

用于军事态势估计的协作知识模型*

姚莉 陈文伟 汪浩

(国防科技大学系统工程与数学系 长沙 410073)

摘要 分布式人工智能(DAI)是AI领域的一个新分支。DAI研究的主要目的在于分析和设计大型复杂的协作智能系统。本文以军事智能决策过程中的重要环节——态势估计任务为背景,提出了用于实现分布式协作求解的知识表示框架DESW系统。文章简要分析了军事态势估计领域背景,然后从系统设计的三个方面依次介绍了DESW的系统组织模型、主体概念模型和分布式协作推理模型。

关键词 分布式人工智能, 专家系统, 知识表示, 军事态势估计

分类号 TP18

近年来随着计算机网络、通信、并发程序设计等技术的发展,分布式人工智能(Distributed Artificial Intelligence 简称DAI)逐渐成为AI领域新的研究热点。DAI主要研究在逻辑上或物理位置上分布的多个智能主体如何并发计算、相互协作地实现问题求解。DAI研究目的在于分析和设计大型复杂的协作智能系统。

在开发一个分布式智能求解系统以支持军事信息处理和决策制定活动中,关键问题在于如何模型化多个军事专家的知识以及如何模型化多个军事专家的协作行为。然而,由于DAI系统在基本的AI理论和概念上增加了分布性与并发性。各智能主体之间存在复杂的协作关系,主体不仅需要了解自己的知识、行为和求解能力,而且需对相关主体的意图、计划和信念进行表示和推理;问题求解不仅依赖于自身的知识库状态和求解模型,而且还要受到其他主体知识、技能和求解行为的制约。因此,分布式智能求解系统的设计和实现是复杂而困难的,需要在理论上和技术上寻求新的知识表示方法和问题求解模型。

本文以军事智能决策过程中重要环节——态势估计任务为背景,提出一个用于实现分布式智能问题求解和知识表示框架——DESW(Distributed Expert System Worrktation)。DESW系统由多个称作EA(Expert Agent)的智能主体组成,每一EA代表一个独立的知识处理单元,具有自己的知识库和推理机,并通过消息传送机制与其它EA交换信息。

1 军事态势估计领域问题

军事态势估计(SA)任务是对所收集到的大量信息,进行及时地解释与处理,为军事指挥员提供较为完整准确的当前态势分析报告。在现代军事环境中,由于战场范围广,信息量大,集中的信息处理方式远远不能满足问题求解的实时性要求,因而信息处理需多个带有传感器的处理节点,分布于不同地理位置,形成一个分布式信息处理网,以便汇集各局部环境的信息。网络中每一节点仅能观察到整个环境的一部分,并试图尽可能地识别出局部区域中的所有动态实体,分析它们的军事意图和战术关系。

* 1993年6月30日收稿

为了能够及时处理局部信息，综合分析局部信息的全局战术意义，迅速建立完整准确的当前态势模型，各分离节点必须利用有限的通信带宽迅速交换局部分析结果，协同完成全局态势估计任务。

如图 1 所示， EA_1 、 EA_2 、 EA_3 的观察范围分别为 S_1 、 S_2 、 S_3 ，设有一组成队列形式移动的对象 (ob_1 , ob_2 , ..., ob_n)，在 t_1 时刻位于 $[A, B]$ 区域，在 t_2 时刻位于 $[A', B']$ 区域，则 EA_2 在 $[t_1, t_2]$ 时间内的协作求解可用图 1(b) 简要表示。

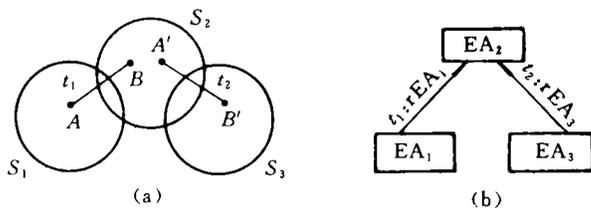


图 1 (a) 相互覆盖的传感范围 (b) 协作求解模式

在 DESW 系统中，SA 问题求解可描述如下：

(1) 问题的输入。原始输入数据是关于当前战场环境中运载器的变化情况。这里的运载器 (Platform) 指战场上的动态军事实体，如人、战舰、飞机等。假定原始数据来自传感器数据融合的结果，则每一节点的信息输入集可表示为：

$$S_i = \{P_1, P_2, P_3, \dots\} \quad (i = 1, 2, 3, \dots)$$

其中， P_i 是运载器在某时刻的状态变化信息。

$P_i = \{\text{运载器类型、状态、时间、当前位置、速度、标识、能力、目的、}\dots\}$

局部输入信息具有下述特点：① 不完整性；② 不精确性；③ 易出错；④ 易过时。

(2) 局部节点的问题求解。局部节点的问题求解采用自底向上逐层分群的方式进行。利用基于知识技术通过逐级分解建立战术态势模型的问题求解可参见文献 [1][2]。图 2 表示群的形成过程和抽象层次。

