

基于多智能体的复杂信息系统开发方法研究

姚莉, 张维明, 王长缨, 龚勇

(国防科技大学人文与管理学院管理科学与工程系, 长沙 410073)

摘要: 提出一种将组织学与多智能主体技术相结合建造复杂信息系统的开发方法。该方法的基本思想是首先将复杂信息系统看成一个多主体组织, 依据组织学原理分析多主体系统组织特性, 建立多主体组织模型, 从而形成多主体系统宏观结构和功能需求的严格规范; 其次, 根据现有技术和可用资源确定承担各类组织职能的多个主体, 由此确定了各主体的职责和粒度; 然后, 依据组织模型, 采用信念-愿望-意图(BDI)结构设计各类主体的概念模型, 为系统的机上实现建立清晰的可操作的开发模式; 最后, 将所设计的概念模型在协同工作平台(MBOS)上编程实现, 快速获得复杂信息系统的原型系统。

关键词: 信息系统分析与设计; 智能主体; 协作; 组织计算; 软件工程

中图分类号: TP316; C934 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9807(2002)05-0044-11

0 引言

目前, 基于主体(agent)的软件技术已开始广泛应用于电子商务、计算机集成制造系统、虚拟企业组织、军事指挥控制系统、电子看护系统、远程教育系统等大型信息系统的开发。在这些系统中通常包含数以百计, 甚至数以千计的主体, 其复杂度相当高, 系统的设计与实现十分困难。如果没有一套完善的软件工程方法支持整个系统的分析、设计和实现过程, 就很难保证所实现的应用系统具有足够的可靠性、可维护性、可扩展性以及软件可重用性。

然而, 原有的软件工程技术(包括面向对象的分析与设计技术)却并不适合复杂的多智能主体系统的开发。这些技术难以描述主体自主的问题求解能力和灵活的决策方式, 以及主体之间复杂的互操作和协调过程。因而, 20世纪90年代以来, 基于主体的软件开发方法逐渐成为软件工程领域新的研究热点。近年来提出的许多方法大多以面向对象的开发方法和建模技术为基础, 根据

多主体系统的计算特性进行扩展, 形成新的面向主体的开发方法和建模技术^[1, 2]。此外, 还有一些研究是基于软件工程和知识工程的建模技术, 如Brazier等人提出了一种设计多主体系统的规范框架DESIRE^[3]。与上述方法完全不同的另一研究途径是将多主体系统看作一个由计算实体构成的人工社会或组织, 然后借鉴组织学的概念、方法等说明多主体系统的分析与设计^[4-6], 这类方法更能描述主体的自主性和多主体系统中的复杂协作行为。但是目前提出的该类方法普遍缺乏可操作性。

而且, 虽然已提出多种多主体系统的开发平台^[7-10], 但由于没有相对应的开发方法与之配套, 用户在开发诸如企业供应链管理、计算机集成制造系统等复杂信息系统时仍然无从下手, 难以建立一个合理协调的协同工作系统。

作者在研制智能协作办公系统(ICOFFICE)^[11]、多主体协作信息处理系统(MICS)^[12]和协同工作平台(MBOS)^[13]等系统的实践中, 提出了一种基于多智能主体建造复杂信

息系统的开发方法。该方法将系统开发分为3个主要步骤: 面向主体的系统组织分析、面向主体的系统设计和面向主体的编程实现。其基本思想是首先将复杂信息系统看成一个多主体组织, 依据组织学原理分析多主体系统组织特性, 建立组织模型, 从而形成多主体系统宏观结构和功能需求的严格规范; 其次, 根据现有技术和可用资源确定承担各类组织职能的多个主体, 由此确定了各主体的职责和粒度; 然后, 依据所建立的组织模型, 采用信念-愿望-意图(BDI)结构设计各类主体的概念模型, 为系统的机上实现建立清晰的可操作的开发模式; 最后, 将所设计的概念模型在协同工作平台(MBOS)上直接编程实现, 快速获得复杂信息系统的原型系统, 并能通过MBOS提供的工具进行调试, 增量式的开发复杂信息系统。

1 建立多智能主体系统的组织模型

正如传统的人工智能技术是用计算机模拟人脑的智能行为, 多主体系统是通过计算机网络模拟多个人形成的组织的智能行为(甚至可以称之为组织智能^[14])。因而, 基于多智能主体技术分析与设计复杂信息系统的过程可看作软件开发者构建多个智能主体形成的社会组织的过程, 通过组织结构中多个主体的分工、协作完成大型复杂问题的求解。这里所设计的多主体组织, 不仅需要具有一般组织的基本特性, 能够解决复杂问题, 而且必须使所建立的组织在计算机上易于实现, 能够充分发挥智能主体的计算特性, 高效率地协作求解问题。为使多主体系统的组织建模具有可操作性, 本文在借鉴人类组织设计理论^[15, 16, 24]的基础上, 尝试建立了一套有关多主体组织的概念集合, 用以说明组织的职能体系和建模过程。

系统分析阶段的主要任务是提供一个多主体组织的概念集合和组织建模的基本方法, 使软件工程师通过这一概念框架和建模方法能够逐步精确、有条理地理解和模型化一个复杂系统。本文提供的多主体组织的概念集合包括: 组织、组织效益、组织结构及组织过程等。其中组织结构又包括职能、职责、职权、协同及控制等; 组织过程包括组织生命周期、组织策略、组织环境及组织管理等。多主体组织建模包括组织结构建模和组织过

