

开放的分布式人工智能*

胡蓬 石纯一 王克宏

(清华大学计算机科学与技术系, 北京 100084)

摘要 本文阐明了研究开放分布式人工智能(DAI)的重要性,详细讨论了开放DAI系统中开放的含义,并指出开放DAI系统中两个关键技术问题——自适应和矛盾处理及其研究现状。

关键词 分布式人工智能,开放系统,自适应,矛盾处理,协商。

分布式人工智能(Distributed Artificial Intelligence, DAI)是人工智能研究的一个重要分支,它研究人工智能计算中的并发性和相互交互的半自治系统集合的构造、协调及其有关技术,有着广泛的应用前景^[1,2]。

DAI研究从70年代开始至今,取得不少成果,但是除了DAI的基本技术问题有待深入研究以外,仍有两个重要问题需要解决。首先是实际工程化问题。迄今,建立实用的DAI系统难度依然很大,这是由DAI系统的分布特点造成的。另一个重要问题在于现有DAI系统的封闭性。迄今研制的绝大多数DAI模型或系统都是封闭的,即各Agent的知识、能力以及Agent间关系都是预先设计好的,在问题求解过程中不能改变,而且问题是离散输入、逐个解决的,问题求解过程中,系统与外界环境没有交互。这种封闭性对DAI系统的性能带来限制。事实上,从DAI应用角度看,系统应是分布与开放的,例如在分布式传感及解释、空中交通控制、工业制造和机器人、银行系统、飞机订票系统等应用中,输入数据都是分布和连续变化的。在问题求解过程中,系统应不断从外界获取信息。从系统角度看,DAI系统也是开放的,随时会发生预料不到的结构上变化:一方面,构成DAI系统基础的物理结点及其通信网络的软硬件故障时常发生且无法预料;另一方面,在象CSCW(Computer Supported Cooperative Work)那样将人也作为一种Agent的系统中,人类Agent的类型、个数、知识、能力以及同其它Agent的关系更是变化不定的。因此,为了提高自适应性、灵活性和问题求解效率,DAI系统应根据外界环境(问题本身、求解过程中来自外界的信息等)和系统结构的变化而动态调整系统的Agent类型、个数、能力和组织结构,并在这种动态、开放的环境下协调Agent的行为。

人类社会组织的高性能一直是促进DAI发展的动力之一,许多人类社会的组织与协作

* 本文1994-01-08收到,1994-06-17定稿

作者胡蓬,1963年生,副教授,主要研究领域为分布式人工智能,人工智能基础,计算机体系结构。石纯一,1935年生,教授,博士生导师,主要研究领域为人工智能应用基础,知识工程。王克宏,1941年生,副教授,主要研究领域为知识工程,分布式人工智能。

本文通讯联系人:石纯一,北京100084,清华大学计算机科学与技术系

规律被用来指导 DAI 的研究. 人类社会组织本身就是开放和自适应的, 所以, 从这种类比的角度看, DAI 研究也要向开放的方向发展.

总之, 开放的分布式人工智能是目前 AI 的一个重要研究方向.

1 开放的含义

C. Hewitt 曾说过, 开放信息系统指的是永远不能预估其操作结果, 且在任何时刻都可能接受来自外部信息的系统^[3].

开放的 DAI 系统就是一种开放信息系统, 具有以下两个主要特性^[4]:

(1) 开放性(Continuous Availability)

(i) 任务的开放性

在开放的 DAI 系统中, 问题求解任务是随时输入、随时处理的;

(ii) 系统的开放性

开放的 DAI 系统本身是动态变化的, 这可能由下面两个原因造成:

(a) 故障 构成 DAI 系统基础的物理结点及其通信网络的软硬件故障时常发生且无法预料;

(b) 外界干预 在有些应用中(如 CSCW), 可能会人为地增删系统中 Agent 与物理结点、修改 Agent 的能力、知识及与其它 Agent 的关系, 这些外界引起的系统变化一般也是无法预料的;

(iii) 问题求解的开放性

问题求解过程中, 各个 Agent 一方面需要来自其它 Agent 的数据或知识, 另一方面也要用到外界环境的信息, 这两种信息的变化都是无法预料的.

