为有了人这个自然 Agent,系统才可能解决一些非结构化问题,即那些很难由计算机解决的问题,或者是由于伦理及其它原因,不需要计算机作决策的问题。因此,MACS 将用户视为有相当能力的 Agent。

2) 机器的地位 ES 是一个自治的问题求解器,用户只需按照系统提示回答一些简单问题就可以启动问题求解过程,如图 2(a) 所示。MACS 中,用户视

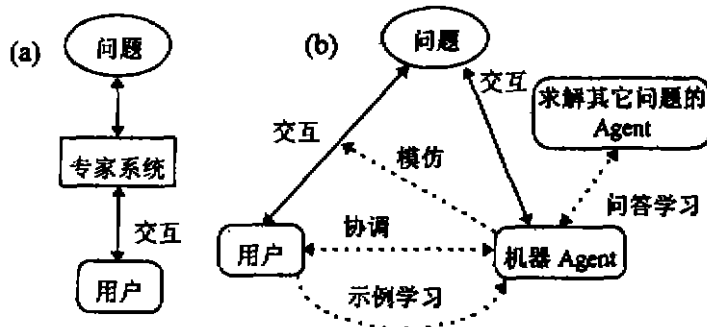


图2 ES 和 MACS 中机器 Agent 的地位

机器为合作求解问题的助手,如图2(b)所示,机器 Agent 并不提供问题的完整解答,它是在和用户一起讨论问题,有时提供的仅是求解问题的启发信息。另外,机器 Agent 通过观察用户求解问题的过程,可以模仿进而代替用户完成一些重复性任务,从这个角度讲,它充当了用户求解问题的助手。

3.3 问题及解答的性质要求

ES 所解决的问题一般是完好定义的,结构化程度较高,而且问题的解答是存在的,只是发现解答的过程较复杂而已。因此,解答的正确性和问题求解过程的有效性是两个重要的指标。为了保证求解过程的有效性,需要提供符合严密逻辑体系的推理过程,ES 正是基于符号逻辑的。为了保证解答的正确性,有必要限制系统只能解决那些能够精确解决的问题。虽然 ES 不会提供错误的解答,但很多例外情况也无法处理,降低了系统的鲁棒性,也导致它只能适用于较窄范围的领域问题。

MACS 中,由于用户的地位发生了根本性变化,即用户被视为具有有价值领域知识的自然 Agent,机器 Agent 无需完成全部功能,因此,MACS 就可以处理一些较为模糊的问题,或者说是半结构化或非结构化问题。这种类型的问题求解目标可能无法确定,换句话说,所求解的问题可能没有唯一正确的解答,此时,MACS 被用来帮助和补充人类的问题求解过程,它基本上是提供一些建议,这些建议无需精确定义,只要用户能够清晰地提炼即可,由用户将建议适配入问题求解情景。一个好建议往往比一个正确解答提供了更多内容,因为前者包含了协作问题求解,不同 Agent 以协作方式解决问题时可以导致对问题更全面的了解。因此,MACS 能求解较宽范围的领域问题,但同时要求有效的协调策略来保证多 Agent 间清晰的交互过程。

3.4 问题求解过程特性

问题求解是 ES 的主要功能,它根据提供问题求解的终点状态,因此,系统必须知道做什么,然后,推理机利用内部知识进行推理,提供最终解答。ES 中知识是通向终点状态的唯一手段,被用来指导问题求解过程,并帮助系统找到正确解。

MACS 更多情况下是讨论问题,而不是提供问题的解,它必须对问题知道得更多,如不仅了解领域知识,而且了解有关的背景知识等。为了保证多 Agent 间清晰的协调过程,它必须知道每一次交互活

动为什么要执行。因此,MACS 不是利用知识达到一个正确的解答,而是在适当的时候为用户提供可用的知识。由于 MACS 中的 Agent 采用不同的方式交流观点,因此,它就集成了多种不同的功能,这些功能依赖于待求解的任务类型,如评价、指南、改善协商、辅助教学等认知功能都有可能集成入 MACS 中。

3.5 控制和灵活性

系统行为的控制和灵活性是一对矛盾体,是对系统处理例外情况能力的度量,灵活性越大,系统的例外处理越好,控制越多,期望能自动化的任务就越多。

ES 智能体现在知识的丰富程度上,因此,它严格控制知识获取过程,体现在:(1)采用统一的知识表达方法,即使采用混合知识表达法,也需要进行严格的转换。AI 界已经意识到,没有一个统一的知识表达法能适用于所有环境,所以,专家知识或多或少要经过一些变形才能纳入知识库中,这种变形很少是双向的,因而影响到知识的有效性。(2)经过验证(verification)和确证(validation)后的知识,一旦确定下来就固定不变,忽视了知识的进化特征,直接导致 ES 的灵活性较差。

ES 的推理过程具有严密的逻辑结构,严格执行“匹配-动作”循环。这种刚性的控制结构保证了推理的有效性,如果用户信任知识库中的知识,那么 ES 能让用户信任推理结果的正确性。如果说知识获取的“瓶颈”降低了 ES 的可接受性,那么严密的逻辑推理结构却增强了人们使用 ES 的信心。

ES 是基于“封闭性世界假说”体系的,其对外界环境的适应是通过反馈环节实现的,即:ES 施动作于环境后,接受环境反馈信息,这种控制无法接收环境的动态变化,也避开了环境变化对知识强度的影响,必然导致例外情况的处理能力相当弱。虽然学习行为包含在 ES 中,但只是作为知识获取的手段,不具有学习的实时性和动态性特征,从而降低了 ES 的灵活性。

