

文章编号:1000-6788(2006)03-0011-06

基于 MAS 协调的资源分配决策

易伟华,陈学广,刘振元

(华中科技大学系统工程研究所,湖北 武汉 430074)

摘要: 突破传统优化方法在动态环境下的局限,用 MAS 方法研究资源协调问题.在基于 BDI 的协调推理的基础上,以效用表示个体对资源使用的利益的主观判断,建立基于效用的 BDI 资源协调推理模型,阐述 Agent 关于效用的计算、推理和交互过程,并且给出了评估实验结果.本文工作对管理决策及决策支持系统的研究和应用具有参考价值.

关键词: MAS;资源分配;资源协调;协调推理;效用

中图分类号: TP31;TP393

文献标识码: A

Resource Allocation Based on MAS Coordination

YI Wei-hua, CHEN Xue-guang, LIU Zhen-yuan

(Institute of Systems Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: Resource allocation is a crucial type of decision making activities. Resource coordination is the process of intelligently allocating resources among different agents or goals. In this paper, a new MAS approach was proposed to study resource coordination, which breakthrough the restriction of traditional optimization approach under dynamic context. Starting from BDI coordination reasoning, and utility to represent individual interesting of the resources' usage, utility based BDI resource coordination reasoning model was presented. Process of the utility calculation, reasoning and multi-agent interaction was described, and an evaluation and its result was given. These works may have great importance on management and DSS.

Key words: MAS; resource allocation; resource coordination; coordination reasoning; utility

1 引言

资源协调是在社会群体中各个体及其工作目标之间合理地分配资源^[1],以使个体能更合理地使用其掌握的资源,进而能够在更高程度上实现其个体目标和/或群体目标.一般说来,对于协调的需求是由于资源、实体、信息的分布特性以及它们之间的相互依赖而产生的^[2].资源协调问题中,个体的计划受到资源限制,需要对自身的计划进行评价、调整,并且可能需要从外界(包括其他个体)获得可用资源才能更好完成目标.

Hazelrigg^[3]认为,决策即不可更改的资源分配.广义的资源概念包括人力、物力在内.由此可知,分配资源是一项非常重要的决策活动.传统的资源分配方法一般可以转化为数学规划问题,但往往受到变量数不变的限制,而且运算量集中,不适应现代计算的负载均衡、高容错性等要求.相比之下,通过 MAS(多 agent 系统)实现资源协调的分布式求解,不但可以很好的解决上述问题,而且可以很好地支持群决策的情况.尤其是在变量数自动改变的情况下,更能体现出 MAS 在资源协调问题求解的优势,它不像数学规划方法那样需要重新建模.基于此,本文运用 MAS 协调方法研究资源协调问题,探讨提高资源分配效率的新方法,通过建立基于效用的 BDI(Belief-Desire-Intention)推理模型,采用多 agent 协商达到资源协调,并以车辆运输问题为例验证该方法的有效性.

收稿日期:2004-11-01

资助项目:国家自然科学基金(60274065);湖北省自然科学基金(2004ABA070)

作者简介:易伟华(1977-),男,汉族,湖南,博士研究生,华中科技大学系统工程研究所,主要研究多智能体协调、协调推理及其应用,E-mail:whyi77@mail@yahoo.com.cn.

2 MAS 资源协调

分布式资源协调面临的主要问题有,个体怎样判断自身是否需要资源?如果需要,从何处获取这些资源?如果多处存在同一类资源时,如何选择获取该类资源的来源?同样,当对同一资源有多个请求时,资源所有者又如何决定这些请求的优先顺序?在系统中其他个体拥有闲置资源的情况下,资源需求方可以向他们请求资源;如果环境中存在新增的资源,个体也可以从环境中得到资源;在整个系统缺少资源的情况下,可以对目标进行适当调整,使其资源需求降低^[1],也可以通过相同/相似任务的转移来达到计算资源优化^[4].

通过 MAS 来研究和实现像资源协调这样的社会智能问题有明显的优点.

首先,MAS 的结构与人类社会很相近,而 agent 结构能够很好地对心智状态建模,因而基于 MAS 和 agent 的设计更易于理解 and 应用.

其次,由于 MAS 本质上是分布式系统,因而具备分布式系统的负载分布性、容错性.

再者,基于 MAS 的设计在动态环境中具有很强的适应性,而绝大多数实际系统是动态系统,资源的分配也存在诸多变数.