(2) 模块性(Modularity)

开放的 DAI 系统是大规模系统, 组成系统的物理结点与逻辑模块(Agent 或 Agent 内部更小的模块)往往是独立开发的, 因此它们彼此只能了解外部特性, 而对内部具体细节并不知道, 这种模块性又称作“隐蔽的关系”(Arm's-length Relationship)^[5]. 模块性也有利于系统容错.

面对客观的开放性和模块性, 开放的 DAI 系统除了保持 DAI 系统的基本特点(如: 有效的问题分解分布策略, 协作方法, 每个 Agent 能对其它 Agent 的目标、意图、问题求解状态进行推断)以外, 还应具有以下能力:

(1) 自适应能力

系统应能在动态变化的问题求解环境下, 合理地组织和改变所拥有的资源、知识和策略, 完成不断变化的问题求解任务;

(2) 处理矛盾能力

在开放的 DAI 系统中, 由于封闭世界假设已不适用, 出现矛盾是正常的, 因此系统应能合理地处理矛盾;

(3) 处理新到信息的能力

系统中各 Agent 在问题求解过程中, 要利用来自其它 Agent 和外界环境的信息, 由于问题求解是连续进行的, 这些动态变化、无法预料的信息对过去及将来的求解有重要影响,

系统应能妥善处理这些新到信息.

(4) 扩充能力

系统应允许扩充,以拥有新的物理结点或 Agent.

2 开放的 DAI 系统的关键问题

DAI 系统从封闭向开放型发展,除了任务描述、分解和分布、通信、一致性、为其它 Agent 建模等 DAI 基本技术问题有待深入研究外,自适应(Adaptation)和矛盾的处理是开放的 DAI 系统中关键的问题.

2.1 自适应

自适应是指 DAI 系统的行为能适应问题求解任务的变化(时间要求、质量要求等)、系统资源的变化(软硬件故障、外部增删的资源、人类 Agent)和可用的外部信息的变化(问题求解过程中所用的、来自外部环境的、变化的信息),即系统能适应变化的问题环境的要求.

自适应对于开放的 DAI 系统是重要的:(1)开放的 DAI 系统面对着变化的环境,即动态变化且无法预料的任务、资源和外部信息;(2)为了提高系统的实时性和效率,充分利用现有资源、已求解问题的结果、与待求解问题间的关系来完成当前的任务,开放的 DAI 需要有自适应能力.

提高 DAI 系统自适应能力的途径:

(1) 增加单个 Agent 的适应能力

80 年代,美国麻省大学的 V. R. Lesser, D. D. Corkill 与 E. H. Durfee 在这方面做了大量工作,他们在 DVMT 系统中,强调单个 Agent 应拥有复杂的局部控制,通过局部规划来控制各个 Agent 的活动,以适应新的事件发生.

(2) 自组织

自组织指系统在接收新任务后,能组织有效的 Agent 集合来完成任务.自组织的基本方法有:

(a) 产生新的 Agent

1986 年,美国麻省理工学院的 C. Hewitt 和 G. Agha 提出 Actor 模型,在此模型中,一旦接收新任务就立即产生相应 Agent(Actor)进行求解,一旦完成任务,则取消相应 Agent.

(b) 利用空闲的 Agent

美国麻省理工学院的 R. Davis 和加拿大的 R. G. Smith 1983 年提出的“合同网络”,就是采用招标—投标的方法,从空闲的 Agent 中选取合适的来构成执行任务的 Agent 集合.

美国兰德公司的 S. Cammarata 等人 1983 年在 ATC 空中交通控制系统中,用投票和公认约定的方法选择冲突消解 Agent.

(3) 组织重构

组织重构指不断地、周期性地根据变化的任务、资源、外部信息以及系统过去的行为,改变组成系统的 Agent 的类型与数目.

美国麻省理工大学的 C. Hewitt 和 G. Agha 用邮递系统进行组织重构.

