

基于 DFL 的多 Agent 协调工作机制研究¹⁾

李凡长

(苏州大学计算机工程系 苏州 215006)

(E-mail: lfzh@suda.edu.cn)

摘 要 多 agent 的协调性是多 agent 系统与其它相关研究领域区别开来的关键性问题之一,也是保证多个智能系统能在一起共同工作的关键. 由于 agent 它自身是一个主体,就其本质上讲是一个动态的客体,因此动态性和模糊性是 agent 的主要特性,而多 agent 之间这个问题体现的就更为突出. 因此,该文基于 DFL 对多 agent 协调工作机制进行研究,给出 agent 的能力表现模型、能力扩展模型等内容,为人们解决这方面的问题提供理论依据.

关键词 多 agent, 协调, 动态模糊逻辑, 动态模糊集

中图分类号 TP18

Research on Coordination Process Mechanism of Multi-Agent Systems Based on DFL

LI Fan-Zhang

(Department of Computer Engineering, Soochow University, Suzhou 215006)

(E-mail: lfzh@suda.edu.cn)

Abstract Coordination among multiple agents is a key concept that differentiates multi-agent system from other related disciplines; and it is also one of the keys for multiple intelligent systems to work together. As an agent itself is a dynamical object of fuzzy character, multiple agents feature more dynamic and fuzzy. In this paper, based on the DFL, coordination process mechanism of multi-agent system is researched. Ability representation model and ability extension model are proposed to help people solve dynamic and fuzzy agent problem.

Key words Multi-agent, coordination, dynamic fuzzy logic, dynamic fuzzy sets

1 引言

在人工智能、软件工程等领域,最具有挑战性的目标之一就是如何建立能够在一起很好

1) 苏州大学科研处基金(Q4118934)和江苏省自然科学基金(BK2002040)和江苏省教育厅自然科学基金(02KJB520001)资助

Supported by the Natural Science Foundation of Jiangsu Province(BK2002040) and Natural Science Foundation of the Education Department of Jiangsu Province(02KJB520001)

收稿日期 2001-07-12 收修改稿日期 2001-12-20

Received July 12, 2001; in revised form December 20, 2001

地协调工作的计算机系统. 随着计算机系统越来越复杂, 如何将单个 agent 集成起来则更具有挑战性, 而 agent 间的协调工作是保证系统能在一起共同很好发挥作用的关键. 另外, agent 间的协调工作也是多 agent 系统与其它相关研究领域(如分布计算机、面向对象的系统、专家系统等)区别开来的关键性概念之一^[1].

在多 Agent 系统中, 协调工作不仅能提高单个 agent 以及由多个 agent 所形成的系统整体行为的功能, 增强 agent 及 agent 系统解决问题的能力, 还能使系统具有更好的灵活性, 能通过协调工作来参与更多的实际应用. 在多 agent 系统中, agent 不是孤立存在的, agent 之间的相互依赖关系使得 agent 间的交互以及协调工作方式对主体的设计和实现具有相当大的制约性. 基于不同的交互及协调工作机制的多 agent 系统中的主体的实现方式将各不相同, 而且相互间的动态性和模糊性表现的越来越突出, 因此, 研究 agent 间的协调工作是研究基于 agent 的多智能系统的必然要求. 何谓 agent 系统中的动态模糊性呢? 何谓多 agent 协调工作中的动态模糊性呢? 从 agent 的 BDI 结构和 agent 的自治性、适应环境能力等方面看, 它们均体现出既是动态的, 又是模糊的, 这种特性即称为 Agent 系统中的动态模糊性; 从 agent 系统的协调工作机制方面看, agent 与 agent 间的相互通讯能力、相互的信任程度、愿望程度、意图的理解程度及协调工作等方面也始终体现出动态模糊性. 面对这些问题如果不解决之, 则不可能达到 agent 应有的功能. 目前对这方面的研究工作人们常常采用的理论依据主要是模态逻辑和时序逻辑等. 鉴于这些工具仅能解决一般的经典问题, 要真正从本质上解决它们之间的协调工作机制中存在的动态模糊性问题, 这些理论还是不足的, 倘若用模糊逻辑(Fuzzy Logic)来解决也存在同样的问题. 因为 Fuzzy Logic 仅能解决静态问题. 因此, 本文借用的理论工具是动态模糊集(Dynamic Fuzzy Sets, 简记为 DFS)和动态模糊逻辑(Dynamic Fuzzy Logic, 简记为 DFL). 基于此, 本文给出了多 agent 的协调工作基本理论框架^[2,3]. 本文的出发点是以一个经典例子开始的, 在民间曾有这么一个典故, “三个臭皮匠通过协调合作可以等价于一个诸葛亮”. 这样解决这个问题, 我们就可以来说明多 agent 之间的协调工作机制. 下面先对动态模糊集及动态模糊逻辑作简单的介绍.

