

# 个体与群体思维状态下的 AOP 语言

赖贤伟<sup>1</sup>, 胡山立<sup>2</sup>, 宁正元<sup>1</sup>, 詹青青<sup>2</sup>

(1. 福建农林大学计算机与信息学院, 福州 350002; 2. 福州大学数学与计算机科学学院, 福州 350002)

**摘要:** 引入群体思维状态对GOAL进行改进, 建立了个体与群体思维状态下的AOP语言IG-AOP, 给出其语法和操作语义。举例证明该语言的表达力比GOAL强, 可以较好地满足多Agent合作求解过程的刻画与并发编程的需要, 初步解决了Agent研究理论与实践脱节的问题。  
**关键词:** 多 Agent 系统; 面向 Agent 编程; 信念; 目标

## Agent-oriented Programming Language in Individual and Group Mental States

LAI Xian-wei<sup>1</sup>, HU Shan-li<sup>2</sup>, NING Zheng-yuan<sup>1</sup>, ZHAN Qing-qing<sup>2</sup>

(1. College of Computer and Information, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002;  
2. College of Mathematics and Computer Science, Fuzhou University, Fuzhou 350002)

**【Abstract】** This paper develops a new Agent-Oriented Programming(AOP) language called IG-AOP with individual and group mental states by introducing group mental states into GOAL, and gives its syntax and semantics. Several desired properties of the language are introduced, and it is proved that the IG-AOP expresses better than GOAL through the example. The gap between theory and practice of Agent research is bridged, and taking into account of group mental states makes this language more suitable for solving the problem of multi-Agent cooperative modeling and concurrent programming.

**【Key words】** multi-Agent systems; Agent-Oriented Programming(AOP); belief; goal

### 1 概述

为了更准确地刻画Agent, 早期研究<sup>[1-2]</sup>利用逻辑工具进行了一定的探索。但是, 在计算资源无限的理想模型下, 理论脱离实践的问题仍未得到有效的解决。

文献 [3] 指出, 面向 Agent 编程 (Agent-Oriented Programming, AOP)语言的建立是将Agent的理论与实践相统一的关键步骤。AOP形式语言的相关成果很多, 主要有 3 个系列: Golog, ConGolog, IndiGolog; AGENT0, PLACA, AGENT-K; 3APL<sup>[4]</sup>, GOAL<sup>[5-6]</sup>。3 个系列中最有代表性的语言分别是IndiGolog, PLACA和GOAL。其中, IndiGolog是目标驱动, 由解释器给出具体规划, 其思维状态是隐含实现的, 难以将逻辑模型已有的理论成果直接进行转换; PLACA和GOAL都是规则驱动, 并对思维状态给出显示的表示, 然而 PLACA没有明确的语义, GOAL虽然有明确的语义, 但是它仅刻画了Agent个体思维状态, 没有对Agent群体思维状态进行刻画。

### 2 语法

面向Agent编程语言GOAL<sup>[5-6]</sup>合理地刻画了对命题的目标(goal-to-be), 是对已有工作中只描述对规划(动作序列)的目标(goal-to-do)的有益补充。本文在语法层面融入Agent群体思维状态, 以满足多Agent系统及其合作问题求解过程刻画的需要。

**定义 1** IG-AOP 的语法(公式形成规则)

- (1)经典命题逻辑的公式都是 IG-AOP 的公式。
- (2)若  $\varphi$  是公式, 则  $B_i\varphi, B_C\varphi, G_i\varphi, G_C\varphi$  是公式。

(3)若  $\varphi_1, \varphi_2$  是公式, 则  $\neg\varphi_1, \varphi_1 \wedge \varphi_2$  是公式。

其中, 下标  $i$  表示 Agent 个体; 下标  $C$  表示 Agent 群体;  $B_i\varphi$  表示命题  $\varphi$  是 Agent  $i$  的个体信念;  $B_C\varphi$  表示命题  $\varphi$  是群体  $C$  的群体信念;  $G_i\varphi$  表示命题  $\varphi$  是 Agent  $i$  的个体目标;  $G_C\varphi$  表示命题  $\varphi$  是群体  $C$  的群体目标。

形式语言 IG-AOP 所有合式公式的集合记为  $Form(IG)$ 。

形式语言 IG-AOP 下的 Agent 的思维状态是一个四元组:  
 $\langle \sigma_i, \sigma_C, \gamma_i, \gamma_C \rangle$

其中,  $\sigma_i$  是个体信念库;  $\sigma_C$  是群体信念库;  $\gamma_i$  是个体目标库;  $\gamma_C$  是群体目标库, 它们都是  $Form(IG)$  的子集。