美国依里诺依大学的 M. J. Shaw 和德克萨斯大学的 A. B. Whinston 1988 年以工业制造为应用,根据各 Agent 过去的行为、当前任务,采用遗传变换算法,周期性地产生新一代.

Agent 集合.

日本 NTT 试验室的 T. Ishida, M. Yokoo 和美国南加州大学的 L. Gasser 在 90 年代初,针对分布式产生式系统,利用重构知识,在每个问题求解周期结束时动态分解或组合系统中的 Agent,以满足任务的实时约束和变化的资源要求.

2.2 矛盾处理

DAI 系统中的矛盾主要表现在:

- (1)目标冲突 不同 Agent 的目标相互冲突.
- (2)资源冲突 不同 Agent 竞争同一消费性资源,从而导致冲突.
- (3)结果冲突 不同 Agent 对同一问题得出矛盾的结果.

结果冲突往往是目标冲突和资源冲突的外在表现,它可以是数值也可以是规划或动作.结果冲突还可能由不同 Agent 之间知识间差异所致,即不同 Agent 推理时所用的规则、事实、启发式搜索知识和解标准约束之间存在不完全性、不一致性、不兼容性和不可公度性.不完全性(Incompleteness)指某 Agent 拥有另一 Agent 所没有的知识;不一致性(Inconsistency)说明两个 Agent 对同一逻辑命题得出不同的真值;不兼容性(Incompatibility)指不同 Agent 的知识表示不可比;不可公度性(Incommensurability)则表明尽管知识表示相同,但不同 Agent 对其解释不同.在封闭 DAI 系统中,由于采用公共的解释框架和标准协议,不兼容性和不可公度性很少出现^[6].

现有的主要处理矛盾方法有:利用公共知识、标准化、仲裁与调停、约束松弛、证据推理与辩论、参照先例和协商等^[7].

在开放的 DAI 系统中,矛盾常发生.因为一方面,独立开发的 Agent 会随时动态地加入或离开系统,另一方面,Agent 内部的知识、能力和策略在问题求解过程中也会随时动态变化,这两方面因素不仅会增加系统中 Agent 间知识不完全和不一致的可能性,而且会导致封闭 DAI 系统中少见的知识不兼容和不可公度,这些知识差异是产生矛盾的根源.

“封闭世界假设”在开放的 DAI 系统中不成立,Agent 之间的矛盾无法用逻辑演绎的方法来解决(这种矛盾又称作“演绎不可判”问题).因为经典演绎逻辑系统不允许有矛盾的知识存在,故从理论上讲,用一个逻辑演绎系统去解决矛盾是不可能的.另外,系统是开放与动态变化的,物理上随时会加入或者离去一个或多个 Agent、通信路径或物理结点,事实上不存在一个对各冲突 Agent 均完全了解、万能的 Agent 用演绎来解决矛盾.因此,过去在封闭 DAI 中采用的利用公共知识、标准化、仲裁与调停等以公共知识和演绎逻辑为基础的矛盾处理方法对于开放的 DAI 系统已不成立,协商是处理开放 DAI 系统中矛盾的一种好方法.

协商在 DAI 领域已得到广泛而深入的研究,根据研究的出发点不同,现有的协商算法基本上可分为以下两类:

(1)从理论研究出发的协商算法

这类研究首先以简化的例子作为背景,从理论上对协商算法进行深入研究,然后将得到的理论方法扩充应用到实际问题中.美国的 R. Davis 和加拿大的 R. Smith 在 80 年代初提出的合同网络协议,以色列希伯莱大学的 J. Rosenschein 与美国斯坦福大学的 M. Genesereth 基于对策论的研究,美国麻省理工学院的 C. Hewitt 在 80 年代中期提出的 Due Process 方法以及美国麻省大学的 S. Lander 和 V. Lesser 1993 年提出一种“协商的搜索”方法

等都属于这类研究. 后来, T. W. Malone 使用更复杂的经济学模型对合同网络进行了扩充, 用于分布式计算环境中的任务调度; H. Parunak 也对合同网络进行了改进, 应用于工业制造控制中. 美国 Tremont 研究所的 E. M. Gerson 和 S. L. Star 以制定某健康保险公司的用户手册为例, 对 Due Process 做了详细研究; “协商的搜索”方法被应用于一个蒸汽冷凝器的机械设计和一个买卖合同协商的例子.