2 基本理论

2.1 动态模糊集(DFS)简介

定义 1. 设在论域 U 上定义映射 $\tilde{A}: \tilde{U} \rightarrow [0, 1], \tilde{u} \mapsto \tilde{A}(\tilde{u})$ 或 $\tilde{A}: \tilde{U} \rightarrow [0, 1], \tilde{u} \mapsto \tilde{A}(\tilde{u})$, 记为 $(\tilde{A}, \tilde{A}) = \tilde{A}$ 或 \tilde{A} , 则称 (\tilde{A}, \tilde{A}) 为 U 上的动态模糊集, 称 $(\tilde{A}(\tilde{u}), \tilde{A}(\tilde{u}))$ 为隶属函数对 (\tilde{A}, \tilde{A}) 的隶属度^[2].

注. 对于任给一个 $a \in [0, 1]$, 均可把它动态模糊化为 $a \xrightarrow{DF} (\tilde{a}, \tilde{a}) = \tilde{a}$ or \tilde{a} 且 $\max(\tilde{a}, \tilde{a}) \triangleq \tilde{a}$, $\min(\tilde{a}, \tilde{a}) \triangleq \tilde{a}$.

当两个动态模糊(Dynamic Fuzzy, 简记为 DF)子集间进行运算时, 完全可以理解为是对隶属函数作相应的运算.

定义 2. 设 $(\tilde{A}, \tilde{A}), (\tilde{B}, \tilde{B}) \in DN(U)$, 若 $\forall (\tilde{u}, \tilde{u}) \in U$, 有 $(\tilde{B}, \tilde{B})(\tilde{u}, \tilde{u}) \leq (\tilde{A}, \tilde{A})(\tilde{u}, \tilde{u})$, 则称 (\tilde{A}, \tilde{A}) 包含 (\tilde{B}, \tilde{B}) , 记为 $(\tilde{B}, \tilde{B}) \subseteq (\tilde{A}, \tilde{A})$. 若 $(\tilde{A}, \tilde{A}) \subseteq (\tilde{B}, \tilde{B})$ 且 $(\tilde{B}, \tilde{B}) \subseteq (\tilde{A}, \tilde{A})$, 则 $(\tilde{A}, \tilde{A}) = (\tilde{B}, \tilde{B})$. 显然, 包含关系有如下性质:

- 1) 自反性, $\forall (\tilde{A}, \tilde{A}) \in DN(U)$, $(\tilde{A}, \tilde{A}) \subseteq (\tilde{A}, \tilde{A})$;
- 2) 传递性, 若 $(\tilde{A}, \tilde{A}) \subseteq (\tilde{B}, \tilde{B})$, 且 $(\tilde{B}, \tilde{B}) \subseteq (\tilde{C}, \tilde{C})$, 则 $(\tilde{A}, \tilde{A}) \subseteq (\tilde{C}, \tilde{C})$;

3) 反对称性,若 $(\bar{A}, \bar{A}) \subseteq (\bar{B}, \bar{B}), (\bar{B}, \bar{B}) \subseteq (\bar{A}, \bar{A})$,则 $(\bar{A}, \bar{A}) = (\bar{B}, \bar{B})$.

