

现实世界中的主体的一种复合式结构*

汪涛 史忠植 田启家 王文杰

(中国科学院计算技术研究所 北京 100080)

摘要 多主体系统试图用主体来模拟人的理性行为. 生存在现实世界中的主体, 面对不断变化的环境, 要保持对紧急情况的及时反应, 并为实现自己的目标表现出智能的行为. 本文提出一种复合式的结构, 即在一个主体中有机地组合了多种并行执行、相对独立但又相互作用的智能形态, 以使现实世界中的主体在各种情况下作出合理行动. 这些智能形态包括对紧急情况的反射、对中短期行为的规划、对世界的建模分析和短期预测、与其他主体的通讯以及决策生成等. 使用本文设计的 MAPE 环境和基于主体内核的插件式的主体构造方法, 复合式结构的主体可以方便地实现. 为多主体系统建模和推理, 本文还研究了模态逻辑并提出一种新的语义. 最后, 将这种复合式的结构和其它一些主体结构进行简要的比较.

关键词 主体, 复合式结构, 多主体系统, MAPE 系统, 主体内核.

目前, 多主体系统(Multi-Agent System)的研究非常活跃. 多主体系统试图用主体(Agent)来模拟人的理性行为, 主要应用在对现实世界(Real World)和社会的模拟、机器人和智能机械等领域. 主体本身需要具有自治性、对环境的交互性、协作性、可通讯性以及长寿性、自适应性、实时性等特性. 而在现实世界中生存、工作的主体, 要面对的是一个不断变化的环境. 在这样的环境中, 主体不仅要保持对紧急情况的及时反应, 还要使用一定的策略对中短期的行为作出规划, 进而通过对世界和其它主体的建模分析来预测未来的状态以及通过通讯语言实现和其他主体的协作或协商.

为了使主体表现出这样的性质, 需要研究主体的结构. 因为主体的结构和其功能是紧密相关的, 不合理的结构将大大限制主体的功能, 而合理的结构则将给实现主体的高度智能化提供支持. 本文提出一种复合式的结构, 即在一个主体中有机地组合了多种并行执行、相对独立但又相互作用的智能形态, 其中包括反射、规划、建模、通讯和决策生成等.

我们曾经提出并部分实现了一个多主体处理环境 MAPE (multi-agent processing environment). [1] 在 MAPE 中, 我们提出一种基于主体内核的插件式地构造主体的方法. [2] 使用 MAPE 环境和插件式的构造方法, 可以方便地构造和调试复合式结构的主体.

作为描述多主体系统建模和推理的形式工具, 我们提出了一种新的语义, 即所谓的多模

* 本研究得到国家 863 高科技项目“知识信息处理技术和方法”的支持. 作者汪涛, 1972 年生, 硕士, 主要研究领域为人工智能, 多主体系统, 分布式系统. 史忠植, 1941 年生, 研究员, 主要研究领域为人工智能, 神经计算, 认知科学, 机器学习. 田启家, 1965 年生, 博士后, 主要研究领域为数理逻辑. 王文杰, 1966 年生, 工程师, 主要研究领域为人工智能.

本文通讯联系人: 史忠植, 北京 100080, 中国科学院计算技术研究所

本文 1995-09-11 收到修改稿

态算子的模态逻辑的面向主体的语义^[3],并将对这种新的形式工具作一个简单介绍。

1 主体

我们所说的主体是由英文“Agent”翻译而来。在英文中,“Agent”这个词主要有3种含义:①指能对其行为负责的人;②指能够产生某种效果的,在物理、化学或生物意义上活跃的东西;③指代理人,即接收某人的委托并代表他行动的人。在计算机和人工智能领域中,“Agent”的概念也包含了以上几种含义。具体地说,通常认为一个主体需要含有以下的部分或全部特性:

1. 自治性(Autonomous)。这是一个主体的基本特性,即可以控制它自身的行为。主体的自治性体现在:主体的行为应该是主动的、自发的;主体应该有它自己的目标(Goal)或意图(Intention);根据目标、环境等的要求,主体应该对自己的短期行为作出计划。