(2) 从实际应用出发的协商算法

这类研究首先结合实际的应用问题, 研究出有效的、与领域有关的协商算法; 然后, 扩充算法应用范围, 使其更为通用. 有代表性的工作包括美国卡内基梅隆大学的 K. P. Sycara 1989 年的 PERSUADER 模型; 美国 Clarkson 大学的 S. E. Conry, R. A. Meyer 和美国麻省大学的 V. R. Lesser 1986 年提出的“多级协商”协议, E. H. Durfee 和 V. R. Lesser 于 80 年代中提出的部分全局规划 PGP; 美国 Lehigh 大学的 K. Werkman 1991 年提出的基于知识的协商方法; 美国波音公司的 M. Klein 对协作设计系统中的冲突消解的研究等. 其中一些算法后来被扩充为通用算法, 如 K. Kuwabara 和 V. R. Lesser 1989 年、S. E. Conry 1991 年对“多级协商”协议分别做了扩充; K. Decker 和 V. Lesser 以 PGP 为基础, 扩充为通用的部分全局规划 GPGP 方法.

有关协商的研究还有 S. Kraus 和 J. Wilkenfeld 对协商中时间因素的分析, C. Lewis 与 K. Sycara 提出的共享精神模型, A. Sathi 和 M. Fox 用买卖的方法对资源重分配的研究, M. Adler 等对资源冲突和目标冲突的分类等等. 协商的主要是处理矛盾, 象基于对策论的研究、劝说性辩论、多级协商、基于知识的协商、Due Process 和 M. Klein, C. Lewis, M. Adler 的工作都属于此列. 协商还可用于任务分布(如合同网络、部分全局规划)和资源分配(如多级协商及 A. Sathi, M. Adler 的工作).

下面详细介绍几个有代表性的处理矛盾的协商方法.

① 基于对策论的研究

1984 年, 以色列希伯莱大学的 J. Rosenschein 与美国斯坦福大学的 M. Genesereth 用对策论方法对非协作类 Agent 在没有通信的情况下的交互以及有通信时的冲突消解进行了研究. 然而, 这一工作的缺点是假设 Agent 预先掌握与交互有关的公共知识, 这在 DAI 系统中是不现实的. 90 年代初, G. Zlotkin 和 J. Rosenechein 将此工作做了很大改进, 允许协作或非协作类 Agent 在只有部分信息的情况下进行协商和冲突消解, 并形成一般理论.

② 劝说性辩论(Persuasive Argumentation)

美国卡内基梅隆大学的 K. P. Sycara 1989 年以劳资谈判为背景对非协作类的多 Agent 交互进行了研究. Sycara 所提出的“劝说性辩论”模型将基于示例的推理(Case-Based Reasoning)和多属性效用理论(Multi-Attribute Utility Theory)相结合, 能够产生方案和缩小双方差异的反方案, 并可以就其它 Agent 的信念做推理、修改其它 Agent 的信念. 该模型在协商中引入一个调停者, 为协商双方提出和修改折衷方案, 直至达成协议.

③ 多级协商(Multistage Negotiation)

美国麻省大学的 S. E. Conry, R. A. Meyer 和 V. R. Lesser 1986 年提出一种“多级协商”协议, 以协作地解决资源分配冲突. 这是一个分布式规划问题, 应用领域为对某复杂通信系统的监控, 该系统由经链路相联的站点网络组成, 每个站点内有若干通信设备. 这些站点分

布在几个地理子区域内,每个子区域内有一个站点作为控制 Agent,负责该子区域内通信系统的监控,每个 Agent 对整个通信系统的知识是不完全和动态变化的.在出现线路故障时,各 Agent 可以通过“多级协商”识别出由于资源(链路)限制而无法恢复线路的情况(约束过渡问题)或者相互协作、进行分布式规划来恢复通信线路.依靠“多级协商”,每个 Agent 能够获得足够的知识,就局部活动对非局部状态的影响进行推理,并相应修改自身的行为. K. Kuwabara 和 V. R. Lesser 后来又对“多级协商”做了扩充.