程建模, 建模的结果为5项内容: 组织系统图、职能模型、协同工作过程模型、控制模型和组织管理模型。

1.1 组织与效益

多主体组织定义为由多个智能主体组成的相对大的系统, 是为了实现一定目标而进行合理的管理和协调, 并具有一定边界的计算实体的集合。开发者在根据系统需求制定组织目标时, 应相应地制定一整套目标实现程度的指标体系, 以便在系统组织的设计与实现过程中把握和衡量组织目标的实施情况。

多主体组织的效益可从4个方面考察: 多主体组织对其目标的实现程度; 多主体组织对其资源的利用率; 多主体组织满足用户的需求程度; 多主体组织对环境的适应性和灵活性。象人类组织一样, 提高组织效益也应从宏观和微观两个角度进行研究。一方面要研究组织整体框架, 使组织作为一个整体能高效运作; 另一方面要研究组织中每一成员的行为尽可能提高个体的工作效能。

1.2 多主体组织的模型

设计一个多主体组织, 实质上就是研究如何合理、有效地进行分工和协作。这里的“分工”包括问题求解任务的分工、工作量的分配、职责和权限的划分, 以及分工之后的配合、协作关系等。一个多主体组织的建模可分成组织结构建模和组织过程(process)建模两部分。其中结构建模是建立相对持久的职能(roles)体系, 并定义成员活动的规律性模式; 过程建模是对组织结构之上的活动序列的变化形式进行规定。多主体组织模型的主要概念框架如图1所示。

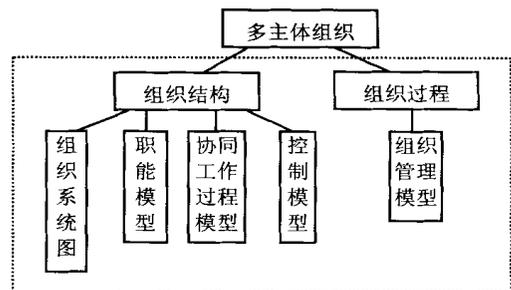


图1 多主体组织模型的概念框架

多主体系统分析阶段的主要任务是建立多主体组织模型, 组织建模的结果是图 1 中叶节点的 5 项内容:

组织系统图

用于表示组织内的职权关系和主要职能组

织图的垂直形态表示决策权和责任的关联体系; 其水平形态则体现分工与协作关系 如图 2 所示是一个交通管理决策支持系统的部分组织系统图 图中的节点表示职能, 实线表示纵向的层次控制关系

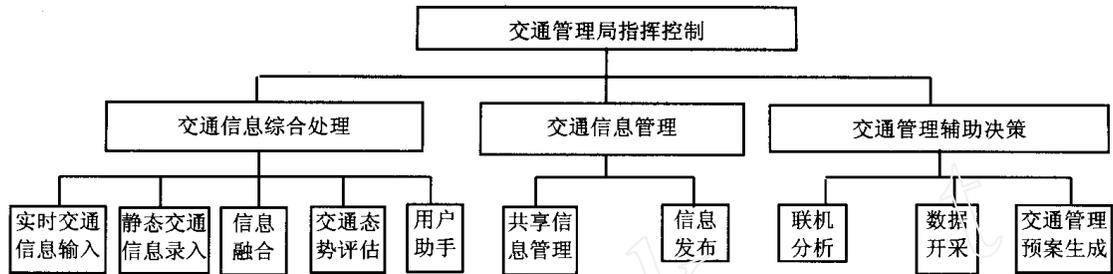


图 2 交通管理决策支持系统的组织系统图

职能模型

职能 (role) 是多主体组织的基本建造块, 职

能模型说明组织系统图中每一职能的职责与职权 定义如下:

<p>职能名: 该职能的名称</p> <p>任务描述: 该职能要完成任务的综合描述</p> <p>职责:</p> <p> 基本技能集: 定义履行该职责自身必须具备的基本技能的集合</p> <p> 功能集: 定义该职能完成任务的内部业务流程 是建立在基本技能集和其它职能服务集之上的操作表达式集合</p> <p> 服务集: 定义主体提供给其它主体使用的服务功能集合</p> <p> 安全条件集: 说明该职能在完成其任务时必须保证的约束条件</p> <p>职权:</p> <p> 资源权限: 定义所拥有的知识资源和信息资源, 以及对这些资源的使用权限</p> <p> 管理权限: 定义所拥有的下属, 以及对这些下属的监控内容</p>
--

协同工作过程模型

定义主要任务的工作模式, 及相关职能之间的协作关系和交互协议

协同工作过程建模是对问题求解过程的计算化描述, 概括了实现问题求解所需的各种必要信息, 如过程开始和结束条件, 组成该过程的各个步骤, 步骤间的信息传递规则, 职能之间协作关系, 交互协议等 协同工作过程建模的方法是基于 3 类问题的分析: 问题求解活动分析、决策分析和关系分析

控制模型

根据工作协同过程模型建立控制机制, 定义的主要内容包括设置定性或定量的标准, 确定控制宽度, 控制的内容和测度的时间间隔等

设计规范的控制机制是为了保证一个组织中的成员为获取系统目标而协调行动 控制系统既可看作组织结构的一部分, 也可看作组织过程的一部分

组织管理模型

通过分析任务环境, 制定相应的组织管理策略, 从而对组织中所有活动的变化规律进行建模 一个计算组织的管理是对一个组织所拥有的计算资源、存储容量、问题求解技能和信息资源进行计划、组织、领导和控制, 以使多主体组织最有效地实现组织的目标