对任意的个体目标  $\alpha \in \gamma_i$ , 有:

- (1)  $\alpha$  当前不是个体 Agent  $i$  的信念, 即  $\sigma_i \neq \alpha$ ;
- (2)  $\alpha$  是相容的, 即  $\neg\alpha$ ;
- (3)  $\sigma_i$  是相容的, 即  $\sigma_i \neq \text{false}$ 。

类似地, 对任意的群体目标  $\beta \in \gamma_C$ , 有:

- (1)  $\beta$  当前不是群体 Agent  $C$  的信念, 即  $\sigma_C \neq \beta$ ;
- (2)  $\beta$  是相容的, 即  $\neg\beta$ ;

**基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(60373079, 60573076); 福建省自然科学基金资助项目(2006J0299, 2006J0018); 校青年教师科研基金资助项目(08B21)

**作者简介:** 赖贤伟(1981-), 男, 硕士, 主研方向: 多 Agent 系统; 胡山立、宁正元, 教授; 詹青青, 硕士

**收稿日期:** 2007-10-13 **E-mail:** ningzhy@126.com

(3)  $\sigma_C$  是相容的, 即  $\sigma_C \neq \text{false}$ 。

形式语言 IG-AOP 的基本动作集如下:

$$Cap = Bcap \cup Gcap$$

其中,  $Bcap$  是个体与群体信念修正动作集:

$$Bcap = Bcap_i \cup Bcap_C$$

$Gcap$  是个体与群体目标修正动作集:

$$Gcap = \{adopt_i(\phi), drop_i(\phi), adopt_C(\phi), drop_C(\phi) \mid \phi \in Form(IG)\}$$

形式语言 IG-AOP 中带有条件的动作记为  $\phi \mapsto do(a)$ , 其中, 命题  $\phi \in Form(IG)$ ; 基本动作  $a \in Cap$ 。它表示当命题  $\phi$  成立时, 执行动作  $a$ 。

形式语言 IG-AOP 下的 Agent 是一个五元组:

$$\langle \Pi, \sigma_i^0, \sigma_C^0, \gamma_i^0, \gamma_C^0 \rangle$$

其中,  $\Pi$  为带有条件的动作的非空集合;  $\langle \sigma_i^0, \sigma_C^0, \gamma_i^0, \gamma_C^0 \rangle$  为初始思维状态。

以上定义对 GOAL 的公式形成规则做了两方面的改进:

(1) 引入了群体信念和群体目标。(2) GOAL 中用作信念和目标的命题  $\phi$  只是经典命题逻辑的公式, 不允许思维状态算子的嵌套, 而 IG-AOP 的公式形成规则有效地解决了这个问题。

### 3 操作语义

本文允许冲突目标(个体的和群体的)的存在, 例如,  $\gamma_i = \{\alpha, \beta\}$ , 其中,  $\alpha$  表示“Agent  $i$  于 2008 年 8 月 8 日整天在青岛观看帆船赛”;  $\beta$  表示“Agent  $i$  于 2008 年 8 月 8 日整天在香港观看赛马”, 允许 Agent  $i$  具有类似的冲突目标。但如果在执行基本动作  $a \in Cap$  后, Agent  $i$  已经具有“2008 年 8 月 8 日整天在香港观看赛马”这个个体信念, 即  $B_i\beta$ , 那么必须相应地删除 Agent  $i$  个体目标库中“2008 年 8 月 8 日整天在香港观看赛马”这个个体目标, 使得  $\gamma_i = \{\alpha\}$ 。

#### 定义 2 思维状态修正模型

(1) 个体信念修正模型: 由  $T_{B_i}(a, \sigma_i)$  获取因执行动作  $a$  而修正得到的新个体信念库:

$$T_{B_i} : Bcap_i \times \wp(Form(IG)) \rightarrow \wp(Form(IG))$$

(2) 群体信念修正模型: 由  $T_{B_C}(a, \sigma_C)$  获取因执行动作  $a$  而修正得到的新群体信念库:

$$T_{B_C} : Bcap_C \times \wp(Form(IG)) \rightarrow \wp(Form(IG))$$

(3) 个体目标修正模型

$$M_{G_i}(drop_i(\alpha), \langle \sigma_i, \sigma_C, \gamma_i, \gamma_C \rangle) = \langle \sigma_i, \sigma_C, \gamma_i \setminus \{\phi \in \gamma_i \mid \phi = \alpha\}, \gamma_C \rangle$$

$$M_{G_i}(adopt_i(\alpha), \langle \sigma_i, \sigma_C, \gamma_i, \gamma_C \rangle) = \langle \sigma_i, \sigma_C, \gamma_i \cup \{\alpha\}, \gamma_C \rangle$$