MACS 智能一方面体现在单个 Agent 智能上,另一方面体现在多 Agent 协调机制上。Agent 施动作于外界环境的先决条件是它必须具备感知器和执行器。Agent 根据内部知识,针对外部环境,执行一个无限的感知-推理-动作循环。Agent 智能体现在知识处理和感知-推理-动作循环过程的实现上,提供此

循环过程和内部知识的手段一般有两种:一是通过 AI 程序设计,二是通过机器学习^[12]。

通过 AI 程序设计手段为 Agent 提供知识与 ES 知识获取手段相同。该方法需要知识工程师的努力,将大量特定的应用领域知识输入到 Agent 的知识库中。这种控制手段依然存在着缺乏灵活性的问题:(1)当 Agent 面对其它应用时,原来的知识和控制结构很少能用。(2)Agent 的知识不能根据用户的习惯和偏好进行定制。(3)Agent 现有的知识不可能涵盖所有的预料外事件。通过 AI 程序设计手段为 Agent 提供感知-推理-动作循环过程与 ES 推理机制相同。严密的逻辑结构保证了 Agent 能正确处理预料情况,对预料外事件的处理仍缺乏灵活性。

基于机器学习技术建立 Agent 的知识库和感知-推理-动作循环过程的基本假设就是:在某种条件下,Agent 能控制自己的行为,自我编程(program itself),即能获取它所需要的知识辅助用户。用户只需给 Agent 最少的背景知识,Agent 能从用户和其它 Agent 处学习合适的行为。这种方法的好处是:(1)它只要求用户或应用开发者为其做较少的工作。(2)随着时间的推移,Agent 能容易地适应用户,并根据用户的习惯和偏好定制内部知识库。(3)有助于在不同用户间转移知识。由于用户具有很强的处理预料外事件的能力,通过机器学习,机器 Agent 也能逐步具备这种能力,这无疑增强了单个 Agent 求解问题的灵活性。

良好的协调机制能保证多 Agent 协作求解问题的清晰性和灵活性,文[10]中详细地阐述了多 Agent 间的协调策略。

3.6 学习方式

学习意味着:一个系统能够通过获取新知识、提炼旧知识、使用更好的策略、记住成功的案例等手段提高其性能。AI 界已达成共识:学习和问题求解应该集成在一个智能系统中,ES 的学习能力对知识获取和求解是必不可少的,MACS 的学习能力甚至更重要,因为 Agent 间存在经常的交互和信息共享。

ES 中的学习主要以知识转移或启发知识迁移的形式出现,也可以通过扩展机器学习技术实现,如基于解释学习、归纳学习等。MACS 除了具有上述形式外,单个 Agent 还可以通过观察其他 Agent 的行为进行学习。

ES 的学习方式主要是概念学习,即从训练示例

中衍生出满意的概念描述。概念学习的过程为:给定一个训练示例集,利用一系列概化(generalization)和特化(specialization)步骤,在所有可能的概念描述空间中搜索,直到找到满足所有训练示例的概念描述。

MCAS 中的单个 Agent 也具有概念学习方式,另外,还采纳了群体归纳(group induction)学习方式,即:为了集体发现新概念,多 Agent 从事于收集证据、产生假设、评价假设等活动。群体归纳学习过程为:单个 Agent 各自进行观察,形成假设,并对修正假设寻找新证据。随着观察的深入,证据可以支持或否定假设,Agent 对假设的信任也会加强或减弱,这个过程直到产生的新概念能被所有观察和所有 Agent 的信念支持为止。

参考文献

- [1] Georg Klinker et al., Cooperative Systems for Workgroups, IEEE Expert, June, 1995
- [2] Patrick Brezillon et al., Using Knowledge in Its Context: Report on the IJCAI-93 Workshop, AI Magazine, Spring 1995
- [3] 施鸿宝等,专家系统,西安交通大学出版社,1990
- [4] Sara Reese Hedberg, Intelligent Agents: The First Harvest of Softbots Looks Promising, IEEE Expert, August 1995
- [5] 刘海燕等,多 Agent 系统的研究,计算机科学, No. 2, 1995
- [6] Dirk E. Mahling et al., From Office Automation to Intelligent Workflow Systems, IEEE Expert, June 1995
- [7] 王怀民等,基于 Agent 的分布计算环境,计算机学报, 19(3)1996
- [8] Donald A. Norman, How might people interact with Agents, CACM, 37(7)1994
- [9] Pattie Maes, Agents that Reduce Work and Information Overload, Same to [8]
- [10] Michael J. Shaw, Mark S. Fox, Distributed Artificial Intelligence for Group Decision Support, Integration of Problem Solving, Coordination, and Learning, Decision Support Systems, No. 9, 1993
- [11] Goran Forslund, Toward Cooperation Advice-Giving Systems: A Case Study in Knowledge-Based Decision Support, IEEE Expert, August 1995
- [12] R. T. H. Chi, M. Y. Kiang, Reasoning by Coordination: an integration of case-based and rule-based reasoning systems, Knowledge based systems, 6(2)1993
- [13] Mieczyslaw M. Kokar, Spiridon A. Reveliotis, Reinforcement Learning, Architectures and Algorithms, Intl. J. of Intelligent Systems, Vol. 8, 1993