与人类组织的过程设计相对应, 多主体系统组织的设计也不应只是静态的组织结构建模, 还应包含适应外部环境的组织变革策略设计 然而, 这在理论上是合理的, 在实践中的可操作性却值得探索 这是因为人类组织的发展和变革需要组织的管理者根据环境的变化情况进行改革, 而多主体系统中的智能主体作为计算实体, 只有有限的学习能力和自适应能力, 难以实现复杂的组织变革行为 作为一种尝试, 可将多主体组织在生命周期内的变革分为两部分: 大型复杂的改变由系统管理员完成; 小的调整和适应由承担管理职能

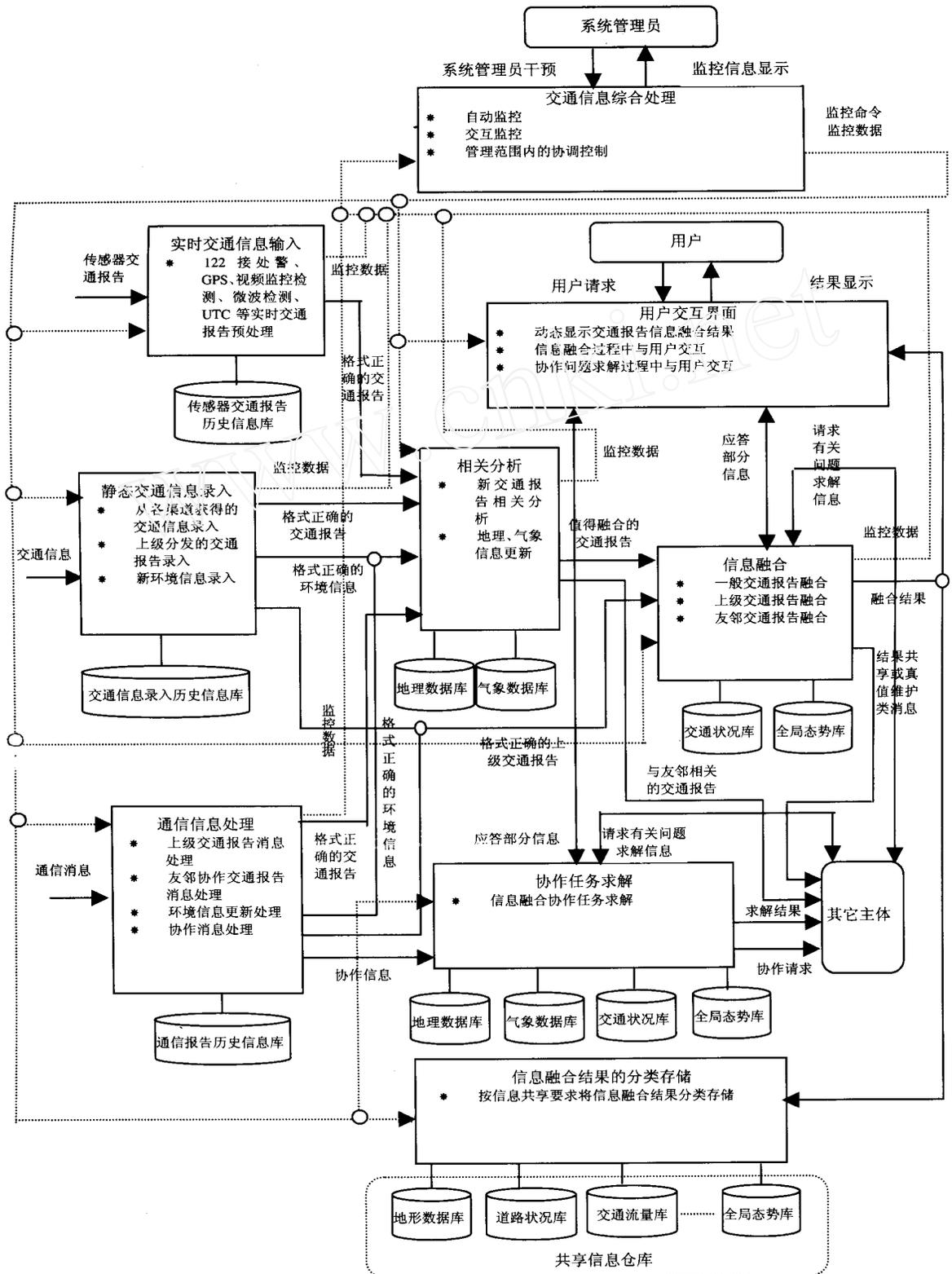


图 3 交通管理信息综合处理部门问题求解管理流程简图

的智能主体来进行

在理论上,仍然可以把多主体组织的生命周期看成初建、聚合、规范化和成熟4个主要阶段。系统管理员通过监控界面不断调整和维护多主体组织的运行,使组织有足够的稳定性、持续性和适应性,从组织初建逐渐走向成熟

组织管理模型的5项基本管理策略包括^[23]:

- a) 职责分配策略: 确定所有职能在主体中的分布;
- b) 主体实现策略: 定义各主体的粒度、技能、资源、相对位置、主要实现技术等;
- c) 工作过程优化策略: 根据任务环境的变化定义对协同工作过程模型的优化策略;
- d) 协调控制策略: 定义改善系统连贯性和协调性的控制策略;
- e) 可靠性策略: 定义保证系统求解可靠性和性能相对稳定的策略。

1.3 多主体组织建模的分析过程

建造多主体系统的组织模型是在组织目标确定的情况下,将实现组织目标所必需进行的各项任务加以分类组合,并根据管理宽度原理,划分出不同的管理层次和部门(或子单元),将监督各类活动所必需的职权授予各层次、各部门的管理主体,并规定各层次、部门和职能之间的协作关系。通过如下步骤建立一个多主体组织的模型:

(1) 首先确定组织总体目标,然后进行层层分解,拟定派生目标,并建立表明各级目标之间关系的指标体系图。该步骤为复杂信息系统建立层次组织关系提供依据

(2) 明确实现各目标所必需的各项问题求解活动或信息处理任务,并加以分类。分类的目的在于确定初步的部门划分。

(3) 进行问题求解管理流程的总体设计。所设计的问题求解管理流程主要用于确定一个部门中的基本职能,以及一个职能与其他职能之间的协作关系

问题求解活动在相对稳定的程序中反复地循环流动,把这些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^[23]。设计问题求解管理流程时,首先将同类任务的所有问题求解活动分为长期任务和短期任务(也称临时任务)。对每一项长期任务的问题求解活动都用标准格式的问题求解管理流程图的形式表示出来,然后对所有子任务的问题求解管理流

程中的相同功能进行归并^[23],形成一个部门的问题求解管理流程图。归并操作是形成一个部门中基本职能的重要步骤,如图3所示是归并后的交通管理决策支持系统中交通信息综合处理部门的问题求解管理流程简图,该图由9个任务的问题求解管理流程归并而成^[23]。对长期任务建立了基本的问题求解管理流程之后,再对短期任务设计相应的工作小组,如在基本的问题求解管理流程上添加基本技能、服务技能、新的职能等,形成最终的问题求解管理流程图。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,组织效益最高

对于主要任务还需根据问题求解流程建立相应的控制机制。设计规范的控制机制是为了保证一个组织中的成员为获取系统目标而协调行动。控制系统的基本元素如图4所示。任何一个任务都可分为输入、操作和输出的序列。规范的系统需设计3个活动以保证任务按照所需要的方式实施和完成。这3个活动是:a. 设置标准;b. 测度; c. 行动。标准规定了任务序列中3个步骤的所需状态;控制系统然后测度操作和结果的实际状态;最后根据标准与实际结果的比较采取管理行为。控制过程是对执行不好的环节进行调整,保证任务按标准完成

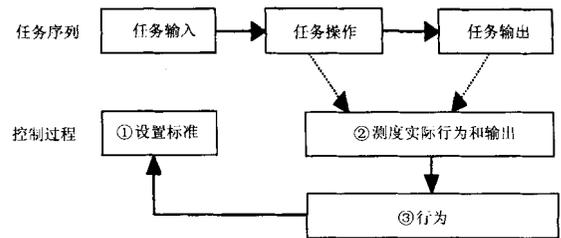


图4 控制系统的基本元素

(4) 根据问题求解管理流程的具体环节设计职能。由各类职能形成基层组织,再由基层组织形成上一层管理与系统,直至构成系统的总体结构

(5) 定义管理职能和问题求解职能。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与功能集(即能力和方法)。通过相应的功能集,管理者或问题求解者将输入的对象转换成输出对象。同时分析完成该职责的安全条件集。根据职责,规定相应职能岗位必须具有的职权

(6) 建立协同工作过程模型和控制模型 有了问题求解管理流程图和职能模型,事实上已经确立了协同工作过程模型和控制模型的主要内容 这里主要是根据协同工作过程模型和控制模型的要求,详细说明协同工作模式、职能之间的协作关系、交互协议和控制机制的约束条件等内容

(7) 通过职权关系和信息联系,把各层次、各部门联结成为一个有机整体,形成最终的组织系统图

(8) 分析主体的实现环境和实现技术,确定主体承担的职能,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

(9) 根据主体承担职能和职能之间的关系,以及主体的实现环境和实现技术,确定主体的实现策略以及主体在网络上的分布,保证主体能高效完成所承担的职能

(10) 分析多主体系统的任务环境,确定工作过程优化策略、协调控制策略和可靠性策略 由此建立组织管理模型 这里的协调控制策略是一组智能主体管理它们共享环境的方法或手段 它是改善系统连贯性和协调性的关键因素 由于多主体系统不存在集中控制或全局观点,利用各种主体的分布控制来获得全局连贯性和相互作用的协调性就变得十分困难 这里的协作控制策略不是针对每一主体内部的求解行为,而是关于各主体之间实现协作的控制方式,以及以此方式协作对获取全局连贯性而采取的全局策略,如各种条件下的行为规范、同步约定、时间约束、冲突消解方法等

2 基于BD I主体的系统设计建模

系统的设计建模需要建立3个模型:主体模型、相互作用模型和基层组织模型 其中主体模型主要是基于分析阶段所获得的职能模型和组织管理模型来建立系统中各类主体的具体模型,MAS系统中的每一主体都是主体模型中某一类主体的一个实例 相互作用模型是基于分析阶段所获得的协同工作过程模型、控制模型和组织管理模型来建立的,主要说明主体之间的交互细节,如交互协

议、交互语言、交互约束条件等 基层组织模型说明每一类主体所从属的基层组织单元

2.1 主体模型

主体的信念-愿望-意图模型是近年来计算学术界广泛研究的一种智能主体结构^[2,3] 有关主体的信念-愿望-意图概念的哲学观点源自B ratman^[4,17] 更多的理论与实践表明:明确表示和使用意图比纯的慎思主体与反应主体更为灵活,简化了主体的设计,提高了动态环境中主体响应环境变化的能力

一个主体可承担一种职能,也可承担多种职能 分析阶段已建立了职能模型和概略的主体实现策略,并确定了主体的粒度 这里,将根据这些结果进行建模 每类主体通过信念模型、目标模型和计划模型3个基本模型来实现主体的具体建模 主体模型也给出了主体体系结构的运行特性,即确定了根据事件和目标如何产生意图,以及意图如何引发行动并修正信念和目标,同时确保了信念、目标和意图的合理运转 例如,能确保及时响应事件、一致地维护意图,以及选择计划和执行能体现理性的承诺等

2.1.1 信念模型

信念模型描述本类主体可能的环境信息、内部状态信息及其可能采取的行动 主体可能的信念及特性,用信念集来描述 信念集是谓词和函数的集合,函数的变元是在内部和用户定义的类型域集合上的项 这些谓词、函数和定义域可直接从主体承担的职能模型和领域问题中导出 此外,还可定义一个或多个信念状态,用于说明主体的初始心智状态及其状态转换 一个信念集可形式化地定义如下^[2].