定义 3. 设 $(\bar{A}, \bar{A}), (\bar{B}, \bar{B}) \in DN(U)$,分别称运算 $(\bar{A}, \bar{A}) \cup (\bar{B}, \bar{B}), (\bar{A}, \bar{A}) \cap (\bar{B}, \bar{B})$ 为 (\bar{A}, \bar{A}) 和 (\bar{B}, \bar{B}) 的并集、交集;称 $(\bar{A}, \bar{A})^c$ 为 (\bar{A}, \bar{A}) 的补集.它们的隶属函数为

$$1) ((\bar{A}, \bar{A}) \cup (\bar{B}, \bar{B}))(\bar{u}, \bar{u}) = (\bar{A}, \bar{A})(\bar{u}, \bar{u}) \vee (\bar{B}, \bar{B})(\bar{u}, \bar{u}) \triangleq \max((\bar{A}, \bar{A})(\bar{u}, \bar{u}), (\bar{B}, \bar{B})(\bar{u}, \bar{u}));$$

$$2) ((\bar{A}, \bar{A}) \cap (\bar{B}, \bar{B}))(\bar{u}, \bar{u}) = (\bar{A}, \bar{A})(\bar{u}, \bar{u}) \wedge (\bar{B}, \bar{B})(\bar{u}, \bar{u}) \triangleq \min((\bar{A}, \bar{A})(\bar{u}, \bar{u}), (\bar{B}, \bar{B})(\bar{u}, \bar{u}));$$

$$3) ((\bar{A}, \bar{A})(\bar{u}, \bar{u}))^c = (1 - (\bar{A}, \bar{A})(\bar{u}, \bar{u})) = ((\bar{1} - \bar{A}(\bar{u}), \bar{1} - \bar{A}(\bar{u})).$$

2.2 动态模糊逻辑(DFL)简介

2.2.1 DFL 命题的逻辑演算

定义 4. 一个具有动态模糊性的陈述句称为 DF 命题.用大写字母 A, B, \dots 表示.

定义 5. 度量一个 DF 命题真假用 DF 数 $(\bar{a}, \bar{a}) \in [0, 1]$ 来表示,称为该命题的真假度,常用小写字母 $(\bar{a}, \bar{a}), (\bar{b}, \bar{b}), (\bar{c}, \bar{c}) \dots$ 表示.

定义 6. 一个 DF 命题可以看成在区间 $[0, 1]$ 上取值的变量,称为 DF 变量.

对于 DF 变量 $(\bar{x}, \bar{x}), (\bar{y}, \bar{y}) \in [0, 1]$ 规定如下运算:

$$1) \text{否定“—”,例如, } (\bar{x}, \bar{x}) \text{的否定记为 } \overline{(\bar{x}, \bar{x})} \text{且 } \overline{(\bar{x}, \bar{x})} = ((\bar{1} - \bar{x}), (\bar{1} - \bar{x}));$$

$$2) \text{析取“V”,例如, } (\bar{x}, \bar{x}) \vee (\bar{y}, \bar{y}) = \text{Max}((\bar{x}, \bar{x}), (\bar{y}, \bar{y}));$$

$$3) \text{合取“^”,例如, } (\bar{x}, \bar{x}) \wedge (\bar{y}, \bar{y}) = \text{Min}((\bar{x}, \bar{x}), (\bar{y}, \bar{y}));$$

$$4) \text{条件“→”,例如, } (\bar{x}, \bar{x}) \rightarrow (\bar{y}, \bar{y}) \Leftrightarrow \overline{(\bar{x}, \bar{x})} \vee (\bar{y}, \bar{y}) = \text{Max}(\overline{(\bar{x}, \bar{x})}, (\bar{y}, \bar{y}));$$

$$5) \text{双条件“↔”,例如, } (\bar{x}, \bar{x}) \leftrightarrow (\bar{y}, \bar{y}) \Leftrightarrow \text{Min}(\text{Max}(\overline{(\bar{x}, \bar{x})}, (\bar{y}, \bar{y})), \text{Max}(\overline{(\bar{y}, \bar{y})}, (\bar{x}, \bar{x}))).$$

定义 7. DF 命题运算公式可定义为

1) 单个 DF 命题变元本身是一个合式公式;

2) 若 $(\bar{x}, \bar{x})P$ 是一合式公式,那么 $\overline{(\bar{x}, \bar{x})P}$ 也是合式公式;

3) 若 $(\bar{x}, \bar{x})P$ 和 $(\bar{y}, \bar{y})Q$ 是合式公式,那么 $(\bar{x}, \bar{x})P \vee (\bar{y}, \bar{y})Q, (\bar{x}, \bar{x})P \wedge (\bar{y}, \bar{y})Q, (\bar{x}, \bar{x})P \rightarrow (\bar{y}, \bar{y})Q, (\bar{x}, \bar{x})P \leftrightarrow (\bar{y}, \bar{y})Q$ 都是合式公式;

4) 当且仅当有限次地使用 1), 2), 3) 所得到的命题变元联结词和括号的符号串是合式公式.