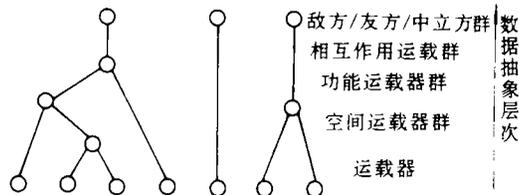


图 2 态势估计的抽象层次

图中，空间群是按位置关系对所有运载器分组；功能群是将完成相同功能的相似类型运载器组合在一起，以识别完成共同功能的运载器队列。如完成同一袭击任务的舰队或机群；战术上相关的多个运载器形成更高层次的相互作用群，相互作用群提供敌方或我方战术的适当描述。例如，轰炸机群、潜艇和舰队配合作战，形成一个相互作用群；按敌方、友方、中立方等标识性质又可将相互作用群划分成敌方/友方/中立方群；敌方群和我方群存在可能的对抗关系，这些敌对的相互作用关系构成当前战术世界的全部状态，即可能的冲突状态。对这些相互作用关系的识别和推导形成最终的当前战术态势模型。

局部问题求解主要是群的递增建立和群结构的维护，以及关于群的各种参数（如功能群参数有运载器类型、数目、运动轨迹、移动平均速度等）的推理。根据输入信息的类型，求解过程分为以下方面：

- 发现新运载器：加入到现有群中或产生新的群。
- 跟踪运载器移动：根据运载器移动的最新状态信息修正群结构中的有关参数。
- 更新运载器：此信息是对先前传感信息的精确说明或错误更正。因此需检查群成员是否仍有效，对群结构或有关参数进行维护。

(3) 协作问题求解。由于运载器在整个战场环境中连续移动，而局部节点的求解知识（专家知识，地形，地理知识等）和感知信息均局限于一定传感范围，因此，各节点局部问题求解之间存在逻辑依赖关系，必须通过协作来完成；其次，输入信息可能是不完整、不精确、易出错和易过时的，求解中出现的 uncertainty 需要通过节点间交换部分求解结果和数据的协作方式来减少；最后，某些局部的原始信息或求解结果可能具有潜在的全局意义，节点间通过共享这些知识和信息可加快求解速度。

(4) 求解结果。每个局部节点通过协作识别出与自己传感范围内的运载器有关的所有群。系统求解目标是在求解时间一定的情况下，系统获得正确的个数尽可能多，错误解尽可能少。

2 系统组织模型与主体概念模型

2.1 系统组织模型

建立分布式协作系统的首要问题在于各信息处理节点应当以什么形式组织在一起。在 DESW 系统的组织模型设计中，我们将“功能精确的协作专家”方式^[3]与“层次组织”方式有机地结合在一起。这样设计的原因，一方面在于“功能精确的协作专家”方式是动态组织多个智能主体以响应不确定或迅速变化环境的适合方式，有助于增强系统的“健壮性”(robust)和求解不精确问题的能力；另一方面，层次组织是实现复杂信息处理的重要手段，面向军事的应用需要层次抽象处理方式协调信息收集、任务分配和决策制定等行为，以增强系统灵活性和有效控制能力。

(1) 分层协作的组织结构

针对 SA 任务的特征，DESW 系统的多个 EA 被组织成层次结构，并具有分层协作能力。图 3 所示是一个两层的协作模型，其中 EA'_1 与 EA_{11} 、 EA_{12} 、 EA_{13} ($i=1, 2, 3$) 之间是上下级协作关系； EA_{11} 、 EA_{12} 、 EA_{13} ($i=1, 2, 3$) 以及 EA'_2 、 EA'_3 之间是同级协作关系。在此模型中处于同一父节点之下的同层 EA 之间之“功能精确的协同”方式实现协作，并将协作求解结果提供给父节点，对父节点的问题求解提供支持；父节点对子节点的协作行为具有一定程度的管理和控制能力，父节点使用各子节点提供的结果信息和本体输入的情报信息，与它的同级节点相协作在更高抽象层次上实现更复杂的问题求解。