④ Due Process

美国麻省理工学院的 C. Hewitt 在 80 年代中认为 Due Process 在开放信息系统中起着重要作用,依靠 Due Process 进行协商可以解决不一致的微理论之间的矛盾. Due Process 指的是人类和计算机为了在一定资源约束下进行决策与动作,而产生合理的、相关与可靠信息的过程,这些信息包括知识(信念)、规划、目标、请求、承诺等,它们可以是对过去历史的记录,也可以随时随地从外部环境中获取.依靠 Due Process 获取的信息对进一步协商十分有益.但是, Due Process 研究非常困难,开展的工作不多.最有代表性的工作是美国 Tremont 研究所的 E. M. Gerson 和 S. L. Star 以制定某健康保险公司的用户手册为例,对 Due Process 所做的研究,然而,这一成果未在计算机上实现.

⑤ 基于知识的协商(Knowledge-based Negotiation)

美国 Lehigh 大学的 K. Werkman 1991 年提出一种基于知识的协商方法来消解冲突. K. Werkman 用此方法实现了一个建筑设计评估系统 DFI,即从设计师、装配工和安装工的角度评估一个建筑构件的好坏. Werkman 认为,为了使每个 Agent 根据自己及其它 Agent 的观点进行推理, Agent 之间需要共享有关领域问题的背景知识.在“基于知识的协商”的方法中,每个 Agent 拥有各自“可共享的观点”, Agent 之间可以通过“领域特征”来共享这种知识. DFI 系统由设计师、装配工、安装工和仲裁者四个 Agent 组成,仲裁者拥有关于其它三方的知识以及协商的历史记录,一旦出现冲突,由仲裁者进行调停与仲裁.

在处理矛盾的现有协商方法中,有一些采用第三者调停(如劝说性辩论、基于知识的协商),对于开放的 DAI 系统而言,建立这样的调停者是不合适的,因为组成系统的 Agent 数目、所拥有知识都是变化的.开放的 DAI 系统更需要象多级协商、Due Process 那样分布式、动态的协商方法.

3 小 结

本文通过综述分析,阐明研究开放的 DAI 的重要性,指出开放的含义及开放的 DAI 系统中的关键问题——自适应与矛盾处理,并列举了目前对这两个问题的研究现状,为深入研究开放的 DAI 打下基础.

参考文献

- 1 Gasser L. An overview of DAI. In: Avouris N, Gasser L, eds. Distributed Artificial Intelligence: Theory and Praxis, 1992. 9—30.
- 2 Durfee E. The distributed artificial intelligence melting pot. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, November/December 1991, SMC-21(6):1301—1306.

- 3 Hewitt C. Open information systems semantics for distributed artificial intelligence. *Artificial Intelligence*, 1991, 47:79—106.
- 4 Agha G, Hewitt C. Concurrent programming using actors: exploiting large—scale parallelism. in *Readings in Distributed Artificial Intelligence*, Morgan Kaufmann Publishers, San Mateo, CA, 1988. 398—407.
- 5 Hewitt C. Offices are open systems. *ACM Transactions on Office Information Systems*, 1986, 4(3):271—287.
- 6 Gasser L. Social conceptions of knowledge and action: DAI foundations and open systems semantics. *Artificial Intelligence*, 1991, 47:107—138.
- 7 Bond A, Gasser L. *Readings in Distributed Artificial Intelligence*, Morgan Kaufmann Publishers, San Mateo, CA, 1988.

OPEN DISTRIBUTED ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Hu Peng Shi Chunyi Wang Kehong

(Department of Computer Science and Technology, Tsinghua University, Beijing 100084)

Abstract This paper specifies the importance of Open Distributed Artificial Intelligence, discusses the openness of open DAI systems, and analyzes Adaptation and Conflict Resolution, two key techniques in open DAI researches, in detail.

Key words Distributed artificial intelligence, open systems, adaptation, conflict resolution, negotiation.