DFL 的主要公式见文献[3],在此略.

2.2.2 DFL 的谓词演算

定义 8. DFL 谓词公式的递归定义

1) 原子(一阶谓词符号)是公式;

2) 若 G, H 是公式, T 是 DF 的真值指派, (\bar{x}, \bar{x}) 是 DFL 中的自由变量,那么 $G \vee H, G \wedge H, G \rightarrow H, G \leftrightarrow H, (\forall (\bar{x}, \bar{x})G), (\exists (\bar{x}, \bar{x})G)$ 是合式公式;

3) DFL 中所有的公式是有限次使用 1), 2) 后产生的符号串.

定义 9. DFL 中公式 G 的一个解释 I 由非空域和如下规则组成:

1) 对于 G 中的每个变量符号指定 U 中的一个 DF 元素;

2) 对于 G 中的每个 n 元函数符号指定映射 $U \xrightarrow{T} D$;

3) 对于 G 中的每个 n 元谓词符号指定映射 $D \xrightarrow{T} B$, 其中根据这些定义,下面列出一

些能反应 DFL 谓词系统的性质. B 是 DF 原子量, DFL 谓词系统的性质见文献[3], 在此略.

3 基于 DFL 的多 agent 协调工作模型

本节主要对多 agent 协调模型进行形式化描述, 该模型可定义为一个六元组.

定义 10(agent 协调工作模型). $M = \langle Ag, G, P, T, S(\vec{A}(\vec{x}), \vec{A}(\vec{x})) \rangle$, 其中 Ag ——协调主体, 主要作用是除了保持自我优势完全发挥外, 还应不会对整体发生内耗. 因此, 在具体作用时应由 $(\vec{A}(\vec{x}), \vec{A}(\vec{x}))$ 来参与协调工作;

G ——协调目标, 由协调主体在具体工作时配合完成, 具体目标应由 $(\vec{A}(\vec{x}), \vec{A}(\vec{x}))$ 来参与评定;

P ——协调规则, 该要素的作用是构造出问题的协调规则, 确定完成任务所需配合的主体, 多主体的相关性质及其各主体的合作能力, 具体工作时应由 $(\vec{A}(\vec{x}), \vec{A}(\vec{x}))$ 来参与协调确定;

T ——协调对象集, 即指参与协调工作的全体 agent, $Ag \in T$, 该对象集应包含所有的 Agent;

S ——协调工作方案, 它与协调规则相对应, 即 $s \in P$;

$(\vec{A}(\vec{x}), \vec{A}(\vec{x}))$ ——协调量化函数, 它可以是一个值, 也可以是一个集合, 或是一个逻辑公式, 它的作用是度量每个 agent 及其以上各要素发挥的作用.

现在可以把该模型用图 1 来表示.

