

基于 Multi - Agent 的军事油料虚拟仓库结盟协商研究

Multi - agentbased - Alliance Cooperation in Military Oil Virtual Warehouse

樊 荣 周庆忠 (解放军后勤工程学院油料应用与管理工程系 400016)

摘要:针对军事油料虚拟仓库的成员选择与构建实际,提出了基于 Multi - Agent 的虚拟仓库结盟协商模型,介绍了一种面向虚拟仓库的开放式异构多智能体协商协作环境,探讨了多智能体协作通信语言以及交互机制。最后提出了一个面向虚拟仓库协作的多阶段协商模型,分析了盟主与成员之间交互的协商策略以及各成员之间的多边协商过程。

关键词:多智能体 军事油料 虚拟仓库结盟 协商研究

1 引言

军事油料虚拟仓库 (Military Oil Virtual Warehouse) 是指运用计算机网络技术、电子商务、信息技术和供应链管理等技术,将部分军用油料实体仓库以及油料生产单位、运输单位、供应单位、指挥机构等进行联接,构成具有统一目标、统一任务、统一流程的暂时性军事油料采购、运输、存储、供应与控制组织,以更好地满足部队执行任务所需的各种油料。未来高技术战争,油料消耗数量将越来越多,部队完全可以把一部分保障任务交给地方。此外,随着交通的改善,各油库、炼油、石油公司、部队之间彼此协调,互通有无已成为现实,这在客观上要求油料的管理体制向集成配置,向合成、高效发展,军事油料虚拟仓库随之应运而生。

军事油料虚拟仓库是一个动态的服务保障联盟,军事油料虚拟仓库的结盟协商主要包括:成员选择、成员协商、协议起草、修改/签订协议等。虚拟仓库的结盟不仅需要通过大量的双边协商形成一种“准市场性仓库”,各潜在成员也需要在协商过程中不断调整其策略,选择一种最有利的联盟结构。而这种协商行为是一个非完全信息下的合作动态博弈过程,本文提出了一个多智能体多阶段协商模型,并描述了油料虚拟仓库结盟协商过程。

2 Multi - Agent system (MAS) 结盟协商理论

多主体系统 (Multi - Agent System, MAS) 是由多

个 Agent 主体组成的系统,是分布式人工智能的一个重要分支。由于军事油料虚拟仓库成员是独立的利益主体,其信息基础结构千差万别,再加上地域的分布性及仓库组建的动态性,因而面向虚拟仓库的多智能体系统,必然是一个分布式、异构、动态的自治系统。智能体之间要实现协商、协调与协作,构建一个稳定、通用、可扩充的多智能体协商协作框架至关重要。本文提出了一种基于 RETSIN 的 MAS 协商协作框架,如图 1 所示。

智能体服务 (能力到智能体的映射)
智能体名字服务器
安全性 (身份认证、数据加密)
性能测评服务 (监测智能体执行性能、任务最优分配)
MAS 管理服务 (日志记录、活动可视化、程序启动部件)
智能体通信方式与语言 (KQML, Qontology, KIF)
运行环境 (操作系统、网络类型、TCP/IP)

图 1 MAS 协商协作框架

(1) 运行环境。包括物理硬件、操作系统、网络传输协议等,具有跨平台性。MAS 能自动屏蔽操作系统、传输介质及传输协议的差异。

(2) 智能体通信方式与语言。智能体间的通信使用统一的通信语言 KQML、共享的本体论及消息内容交

互格式 KIF。

(3) MAS 管理服务。包括三个管理部件: 日志记录部件、活动可视化部件及程序启动部件。能提供相应工具来监视 MAS 的活动, 运行智能体程序。

(4) 性能测评服务。为监测智能体的执行性能, 以实现智能体间任务的最优分配。

(5) 安全性。应提供身份认证、访问控制等安全措施, 保证智能体通信内容保密性及完整性。

(6) 智能体名字映射 (Agent Name Server, ANS)。是从智能体名字到它在系统中物理地址的映射。

(7) 智能体中介服务。从智能体功能到名字的映射, 以便智能体发现合适智能体并与之交互。基于上述的协作框架, 下面采用多阶段协商的方法来探讨结盟协商问题: 设仓库盟主为 Agent1, 假如 Agent1 只能执行任务 T_1 , 为了完成一个复杂任务 T , Agent1 需要与其他智能体进行协商和协作。若将任务 T 分解成 T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 四个子任务, 由于 Agent1 处于开放环境中, 预先并不知道哪些智能体能执行子任务 T_2 、 T_3 、 T_4 , 于是 Agent1 向 Facilitator 发送消息, 查询具备这种能力的智能体, Facilitator 返回这些智能体的名字列表, 然后 Agent1 向 ANS 请求这些智能体的物理地址, 根据 ANS 的返回结果, Agent1 建立到这些智能体的链接。但此时, Agent1 并不立刻把任务分配给它们, 而是先在它们之间进行协商, 如图 2 中虚线所示, 若协商成功, 则进行任务分配。

