

基于假设的分布式协作求解

姚莉

(国防科技大学系统工程系 长沙 410073)

摘要 本文提出在大型互联网络上实现协作求解的一种方法. 基于假设的协作求解模型 ACPS (assumption-based cooperative problem solving) 能够实现不确定环境下多主体间的连续协作求解. 本文介绍了 ACPS 模型的基本思想, 并以军事态势估计问题为背景简要说明了该模型在分布式协作信息处理系统 DESW 中的实现.

关键词 分布式人工智能, 多主体系统, 分布式系统, 协作, 军事态势估计.

中图法分类号 TP18, TP316

分布式人工智能 DAI (distributed artificial intelligence) 系统的协作方式是使不一致观点和信念的各主体 (Agent) 能协调一致地并行推理, 共同解决大型、复杂、由单一主体无法完成的困难问题. 本文针对军事态势估计 (Situation Assessment) 问题求解提出基于假设的协作求解模型 ACPS (assumption-based cooperative problem solving), ACPS 通过证据的动态积累和协作中矛盾的动态消除支持不确定环境下多主体间的连续协作求解.

ACPS 模型不同于以往的 FA/C, DATM 等协同模型^[1], 这些模型主要通过各节点相互交换试验性中间结果或共享结果, 来汇集各节点一致的全局解. ACPS 中各节点维护自己的推理空间, 协作的目的在于两方面: ① 实现各自的局部求解 (如局部军事决策); ② 支持更高抽象层次的问题求解 (如上级军事决策). 各节点的求解结果允许出现差异, 但各节点内部的推理空间是一致的和有效的, 并且协作求解结论满足相关一致性.

本文介绍 ACPS 模型的基本思想及在分布式协作信息处理系统 DESW 中的实现.

1 基于假设的协作求解模型 ACPS

ACPS 模型的设计基于如下假设: 协作系统中各主体实现问题求解的领域知识, 皆为正确的和一致的.

设新建立的形式化系统为 Γ , Γ 提供的语言能表示一个给定主体 $agent_i$ 的知识以及在 $agent_i$ 中所执行的基于假设的推理.^[2]

语言 Γ 是由一阶语言 L , 加上 L 中成员的一元元语言关系组成, L 中的任何公理在这里

* 本文研究得到国家“八五”攻关项目基金和“九五”国防预研项目基金资助. 作者姚莉, 女, 1965年生, 博士, 讲师, 主要研究领域为人工智能, 智能决策, 分布计算.

本文通讯联系人: 姚莉, 长沙 410073, 国防科技大学系统工程系 703 教研室

本文 1997-08-05 收到修改稿

依然是公理,假定与公理相关的推理规则是 *modus ponens* 和 *generalization*.

L 中子句的集合 $Sent(L)$ 是 L 中闭合公式的集合,相应于必要信息和偶然信息, $Sent(L)$ 被划分成两个子集:基本的合式公式和非基本的合式公式,分别用 $Sent_N(L)$ 和 $Sent_C(L)$ 表示. 即 $Sent(L) = Sent_N(L) \cup Sent_C(L)$. 划分 $Sent(L)$ 的意义在于: $Sent_N(L)$ 中的子句是含有变量的合式公式,它表示现实世界中的一类个体所具有的共同性质; $Sent_C(L)$ 中的子句代表了依赖于语言的个别常量的信息,这些个别常量对于表示的现实来说是偶然的. 因此有 $Sent_N(L) \cap Sent_C(L) = \emptyset$.

为了能够描述 $agent_i$ 的所有知识和信息, Γ 中引入一类特殊的合式公式即不含任何变量和约束变量的子句,称作假设. 假设是假定成立的偶然知识,如假定事实 a 成立,记作 $A(a)$. 假设集 A 与 L 中子句集可能是矛盾的,当出现矛盾时,我们就认为某些假设的合式公式失败,将其从信念库(即本体假设集)中删去.

因此,主体 $agent_i$ 的知识被分为两部分,用语言 Γ 表示为一个二元组 (K_i, A_i) , 其中 K_i 是 $Sent(L)$ 的一个子集, A_i 是假设成立的偶然知识的集合. (K_i, A_i) 称作一个基于假设的可失败逻辑结构. K_i 代表了 $agent_i$ 的基本信念集,它是恒为真的不可失败部分,即 $K_i \perp \perp$ 永不成立; A_i 是假设成立的所有偶然知识的集合,表示 $agent_i$ 中部分可能为真的试探性信息.

设 DAI 系统有 n 个主体构成, $DAI\text{-}System = \{agent_1, agent_2, \dots, agent_n\}$. 每一主体 $agent_i$ 具有一个当前可失败逻辑结构 (K_i, A_i) ($i = 1, 2, \dots, n$). 在 ACPS 模型中,协作求解过程被分为 3 个基本部分:选择机制、推理机制和分布式真值维护机制.