2. 交互性,即对环境的感知和影响。无论主体生存在现实的世界中(如机器人、Internet上的服务主体等),还是虚拟的世界中(如虚拟商场中的主体等),它们都应该可以感知它们所处的环境,并通过行为改变环境。一个不能对环境作出影响的物体不能被称为主体。

3. 协作性。通常主体不是单独地存在,而是生存在一个有很多个主体的世界中。主体之间的良好、有效的协作可以大大提高整个多主体系统的性能。

4. 可通讯性。这也是一个主体的基本特性。所谓通讯,指主体之间可以进行信息交换。更进一步,主体应该可以和人进行一定意义下的“会话”。任务的承接、多主体的协作、协商等都以通讯为基础。

5. 长寿性(或时间连贯性)。传统程序由用户在需要时激活,不需要时或者运算结束后停止。主体与之不同,它应该至少在“相当长”的时间内连续地运行。这虽然不是主体的必须特性,但目前一般认为它是主体重要性质。

另外,有些学者还提出主体应该具有自适应性、个性等特性。在实际的应用中,主体经常需要在时间和资源受到一定限制的情况下作出行动。所以,对于现实世界中的主体,除了应该具有主体的一般性质外,还应该具有实时性。

2 主体的复合式结构

生活在一个现实或虚拟的世界中的主体,会遇到各种不同的情况。主体除了要保持对紧急情况的及时反应,还要使用一定的策略对中短期的行为作出规划,进而通过对世界和其它主体的建模分析来预测未来的状态,以及通过通讯语言实现和其他主体的协作或协商。我们希望这功能能同时存在,并行地执行,以提供良好的实时性。这些功能基本上是可以独立的,而且每种功能需要采用不同的算法,所以,我们提出一种复合式的结构,即在一个智能体中有机地组合了多种相对独立、并行执行的智能形态(如图1所示)。

复合式结构的主体中包含感知(Perception)、行动(Action)、反射(Reaction)、建模(Modeling)、规划(Planning)、通讯(Communication)、决策(Decision making)等模块。

2.1 反射

反射模块的存在就是为了使主体对紧急或简单的情况作出迅速反应,所以在反射模块

中基本上不作推理,而是直接由感知的信息映射到某种行动.我们用神经网络来实现反射.神经网络的输入参数是数值化的感知信息和自身状态,输出参数是行动的编码.建立起神经网络后,经过大量样本的训练,使它对一些常见的情况可以作出比较合理的反应,然后投入使用.这样在遇到紧急情况时,主体从感知到行动的映射过程中实际上已经使用了大量的经验,所以一般会作出更合理的反应.

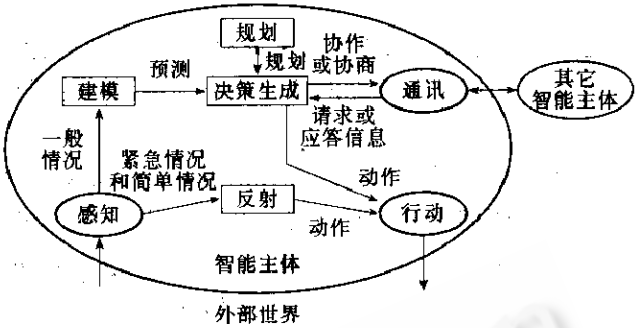


图1 主体的复合式结构

通过反射产生的动作具有最高的优先级,行动模块将立即执行,而将从决策模块送来的动作中断.如果发生了中断,决策模块将决定是重新进行规划,还是继续原来规划好的行动序列.

2.2 规划

主体的规划模块负责建立中短期的行动计划.主体的规划是一个局部的规划.局部性体现在2个方面.一方面,每个主体根据目标集合、自身的状态、自己对世界和其他主体的模型以及以往的经验规划自身的行为,而不是由某个主体对全局进行规划并将命令分发给其他主体(这样的主体扮演了类似于上帝的角色).另一方面,主体并不需要对它的目标作出完全的规划,而只要生成近期的动作序列就可以了.因为世界是运动的,很多情况无法预料,长期的规划很可能会因为情况的变化而失去意义.