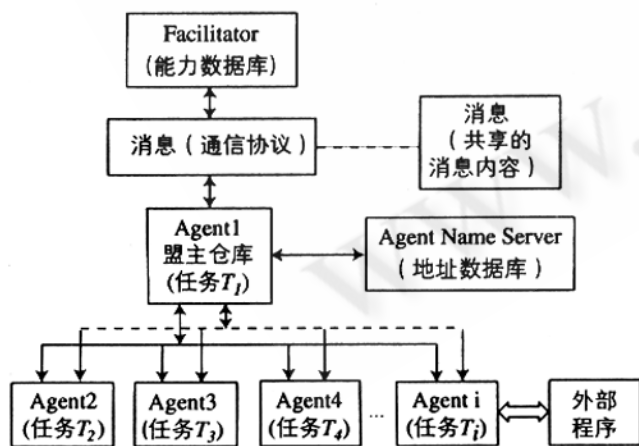


图 2 基于多智能体的协商过程

3 基于 MAS 的军事油料虚拟仓库协商过程

结盟协商过程可分为两个阶段: 第一阶段为盟主仓库与潜在成员单位之间的协商。仓库盟主要求潜在成员给出子任务 i 的初始报价建议, 仓库盟主对该建议进行评价, 如不满意则提出反建议, 反复协商直到对子任务 i 的报价达成一致为止。第二阶段为潜在成员单位之间的多边协商, 虚拟仓盟主依据第一阶段的协商结果, 将不同类型的 Agent 进行组合, 分别组成可能的联盟集合 C_1, C_2, \dots, C_m 。而后, 盟主成员将所有可能的联盟 C_i 反馈给 C_i 中的 Agent, 由这些 Agent 通过多边的协商来确定是否可组成联盟, 并将可组成联盟的成员信息反馈给盟主, 最后由盟主仓库在这些联盟中决定由哪个联盟仓库来承包任务, 以组成虚拟仓库。

3.1 虚拟仓库盟主成员与其他成员之间的协商

军事油料虚拟仓库的盟主就子任务 i 与某潜在成员进行协商, 并规定达成协议的最后期限 t_{max} , 协商过程由潜在成员 Agent 向盟主 Agent 提出初始建议 $Prop_{s-c}^0(i)$ 开始, 由盟主 Agent 和潜在成员 Agent 交替提出建议与反建议组成。若潜在成员 Agent 的建议被盟主 Agent 接受或协商已到最后一期限, 则终止协商。另外, 也可由潜在成员 Agent 提出拒绝建议 (reject) 提前终止协商。协商建议表示为: $Prop_{c-s}^t(i)$, 其中 c 和 s 分别代表盟主 Agent 与成员 Agent, t 为协商时刻, i 为子任务类型。盟主与成员协商如式 (1) 所示:

$$B^c(t_n, Prop_{s-c}^t(i)) = \begin{cases} \text{reject}, t_n > t_{max} \\ \text{accept}, E^c(Prop_{s-c}^t(i)) \geq E^c(Prop_{c-s}^t(i)) \\ Prop_{c-s}^t(i), E^c(Prop_{s-c}^t(i)) < E^c(Prop_{c-s}^t(i)) \end{cases} \quad (1)$$

式 (1) 中, $E^c(Prop)$ 为盟主对建议 Prop 的评价函数, 由盟主根据专家域知识或先前协商案例的经验确定。 $Prop_{c-s}^t(i)$ 为盟主在 t_n 时刻向潜在成员提出的反建议。由式 (1) 可知, 盟主在收到来自潜在成员 t_{n-1} 时刻的建议后, 可以拒绝或接受对方建议, 也可以提出反建议。

对于式 (1) 所示的协商过程, 用 a_c 表示盟主, a_s 表示成员, 假定在 t_n 时刻, a_s 的建议 $Prop_{s-c}^t(i)$ 规定的出