(2) 协作求解策略

①知识分布策略：层次组织结构决定了知识的组织同样是分层的。各 EA 都具有元级知识和元级控制机制。这些元级信息包括有关组织结构的知识、外部相关 EA 的符号模型、协作策略等；其次，各 EA 具有局部范围的地形地理知识、军事知识和战术模型库、以及有关态势分析的解群知识等。同时，上级 EA 具有比下级 EA 更完整的领域知识和解释信息，能对下级 EA 呈交的求解结果进行合理仲裁。各 EA 的原始输入数据是局部传感信息或情报信息。

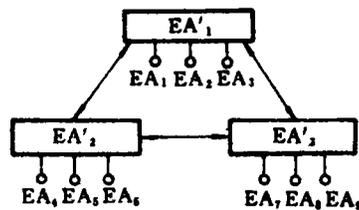


图 3 协作专家的层次组织方式

②任务分解与责任分布策略：任务分解是静态的，各 EA 分析解释特定局部范围的信息，建立关于此地理范围的态势模型。层次结构中的叶节点处理实时性较强的传感信息或其他局域情报信息，并将态势报告呈交上级节点；上级 EA 根据本体的领域知识和情报信息对下级 EA 的求解结果进行评判和综合分析，在更高抽象层次上建立相对全局化的整体态势模型。

③协同控制策略：层次协作模型中间级 EA 间实现异步、并发协作是协同控制的难点。DESW 系统在功能精确协同 (FA/C) 模型基础上，通过复杂化各主体局部控制的不同抽象层次实现了一个协作与竞争并存的协同模型。系统吸收了 FA/C 模型中共享中间结果和异步交换信息的协作求解特性，将 EA 间的协同分为三个抽象层次：控制级、真值维护级、结果共享级。控制级协作是使协作求解同一问题的主体保持行为间的连贯性。例如，若 EA_1 跟踪的一个群正向 EA_2 传感范围移动，则 EA_1 须与 EA_2 交换控制信息，保证求解连续进行；真值维护级协作主要是维护各 EA 协作推理的有效性和保持 EA 知识库之间的相关一致性；结果共享级协作的目的在于消除求解中的不确定性，通过协作加快求解速度。

④冲突消解策略：由于同级 EA 的传感范围存在复盖，且 EA 间传感、求解能力存在不同，因而，协作求解中可能存在冲突。系统采用了基于假设真值维护技术，为识别和消除不一致性提供基本框架。同时，解空间中的每一中间结果都附有一个论据结构。当协作求解出现不一致性时，EA 依据协作策略对论据结构进行分析，确定消除矛盾的方式，并通过真值维护机制保证本体解空间的有效性。各 EA 建

立的局部态势模型仍可能存在不一致的观点，这些冲突由上级 EA 仲裁解决。

2.2 EA 概念模型

DESW 系统的 EA 分为二类：无下级节点 EA（叶节点）和有下级节点的 EA。它们具有不同的内部结构和功能模块设计。由于篇幅限制，以下以叶节点 EA 的概念模型为例进行说明。

DESW 是处理大粒度集成的协作求解系统，各 EA 内部求解活动的组织极其复杂。为了能够有效实现 EA 的复杂知识表示和协作控制机制，EA 内部结构被进一步细化，使功能模块间建立起明确的分工协作关系。EA 内部的基本计算实体称作“单元”；单元是 EA 内部组织知识、行为的基本单位。所有单元的集合构成 EA 内部的一个微组织，单元之间的相互作用体现了微组织内部的分工协作。单元的计算机内实现与面向对象系统中的对象类似，也是一个基本数据结构与操作集封装在一起的可激活计算实体，区别在于单元是功能模块，不具有继承性等语言特性。单元内部有两类操作集：与本单元数据结构相关的操作和施加于全局数据结构上的操作。仅具有前一类操作的单元称作静态单元；具有二类操作的单元称作动态单元。动态单元的行为体现了与其他单元分工协作的相互作用行为。

EA 内部结构中各单元间的分工协作关系如图 4 所示，其中，全局数据结构、数据库单元和元级知识单元均属静态知识单元，其他单元为动态单元。下面对各单元功能设计做简要描述。