本文认为,协调是以利益为中心的,属于自私理性个体的协作问题.在这样的环境下,通过设计合理的社会交互规则指导个体的利益导向,可以在个体追求自身利益最大化的基础上,更有效地实现群体目标.个体对局部目标的实现有赖于其计划的资源需求是否得到满足.由于局部目标的重要性不同,以及可替代计划的存在,不同个体对资源的偏好(以资源效用来衡量)通常是不同的.然而 Arrow 的不可能理论指出,即使是理性的个体所组成的群体也可能是非理性的,即其偏好顺序是不可传递的,造成局部利益与全局利益不符.通过支付补偿金的方法能够较好地解决这一问题,最终形成帕累托最优方案(Pareto Optimality).

从协调策略而言,协调的策略主要有协商、仲裁、选举和自身调节等,这些策略各有利弊^[5].其中仲裁可以保障得到可行结果,但是结果的质量主要依赖于仲裁者的知识、能力等因素;协商的结果质量相对较好,并且与常识中的资源分配很相近,缺点是由通信带来的代价不菲——agent 数量为 n 的 MAS 进行协商的时间复杂度是 $O(n^2)$;选举和自身调节的效果介于前两者之间.

根据上述分析,我们在协调策略设计中主要采用协商策略,既保证了协调的质量,也符合人的思维习惯.为了减小网络通信量,设计中引入中介(Mediator)模式,采用资源中介作为资源提供者和需求者之间的沟通桥梁,并担负一部分仲裁的作用,优先选取资源提供者中代价最低的一个和需求者组成协商对象.这样,既保持了结果的质量,又降低了通信代价—— $O(n)$,而且在一定程度上提高了协商策略得到有效解得可能性.需求方寻找资源时,并不是向所有的 Agent 直接发送征询,而是通过资源中介得到使用成本 Cost

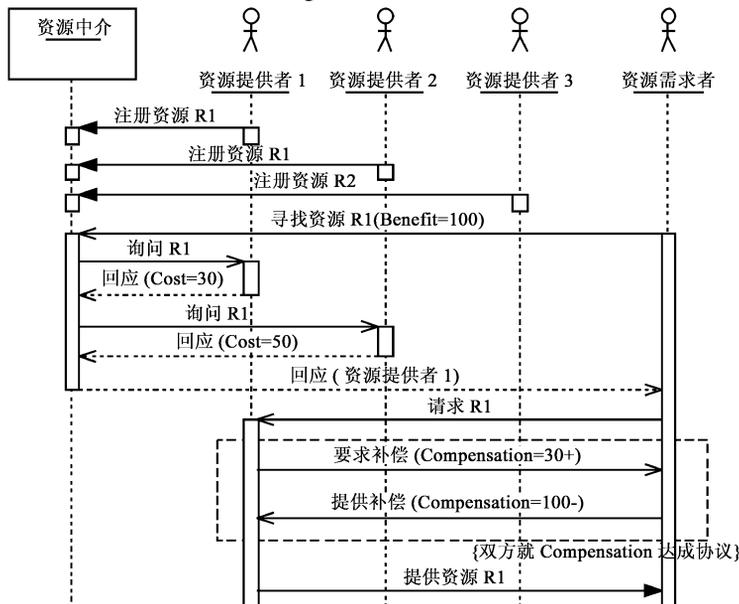


图 1 MAS 资源协调

最低的资源提供者 Agent. 需求者 Agent 和这个提供者 Agent 之间直接进行协商确定资源转让的补偿 Compensation, 完成资源转让. 图 1 给出了这种 MAS 资源协调活动的一个例子.

3 Agent 对于资源协调的个体推理

对于参与资源协调的 agent 而言, 还有一个重要问题是内部推理. 在 MAS 中, agent 之间的协调和推理行为涉及到 agent 的思维状态模型. Agent 的思维状态模型用来描述 Agent 的思维属性和它们之间的关联, 以及与感知、规划、协调、合作等活动的关系^[6]. 在 Bratman 的哲学分析^[7]基础上, Cohen 和 Levesque^[8]提出 Agent 的意图模型, Rao 和 Georgeff^[9]进而将其发展为 BDI 框架. BDI 理论模型把 Agent 看作是理性主体, 通过信念(Belief)、愿望(Desire)、意图(Intention)来表达 Agent 的理性. 我们在 BDI 框架的基础上建立了 Agent 的协调推理机制^[10], 来研究基于知识水平的协调推理.