价为 s_i, a_c 在 t_{n-1} 时刻反建议 $\text{Prop}_{c_i, s}^{t_{n-1}}(i)$ 规定的出价为 b_i , 考察 a_c 的下次 (t_{n+1} 时刻) 出价策略, 我们提出了以下不同的信念更新方法:

- (1) a_c 的出价服从 $[b_i, s_i]$ 上的均匀分布。
- (2) a_c 的出价服从 $[b_i, s_i]$ 上的指数分布, 其概率密度函数如式(2)所示。

$$f_i(p) = \frac{1}{z} e^{-\frac{p-b_i}{T_{\max}}} \quad (2)$$

(3) a_c 的出价服从 $[b_i, s_i]$ 上的指数分布, 其概率密度函数如式(3)所示。

$$f_i(p) = \frac{1}{z} e^{-\beta \frac{p-b_i}{T_{\max}}} \quad (3)$$

式中, $p \in [b_i, s_i]$, z 为标准化因子; T_{\max} 为时间限; β 为体现 a_c 协商策略的特征参数。对于 t_0 时刻的 s_i 和 b_i , 可分别取潜在成员的最大收益期望值, 以及盟主的最小付出期望值。

对于方法(2), 剩余的协商时间越短, a_c 越相信 a_s 不大可能改变其出价, 因而 a_c 只好作更大让步, 使出价靠近 s_i, a_s 的效用增大; 对于方法(3), a_c 认为 a_s 的出价不合理, 剩余的协商时间越短, a_c 越相信 a_s 有可能作更大的让步, 因而 a_c 的出价就越靠近 b_i, a_c 的效用增大。参数 β 表示调整协商时的让步程度, β 越大, 概率密度曲线越平缓, 当 β 足够大时, 方法(2)和(3)收敛于方法(1)。因此采用上述方法, 虚拟仓库能够非常灵活地改变自己的协商策略。

3.2 虚拟仓库潜在成员之间的多边协商

在第一阶段协商的基础上, 盟主将不同类型的 Agent 分别组成可能的联盟集合 $C_1, C_2, \dots, C_m, C_k \in C, C = \prod_{i=1}^h A_i$ (C 为 h 个成员的卡氏积, C 的每个元素 C_k 都是一种联盟结构, 能够独立完成任务 T ; C_k 是一个 h 元组, 该元组的第 i 个元素对应于能完成子任务 i 的 Agent; A_i 为所有能完成子任务 i 的 Agent 集合)。然后, 盟主将所有可能的联盟 C_k 反馈给 C_k 中的 Agent。由这些 Agent 通过如下的多边协商来确定是否可组成联盟。

3.2.1 虚拟仓库盟主 Agent 的行为

- (1) 将集合 $C_k (=1, 2, \dots, m)$ 中的成员列表及第一阶段协商的结果 $\{P_1^{(k)}, P_2^{(k)}, \dots, P_h^{(k)}\}$ 反馈给 C_k 的成员 $a_i (a_i \in C_k)$
- (2) 在限定的时间 T_{\max} 内, 等待成员 Agent 的多边协商结果 $C_k^{(\text{potential})}$, 依次记为 $C_{\text{pot}}(1), C_{\text{pot}}(2) \dots$, 并广

播消息 $\text{coalition-potential}(C_{\text{pot}}(q)), (q=1, 2, \dots)$ 。

(3) 选择满足式(4)的最终联盟 C_{final} , 组成实现任务 T 的虚拟仓库, 并将结果通知联盟成员。

$$\sum_{i=1}^h p_i^{(C_{\text{final}})} = \min \sum_{i=1}^h p_i^{(q)} \quad (4)$$

$(a_i \in C_{\text{pot}}(q), q=1, 2, \dots)$

3.2.2 虚拟仓库成员 Agent 的行为

(1) 对于 a_i 能参与的所有集合 $C_k (a_i \in C_k, k=1, 2, \dots, m)$, 可依据已有经验及知识, 给出与 C_k 中其他成员协作可节省的消耗估计 $\delta a_i(C_k) (\delta a_i(C_k) \geq 0)$, 若 a_i 没有关于其他成员的知识, 可令 $\delta a_i(C_k) = 0$ 。

(2) 对于 a_i 能参与的所有集合 $C_k (a_i \in C_k)$, 依照式(5)计算相应的协作收益 $\Psi_{C_k}(a_i)$, 并按照 $\Psi_{C_k}(a_i)$ 由大到小对 C_k 进行排序: $C_1^{(i)}, C_2^{(i)}, \dots, C_m^{(i)}$, 并用函数 $L_i(C_k^{(i)} = k$ 表示 $C_k^{(i)}$ 在列表中的位置。

$$\Psi_{C_k}(a_i) = x_i + \delta a_i(C_k) = P_i + \omega_i (v(s) - \sum_{i=1}^h P_i) + \delta a_i(C_k) \quad (5)$$

