

## 多主体系统建模方法探索\*

姚莉 张维明 汪浩

(国防科技大学系统工程与数学系 长沙 410073)

**摘要** 本文提出结合组织学理论研究多主体系统(MASs)建模的一种方法。文章从宏观到微观,在整体组织、个体和并发行为等不同抽象层次上论述了分析与设计多主体系统的建模方法,并详细介绍了用于多主体系统设计的系统组织模型、主体概念模型和分布式协作求解模型三个抽象模型的主要研究内容。

**关键词** 主体,多主体系统,协作,组织

**分类号** TP18

## Exploring the Modeling Method of Multi-Agent Systems

Yao Li Zhang Weiming Wang Hao

(Department of Systems Engineering and Mathematics, NUDT Changsha, 410073)

**Abstract** This article presents an approach to study the modeling of multi-agent systems (MASs) by integrating organization theory. The paper discusses the modeling method of analyzing and designing the MASs, from macro to micro, at different abstract layers of the whole organization, agent, and concurrent action, and describes in detail three abstract models about the System organization model, agent conceptual model, and distributed cooperative solving model for designing the MASs.

**Key words** agent, multi-agent system, cooperation, organization

目前关于多主体系统设计和建造方法学的研究比较少,设计与建造多主体系统既缺乏系统的方法学又缺乏经验知识,也没有高质量的软件工具支持,这极大地阻碍了多主体系统技术的推广和应用。多主体系统的实现一般是基于系统设计过程所描述的各类主体的职能及其职能之间的依赖关系而进行的,因此,研究多主体系统的设计与建造方法必将有助于提高多主体软件的研制效率。

在大型互联网络上设计与建造多主体系统是一个大型、复杂的系统工程,为了有效地实现协作,首先应当从宏观到微观,在整体组织、个体和并发行为等不同抽象层次上对系统进行分析、设计或建模,然后才能在支持软件重用和集成的协作支撑平台上准确实现。假设多主体系统中主体的定义是广义的,包括人类主体(Human Agent)和人工智能主体(Artificial Intelligent Agent),并且其相互作用形式也是人类组织中实际通信形式的抽象,那么,多主体协作信息处理系统的建模包括多主体系统组织模型、主体概念模型和分布式协作求解模型。

## 1 多主体系统组织模型

## 1.1 系统组织模型概述

设计组织的目的是使组织中的成员能有效协作以实现全局目标。系统组织模型定义MASs的组织结构和组织原则,为MASs系统的机上实现提供了大致框架。

为准确刻画MASs的组织,我们按如下形式定义组织模型:

$$\text{Org-model} = \langle \text{Org-struct}, \text{Org-metaphor} \rangle \quad (1)$$

$$\text{Org-struct} = \langle \Phi, \text{Role}, \text{Responsibility}, \text{Goal}, \text{Co-relation}, \Omega \rangle \quad (2)$$

\* 国家部委基金项目  
1998年10月6日收稿  
第一作者:姚莉,女,1965年生,博士

Org- metaphor = < Knowledge- distri- strat, Task- distri- strat, Coordination- control- strat, Communication- strat, Conflict- reconcile- strat, Reliability- strat > (3)

其中,

Org- model 表示组织模型的定义由组织结构(Org- struc)和组织原则(Org- metaphor)构成;

Org- struc 表示系统的基本组织结构,定义组织中的基本成员、职能、责任分布、组织目标、以及承担某种职能的组织成员之间的相互关系。

Org- metaphor 表示组织结构 Org- struc 的组织原则。组织原则包括知识分布策略、任务分布策略、协作控制策略、通信策略、冲突消除策略、可靠性策略。

## 1.2 组织结构

MASs 的组织结构主要定义组织的基本成员、职能、目标、责任分布、相互关系等。我们用(2)式来定义 MASs 的组织结构,式中:

$\Phi$  是智能主体的集合,说明构成系统组织的基本成员。

$$\Phi = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$$

$A_i(i = 1, 2, \dots, n)$  是一个主体的基本资源描述,包括存贮容量、处理器速度、通讯带宽等。

Role 是组织职能的集合。在这里组织职能指系统组织所必须的功能成份。

$$\text{Role} = \{\text{rol}_1, \text{rol}_2, \dots, \text{rol}_m\}$$

$\text{rol}_i(1 \leq i \leq m)$  表示各种职能的定义。

Responsibility 是责任分配的集合,表示 Role 在  $\Phi$  中的分配状况。若用  $A^{\text{rol}_i}(A \in \Phi, \text{rol}_i \in \text{Role})$  表示主体  $A$  能够完成  $\text{rol}_i$  所定义的智能,则主体  $A$  能够承担的所有职能可用一个集合来表示:

$$\text{Capacity}(A) = \{A^{\text{rol}_1}, A^{\text{rol}_2}, \dots, A^{\text{rol}_m}\} \quad (1 \leq i_1, i_2, \dots, i_r \leq m)$$