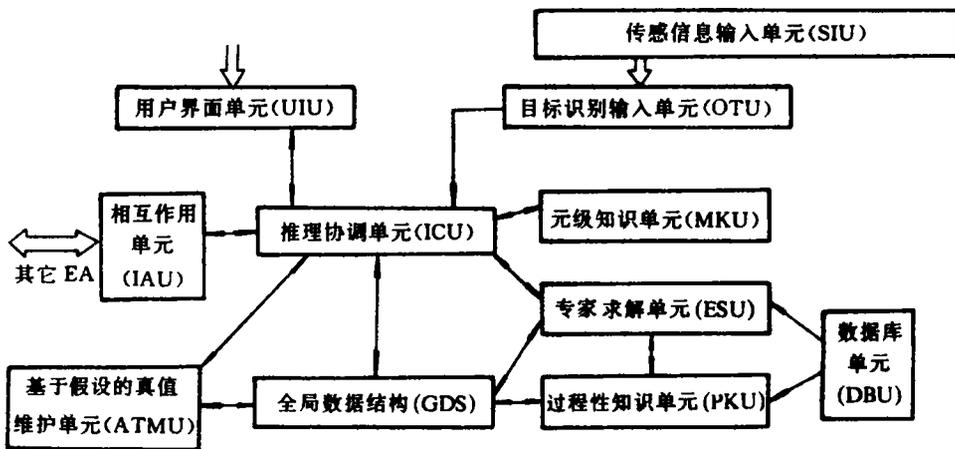


图 4 DESW 的主体 (EA) 结构示意图

元级知识单元 (MKU)：MKU 存放协作求解所需的元级控制信息。MKU 的操作具有积累知识的学习能力，在协作求解过程中可动态刷新内部数据结构中的元级信息。MKU 的主要数据结构包括本体模型、相关主体模型、组织结构关系和协作策略等。

数据库单元 (DBU)：DBU 存放有关 SA 任务的特定领域知识，如传感范围、地形概貌、战术模型等。

全局数据结构 (GDS)：GDS 代表本 EA 的当前求解状态。GDS 类似于一个公共存贮区，存放当前输入事件和求解状态信息。各动态单元求解时均可访问 GDS 并将结果记录在 GDS 中的有关框架中。

相互作用单元 (IAU)：IAU 是 EA 与其它主体通信的界面，负责协作主体之间的信息交换。IAU 的主要结构与操作包括：输入、输出消息队列、通信规则库、消息发送与接收机制等。

用户界面单元 (UIU)：UIU 负责实现局部用户和 EA 系统的交互。用户通过 UIU 定义多主体环境，输入领域知识和求解信息，动态询问求解结果或状态信息等；系统则通过 UIU 向局部用户显示当前态势报告、回答用户提问以及解释分布式推理过程。

传感信息输入单元 (SIU)：负责将原始传感信息输入 EA 以待求解。

过程性知识单元 (PKU)：存放经测试被证明是正确的结构化知识。PKU 中的操作称作“原子操

作”，原子操作以函数的形式被存放，运行时不需要与其它 EA 相互作用。

专家求解单元 (ESU)：ESU 是本 EA 实现智能求解的主要工作单元，ESU 含多个利用专家经验规则实现领域问题求解的操作，ESU 在求解过程中负责协作意图的产生。

基于假设的真值维护单元 (ATMU)：ATMU 根据矛盾类型、GDS 中存放的各求解结果的论据结构、假设依赖关系、推导历史等信息对解空间进行维护，消除所有不可信结论。ATMU 的基本结构和操作包括假设索引库、真值维护规则集、矛盾的定位和消除机制。

推理协调单元 (ICU)：ICU 是 EA 实现协作求解的核心机构。其主要任务包括：①在每个推理周期，按照系统控制策略和规程，调度各单元运行；②协调各单元分工协作和相互服务；③解释来自外部主体的消息，实现协作求解；④根据 ESU、ATMU 的返回结果(协作意图)以及 MKU 中的元级信息实现与其它 EA 间的协作。ICU 的主要操作包括协调调度机制、控制转换机制、消息解释器和消息组装器。

3 分布式协作推理模型

在 DESW 中，各 EA 使用自己的信念集实现基于假设的推理。基于假设推理是一种基于假设或可能的猜测进行推理的问题求解方式，其基本思想是依据一定事实建立假设，只要没有信息表明一个假设是错误的，则这一假设和依据假设推导出来的一系列事实在系统中均为真。假设和结论都是试验性结果，当导出矛盾或发现假设错误时，原始假设和依据假设进行的一系列推导都必须被修正。EA 求解时所建立的假设与其信念集相一致，EA 的信念修正系统仅保证自己信念集的一致性。不同 EA 信念集的并可能存在矛盾。

来自其他 EA 的结果信息通过相互作用单元被结合到推理求解过程中。系统为每一共享结果提供一个论据结构，使共享结果级协作能够在基于假设推理框架中实现。通过论据结构实现结果共享有以下几种形式：①外部结果被集成到本 EA 的中间结果中以产生一个更为完整的局部试验性结果；②被用于肯定或否认局部解；③外部结果被用于引导 EA 搜索一个局部解，加快搜索效率。