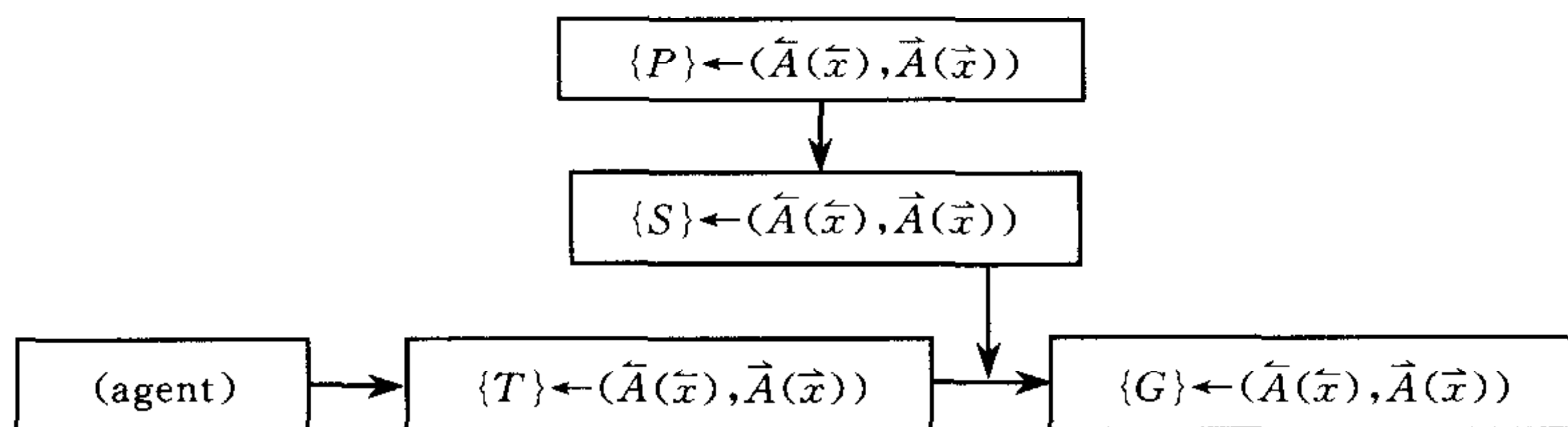


图 1 Agent 协调工作模型
Fig. 1 Agent coordination model

从图上可以看出, 每个 agent 达到的状态完全由 $(\vec{A}(\vec{x}), \vec{A}(\vec{x}))$ 来决定.

现在回到我们前面的例子“三个臭皮匠通过协调合作可以等价于一个诸葛亮”. 我们用 N_1, N_2, N_3 分别代表三个臭皮匠; 用 $(\vec{\lambda}_1, \vec{\lambda}_1), (\vec{\lambda}_2, \vec{\lambda}_2), (\vec{\lambda}_3, \vec{\lambda}_3)$ 分别代表三个臭皮匠的协调能力(协调能力是指协调量化函数确定的协调对象能力范围的一个值); 用 Q 代表诸葛亮, 用 $(\vec{\mu}, \vec{\mu})$ 代表诸葛亮的的能力, 则该例就转化为如下形式:

$$\{(\vec{\lambda}_1, \vec{\lambda}_1)N_1\} \vee \{(\vec{\lambda}_2, \vec{\lambda}_2)N_2\} \vee \{(\vec{\lambda}_3, \vec{\lambda}_3)N_3\} \quad (1)$$

和

$$\{(\vec{\mu}, \vec{\mu})Q\} \quad (2)$$

现在就是判定式(1)和(2)的等价问题了.

为了解决此问题, 接下来我们研究 agent 的表现能力和扩展能力.

4 多 agent 协调工作的表现能力和扩展能力

什么是 agent 的表现能力和扩展能力呢? 本文作以下约定.

约定 1. 由每个 agent 在自我具备的条件下发挥它的作用, 即称自我表现能力.

由此可得如下定义.

定义 11. Agent 的表现能力定义为对满足约定 1 的条件的 agent 能力, 称为 agent 的表现能力.

约定 2. 由每个 agent 在充分利用自我具备的条件下还发挥不了它的作用, 可借助环境的条件来帮助自我发挥作用, 我们把这种能力称之为扩展能力.

由此可得如下定义.

定义 12. agent 的扩展能力定义为对满足约定 2 的条件的 agent 能力, 称为 agent 的扩展能力.

定义 13. 假定 (\vec{X}, \vec{X}) 是代表 T 的一个动态模糊 agent 集, $(\vec{M}, \vec{M})(\vec{X}, \vec{X})$ 为 (\vec{X}, \vec{X}) 上的幂集映射, $(\vec{H}, \vec{H}): [(\vec{0}, \vec{0}), (\vec{1}, \vec{1})] \rightarrow (\vec{M}, \vec{M})(\vec{X}, \vec{X})$ 称为集合套. 如果 $\forall (\vec{\alpha}_1, \vec{\alpha}_1), (\vec{\alpha}_2, \vec{\alpha}_2) \in [(\vec{0}, \vec{0}), (\vec{1}, \vec{1})]$ 有

$$(\vec{\alpha}_1, \vec{\alpha}_1) \leq (\vec{\alpha}_2, \vec{\alpha}_2) \Rightarrow (\vec{H}, \vec{H})(\vec{\alpha}_1, \vec{\alpha}_1) \leq (\vec{H}, \vec{H})(\vec{\alpha}_2, \vec{\alpha}_2),$$

用 $(\vec{K}, \vec{K})(\vec{X}, \vec{X})$ 表示 $[(\vec{0}, \vec{0}), (\vec{1}, \vec{1})]$ 上集合套的全体.