若  $\sigma_i \neq \alpha$ , 且对于任意  $i \in C$ , 有  $\sigma_C \neq \alpha$ , 且  $\neq \neg \alpha$ 。

这是对个体目标的主动修正模型, 包含主动删除一个个体目标和主动添加一个个体目标。当向 Agent  $i$  的个体目标库添加一个个体目标时, 该个体目标必须尚未成为 Agent  $i$  的个体信念, 且尚未成为 Agent  $i$  所在的任一群体的群体信念, 且并非不可能实现。

(4) 群体目标修正模型

$$M_{G_C}(drop_C(\beta), \langle \sigma_i, \sigma_C, \gamma_i, \gamma_C \rangle) = \langle \sigma_i, \sigma_C, \gamma_i, \gamma_C \setminus \{\psi \in \gamma_C \mid \psi = \beta\} \rangle$$

$$M_{G_C}(adopt_C(\beta), \langle \sigma_i, \sigma_C, \gamma_i, \gamma_C \rangle) = \langle \sigma_i, \sigma_C, \gamma_i, \gamma_C \cup \{\beta\} \rangle$$

若  $\sigma_C \neq \beta$ , 且对于任意的  $i \in C$ , 有  $\sigma_i \neq \beta$ , 且  $\neq \neg \beta$ 。

这是对群体目标的主动修正模型, 包含主动删除一个群体目标和主动添加一个群体目标。当向 Agent  $C$  的群体目标

库添加一个群体目标时, 该群体目标必须尚未成为 Agent  $C$  的个体信念, 且尚未成为该群体中任一 Agent  $i$  的个体信念, 且并非不可能实现。

(5) 总体修正模型(包含诛连修正)

$$M_i(a, \langle \sigma_i, \sigma_C, \gamma_i, \gamma_C \rangle) = \langle T_{B_i}(a, \sigma_i), \sigma_C, \gamma_i \setminus \{\phi \in \gamma_i \mid T_{B_i}(a, \sigma_i) \models \phi\}, \gamma_C \setminus \{\psi \in \gamma_C \mid (T_{B_i}(a, \sigma_i) \models \psi) \wedge (i \in C)\} \rangle$$

$$M_C(a, \langle \sigma_i, \sigma_C, \gamma_i, \gamma_C \rangle) = \langle \sigma_i, T_{B_C}(a, \sigma_C), \gamma_i, \gamma_C \setminus \{\psi \in \gamma_C \mid T_{B_C}(a, \sigma_C) \models \psi\} \rangle$$

这是对思维状态的总体修正模型。对 Agent  $i$  的个体信念的修正将可能诛连修正 Agent  $i$  的个体目标, 也可能诛连修正 Agent  $i$  所在的任一群体的群体目标; 对 Agent  $C$  的群体信念的修正将可能诛连修正群体 Agent  $C$  的群体目标。

以上定义对 GOAL 的思维状态修正模型进行了如下较大的拓展: (1) 引入群体信念和群体目标修正模型。(2) 考察了个体信念和群体信念经修正后对个体目标和群体目标产生的诛连修正。

#### 定义 3 IG-AOP 的语义

(1) 经典命题逻辑中所有重言式都是 IG-AOP 的有效式。

说明: 由于 IG-AOP 是在经典命题逻辑的基础上引入个体信念、群体信念、个体目标、群体目标等 4 个模态算子而扩展形成的新语言, 因此 IG-AOP 中所有的合式公式的集合  $Form(IG)$  包含了经典命题逻辑中的所有重言式。

(2)  $\langle \sigma_i, \sigma_C, \gamma_i, \gamma_C \rangle \models B_i\phi$ , 当且仅当  $\sigma_i \models \phi$ 。

$\langle \sigma_i, \sigma_C, \gamma_i, \gamma_C \rangle \models B_C\phi$ , 当且仅当  $\sigma_C \models \phi$ 。

$\langle \sigma_i, \sigma_C, \gamma_i, \gamma_C \rangle \models G_i\phi$ , 当且仅当存在某些  $\psi \in \gamma_i$ , 使得  $\psi \models \phi, \sigma_i \models \phi$ , 且对于 Agent  $i$  所在的任一群体 Agent  $C$ , 有  $\sigma_C \models \phi$ 。

$\langle \sigma_i, \sigma_C, \gamma_i, \gamma_C \rangle \models G_C\phi$ , 当且仅当存在某些  $\psi \in \gamma_C$ , 使得  $\psi \models \phi, \sigma_C \models \phi$ , 且对于群体 Agent  $C$  中的任一 Agent  $i$ , 有  $\sigma_i \models \phi$ 。