选择机制的任务是分析原始数据和其他主体的试验性中间结果,并依据这些结果的论据结构,选择出较为“合理”的结论,作为特殊的假设数据加入到本体的求解过程中,形成当前可失败逻辑结构 (K_i, A_i) ($i = 1, 2, \dots, n$); 选择的结果并非完全正确,但随着证据的积累,为真的事实最终能够被发现. 因而不确定性呈下降趋势. 这里,实现选择的经验性规则和策略对于提高效率是至关重要的.

推理机制的主要任务是实现协作求解. 根据当前可失败逻辑结构 (K_i, A_i) 进行基于假设的推理,一个试探性结论 P 在 $agent_i$ 中被导出是指 K_i 和 A_i 的合取可导出 P , 当矛盾被导出时 A_i 被否定; 同时,推理机制为每一推导结果计算“论据结构”和“环境”信息,并将它们作为节点记录下来,使之形成一个推理结构网. 除此之外,推理机制还需根据协作策略,将与协作相关的结论和协作请求通讯至其他主体.

分布式真值维护机制的主要任务是根据推理机制建立的推理结构网,识别其中的矛盾,并通过多个主体的协作消除冲突,维护推理的有效性. 这里的矛盾识别是检查各类约束条件是否违例. 当发现矛盾需消除不一致性时,不仅要刷新本体与矛盾节点相关的所有节点,而且要刷新其他主体中所有与变化节点相关的节点,这一过程我们称之为“维护协作推理结构网的相关一致性”.

因此,在 ACPS 中 DAI 系统的协作求解过程是各主体不断选择自己的当前可失败逻辑结构,并依据当前可失败逻辑结构进行协作推理,推出矛盾时则进行分布式真值维护,否认矛盾的假设集,选择新的可失败逻辑结构继续进行推理. 这一过程循环进行,直到目标被获得. 在此模型中,如何有效使用其他主体的试验性结果建立假设、维护和管理假设以及出现矛盾时如何快速消除错误结论传播带来的不良影响是协作中需解决的关键问题.

值得注意的是:①每一主体的数据结构可维护多个不相容假设集的存在,但构成当前可失败逻辑结构(K_i, A_i)中的所有假设却是相容的,推理机制仅在当前可失败逻辑结构上进行推理,仅当求解出现矛盾时才撤消不一致的假设集并消除与之相关的所有结论.②系统中各主体的当前假设集之间可能存在不一致,这并不影响协作求解的有效性,因为协作过程是相互选择的过程,协作的实现是在双方当前的假设集未发现矛盾的基础上进行的.

2 ACPS 模型在 DESW 系统中的实现

DESW 系统是在 Sun Workstation 上实现的面向军事态势估计(SA)任务的分布式协作信息处理系统.有关 DESW 系统的组织模型和知识表示框架见文献[3~5].本节简要介绍 DESW 系统的基本结构,然后讨论同级主体之间采用 ACPS 方式实现的协作求解.

2.1 DESW 系统简介

DESW 系统由多个称作 EA (expert agent)的智能主体组成,每个 EA 代表一个独立的信息处理子系统,具有自己的知识库、推理机和局部实时交互界面,并通过消息发送与其它 EA 相互作用.各 EA 分布于物理位置不同并以网络互联的多个处理器节点上,形成层次协作组织,并发计算,协同工作.

在 DESW 系统中,各 EA 采用统一的微组织知识表示结构,微组织内部的基本功能模块称作单元.单元定义为基本数据结构与相应操作集封装在一起的可激活计算实体,它具有可标识性,并能完成特定的微组织职能.

EA 中的主要单元分为如下几类:

- 推理协调单元(ICU):负责规划微组织的行为,协调 EA 内部各类活动的完成,并代表 EA 实现与其它 EA 的协作.

- 动态单元:在 ICU 的控制协调下完成微组织的管理、求解和协作任务.主要的动态单元有:相互作用单元(IAU)、局部用户界面单元(UIU)、目标识别输入单元(OIU)、分布真值维护单元(ATMU)、过程性知识单元(PKU)、问题求解单元(PSU).其中构成 PSU 的子单元为:目标发现处理单元(New-Platform-Found)、目标移动处理单元(Platform-Moving)、目标改变处理单元(Platform-Changing)、空间群组合处理单元(SG-Combining)等.构成 PKU 的子单元为:邻近位置求取(Neighbour-Locating)、边界判断(Border-Judging)、功能群识别单元(FG-Identifying)、交战群识别单元(IG-Identifying)等.