定义1 设 I 为标识符的集合, $D = \{D_1, \dots, D_n\}$ 为类型域的集合, Z 为信念属性说明的集合

- 属性 A 是一个有序对 $\langle n, D_i \rangle$,即一个命名的类型域的集合 属性的类型记为 $\text{dom}(A)$.
- $\{I, D, Z\}$ 上的一个谓词记为 $p(A_1, \dots, A_k)$,它是一个元组 $\langle p, Y, A_1, \dots, A_k \rangle$,其中: $p \in I, Y \subset Z, \forall i = 1, \dots, k, \text{dom}(A_i) \in D$.
- $\{I, D, Z\}$ 上的一个函数记为 $f(A_1, \dots, A_{k-1}) \mapsto A_k$,它是一个元组 $\langle f, Y, A_1, \dots, A_{k-1} \rangle$.

..., A_k , 其中 $f: I, Y \subset Z, \forall i = 1, \dots, k, \text{dom}(A_i) \subset D$.

- 一个信念集是一个元组 $\langle I, D, Z, P, F \rangle$, 这里 P 是 $\{I, D, Z\}$ 上的谓词集, F 是 $\{I, D, Z\}$ 上的函数集. 信念状态和信念模型可形式化地定义如下:

定义2 设 $B = \langle I, D, Z, P, F \rangle$ 为一个信念集

- 谓词 $p(A_1, \dots, A_k) \in P$ 的一个具体实例是一个元组 $p(a_1, \dots, a_k) \in A_1 \times \dots \times A_k$.
- 信念集 B 的信念状态 S 是 P 中谓词实例的集合.
- 信念模型是一个有序对 $\langle B, S \rangle$, 其中, S 是 B 的信念状态的集合.

主体的信念可能具有不同特性, 如有些信念表示一些长远的关系, 有些信念需要运行时求值, 有些信念则是随时间而变化等等. 根据主体信念的典型特征, 可选择与其相适应的知识表示方法来描述. 例如, 在交通管理决策支持系统中, 信息融合主体的信念集定义包括道路网络、车辆保有量与构成、人口和社会经济活动分布、出行分布、路段的与路口的流量、车道占有率、车速、拥堵分布和程度、路况视频信息、交通事故信息和GPS巡逻警车信息等, 这些信息可用统一的基于本体的框架知识表示方法来描述.

2.1.2 目标模型

目标模型描述了本类主体能够响应的事件和可能采纳的目标. 目标模型由一个目标集和一个或多个目标状态组成. 目标集说明了主体的目标域和能够响应的事件. 目标状态是目标集元素的基本实例的集合.

一个目标集可形式化地表示为目标和事件的公式描述集合. 每一个这类公式都可用模态算符表示成如下3种形式之一:

- $\text{achieve}(\varphi)$: 表示采取行动使 φ 成立的目标, 记为! φ .
- $\text{verify}(\varphi)$: 表示对 φ 成立进行验证的目标, 记为? φ .
- $\text{test}(\varphi)$: 表示决定 φ 是否成立的目标, 记为\$ φ .

对于 $\text{achieve}(\varphi)$ 目标, 若主体当时相信 φ 成

立, 则该目标立即成功; 否则执行相应的计划, 若有一个匹配的计划执行成功, 则目标成功, 否则目标失败. 成功完成的后置条件是主体相信 φ 为真.

对于 $\text{verify}(\varphi)$ 目标, 若主体当时相信 φ 成立, 则该目标立即成功; 若主体当时相信 φ 不成立, 则该目标立即失败; 仅当主体对 φ 未知时执行相应的计划, 若有一个匹配的计划执行成功, 则目标成功, 否则目标失败. 成功完成的后置条件是主体相信 φ 为真.

对于 $\text{test}(\varphi)$ 目标, 若主体当时相信 φ 成立或相信 φ 不成立, 则该目标都立即成功; 仅当主体对 φ 未知时执行相应的计划, 若有一个匹配的计划执行成功, 则目标成功, 否则目标失败. 成功完成的后置条件是 φ 为已知.

定义3 设 $B = \langle I, D, Z, P, F \rangle$ 为一个信念集,

- 一个 B -相容的目标集 G 是三元组 $\langle o, p, Y \rangle$ 的集合, 其中 $o \in \{!, ?, \$\}, p \in P$, 并且 Y 是目标属性说明符的集合.
- 一个 B -相容的目标状态 T 是二元组 $\langle o, q \rangle$ 的集合, 其中 $o \in \{!, ?, \$\}, q$ 是某一谓词 $p \in P$ 的基本实例.

上述定义表明目标与信念必须相容^[12].