在 EA 中分布式推理机制的实现主要由推理协调单元 (ICU)、相互作用单元 (IAU)、专家求解单元 (ESU) 和基于假设的真值维护单元 (ATMU) 协调完成。其中 ICU 是分布式推理机制实现的关键，ICU 引入逻辑推理周期作为实现调度的基本循环过程。在每个推理周期 ICU 依据调度策略驱动各单元按一定逻辑关系协调运行，并通过调度使协作得以实现。

设系统当前输入的传感事件数为 S_n ，外部消息数为 E_n ， F_1 、 F_2 是与领域问题相关的两个调度函数，其中， $F_1(S_n, E_n)$ 和 $F_2(S_n, E_n)$ 分别表示当前应处理的传感事件数和外部消息数。我们用以下基本算法描述每一推理 EA 完成的基本活动。

- (1) 驱动 OIU 输入新的传感事件信息。
- (2) 计算当前的 $F_1(S_m, E_m)$ 。
- (3) 循环处理 F_1 个传感事件信息，对每一传感信息做如下工作：
 - (3-1) 驱动 ESU 处理新的输入数据。
 - (3-2) 根据 ESU 返回结果进行随机调度。
 - (3-3) 若返回新的态势模型，则驱动 UIU 向用户显示态势变化；
 - (3-4) 若返回协作意图，则 ICU 根据协作类型和 MKU 中的元级信息确定协作对象，并利用 ICU 的消息组装器封装消息；
 - (3-5) 若返回矛盾，则驱动 ATMU 进行真值维护。
- (4) 驱动 IAU 根据通讯策略实现与外部 EA 的信息交换。
- (5) 计算当前的 $F_2(S_m, E_m)$ 的值。
- (6) 循环处理 F_2 个消息，对每一外部消息做如下工作：
 - (6-1) 驱动 ICU 的消息解释器，按消息优先级选择新消息处理。

- (6-2) 根据消息解释结果进行随机调度。
- (6-3) 若为控制级协作信息, 则 ICU 根据消息内容驱动 ESU 完成相应协作任务;
- (6-4) 若为真值维护级协作, 则驱动 ATMU 实现信念修正;
- (6-5) 若为结果共享信息, 则 ICU 按协作策略将新信息插入解空间, 并驱动 ESU 实现协作;
- (6-6) 若为远程解释, 则驱动 UIU 工作。
- (7) 驱动 UIU 解释用户的输入命令。
- (8) 驱动 ESU 实现常规问题求解。
- (9) 驱动 ATMU 进行常规知识库维护, 检查不一致性。
- (10) 若 ATMU 返回协作意图, 则 ICU 根据 MKU 中的元级信息, 向外部 EA 发送真值维护级协作消息。

4 结束语

我们在 Sun Workstation 上利用 Common lisp 和 C 语言实现了基本的 DESW 知识表示框架, 并基于一个简化 SA 任务进行了开发测试, 模拟实现了一个三节点的分布式协作求解系统。

目前我们的研究工作主要在于完善系统的组织框架, 进一步研究系统的通讯策略、控制策略和适合于问题求解的真值维护机制, 以及从理论上深入探讨多主体系统的知识分布特性和相互作用机理。

DESW 系统要成为一个实际应用系统, 还需大量工程实践和理论研究。

参 考 文 献

- 1 Harris. Application of Artificial Intelligence to Command & Control System. IEE. 1988
- 2 Wesson R, Hayes-Roth F, et al. Network Structures for Distributed Situation Assessment. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 1981, SMC-11(1): 5~23
- 3 M N Huhns eds. Distributed Artificial Intelligence. Pitman/Morgan kaufmann, San Mateo CA, 1987
- 4 Mire P P, Patrick D B, eds. Proceedings IJCAI-91 Workshop on Intelligent & Cooperative Information Systems. Australia, 1991
- 5 姚莉, 陈文伟, 汪浩. 分布式多智能主体知识模型. 中国青年计算机研究进展'92. 北京: 清华大学出版社, 1992

Cooporating Knowledge Model for Military Situation Assessment

Yao Li Chen Wenwei Wang Hao

(Deparement of System Engineering and Maths. NVDT, Changs. 410073)

Abstract

This paper introduces the application of Distributed Artificial Intelligence (DAI) techniques in the assessment of the military situation. Distributed expert system workstation (DESW) is a problem-solving framework for the multiagent intelligent system. In this paper, we describe mainly the system organiration structure agent concept model and cooperative reasoning model of DESW for modeling the problem-solving behaviors of the multi-agent.

Key words distributed artificial intelligence, expert system, knowledge representation, military situation assessment