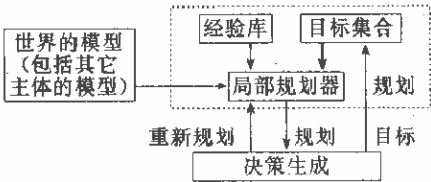


图2 规划模块的内部结构

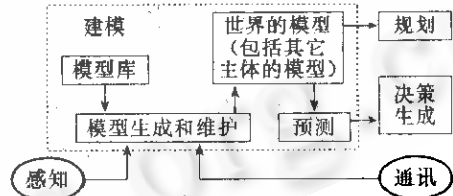


图3 建模模块的内部结构

如图2所示,规划模块需要从目标集合、世界的模型、其他主体的模型、经验库以及自身的状态(未表示出来)等数据结构中提取信息,经过局部规划器,产生出近期的动作序列,送交给决策模块.

目标集合包含主体要达到的目标,表示为 (G_1, G_2, \dots, G_n) 的形式.目标的排列顺序是重要的,它决定了目标的优先级.在其他条件完全相同的情况下,目标优先级的不同可能会产生迥异的规划.世界和其他主体的模型由建模模块提供,它使得主体可以对环境的变化趋势作出预测,并反映到规划中.

经验库是一些范例的集合,每个范例由前提条件、规划和结果评价组成.局部规划器总是试图在经验库中找到和当前情况最为类似的前提条件的范例,然后参考其规划和结果作出新的规划.如果找不到前提条件和当前情况的差异小于某个阈值 S 的范例,则局部规划器只得尝试新的规划,并记录结果.

2.3 建模

建模模块有 2 个功能,①维护 and 更新主体对世界和其他主体所建立的模型,②根据当前感知的信息和模型对近期的情况作出预测,并提出行动的建议. 图 3 表示了建模模块的内部结构.

主体的世界模型只是该主体对世界的认识和反映,它既不一定正确,也不一定全面. 主体对世界的模型主要包括世界的拓扑知识(例如城市的地图)以及世界的组成部分的物理、化学、生物等方面的性质等信息. 对于其他主体的模型,包括主体的位置和性质、信念(Belief)、目标(Goal)、能力(Capabilities)、关系(Relationship)等信息. 正如前面所说,这些信息有可能是不正确的或不完全的. 主体最初从程序设计人员提供的模型库中得到关于世界的基本模型,然后在生存期间内,通过感知以及和其他主体的通讯来修正模型.

模型提供了预测的基础. 一方面模型被规划模块用来建立行动计划,另一方面,建模模块使用模型和当前感知信息预测将出现的情况,并将行动的建议提交给决策模块.

2.4 通讯

可通讯性是主体的基本特征,而且通讯语言的完善程度和灵活性直接影响到主体表现出的智能程度. 如图 4 所示,通讯模块包括语言理解、语言生成、物理通讯以及词法库、语法库、语义库等多个部分.

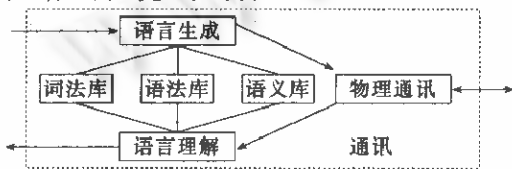


图4 通讯模块的内部结构

主体根据词法库、语法库、语义库,对通讯语言进行理解,并将一部分抽取的信息送交给决策模块(如其他主体的请求信息)和建模模块(如其他主体的信念信息). 对于一些基本的应答信息,则由通讯模块直接作出反应. 决策模块生成的与

其他主体的协商和交互信息通过语言生成模块变成通讯语言.

目前,国际上比较流行的主体通讯语言(Agent Communication Language)是 KQML (knowledge query and manipulation language). [4]它提供了一套标准的主体通讯原语,使得使用这种语言的主体之间都可以进行交流、共享知识. 我们的主体使用这种通讯语言.

2.5 决策

决策模块不是对主体的中央控制,而是负责各个模块的协调工作. 它的输入有规划模块生成的行动计划、建模模块的预测和行动建议以及通讯模块的请求等. 它的主要工作是冲突检查和消解,并决定当前的动作和通讯.