例如, 在交通管理决策支持系统中, 设交通报告 X 的相关分析表示为 $\text{CORRELATION}(X)$; 交通报告 Y 的信息融合表示为 $\text{SYNCRITIZE}(Y)$; 获得监控数据 Z 表示为 $\text{GET}(Z)$. 则信息融合主体的目标集定义如下所示:

```
GOALSET = {achieve(CORRELATION(X格式正确的交通报告)),
            achieve(CORRELATION(X格式正确的环境信息)),
            achieve(SYNCRITIZE(Y格式正确的上级交通报告)),
            achieve(SYNCRITIZE(Y值得融合的交通报告)),
            achieve(GET(Z相关分析职能)),
            achieve(GET(Z信息融合职能))}
```

显然, 该目标集与信念集是相容的. 系统运行时目标状态不断变化.

2.1.3 计划模型

计划模型描述主体用来实现其目标的各种计划, 由一个计划集构成. 设计阶段建立的计划模型应能体现主体实现协作求解的多种行为规范^[18]. 计划模型中的每一计划用一个计划图来说明, 计



划图是一个扩展的、可嵌套的有限状态自动机,它是根据分析阶段对系统行为的描述,精确地说明主体为获取一个目标或响应一个事件可能采取的活动序列和求解问题的各种途径。计划图中有 3 类节点: 开始状态节点、中间状态节点和结束状态节点; 图中表示状态转换的有向边描述了主体的

行为规则。所有的行为规则都由两部分组成: 条件行动, 表示当主体的信念满足条件时主体就采取相应的行动。这里的行动或者是主体信念库的基本技能, 或者是与其他主体的一个协同行动(通过一个基于 KQML 消息的对话过程完成), 或者是一个嵌套的子计划。

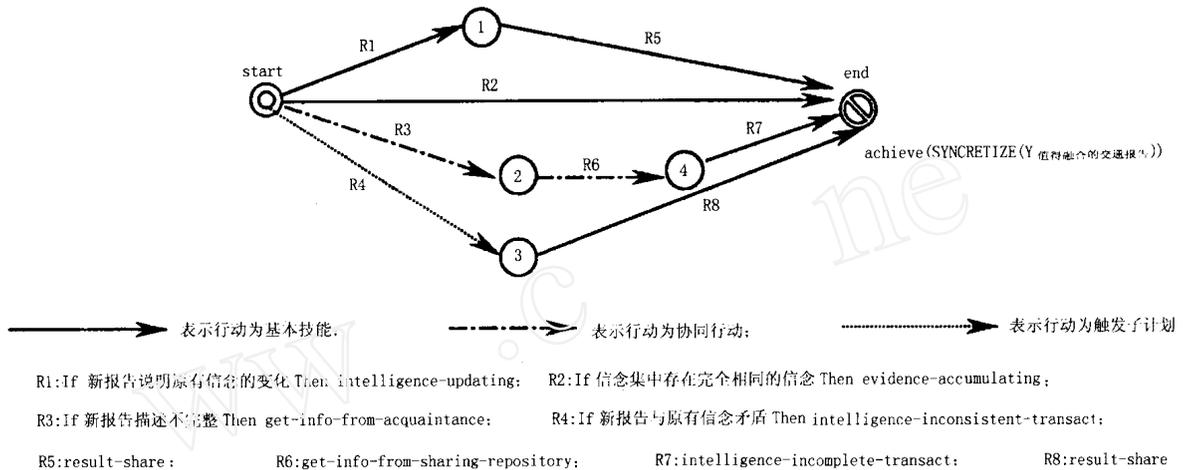


图 5 完成“achieve (SYNCRETIZE (Y 值得融合的交通报告))”目标的一个计划

承担某一职能的主体根据多主体组织模型中该职能的描述以及相关的组织管理策略来建立其计划模型。如图 5 所示是交通管理决策支持系统中, 信息融合主体完成“achieve (SYNCRETIZE (Y 值得融合的交通报告))”目标的一个计划。

2.2 相互作用模型

相互作用模型用于准确说明 MAS 中协作主体之间的相互关系。在分析阶段已通过协同工作过程模型、控制模型和组织管理模型等对职能之间的协作关系、控制关系等进行了描述, 这里需要根据这些结果对承担不同职能的主体之间的相互作用细节, 如交互协议、交互语言、交互约束条件等进行更为详细的设计。

交互协议指相互作用的主体之间实现对话的结构化模式。这一模式规定了主体之间实现相互作用的特定执行步骤, 通常可以用一个有限状态自动机描述。交互协议还可以包括通信双方对所交换信息的各类约定, 如对谈话内容中相关术语的共同定义等。交互的约束条件是指什么情况下进行交互、交互的时间限制, 等等。交互语言^[19]是智能主体间传送信息和交换知识的媒介, 通信双方共享语言的语法、语义和语用的定义。例如, 交

通管理决策支持系统中所有主体之间都采用“知识查询与操纵语言 (KQML)^[20]”作为其相互作用的通信语言。

2.3 基组织模型

在设计阶段, 本文的方法还需要根据分析阶段获得的组织系统图、协同工作过程模型、控制模型和组织管理模型中的职能之间的协作关系、控制关系等将复杂的计算组织分解成基本的组织单元, 以便于复杂系统在互连网络上的有效实现。为此本文提出了用于协作信息处理的基组织结构模型 BOS^[21]。每一个基组织都有唯一的一个基组织协调控制主体, 负责基组织内部协作问题求解的控制与协调, 以及代表基组织实现与其他基组织的协作。基组织建模的核心是对基组织协调控制主体的设计。例如, 图 2 所示的交通管理决策支持系统的组织可用如下 4 个基组织进行模型化, 其中, 元组表示的成员中第一个主体为该基组织的协调控制主体:

交通管理局指挥控制基组织 = (交通管理局
 指挥控制协调控制主体; 交通信息综合
 处理基组织, 交通信息管理基组织, 交通
 管理辅助决策基组织)