协调推理的核心体现在愿望的确定过程和意图的选择、确定过程. 以 DEL 、 DIS 、 INT 分别表示 Agent 个体的信念、愿望、意图的集合, 其中, $INT = \{x | x = (P_x, x, g_x)\}$, P_x 为实现意图的前提集, p_x^r P_x 为 x 对资源 r 的需求, x (a, t) 为实现意图的行为计划 (a ACT , ACT 为全体原子行为集, \cdot 表示幂集, t 表示时间), g_x 为意图最终实现的目标. Agent 内部状态转换过程如图 2 (Agent 扮演资源需求者、资源提供者任一角色, 也可能同时扮演两种角色):

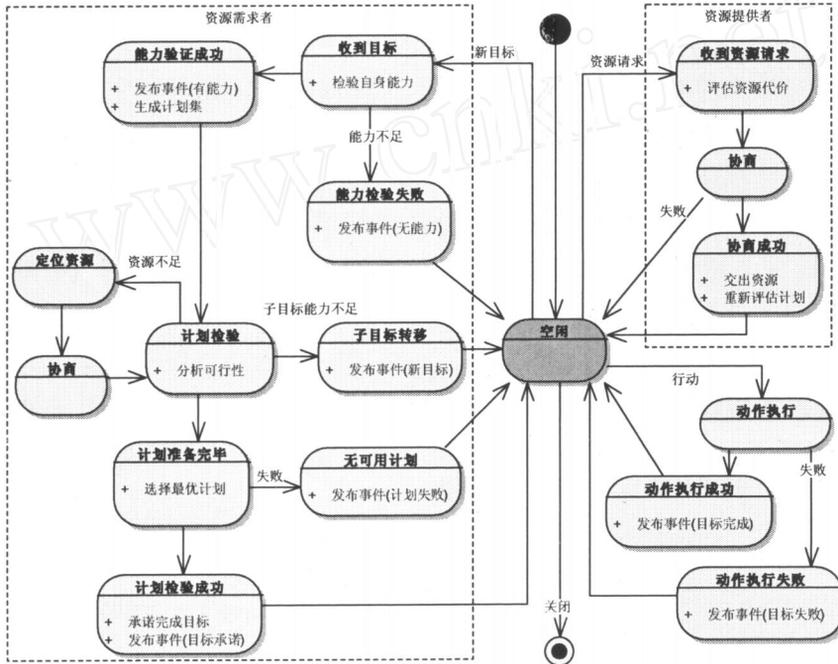


图 2 Agent 内部状态转换过程

以资源需求者为例, 其推理的过程如下:

- 1) 确定目标, 给定目标 D , 它可由通信、感知、内部推理得到或人为设定;
- 2) 检验自身能力, 寻找能够实现目标的计划, 如果 $\exists X, X \subseteq INT, s. t. x \in X, g_x = D$, 则 X 为可能意图集, 相应的 $x(x \in X)$ 为可实现目标的计划;
- 3) 寻找不足资源, 对于 $p_x^r(x \in X)$ 的所有资源 r_i , 通过与资源中介通信得到其信息, 资源中介给出 r_i 的最低价提供者;
- 4) 就资源 r_i 进行协商, 并且刷新信念库 BEL ;
- 5) 如果 $\exists X_p, X_p \subseteq X, s. t. x \in X_p, \forall p_x, p_x \in P_x, p_x \in BEL$, 其中包含资源要求得到满足, 即 $\forall p_x^r, p_x \in P_x, p_x^r \in BEL$, 则 X_p 为现实可能意图集;
- 6) 如果 $x_m \in X_p, \forall x \in X_p, F(x_m) \geq F(x)$, 则取 x_m 为承诺意图, $F(\cdot)$ 为决策选择函数, 根据 agent 计算出的效用选择最优者;

不难想象,两种角色都需要对资源转让过程引起的效用变化进行分析计算.

4 效用分析

以效用(Utility)来表示个体对资源的偏好,定义为预期的收益与成本之差,即 $Utility = Benefit - Cost$.