即  $\text{capacity}(A)$  表示主体  $A$  在组织结构中的能力。这样,

$$\begin{aligned} \text{Responsibility} &= \text{Capacity}(A_1) \cup \text{Capacity}(A_2) \cup \dots \cup \text{Capacity}(A_n) \\ &= \bigcup_{i=1}^n \text{Capacity}(A_i) = \{A_1^{\text{rol}_1}, \dots, A_1^{\text{rol}_r}, A_2^{\text{rol}_1}, \dots, \dots\} \end{aligned}$$

Goal 是系统完成的组织目标集合。

$$\text{Goal} = \{g_1, g_2, \dots, g_k\}$$

对各组织目标  $g_i(i = 1, 2, \dots, k)$  都存在一个责任的集合,表示该目标由哪些承担相应职能的主体联合完成。即:

$$\text{Responsibility}(g_i) = \{A_1^{\text{rol}_1}, A_1^{\text{rol}_2}, \dots, A_s^{\text{rol}_{s1}}, A_s^{\text{rol}_{s2}}, \dots, \dots, \dots\} \quad (1 \leq i \leq k, 1 \leq s \leq n)$$

根据上述定义,应有

$$\bigcup_{j=1}^k \text{Responsibility}(g_j) \subseteq \text{Responsibility}$$

Co- relation: 指承担某种组织职能的主体之间可能存在的相互关系集。这里的相互关系可能是有关职能、权限、通讯、相对位置等,针对不同领域问题关系呈现多种形式。

可用以下形式表示 Responsibility 上的所有二元关系:

$$\text{Co- relation} = \bigcup_{j=1}^p \text{Rel}_j = \bigcup_{i=1}^p (P_i \cdot D_i)$$

式中,  $P_i$  表示一种二元关系的性质或约束条件,  $D_i$  表示关系成立的论域,  $(P_i \cdot D_i)$  表示  $\{x \in D_i \mid x \text{ 满足性质 } P_i\}$ 。

$\Omega$  表示系统作用的外部世界环境。

上述内容的确定涉及如下问题的研究: 分工原则、专业化原则、管理的层次、控制的幅度、主体的粒度等。我们通过如下步骤建立一个 MASs 的组织结构。

1) 确定层次组织中各级机构的目标。首先确定总体目标, 然后进行层层分解, 建立表明各级目标之间关系的指标体系图; 2) 进行问题求解管理流程的总体设计。问题求解管理流程指问题求解活动在相

对稳定的程序中反复地循环流动。把这种流程按照标准格式和各种符号形象地表示出来,我们称之为问题求解管理流程图。问题求解管理流程是实现各级目标的问题求解过程,在设计和优选问题求解管理流程时,应保证目标实现的全过程周期最短,效益最高;3)设计职能。职能是问题求解管理流程的具体环节,也是组织结构的基本单位。由各类职能形成基层组织,再由基层组织形成上一层管理子系统,直至构成系统的总体结构;4)定义管理职能和问题求解职能的具体内容。根据问题求解管理流程,拟定每一职能岗位的输入对象、输出对象和必需的技能(即方法和手段),通过相应的技能,管理者或问题求解者将输入对象转换成输出对象;5)确定主体(agent)承担的职能。一个主体能承担一个或多个组织职能。确定了主体承担的职能也就确定了主体的粒度。6)确定网络分布。根据主体承担的职能以及职能之间的关系,确定主体在网络资源上的分布,从而形成组织的基本结构。

### 1.3 组织原则

MASs 系统组织原则是对系统行为的改变规律进行更细致地规定和说明,它是建立在组织结构之上的行为约束函数。组织原则中的每一项策略都代表着一个形式化的系统承诺,这些策略之间是相互关联或相互制约的。

在 MASs 系统中,通常用全局连贯性(global coherence)讨论 MASs 系统的整体性质,全局连贯性是指 MASs 系统作为一个整体如何协调行动,使全局目标求解过程中各项性能指标更为合理。这些性能指标包括求解能力、效率、解质量、协作行为的可描述性、性能平滑衰减(graceful degradation)等<sup>[6]</sup>。组织原则事实上是提高系统全局连贯性的静态或动态策略,每项策略都代表着一个形式化的系统级承诺,这些策略之间可能是相互关联或相互制约的。