世界是随着时间的推移而变化的,所以原定的计划和当前的情况,以及其他主体的请求会发生冲突. 这时,决策模块根据一定的规则对冲突进行消解.

任务的承接也由决策模块完成. 任务一般以其他主体的请求的方式进入决策模块. 决策模块根据规则决定是否接受任务. 如果接受,再决定其优先级,然后修改目标集合,将任务放在合适的位置. 如果不接受,则发消息给通讯模块让它生成“婉拒”的通讯语言.

3 多主体推理的形式工具

人们通常利用带多个模态算子的模态逻辑以及它的 Kripke 语义来作为描述多主体系统推理的形式工具. 但是通过分析我们发现, Kripke 语义并不能很忠实地刻画和体现多主体系统中推理的全部含义. 在传统的 Kripke 语义中,核心的概念是所谓的“可能世界”,各个

主体对世界的认识通过可能世界上所谓的可达关系来刻画. 如文献[3]中指出的那样, 在这种语义之下, 一主体在对另一个主体的有关状态进行判断时必须首先知道对应于这个主体的可达关系. 但是此时主体是由可达关系完全刻画的. 因而, 从元语言的角度来看, 利用 Kripke 语义来分析多主体推理, 我们就会得到矛盾的结论: 一主体在对另一个主体的有关状态进行判断时必须首先知道这个主体.

为此, 我们提出了一种新的语义, 即所谓的多模态算子的模态逻辑的面向主体的语义.^[3]我们的语义是建立在在多主体系统中主体的知识结构的一种新认识之上的. 在我们的模型中, 核心的概念是所谓的“虚拟主体”, 即一主体关于另外一个主体的全部知识的总和(包括直接知识、间接知识以及主观的臆测). 一主体在对另一主体进行推理时, 利用“虚拟主体”来具体实现. 在我们的语义之下, 上述的矛盾不再存在. 有关形式化的结果见文献[3].

4 多主体系统的实现

我们提出并部分实现了一个多主体处理环境 MAPE (multi-agent processing environment).^[1]这个软件环境提供了建立和调试多主体系统的多种工具.

在 MAPE 中, 我们提出一种插件式构造主体的方法.^[2]每个 MAPE 主体由一个通用的主体内核 (Agent Kernel) 和许多功能模块 (Function Modules) 构成. 主体内核由内部数据库、邮箱、黑板、执行机等部分组成. 其中内部数据库中包含主体自身的信息、目标集合、世界的模型等信息; 邮箱提供主体和世界以及其他主体通讯的原语; 黑板提供主体内部各个功能模块之间的通讯; 执行机则完成消息分派、功能模块的执行控制等. 各个功能模块都是相对独立的实体, 由执行机启动后即完全并行地执行, 并通过黑板协调工作.

利用这样的方法可以方便地实现我们所提出的复合式结构的主体. 感知、行动、反射、建模、规划、通讯、决策生成等都以功能模块的形式加入主体中. 它们可以使用不同的编程语言、数据结构和知识表示方法, 只要支持同样的黑板格式就可以了.

利用 MAPE 环境和复合式结构的主体, 我们已经研制了几个实验性的多主体系统, 其中包括: 二炮战略导弹论证、发射和作战运用分布式智能决策支持环境; 淮河洪水预报系统; Internet 网上的虚拟商品博览会等.

5 相关工作比较

英国剑桥大学的 Innes Ferguson 提出了一种称为 Touring Machines 的多主体系统^[5], 该系统中的主体有 3 个并行执行的智能层次: 反射层 (R)、规划层 (P)、和建模层 (M). 每个层次包含对世界的不同层次的抽象模型, 用来实现不同的任务. 各层次之间完全独立. 不同层次之间很少或者没有共同的模型和数据结构, 也不互相传递消息.