在集中式的资源分配中,可以采用数学规划方法给各个任务分配资源,使全局利益最大化.然而,在分布式的资源协调中,资源的调配要依靠各个体的判断以及彼此间的交互.由于个体当前执行的任务的成本和收益不一样,使得缺乏资源的个体可能要比另一个体对资源的偏好更为强烈.很显然,如果个体的偏好与全局目标相容,那么选择偏好较强的个体并使资源从其它个体转让给它,有利于促进全局目标的优化.

偏好同目标和信念有关.由于我们以协作环境为假设,因此,个体目标相容是很容易成立的,而对于个体信念的差别,可以通过制定交互规则,控制资源转移引起的利益变化的流向和流量来消解.例如,如果两个 Agent 发生资源交换,将引起出让者与受让者的利益发生变化,那么这种资源转让必须跟随利益交换(如受让者付给出让者一定的补偿 Compensation).

参照 Cox 等人在空军作战问题的研究^[1],现以一个供应链管理中的车辆运输调度问题为例:一运输公司通过承运货物获利,下辖各车队独立核算并上缴部分利润.一般来说,车队只考虑自身的利润增长,有可能损害其他车队的利益,而公司却希望所有车队的利润都得到增长,尽量减小这种冲突,因为每个车队对于任务的完成情况影响到公司的盈利.

为了便于描述,假设:运输公司有两个车队,分别需要运输数量为 n_i ($i = 1, 2$, 下同)的货物,称为任务 T_i .每个车队当前可调度的车辆有 R_j 辆运力相等的货车.根据合同,如果所有货物按时送达,运输公司可以得到酬劳 Pay_i ;若不能完全按时送达,酬劳 Pay_i 中要扣除迟到货物的赔偿金 $Penalty_i$,不允许取消或无限期延迟任务.同时假设路程足够远,必须马上出发才能够按时到达.即:

$$Benefit_i = Pay_i \quad (1)$$

$$Cost_i = Penalty_i + Fee_i \quad (2)$$

$$Utility_i = Pay_i - Penalty_i - Fee_i \quad (3)$$

其中,赔偿金按照迟到货物的比例 P_i 和赔付率 $Rate_i$ 计算, $Penalty_i = Pay_i \times Rate_i \times P_i$, Fee_i 为任务 T_i 的运输费用,包括燃料、车辆损耗等.由于运输费用 Fee_i 对于任务而言基本上是不变的,对于问题求解并无影响,为简化问题起见,可以将其略去.即

$$Utility_i = Pay_i - Penalty_i \quad (4)$$

如果运力足够,运输公司一般都会将全部货物按时送达,但是在运力资源紧缺的情况下,例如,大多数车辆都去执行其他任务了,只剩少数车辆用于执行这两个任务,无法完全达到合同要求,那么只能在最低限度减小损失的原则下进行调度,这在实际情况中很常见.当两个车队之间调度车辆时,得到车辆的车队(设为 x)需向提供车辆的一方(设为 y)支付补偿 $Compensation_{x,y}$,这在前面已作论述. $Compensation_{x,y}$ 对于 x 来说是成本的增加,而对 y 是收益的增加.例如,如果从 T_2 抽调车辆资源给 T_1 ,双方的效用变化如表 1. 每个任务根据自身的 $Utility$ 判断是否进行资源转让,即有利可图的时候才会发生交易.而补偿 $Compensation$ 正是使这种交易产生的关键,如果太高,则资源缺乏的任务可能会被放弃;如果太低,资源所有者显然觉得自己的任务更有利可图而不愿意出让资源.一般 $Compensation$ 由资源转让的双方协商得出,可以表示为

$$Compensation_{1,2} = ShareUtility + Cost_2 = ShareRatio \times \sum_{i=1}^2 Utility_i + Cost_2 \quad (5)$$

即由于资源转让引起的总的效用变化由资源转让的双方分享,这符合合作双方“风险共担,利益均沾”的原则. $ShareRatio$ 的取值范围一般为 $[0, 1]$,使得双方都能从资源转让获利.

另一方面,如果同时有多个任务缺乏资源,资源到底分配给哪一个任务,也要从中挑选得到资源后收益增长 $Utility$ 最高的一个,因为此时资源所有者能得到更高的 $Compensation$.这也能够通过上述的效用分析得到合适的结果.

这样,结果是每个任务的效用都得到了增长,因而总效用也同样得到增长,这样的结果在动态环境下也同样出现,后面给出了一个 MAS 环境下运用本方法的资源协调实验结果.