定义 14. 设 $(\vec{H}_1, \vec{H}_1), (\vec{H}_2, \vec{H}_2) \in (\vec{K}, \vec{K})(\vec{X}, \vec{X})$. 若 $\forall (\vec{\alpha}, \vec{\alpha}) \in [(\vec{0}, \vec{0}), (\vec{1}, \vec{1})]$,

$$\bigcap_{(\vec{\lambda}, \vec{\lambda}) < (\vec{\alpha}, \vec{\alpha})} (\vec{H}_1, \vec{H}_1)(\vec{\lambda}, \vec{\lambda}) = \bigcap_{(\vec{\lambda}, \vec{\lambda}) < (\vec{\alpha}, \vec{\alpha})} (\vec{H}_2, \vec{H}_2)(\vec{\lambda}, \vec{\lambda}),$$

则称 (\vec{H}_1, \vec{H}_1) 和 (\vec{H}_2, \vec{H}_2) 等价, 记作 $(\vec{H}_1, \vec{H}_1) \sim (\vec{H}_2, \vec{H}_2)$. 显然有

$$\textcircled{1} (\vec{H}, \vec{H}) \sim (\vec{H}, \vec{H}),$$

$$\textcircled{2} (\vec{H}_1, \vec{H}_1) \sim (\vec{H}_2, \vec{H}_2) = (\vec{H}_2, \vec{H}_2) \sim (\vec{H}_1, \vec{H}_1),$$

$$\textcircled{3} (\vec{H}_1, \vec{H}_1) \sim (\vec{H}_2, \vec{H}_2), (\vec{H}_2, \vec{H}_2) \sim (\vec{H}_3, \vec{H}_3) \Rightarrow (\vec{H}_1, \vec{H}_1) \sim (\vec{H}_3, \vec{H}_3).$$

下面给出 agent 表现能力的计算模型.

定理 1 (agent 表现能力的计算模型). 设 $(\vec{H}, \vec{H}) \in DN(\vec{X}, \vec{X})$, 令

$$(\vec{A}, \vec{A})(\vec{x}, \vec{x}) = (\vec{f}, \vec{f})(\vec{H}, \vec{H})(\vec{x}, \vec{x}) = \bigvee_{(\vec{\alpha}, \vec{\alpha}) \in [(\vec{0}, \vec{0}), (\vec{1}, \vec{1})]} ((\vec{\alpha}, \vec{\alpha}) \wedge ((\vec{H}, \vec{H})(\vec{\alpha}, \vec{\alpha})(\vec{x}, \vec{x}))) \quad (3)$$

则 (\vec{f}, \vec{f}) 是 $DN(\vec{X}, \vec{X})$ 的单满射, 且

$$(\vec{F}, \vec{F})_{(\vec{H}, \vec{H})}(\vec{\alpha}, \vec{\alpha}) = (\vec{A}, \vec{A})_{(\vec{\alpha}, \vec{\alpha})} = \{(\vec{x}, \vec{x}); ((\vec{A}, \vec{A})(\vec{x}, \vec{x})) \geq (\vec{\alpha}, \vec{\alpha})\} \quad (4)$$

$$(\vec{F}, \vec{F})_{(\vec{H}, \vec{H})}(\vec{\alpha}, \vec{\alpha}) = (\vec{A}, \vec{A})_{(\vec{\alpha}, \vec{\alpha})} = \{(\vec{x}, \vec{x}); ((\vec{A}, \vec{A})(\vec{x}, \vec{x})) \geq (\vec{\alpha}, \vec{\alpha})\} \quad (5)$$

其中 $(\vec{H}, \vec{H})(\vec{\alpha}, \vec{\alpha})(\vec{x}, \vec{x})$ 是 $(\vec{H}, \vec{H})(\vec{\alpha}, \vec{\alpha})$ 的特征函数. (限于篇幅, 证明略)

由此可以看出, 该模型充分体现了各 agent 和目标 agent 之间的协调工作机制关系, 即为了达到目标 agent 的要求, 各 agent₁, ..., agent_n 要充分利用自我有利因素来表现自我, 最终方可达到共同协调工作的最佳效果. 现在对式(1)做出解答, 在式(1)中的 $(\vec{\lambda}_1, \vec{\lambda}_1)N_1, (\vec{\lambda}_2, \vec{\lambda}_2)N_2, (\vec{\lambda}_3, \vec{\lambda}_3)N_3$ 只要每一个臭皮匠充分表现他们的才能, 最后是可以和诸葛亮等价的.