- (3) 初始化, 令 $k=1$ 。
- (4) a_i 向所有 $a_j (a_j \in C_k^{(i)})$ 发出期望与其组成联盟的提议: $\text{coalition-form}(a_i, C_k^{(i)})$ 。
- (5) 等待其他 Agent 的赞同回复 $\text{coalition-agree}(a_j, C_{(i),k})$, 或拒绝回复 $\text{coalition-deny}(a_j, C_k^{(i)})$, 或其他 Agent 发出的联盟提议 $\text{coalition-form}(a_j, C_k^{(i)})$, 或盟主发出的潜在协商结果 $\text{coalition-potential}(C_{\text{pot}}(q))$, 其中 $a_j \in C_k$ 。

(6) 在收到消息 $\text{coalition-agree}(a_j, C_k^{(i)})$ 后, 将 $C_k^{(i)}$ 中的 a_j 标记为 agree ; 在收到消息 $\text{coalition-form}(a_j, C_k^{(i)})$ 后, 通过搜索比较得到 $C_k^{(i)}$ 在 a_i 的集合列表中的位置 $L_i(k_k^{(i)})$ 。若 $L_i(k_k^{(i)}) \leq k$, 则将 $C_k^{(i)}$ 中的 a_j 标记为 agree , 并向 a_j 发送同意的回复 $\text{coalition-agree}(a_j, C_k^{(i)})$, 否则, a_j 发送拒绝的回复 $\text{coalition-deny}(a_j, C_k^{(i)})$ 后, 将 $C_k^{(i)}$ 中的 a_j 标记为 deny , 转到(5); 在收到消息 $\text{coalition-potential}(C_{\text{pot}}(q))$ 后, 则删除 $C_k^{(i)}$ 中所有满足 $C_k^{(i)} \cap C_{\text{pot}}(q) \neq \sigma$ 的元素, 转到(3)。

- (7) 若 $\forall a_i \in C_k^{(i)}$ 均被标记为 agree , 则 $C_k^{(i)}$ 为 a_i 的潜在联盟, a_i 退出多边协商过程。
- (8) 若 $\exists a_i \in C_k^{(i)}$ 未被标记, 则返回到(5)
- (9) 若 $k \leq m$, 则 $k = k + 1$, 并返回到(4), 否则, a_i 退出多边协商过程。

(下转第 33)

(上接第 36 页)

军事油料虚拟仓库整体收益的好坏体现在最终联盟形成后,可重新分配给成员单位的旁支付上。旁支付 $SP = \sum_{i=1}^h (x_i - p_i) = \sum_{i=1}^h x_i - \sum_{i=1}^h p_i$, 将式(5)代入得 $SP = v(s) - \sum_{i=1}^h p_i$, 又根据式(4)可知, $SP = v(s) - \min \sum_{i=1}^h P_i^{(q)} = \max(v(s)) - \sum_{i=1}^h P_i^{(q)}$, 上述协商过程,将使虚拟仓库取得最大的旁支付。另外,所有成员单位获得的收益之和 $\sum \Psi_{ck}(a_k) = v(s) + \sum \delta a_k(C_k)$ 。可见,组建虚拟仓库除了实现预期效益 $v(s)$,还可产生协同效益 $\sum \delta a_k(C_k)$ 。对每个成员而言,其集合列表中排列靠前的 C_k 具有优先作为潜在联盟的可能,这与成员追求个体最大收益的目标是一致的。

4 结束语

本文提出了运用 MAS 技术解决军事油料虚拟仓

库的结盟协商问题。在研究的过程中,提出了一种开放式异构的多智能体协商协作框架,并对多智能体协作机制进行了分析。讨论了盟主与成员之间交互的协商策略,分析了各成员之间的多边协商过程。该模型具有多智能体系统的分布式计算特性,符合油料虚拟仓库在分布性及自治性方面的要求,为虚拟仓库的构建和运行提供了必要的理论支撑。

参考文献

- 1 Thomas L. Landers, Michal H. Cole, Bryan Walker, Randall W. Kirk. The virtual warehousing concept. *Transportation Research Part E* 36(2000):115-125.
- 2 SYCARA K, PAOLUCCI M. The RETSINA MAS infrastructure [R]. Carnegie Mellon: Robotics Institute, 2001.