说明: 个体信念和群体信念的语义分别通过个体信念库和群体信念库直接给出。个体目标和群体目标的语义并非分别通过个体目标库和群体目标库直接给出, 而是放宽要求: 只要有利于远期目标, 且不与个体信念库或群体信念库产生冲突, 就可以当成近期目标。

(3)  $\langle \sigma_i, \sigma_C, \gamma_i, \gamma_C \rangle \models \neg\phi$ , 当且仅当  $\langle \sigma_i, \sigma_C, \gamma_i, \gamma_C \rangle \not\models \phi$ 。

$\langle \sigma_i, \sigma_C, \gamma_i, \gamma_C \rangle \models \phi_1 \wedge \phi_2$ , 当且仅当  $\langle \sigma_i, \sigma_C, \gamma_i, \gamma_C \rangle \models \phi_1$ , 且  $\langle \sigma_i, \sigma_C, \gamma_i, \gamma_C \rangle \models \phi_2$ 。

说明: 联接词  $\neg$  和  $\wedge$  下 IG-AOP 合式公式的语义与经典命题逻辑中的定义相同, 其他联接词如  $\vee, \rightarrow, \leftrightarrow$  的定义可由  $\neg$  和  $\wedge$  给出。

在以上定义中, 对于群体目标的语义:

$$\langle \sigma_i, \sigma_C, \gamma_i, \gamma_C \rangle \models B_C\phi$$

可以给出如下等价定义: 当且仅当  $\forall i \in C, B_i\phi$ , 它表示当且仅当群体内的每一个 Agent  $i$  都有这种信念。

### 4 性质与比较

篇幅所限, IG-AOP 所满足的个体思维状态相关性性质见文献[5-6]。以下定理给出了 IG-AOP 所满足的群体思维状态相关性性质。

**定理 1** IG-AOP 满足如下群体思维状态相关性性质。

(1)  $\models \varphi \Rightarrow \models B_C \varphi$  , 其中 ,  $\varphi \in Form(IG)$ 。

说明: 群体 Agent C 具有对集合  $Form(IG)$  中的有效式的群体信念。

(2)  $\models \neg B_C(false)$ 。

说明: 群体 Agent C 并不具有对  $Form(IG)$  中的永假式的群体信念。

(3)  $\models B_C(\varphi \rightarrow \psi) \rightarrow (B_C \varphi \rightarrow B_C \psi)$ 。

说明: 群体信念算子在蕴涵下可分配。

(4)  $\models \neg G_C(true)$ 。

说明: 永真式必不为群体目标。

(5)  $\models \neg G_C(false)$ 。

说明: 永假式必不为群体目标。

(6)  $\not\models G_C(\varphi \rightarrow \psi) \rightarrow (G_C \varphi \rightarrow G_C \psi)$ 。

说明: 群体目标算子在蕴涵下不可分配。

(7)  $\not\models G_C(\varphi \wedge (\varphi \rightarrow \psi)) \rightarrow G_C \psi$ 。

说明: 例如  $\gamma_C = \{\alpha, \alpha \rightarrow \beta\}$  , 即使  $G_C(\alpha \wedge (\alpha \rightarrow \beta))$  , 也不能蕴涵  $G_C \beta$  , 因为群体 Agent C 对  $\beta$  的群体信念有可能已事先成立, 即  $B_C \beta$ 。另外, 请将(7)与(6)对照。

(8)  $\not\models (G_C \varphi \wedge G_C \psi) \rightarrow G_C(\varphi \wedge \psi)$ 。

说明: 由于本文允许冲突目标的存在, 若取  $\varphi = \theta$  ,  $\psi = \neg \theta$

显然  $G_C \theta \wedge G_C(\neg \theta)$  并不能蕴涵  $G_C(\theta \wedge \neg \theta)$ 。

(9)  $\models B_C(\varphi) \rightarrow \neg G_C(\varphi)$ 。

说明: 群体信念必不为群体目标。

(10)  $\models \varphi \rightarrow \psi \Rightarrow \models (\neg(B_C \psi)) \rightarrow (G_C \varphi \rightarrow G_C \psi)$ 。

说明: 将(10)与(7)对照。

**定理 2** IG-AOP 比 GOAL 的表达力强。

**证明** IG-AOP 对 GOAL 的公式形成规则进行了两方面的拓展: (1) 引入了群体信念和群体目标; (2) 允许思维状态算子的嵌套。因此, 相比 GOAL, 本文建立的 IG-AOP 语言具有更强的表达力。

(上接第 216 页)