交通信息综合处理基组织 = (交通信息综合

处理协调控制主体, 实时交通信息输入主体, 静态交通信息录入主体, 信息融合主体, 交通态势评估主体, 用户助手主体)

交通信息管理基层组织 = (交通信息管理协调控制主体; 共享信息管理主体, 信息发布主体)

交通管理辅助决策基层组织 = (交通管理辅助决策协调控制主体; 联机分析主体, 数据开采主体, 交通管理预案生成主体)

3 基于多智能体的复杂信息系统开发环境MBOS

协同工作平台MBOS 是一个以知识管理为基础, 面向大型复杂信息系统的集成化开发环境 MBOS 的设计宗旨是大型复杂的组织通常由小的基层组织单元复合而成, 分工协作既存在于组织之间, 也存在于每个基层组织内部 MBOS 通过提供由多Agent 构成的可快速组合和嵌套的基层组织结构BOS^[21], 能够从多主体组织的角度快速构建大型复杂的信息系统 MBOS 提供本体, 主体, 基组织和组织的构建工具, 原有软件集成工具, 协调控制工具和可视化的分析调试工具, 可支持复杂信息系统的增量式开发

3.1 MBOS 的基础框架

MBOS 的基础框架是为用户提供构建基组织的初步框架 系统为每一基层组织提供一个未命名的基层组织协调控制主体 HA、可视化主体 VISUALIZER 和一个基层组织元件库 当主体定义了一个基层组织后, 相应的HA 和VISUALIZER 自动命名

HA 是MBOS 基础框架的核心 HA 负责管理系统的初始化, 基层组织内新增主体或主体新增功能, 以及规划协调基层组织内部各类主体的运行, 监控基层组织的工作进展状态等, 同时还负责实现与其它基组织的协调和交互 系统提供的HA 包括规划器(planner)、任务分配器(task-distribute)、调度器(scheduler)、协调器(coordinator)、监控器(monitor)、构造器(configurator)、基层组织通信管理模块(BCM)^[4] 等模块以完成上述功能

VISUALIZER 用于观察、分析或调试一个组织的运作 主要可视化工具包括: 组织工具: 显示组织中的所有主体及其组织关系; 任务工具: 显示激活状态的任务在整个组织范围内的分解/分布情况和各种任务的执行状态; 主体观测工具: 观察和监控主体的内部状态; 基层组织观测工具: 观察和监控基组织的运行状态; 调试工具: 调试主体运行效率的辅助工具; 统计工具: 以图表形式展示个体、基层组织、或部门范围内的统计情况

基层组织元件库提供各类常用的基层组织维护管理主体和公共资源管理主体, 供用户根据需要选择使用和扩充 元件库包括管理人机交互的用户助手主体(UAA)、负责与其它基层组织交互的相互作用主体(IAA)、负责更新信息的实时数据信息输入主体(OIA)、元级知识管理主体(MKA)、全局工作空间主体(GWA)、数据库管理主体(DMA)、模型库管理主体(MMA) 等

3.2 主体、基组织和组织的构建工具

MBOS 中所构建的主体均采用BDI结构, 并使用KQML 作为主体与其它主体、外部程序以及用户之间进行交互时的通信语言 系统中的所有主体都隶属于某一基层组织BOS

MBOS 的构建工具是一套集成的编辑器, 能支持主体、基组织和组织的创建 这套集成的编辑器包括:

(1) BOS 编辑器

用于定义一个基层组织 主要内容包括: 基组织的名称、成员名、公共资源、组织关系等 其中, 组织关系的定义包括直接上级、直接下级、同级合作者 部分成员由系统自动提供, 或由用户从基层组织元件库中选取

(2) 本体论编辑器

用于在一个领域内定义本体论的各项内容 其中, 概念集通过事实模板创建, 这些概念的相互联系类似于面向对象中的继承和聚合关系 事实对象用它们的属性和每一属性的有效值范围进行定义 属性值可能是原始类型, 列表, 其它事实或条件表达式(它们最终可以分解为原始类型, 列表和事实).

(3) 主体定义编辑器

用来逻辑地描述主体 主要内容包括信念集

定义、职能定义、基本技能定义、计划库任务描述定义、协作关系定义、对话协议定义等。其中计划库任务描述定义是用与或图的形式描述完成一个任务的计划; 协作关系定义主体对其它主体能力的信念, 即建立相识主体的模型

(4) 协作协议编辑器

用来定义一个基组织中的所有协作协议的集合, 从而各主体能安装这些协议作为其对话协议

(5) 组织编辑器

用组织关系图定义系统中所有主体、基组织的分工协作关系

系统的MBOS生成器负责将上述各种可视编辑器中录入的知识和数据与原有的系统基本代码相集成, 生成一个基组织中的所有主体及相应的资源。结果程序能被编译和执行。

4 结束语

主体技术作为软件设计和实现的一种新范例, 其前景近年来引起了人们广泛的关注。特别是在 Internet 这样的分布开放环境上开发软件, 这

种前景无疑具有独特的魅力。为使协作的多主体技术能够在分布式信息系统领域大范围的实现并推广应用, 目前急需能支持多主体系统快速开发的知识表示框架、方法论和工具平台^[22]。

本文介绍了一种在多年研究实践基础上总结出的基于多智能体的复杂信息系统开发方法。该方法将人工智能技术与组织设计相结合, 在系统分析阶段建立多主体系统的组织模型; 依据多主体系统的组织模型, 采用信念-愿望-意图(BDI)结构设计各类主体的概念模型, 为系统的机上实现建立清晰的可操作的开发模式。并且, 所设计的概念模型可在协同工作平台(MBOS)上直接编程实现, 快速获得复杂信息系统的原型系统。