组织原则的定义如(3)所示,式中:a) Knowledge- distri- strat: 知识分布策略,主要包括对以下问题的定义:①知识表示的类型和抽象层次;②各类知识的分布状态;③知识组织形式和访问方式;④有关知识冗余和共享方面的管理策略。b) Task- distri- strat: 任务分布策略,规定任务的表示以及任务分解、分配和结果综合的实现方式。任务的分布不仅要考虑各主体的职能、知识和资源分布状态、主体间的位置关系等,同时也需考虑任务分解、分配以及结果综合过程中的抽象层次和时态关系;c) Coordination- Control- strat: 协作控制策略,定义一组智能主体管理它们共享环境的方法或手段。协作控制策略包含以下内容:①组织形式的转换方式;②协作方式;③局部求解和协作活动之间的权衡准则;④增加全局连贯性的控制策略。d) Communication- strat: 通信策略,其设计包括通信与计算之间的权衡原则,定义通信发生和完成的条件,以及保证通信内容的中肯性、及时性和完整性的策略措施。e) Conflict- reconcile- strat: 冲突消除策略,主要考察以下问题:①不一致性的表示;②不一致性的识别条件;③冲突调解方法。f) Reliability- strat: 可靠性策略,指系统为维护全局承诺的贯彻实施而制定的相应措施和机制。即说明约束或规定违例时的解决方法,以保证系统求解可靠和性能的相对稳定。

有关系统组织模型及其建立实例的详细资料参见参考文献[3]、[4]

## 2 主体概念模型与协作求解模型

目前大多数 MASs 系统的研究和实现仍然基于 Von Neumann 计算机体系结构和现有的通信网络。在这样的系统中,协作智能的实现就归结为怎样具体地组织或结构化每一主体的知识表示和问题求解活动,使它们能通过通信网络较容易地集成在一起形成分布式协作求解环境。

### 2.1 主体概念模型

主体概念模型定义系统中各类人工智能主体的内部结构、知识表示框架和行为实现方式,说明主体应当具有怎样的体系结构和功能设计才能更为理想地履行组织中的职能,以及实现与其他主体的协作。

设 Agent- model<sub>i</sub>表示 Org- model 中与 A<sub>i</sub> 相关的部分承诺,则 MAS 系统可形式化的表示如下:

$$\text{MAS-System} = \prod_{A_i \in \Phi} (\text{Org-model})_{\text{Agent-model}_i}$$

即一个 MASs 系统由满足组织模型定义的全局承诺的所有主体构成。

一个主体的内部状态和主要智能活动可抽象表示如下:

$\text{Agent-model}_{A_i} = \langle D, I, K, \text{Local-solving}, \text{Coor-control}, \text{Comm}, \text{Percep}, \text{Contri-reconcile} \rangle$

且有  $\text{Agent-model}_{A_i}$  满足  $\prod_{A_i}(\text{Org-model})$ 。

式中:  $D, K, I$ : 分别表示  $A_i$  内部的数据库、知识库和意图库;  $\text{Local-solving}$ : 表示  $A_i$  局部行为的能力;  $\text{Coor-control}$ : 表示  $A_i$  协调控制能力;  $\text{Comm}$ : 表示  $A_i$  的通信能力;  $\text{Percep}$ : 表示  $A_i$  感知和模型化其它主体及外部环境  $\Omega$  的能力;  $\text{Contri-reconcile}$ : 表示  $A_i$  解决冲突和不一致观点的能力。

主体概念模型根据  $\prod_{A_i}(\text{Org-model})$  中定义的  $A_i$  组织职能、目标、责任、与其它主体的相互关系, 以及组织原则的约束要求, 说明主体应有的内部结构、功能设计和知识行为的实现方式。在组织中承担特定职能的主体, 可能需要与其相适应的结构框架实现知识表示和智能活动, 以便于组织职责的履行。

## 2.2 分布式协作求解模型

分布式协作求解模型定义 MASs 系统的基本计算过程, 即通过分布算法说明系统组织模型和主体概念模型定义的概念框架作为计算实体如何实现。协作求解模型从行为操作角度描述实现分布式问题求解时各主体推理机之间的协作过程。

分布式协作求解模型需考虑以下问题: ①定义系统协作求解的开始、终止和求解成功或失败; ②说明异常情况下, 系统的恢复和调整行为; ③说明计算模型的操作语义, 描述实现协作求解的并发行为。

有关主体概念模型和分布式协作求解模型的详细资料分别参见文献[3]、[5]。

## 3 结束语

本文是研制几个项目过程中总结出来的一些工程方法, 文中有些内容还有待于更深入地探讨。我们认为: 将人工智能、软件工程和系统工程技术相结合, 并借鉴组织学原理探讨 MASs 的开发方法是研究多主体系统建造方法学的重要途径。

## 参考文献

- 1 Mead G H. Mind, Self, and Society. University of Chicago Press, Chicago, IL, 1934
- 2 Robey D. Organization Design. Richard D Irwin, INC, 1986
- 3 姚莉. 分布式协作知识模型及其应用研究. 国防科技大学博士论文, 1995.
- 4 姚莉. 建立 DAI 系统的组织模型. 计算机工程, 1997(3)
- 5 姚莉. 基于假设的分布式协作求解. 软件学报, 1997(12)
- 6 Gasser L, Huhns M N. Distributed Artificial Intelligence. Vol. 2, Pitman / Morgan Kaufmann, Los Altos, CA, 1989