假定由 agent 构成的集合是完备格, 则可得 agent 的扩展能力计算模型.

定理 2(Agent 的扩展能力计算模型). 设 (\vec{L}, \vec{L}) 是完备 DN 格, $(\vec{A}, \vec{A}) \in DN(\vec{X}, \vec{X})$, 则

$$(\vec{f}, \vec{f})(\vec{A}, \vec{A})(\vec{y}, \vec{y}) = \bigvee \{(\vec{\alpha}, \vec{\alpha}); (\vec{y}, \vec{y}) \in (\vec{f}, \vec{f})(\vec{A}, \vec{A})_{(\vec{\alpha}, \vec{\alpha})}\} \quad (6)$$

$$(\vec{f}^{-1}, \vec{f}^{-1})(\vec{B}, \vec{B})(\vec{x}, \vec{x}) = \bigvee \{(\vec{\alpha}, \vec{\alpha}); (\vec{x}, \vec{x}) \in (\vec{f}, \vec{f})(\vec{B}, \vec{B})_{(\vec{\alpha}, \vec{\alpha})}\} \quad (7)$$

若 $(\vec{f}, \vec{f}): (\vec{X}, \vec{X}) \rightarrow (\vec{Y}, \vec{Y})$ 是满射, 则

$$(\vec{f}, \vec{f})((\vec{A}, \vec{A})_{(\vec{\alpha}, \vec{\alpha})}) = (\vec{f}, \vec{f})(\vec{A}, \vec{A}) \quad (8)$$

限于篇幅, 证明略.

说明. 该定理的目的是建立计算 agent 扩展能力的计算模型, 通过计算结果可以说明为了达到协调工作的最佳目标, 各 agent 可以充分利用自我和环境中的有利因素来扩展发挥自己的能力的情况.

5 相关工作比较

文献[1,4]主要从 agent 协作参数、意图协作等方面进行研究; 文献[5]将 agent 划分为 6 个步骤来研究. 纵观这些成果, 总体上对一个 agent 仅仅从一般意义上进行分析, 缺乏把握 agent 本身具有动态性和模糊性的特点. 正因为如此, 本文作了大胆的探讨, 利用动态模糊逻辑来进行研究, 弥补了他们的不足.

6 结论

本文主要抓住 agent 本身及 agent 与 agent 之间存在的动态性和模糊性这个特点, 以“三个臭皮匠通过努力可以等价于一个诸葛亮”为出发点, 用动态模糊逻辑及动态模糊集对多 agent 的协调工作机制进行研究, 得到了多 agent 的协调工作模型和多 agent 能力表现计算模型及能力扩展模型等理论. 本文仅是我们近期研究工作的一部分, 其余研究工作如范例系统、agent 的模糊性问题、agent 的协调性等将在另文给出.

References

- 1 Doran J E, Franklin S, Jennings N R *et al.*. On cooperation in multi-agent systems. *The Knowledge Engineering Review*, 1997, **12**(3):309~314
- 2 Li Fan-Zhang, Doran J E, Franklin S, Jonnings N R. *Dynamic Fuzzy Sets and Its Applications*. Kunming: Yunnan Science Press, 1997. 1~15(in Chinese)
- 3 Li Fan-Zhang, Woorldridge M, Jennings N R. *Dynamic Fuzzy Logic and Its Applications*. Kunming: Yunnan Science Press, 1997. 11~32(in Chinese)
- 4 Lesser V R. A retrospective view of FA/c distributed problem solving. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Special Issue on Distributed Artificial Intelligence*, 1991, **21**(6): 1347~1362
- 5 Jiao Weng-Ping, Shi Zheng-Zhi. Research on the coordination processes of multi-agent. *Journal of Computer Research and Development*, 2000, **37**(8):904~911(in Chinese)

李凡长 教授. 主要研究方向为人工智能、多 agent 理论与技术、动态模糊逻辑.

(**LI Fan-Zhang** Professor in the Department of Computer Engineering at Soochow University. His research interests include AI, multi-agent system, and dynamic fuzzy logic.)