表 1 当 T_2 转让资源给 T_1 时的效用变化

T_1 T_2	$R_2 > 1$	$R_2 = 1$
Utility ₁	$Pay_1 \times Rate_1 \times \frac{1}{n_1} - Compensation_{1,2}$	$Pay_1 \times \left(1 - Rate_1 \times \frac{n_1 - 1}{n_1} \right) - Compensation_{1,2}$
Utility ₂	$Compensation_{1,2} - Pay_2 \times Rate_2 \times \frac{1}{n_2}$	$Compensation_{1,2} - Pay_2 \times \left(1 - Rate_2 \times \frac{n_2 - 1}{n_2} \right)$

5 案例实验分析

按照上述的想法,我们构造了一个案例实验.为突出重点,简化了货物的规格、品种以及车辆的运输能力,即假设每一辆车可以运送一单位的货物.某一运输公司下属 10 个车队 Agent_{*i*} ($i = 1, 2, \dots, 10$),各车队当前可调度的车辆数 R_i 是随机的,但总数 $TR = \sum R_i$ 在 10 到 50 之间变化.每一车队当前需要运输的货物量 n_i 为 [1, 5] 之间的整数,即需要运送的货物最小可能为 10,最大可能为 50.所有当前任务的酬劳 Pay_i 均为 100,赔付率 $Rate_i$ 均为 50%.观察协调前后每个车队的效用 $Utility_i^{TR}$.比较:

- 1) 各种资源情况下系统的总效用 $\sum_{i=1}^{10} Utility_i^{TR} (TR = 1, 2, \dots, 50)$;
- 2) 各个车队的效用之和 $\sum_{i=1}^{10} Utility_i^{TR} (i = 1, 2, \dots, 10)$.

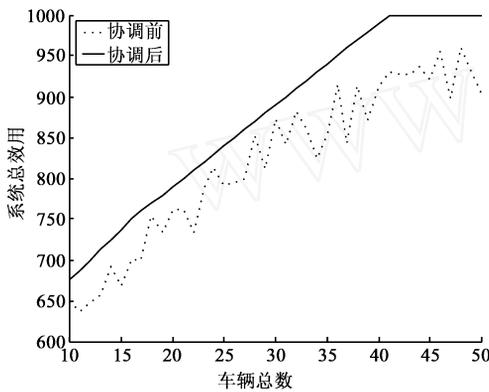


图 3 系统总效用

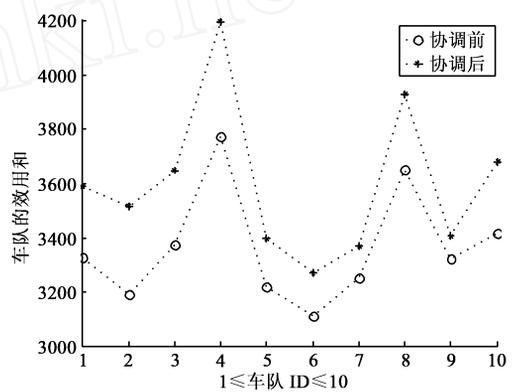


图 4 车队的效用和

实验结果显示,系统总效用(图 3)和车队个体的效用(图 4)都得到了提高.由图 3 可知,系统总效用随着车辆数的增加而稳步上升,因为每一辆增加的车辆都投入了实际运用,为整个系统效用的提高发挥了作用.通过验证得知(见附录),在图 3 横轴上任取一点(表示某一车辆数),对应的结果与数学规划的结果都是一致的.而当车辆总数 TR 达到一定值(本例中为 $TR = 41$)时,系统总效用不再增长,原因在于此时所有运送任务的资源需求已经得到完全满足,再增加资源也不会有所增益,成为冗余.图 4 表示在车辆总数在 1 到 50 之间变化时,每一个车队的效用累计值,由此可以看出,个体的利益得到了提高.

6 结论

资源协调是一类重要的决策活动.本文用 MAS 方法研究资源协调,易于理解和应用,具有负载分布性、容错性、动态性,适应面比传统方法更广.以效用来表达 Agent 对资源使用的偏好的主观判断,建立了基于效用的 BDI 资源协调推理模型.效用计算方法应根据具体的问题来确定.

本文中采用有中介协商的策略,这是针对平等主体的资源协调而言的.在实际情况中,由于组织形式、环境是多样的,协调策略也不可能一成不变.协调策略的动态选择是目前协调研究的另一个热点问题,可以参考 Barber 等人^[11]和 Excelente-Toledo 等人^[12]的工作.