方法是有效的, 笔者将该方法和文献[1-3]中所提出的分割方法进行了对比实验。图 1(a)是分割前的原始图像; 图 1(b)是文献[1]所提出的基于边缘检测的分割实验结果; 图 1(c)是文献[2]所提出的基于区域的分割结果; 图 1(d)是本文所提出的基于信息瓶颈的图像分割结果。

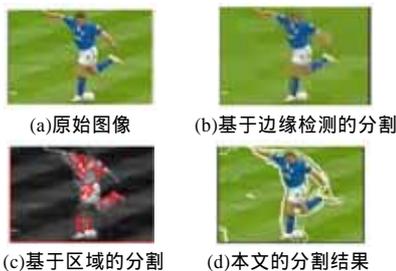


图 1 不同方法的分割结果

实验结果表明, 笔者提出的方法对提取图像中的对象有较高的准确性, 能够提取图像中有意义的图像区域。

## 6 结束语

图像分割是图像信息处理的难点之一, 常用的分割方法有阈值法和聚类法。而模糊 C 均值(FCM)算法存在过分依赖

例如, 小王相信: 全世界的人都相信太阳从东方升起。

利用 GOAL, 该命题可以表示为:  $B\varphi$  , 其中,  $\varphi$  表示“全世界的人都相信太阳从东方升起”。

解决了 GOAL 思维状态算子的嵌套问题后, 该命题可以表示为:  $B(B\varphi)$  , 其中,  $\varphi$  表示“太阳从东方升起”。

在个体思维状态的基础上引入群体思维状态后, 利用 IG-AOP, 该命题可以表示为:  $B_i(B_C \varphi)$  , 其中,  $i$  表示小王;  $C$  表示全世界的人。

## 5 结束语

本文建立的个体与群体思维状态下的 AOP 语言 IG-AOP 初步解决了 Agent 研究理论与实践脱节的问题。进一步的工作是对 Agent 个体与群体目标的非单调推理进行考察, 并分析非单调推理下目标与信念的关系。

## 参考文献

- [1] 胡山立, 石纯一. Agent 意图的双子集语义改进模型[J]. 软件学报, 2006, 17(6): 396-402.
- [2] Lai Xianwei, Hu Shanli, Ning Zhengyuan. An Improved Formal Framework of Actions, Individual Intention and Group Intention for Multi-agent Systems[C]//Proc. of 2006 IEEE/WIC/ACM Int'l Conference on Intelligent Agent Technology. Hong Kong, China: IEEE Computer Society, 2006: 420-423.
- [3] Shoham Y. Agent-oriented Programming[J]. Artificial Intelligence, 1993, 60(1): 51-92.
- [4] Hindriks K V, de Boer F S, van der Hoek W, et al. Agent Programming in 3APL[J]. International Journal of Autonomous Agents and Multi-Agent Systems, 1999, 2(4): 357-401.
- [5] Hindriks K V, de Boer F S, van der Hoek W, et al. Agent Programming with Declarative Goals[C]//Proceedings of the 7th International Workshop on Agent Theories, Architectures, and Languages. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 2001: 228-243.
- [6] de Boer F S, Hindriks K V, van der Hoek W, et al. A Verification Framework for Agent Programming with Declarative Goals[J]. Journal of Applied Logic, 2007, 5(2): 277-302.

初值、收敛于局部极值等问题。本文基于信息瓶颈算法的图像分割方法能较好地克服 FCM 的缺陷, 实验结果也表明该方法的分割效果较好。

## 参考文献

- [1] Nalwa V, Binford T. Pattern Analysis and Machine Intelligence[J]. IEEE Trans. on Knowledge and Data Engineering, 1986, 8(6): 699-714.
- [2] Cheng H D, Sun Y. A Hierarchical Approach to Color Image Segmentation Using Homogeneity[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2000, 9(12): 2071-2082.
- [3] Wagstaff K, Cardie C, Rogers S, et al. Constrained K-Means Clustering with Background Knowledge[C]//Proc. of the 18th Intl. Conf. on Machine Learning. Williamstown, MA, USA: [s. n.], 2001.
- [4] Slonim N. Agglomerative Information Bottleneck[C]//Proceedings of the 13th Neural Information Processing Systems. [S. l.]: IEEE Press, 1999.
- [5] Ahujia N. Gaussian Mixture Model for Human Skin Color and Its Application in Image and Video Database[C]//Proceedings of the SPIE Conference on Storage and Retrieval for Image and Video Databases. [S. l.]: IEEE Press, 1999.