- 静态单元:提供微组织活动所需的公共设施.主要的静态知识单元有:元级协作知识单元(MKU)、全局数据结构单元(GWU)、数据库单元(DBU).

2.2 基本定义

在军事态势估计问题求解中,原始输入信息可能存在不确定性或错误,因此,求解系统必须具有一种机制来维护多种可能的态势模型,并使相容模型之间实现信息共享,构成当前的态势分析报告.在 DESW 系统中,我们不仅使用 ACPS 实现协作求解也采用 ACPS 模型来实现这种机制.

在 DESW 系统中所有关于外部环境的信息以及对这些信息进行分析解释而产生的结论均表示为命题.系统中的命题分为 4 类:前提命题、假设命题、导出命题和通信命题.

前提命题:表示预先定义的知识或普遍成立的命题,其真值在求解过程中恒定不

变.如观测域中的地形知识、可识别对象的性质等.

假设命题:表示没有逻辑基础,系统的选择机制依据某种原则假定成立的命题,其真值状态在后续求解过程中可能变化.如系统中定义的运载器(Platform)假设、扩展假设、外部假设等.

导出命题:所有从其他命题出发、根据求解规则(如扩展规则、裂变规则、识别规则等)而导出的结论称作导出命题.导出命题的重要一类是不一致命题.不一致命题出现在态势模型中表示态势分析存在错误.例如:一个功能群(或空间群)不可识别,则表示其中的运载器假设存在错误;一个空间群的移动是不完整的,表明扩展假设存在错误等.

通信命题:根据协作求解规则被确定通讯到其他主体的命题.这一类命题的定义主要用于实现协作求解和分布式真值维护.

2.3 数据结构

数据结构的设计对于基于假设的推理至关重要,直接影响着求解的效率.在 DESW 系统中,各 EA 的数据结构存放在全局数据结构单元(GWU)之中,其主要结构 reasoning-workspace-area 是一个复杂的二维数组,表示地形状态信息.根据地形位置可寻查到所有的运载器信息.不相容的运载器假设、扩展假设、外部假设分别以表的形式按可信度排列,所有排在首位的假设构成当前推理所使用的假设集.系统中每推导出一个命题就在推理结构网上建立一个新节点,节点内容如下所示:

```
[node: 节点名;
node-type: 命题类型;
node-content: 命题内容;
as-label: 命题标记;
owner: 导出此节点的主体;
inference-description: 推理规则描述;
ante-list: 导出此节点的前件节点表;
conse-list: 此节点的后继节点表;
a-struc: 此节点的论据结构.]
```

一个节点的论据结构包含如下内容:

```
(node-time: 此节点的建立时间;
time: 此结论的观测时间;
S: 观测位置与本体传感器中心位置的相对距离;
agent-list: 协作求解的主体表;
CF: 此结论被证明的次数;)
```

所有的导出节点按照导出关系以指针相连,形成多个推理树结构,即推理结构网.在推理结构网的最底层是二维数组 reasoning-workspace-area,而处于最高抽象级上的节点则构成系统在当前时刻所导出的态势模型.

在 DESW 系统中,中间结果被分类,按地理位置和结果类型进行查询,系统能够保证相同结论关联于同一点,使基于假设推理的优势得以发挥;并且,系统通过检查约束条件发现矛盾状态,然后依据矛盾类型分析不一致的假设集,从而达到识别和消除不一致文本的目的,提高了基于假设推理的效率.

2.4 基本算法

我们从选择、推理和真值维护 3 个方面说明算法的实现。

(1) 选择机制 运载器假设和扩展假设分别由 EA 的运载器识别输入单元(OIU)和问题求解单元(PSU)在求解过程中建立,依据假设进行求解的任务也随之产生;外部假设由相互作用单元(IAU)完成,其主要步骤如下:

①检查本体推理结构网中是否有相同结论。

②当本体有相同结论时,增加本体结论的可信度(即此结论的论据结构增值),消息处理结束。

③当本体结论与外来结论矛盾时,分别计算其论据结构,依据一定规则选择论据结构可信值较大的结论,若本体结构可信值较大,则丢弃外来结论,消息处理结束;若外来消息具有较大可信值,则首先产生一个真值维护类任务,使之撤消现有的结论,然后将外部结论转换为一个外部假设,插入到推理结构网中,产生一个依据新假设求解的任务,结束消息处理。

④当本体无结论时,将外来结论转换为一个外部假设,插入到推理结构网中,产生一个依据假设求解的任务,结束消息处理。

(2) 基于假设推理 基于假设的推理主要由多个问题求解单元(PSU)和过程性知识单元(PKU)联合完成。下面我们首先说明假设的计算规则:

设结论 P 的假设集为 $AS(P)$, 根据定义:

如果 $\forall a \in AS(P)$, 都有 a 是假定为真的, 且 $AS(P)$ 是一致的, 则 P 是可信的;

如果 $a \in AS(P)$, a 是不可信的, 或 $AS(P)$ 是矛盾的, 则 P 是不可信的。

①若 P 为前提命题, 则 $AS(P) = \{\}$ 。

②若 P 为假设命题, 则当 P 为运载器假设或扩展假设时, $AS(P) = \{P\}$; 当 P 为外部假设时, $AS(P) = \{EA; P\} \cup \overline{AS}(P)$, 式中 $\overline{AS}(P)$ 表示 P 在原主体为通讯命题时的假设集, $EA; P$ 表示来自 EA 的外部假设。

③若 P 为导出命题, 且有 $a_1 \wedge a_2 \wedge \dots \wedge a_n \rightarrow P$, 则 $AS(P) = \bigcup_{j=1}^n AS(a_j)$ 。

④若 P 为通讯命题, $AS(P)$ 的信息将作为环境信息与 P 一起通信到相应的协作主体。

PSU 和 PKU 的问题求解包括如下抽象算法描述推理过程:

①针对不同的任务, 根据推理规则进行推导。

②为推导出的新命题建立节点, 计算其假设集, 并记录推理规则。

③为新节点计算论据结构。

④依据约束条件判断新节点是否为矛盾节点, 若矛盾则转向真值维护。

⑤查询此节点在推理结构网中是否存在, 若存在则修正原节点(如论据结构增值), 否则将其插入到推理结构网中。

⑥根据协作规则确定此节点(即结论)是否需要通讯给其他主体, 若需要则标志为通信命题, 并产生相应的通讯任务。

(3) 分布式真值维护机制 DESW 系统通过检查约束条件发现矛盾状态, 矛盾识别活动主要出现在 PSU, PKU 以及 OIU 的求解过程中, 当出现矛盾时, 控制将转向分布式真值维护单元 ATMU。ATMU 的主要任务是消除矛盾, 使问题求解器总是在一个一致的假设集

A_i 形成的可失败逻辑结构 (K_i, A_i) 上进行推理. 主要过程如下所示:

- ① 根据矛盾类型, 确定引起矛盾出现的最小假设集合 T ;
- ② 将所有标记为 T 的超集节点标识为矛盾节点予以消除;
- ③ 对每一待消除矛盾节点, 循环执行④~⑥;
- ④ 将此节点从推理结构网中撤消, 并检查此节点是否为通信命题;
- ⑤ 若为通信命题, 则产生通讯任务, 使协作主体进行分布式真值维护;
- ⑥ 检查此节点是否有后继节点, 将所有后继节点标记为矛盾节点;
- ⑦ 所有矛盾节点消除后真值维护过程结束.

3 结束语

本文提出了基于假设的协作求解模型——ACPS, 并用 ACPS 方法实现了分布式 SA 问题中的协作求解. ACPS 中有关“证据动态积累”和“不确定性消除”的思想同样适合于其他的协作求解系统. 同时, “低效”问题的策略对其他 ATMS 实用系统也具有可取之处.

参考文献

- 1 Wooldridge M, Muller J P, Tambe M *et al.* Intelligent Agents Volume I (ATAL9-95), Lecture Notes in Artificial Intelligence, Springer-Verlag, 1996.
- 2 de kleer J. An assumption-based TMS, problem solving with the ATMS. Artificial Intelligence, 1986, 28(2): 127~196.
- 3 姚莉. 分布式协作知识模型及在军事态势估计领域的应用研究[博士论文]. 长沙: 国防科技大学, 1995.
- 4 姚莉. 建立 DAI 系统的组织模型. 计算机工程, 1997, 23(3): 15~19.
- 5 Yao Li, Wang Hao, Chen Wenwei. Distributed problem solving model for military situation assessment. In: Proceedings of Second World Congress on Expert Systems, Lisbon, 1994.

ASSUMPTION-BASED DISTRIBUTED COOPERATIVE PROBLEM SOLVING

YAO Li

(Department of System Engineering National University of Defense Technology Changsha 410073)

Abstract This article presented a new way to realize the cooperative problem solving on large mutual network. ACPS (assumption-based cooperative problem solving) paradigm can achieve the successive cooperation among multiple agents in undetermined environment. This paper introduced the basic idea about ACPS paradigm, and illustrated how to realize ACPS in distributed cooperative information processing system DESW for military situation assessment task.

Key words Distributed artificial intelligence, multi-agent system, distributed system, cooperation, military situation assessment.

Class numbers TP18, TP316