本文介绍的方法已用于开发多主体协作信息处理系统MICS^[12], 目前正用此方法开发一个基于多智能体的群决策支持系统——“交通管理决策支持系统”; 该方法的可操作性在实践中得到验证。同时, 在开发过程中, 也发现了该方法和协同工作平台MBOS的许多不足之处, 如控制模型的建立、控制机制的实现、原有软件的集成等等。因此, 目前的工作仍然是初步和探索性的。

参考文献

- [1] Kinny D, Georgeff M. Modeling and design of multi-agent systems[A]. Müller J P, Wooldridge M, Jennings N R. Intelligent Agent III (LNAI Volume 1193) [C]. Berlin: Springer-Verlag, 1997. 1- 20
- [2] Kinny D, Georgeff M, Rao A. A methodology and modeling technique for systems of BDI agents[A]. Van de Velde W, Perram J W. Agents breaking away: Proceedings of the Seventh European Workshop on Modeling Autonomous Agents in a Multi-Agent World (LNAI Volume 1038) [C]. Berlin: Springer-Verlag, 1996. 56- 71
- [3] Brazier F, Dunin-Keplicz B M, Jennings N R, et al. DESIRE: Modeling multi-agent systems in a compositional formal framework[J]. International Journal of Cooperative Information Systems, 1997, 6(1): 67- 94
- [4] O'Hare G M P, Jennings N R. Foundations of Distributed Artificial Intelligence[M]. New York: John Wiley & Sons, Inc. 1996. 505- 526
- [5] 姚莉. 建立DAI系统的组织模型[J]. 计算机工程, 1997, 23(3): 15- 19
- [6] 姚莉, 张维明, 陈文伟, 汪浩. 关于多主体系统建造技术研究[J]. 计算机研究与发展, 1999, 36(增刊): 50- 53
- [7] Genesereth M R. An Agent-based Framework for Interoperability[M]. Software Agents, Menlo Park: AAAI Press. 1997
- [8] Arisha K A, Ozean F, Ross R, et al. Impact: A platform for collaborating agents[J]. IEEE INTELLIGENT SYSTEMS. 1999, march/april: 64- 72
- [9] Barbuceanu M, Fox M S. The Architecture of an Agent Building Shell[A]. Wooldridge M. Intelligent Agents Volume II (ATAL-95), Lecture Notes in Artificial Intelligence [C]. Berlin: Springer-Verlag, 1996
- [10] Nwana H S, Ndumu D T, et al. ZEU S: A toolkit for building distributed multi-agent systems[J]. Applied Artificial Intelligence, 1999, 12: 129- 165

- [11] 姚 莉,张维明,蔡建国 分布式协作办公系统[J]. 小型微型计算机系统 1999, 20(3): 185- 188
- [12] 姚 莉 多主体协作信息处理系统M ICS 技术报告[R]. 国防科学技术大学人文与管理学院 2000 10
- [13] 徐振宁,姚 莉,张维明等 基于MAS 的协作信息系统实验平台的设计与实现[J]. 计算机工程与应用 2000, 21(7): 31- 36
- [14] 姚 莉,张维明 组织智能及其实现[J]. 计算机工程 1999, 25(5): 49- 51
- [15] Robey D. Designing Organizations[M]. 2nd ed. Homewood, Illinois: Irwin, 1986
- [16] 杨洪兰,张晓蓉 现代组织学[M]. 上海: 复旦大学出版社, 1996
- [17] Wooldridge M. Intelligence Agent[A]. Gerhard Weiss. Multiagent System: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence[M]. Cambridge: The MIT Press, 1999, 27- 78
- [18] 马光伟, 石纯一. 多 Agent 系统的规范和协调问题[J]. 计算机科学, 1999, 26(6): 11- 39
- [19] Bradshaw J.M. Software Agents[M]. Menlo Park: AAAI Press, 1997
- [20] Finin T, *et al*. DARPA Specification of the KQML Agent-Communication Language[EB/OL]. [Http://www.cs.umbc.edu/html/](http://www.cs.umbc.edu/html/). 1997
- [21] 姚 莉,张维明 用于协作信息处理的基组织结构模型[J]. 小型微型计算机系统, 2000, 21(6): 628- 630
- [22] Wooldridge M. Agent-based Software Engineering[J]. IEE Proc Software Engineering, 1997, 144: 26- 37
- [23] 姚 莉,张维明 智能协作信息技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2000 150- 200
- [24] 方卫国,周 泓 不确定环境中组织结构设计[J]. 管理科学学报, 2000, 3(2): 9- 14

Research on modeling method of complicated information system based multiple intelligent agents

YAO Li, ZHANG Weiming, WANG Changying, GONG Yong

School of Humanities and Management, National University of Defense Technology,
Changsha 410073, China

Abstract Based on the combination of organization theory and multi-intelligent agent technology, a new approach of complex information system development is proposed in this paper. Firstly, a complex information system is taken as a multi-agent system, the characteristics of the system is analyzed, and a model of multiagent organization is built to describe the macro-structure of the system and to define the function demands. Secondly, with the restriction of the technology and resources, we determine the organization functions for different agents and their responsibilities accordingly. Thirdly, based on the organization model, we design the conceptual models for each agent by "belief-desire-intention" (BDI) structure. These models serve as the operative development approaches to realize the information system on computer. Finally, we develop a protocol system on a cooperation working platform (MBO S) based on the conceptual models.

Key words: information system analysis and design; intelligent agent; cooperation; organizational computing; software engineering