我们提出的主体的结构和 Touring Machines 相比较, 主要有 2 点差异. 首先, 虽然我们提出的主体结构中也包含反射、规划、建模等模块, 但每个模块不是完全无关的. 各模块也不能划分成从低到高的层次. 它们虽然使用不同的知识和推理方法, 但是互相传递信息、互相作用而构成网状的结构. 其次, 在 Touring Machines 中没有提到通过通讯语言和其他主体交换信息的方法. 作者可能认为和其他主体的通讯也属于感知和行动模块的一部分. 我们将

主体间通讯和主体与物理世界的相互作用区分开来,是有一定根据的.对于主体(甚至是对人本身)来说,语言、文字具有非常重要的意义,它是协作、协商的基础,也是获得知识的重要手段.另外,语言采用抽象的概念表示知识,是和主体内部的知识表达方式最接近的,所以把主体间通讯语言的生成和理解独立出来研究,有利于主体智能表现的提高.

Stanford 大学的 B. Hayers—Roth 提出一种具有适应性的主体结构.^[6]为了使主体适应时间和资源的限制以及环境的不定性,他提出的这种主体结构的核心思想是:主体动态地生成控制计划来选择在当前环境下可以采取的动作.虽然我们提出的主体的结构和 Hayers—Roth 提出的不同,但是这种思想也使用在我们提出的主体结构中.在我们的结构中,主体的行动计划不是一成不变的,而是由决策模块根据预测的情况或其他主体的请求项规划模块发出消息,规划模块再动态地生成计划.

6 结 论

本文首先讨论了主体的一些基本性质,然后提出了一种复合式的结构,即在一个智能体中有机地组合了多种相对独立、并行执行的智能形态.这些智能形态以模块的形式存在,并行地执行.采用这种结构的主体表现出更好的实时性和行为的合理性.利用 MAPE 环境,可以方便地实现这种结构的主体.

我们对于主体的反射、(单主体)规划、建模、主体间通讯、决策等模块已经进行了一定的研究,但是对多主体的相互规划、建模和推理的逻辑基础等问题还有待进一步的深入研究.

参考文献

- 1 Shi Zhongzhi, Wang Tao, Tian Qijia *et al.* MAPE: multi-agent processing environment. In: Shi Zhongzhi ed., Proceedings of PRICAI'94, Beijing: International Academic Publishers, Aug. 1994, 1:9~13.
- 2 Shi Zhongzhi, Wang Tao, Wang Wenjie *et al.* A flexible architecture for multi-agent system. In: Xiong Fanlun ed., Proceedings of PACES'95, Huangshan, 1995. 33~36.
- 3 Tian Qijia, Shi Zhongzhi, Wang Tao *et al.* If I were someone else: agent-oriented semantics for multimodal logic. submitted MAAMAW'96, 1996.
- 4 Finin Tim *et al.* KQML as an agent communication language. In: The Proceedings of the Third International Conference on Information and Knowledge Management(CIKM'94), ACM Press, Nov. 1994.
- 5 Ferguson Innes A. Toward an architecture for adaptive, rational, mobile agents. In: Decentralized A. I. - 3, 1992. 249~261.
- 6 Roth Hayes. An architecture for adaptive intelligent systems. Artificial Intelligence: Special Issue on Agents and Interactivity, 1995, 72:329~365.

A COMPOUND ARCHITECTURE FOR AGENT IN REAL WORLD

Wang Tao Shi Zhongzhi Tian Qijia Wang Wenjie

(Institute of Computing Technology The Chinese Academy of Sciences Beijing 100080)

Abstract In real world, agents are facing a continuously changing environment. They should remain reactive to emergencies, construct plans dynamically, model the world and other agents to predict future events, understand and generate language to communicate with other agents. How to organize all of these characteristics in an agent is an important issue. The paper proposed a compound agent architecture. Each agent contains modules specialized in perception, action, reaction, planning, modeling, and communication. All modules run concurrently, and are coordinated by a decision making module. Through interactions of these modules, the agent is capable of performing more rational behavior in real world. Using MAPE, which is a software environment proposed and implemented, it is quite easy to construct agent with compound architecture. The authors also proposed a new modal logic semantics for multi-agent modeling and reasoning. The end of this paper will compare the proposed architecture with several other agent architectures.

Key words Agent, compound architecture, multi-agent system, MAPE system, agent kernel.