本文使用了角色进行设计,提出了资源需求者、资源提供者两种角色并给出了它们的内部状态转换过程.基于角色的设计可以提高重用性,降低设计难度,Barber 等人^[11]在这方面有不少工作.

然而,资源协调扩展到组织层次结构才有更大的实用性,组织中的资源协调必然涉及组织的形成、组织权威的强制命令、上层的强制性资源分配和底层的对等协调的有效结合等问题,后续的工作中将对这些问题进行深入的探讨。

7 附录

案例实验的整数规划模型为

$$\max f(X) = \prod_{i=1}^{10} \text{Pay}_i \times \left[1 - \text{Rate}_i \times \left(1 - \frac{x_i}{n_i} \right) \right]$$

$$\text{s. t. } \begin{cases} x_i < TR \\ x_i < n_i \\ x_{ij} = 0, 1, 2, \dots \end{cases}$$

取图 3 中 $TR = 20$ 为例, $N = (n_i) = (4, 5, 4, 2, 5, 5, 3, 5, 3)$, 结果见表 2。

表 2 两种方法的结果比较

	$X = (x_i)$	$f(X)$
MAX 方法	(4, 0, 4, 2, 0, 0, 3, 4, 3)	790
数学规划方法	(4, 0, 4, 2, 0, 0, 4, 3, 0, 3)	790

从表 2 看出,两种方法的系统目标 $f(X)$ 最后都是一样。而分配方案 X 的结果差别是因为 x_7 与 x_9 没有差别,所以两种方法得出的分配方案仍然是相同的。

参考文献:

- [1] Edwin G, Cox M T. Resource coordination in single agent and multiagent systems [A]. 13th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI '01) [C], 2001, Dallas, Texas, USA: 18 - 24.
- [2] Victor R. Lesser. Reflections on the nature of multi-agent coordination and its implications for an agent architecture [J]. Autonomous Agents and Multi-Agent Systems, 1998, 1(1): 89 - 111.
- [3] Hazelrigg G A. Systems Engineering: An Approach to Information-Based Design [M]. Prentice-Hall, 1996.
- [4] Rana O F, Winikoff M, Padgham L, Harland J. Applying Conflict Management Strategies in BDI Agents for Resource Management in Computational Grids [A]. Oudshoorn M J. Proc 25th Australasian Computer Science Conference (ACSC2002) [C]. Melbourne, Australia. Conferences in Research and Practice in Information Technology, 4. ACS: 205 - 214.
- [5] Barber K S, Han D C, Liu T H. Coordinating Distributed Decision Making Using Reusable Interaction Specification [A]. Design and Applications of Intelligent Agents [C], Volume LNAI 1881 of Lecture Notes in Artificial Intelligence, Springer Publ., 2000: 1 - 15.
- [6] 胡山立, 石纯一. Agent 的意图模型 [J]. 软件学报, 2000, 11(10): 965 - 970.
Hu Shanli, Shi Chunyi. An intention model for agent [J]. Journal of Software, 2000, 11(10): 965 - 970.
- [7] Bratman M E. Intentions, Plans, and Practical Reason [M]. Harvard University Press: Cambridge, MA, 1987.
- [8] Cohen P, Levesque H. Intention is choice with commitment [J]. Artificial Intelligence 1990, 42: 213 - 261.
- [9] Rao A S, Georgeff M P. Modeling rational agents within a BDI architecture [A]. Proceedings of the Second International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning [C]. 1992: 473 - 484.
- [10] 易伟华, 夏海光, 陈学广. 基于 BDI 和知识水平的分布式协调推理 [J]. 系统工程, 2004, 7.
Yi Weihua, Xia Haiguang, Chen Xueguang. Distributed coordination reasoning with BDI and knowledge level [J]. Systems Engineering, 2004, 7: 93 - 98.
- [11] Barber K S, Han D C, Tse-Hsin Liu. Strategy Selection-Based Meta-level Reasoning for Multi-agent Problem Solving [A]. AOSE 2000 [C]: 269 - 283.
- [12] Excelente-Toledo C B, Jennings N R. The dynamic selection of coordination mechanisms [J]. Journal of Autonomous Agents and Multi-Agent Systems, 2004, 9(1 - 2): 55 - 85.