维普资讯 http://www.cqvip.com

人工智能 分布式人工智能 分布式体系结构 (8)

26-28

有限资源环境下的分层分布式体系结构研究

On a Hierarchical Distributed Architecture in Environment with Limited-Resources

王继宏 胡建平 TP18

(北京航空航天大学计算机科学与工程系 北京 100083)

Abstract 3C (Coordination, Cooperation, Communication) are the main content of DAI. To much degree, they decide the design and implementation of the system architecture. Besides, as the factual distributed problems concern, there are different kinds of resource limits, and also exists resource conflict. The paper points out a hierarchical and distributed architecture and adopts hierarchical iterative priority method to solve the resource conflict in distributed environment with limited-resources.

Keywords Limited resource, Hierarchical distributed architecture, Mobile agent, Distributed blackboard architecture

1 引言

随着网络技术、分布式理论的发展，人工智能进入了一个新的阶段。人们从不同的方面对分布式人工智能的理论、结构、应用进行了深入的研究。其中分布式问题求解(DPS)、并行人工智能(PAI)以及多 Agent 系统(MAS)是分布式人工智能的三个主要研究领域。DPS 的研究一般是面向任务的，在任务间进行分配、协调，从而生成大量的专家系统和基于知识的系统，在粗粒度上研究控制和数据分布。MAS 的研究在近十年中得到较快的发展，当前已经出现了基于 Agent 的系统和开发 Agent 的工具和语言等。DPS 和 MAS 的研究具有很大的互补性，DPS 侧重于在高层(任务层)解决任务分配等问题，MAS 侧重于具体任务的实现，包括协调、合作等，正是基于它们各自的特点，我们将两者结合起来，在任务层用 DPS 技术分解任务并生成完成相应任务的 Agent 或 Agent 群，Agent 之间以及 Agent 和任务层可以进行通讯、协调。

智能系统的体系结构的设计影响着系统的实时性、可靠性等性能，合理灵活的结构能够提高系统的性能和效率。我们通过，结合 DPS 系统和 Agent 系统的特点，提出了一种分层分布的体系结构，并且结合专家系统技术和 MAS 技术，提高分层分布体系中的通讯、协调效率。

2 影响分布式结构的主要因素

分布式体系结构的设计是与具体的研究内容相关的，下面我们主要从不同的角度论述影响分布式体系结构的主要因素。从研究的内容来看，3C (Coordination、Cooperation、Communication)影响体系结构的设计。其中，Coordination 是指 Agent 为完成相应任务相互之间进行协调；Cooperation 是指 Agents 合作的方式；Communication 是 Agents 之间的通讯方式。

合作体现了分布的 Agent 之间的结构，主要有以下几种结构。

- 独裁式：这种结构是由一个主 Agent 来为其他 Agent 分配任务，其他 Agent 不能更改、参与制定任务。
- 合同式：这种结构由一个 Agent 发布有关任务，但是不象独裁式那样指派任务，Agent 通过协商等方式以签订"合同"的方式完成任务。
- 民主式：这种结构中没有主 Agent，所有 Agent 共享任务，所有 Agent 决定任务和完成任务。
- 无政府式：在这种结构中，Agents 无法对任务的分配达成一致时，通过竞争完成特定任务。

通讯方式也是系统的结构设计中必须考虑的因素。例如，在强制性指定任务的系统中，一般不必考虑 Agent 与任务层(也可以将任务处理模块作为特殊的 Agent 对待)的关系，然而，在实际环境下，特别是在资源有限的环境下，Agent 层与任务层以及 Agent 层之

王继宏 博士生，主要从事分布式人工智能、数据库/知识库系统的研究。胡建平 教授，博士导师，主要从事分布式操作系统、人工智能研究。

维普资讯 http://www.cqvip.com

间的通讯是不可少的。Agent 之间的通讯方式在很大程度上决定着体系结构的设计。主要有基于知识库的结构、黑板结构、基于 Agent 的结构。基于知识库的结构是以分布式数据库、知识库为中心，将各个子模块（如专家系统）联系起来，通过对数据库、知识库的调用进行间接的通讯。在这种以分布式数据库/知识库为中心的结构中，各专家系统的通讯是被动、间接的方式，一般是对数据库进行修改，激活知识库中的规则，从而达到相互合作的目的。分布式数据库、知识库具有一定的坚定性，该结构的缺点主要在于知识库的构造比较困难，不仅面广，而且事实、规则等的相关性较为复杂，不利于知识库的维护、更新、保持完整性。第二种结构是黑板结构，黑板系统与基于知识库的系统有某些相似之处，采用共享知识结构，黑板内容包括推理规则、中间假设与结果、任务分配、议事日程等。Agent（即解决部分问题的知识源）可以根据自己的能力和拥有的资源对黑板内容进行读和写，解决问题。分布式环境下的黑板系统结构是对传统黑板结构的延伸，主要有共享内存的黑板结构、分布式黑板结构、黑板服务器结构。当前黑板系统的特点是集中控制、共享数据结构、解决单一任务、效率高。其缺点是、集中控制由调度程序完成，调度程序的复杂性和性能往往成为整个系统的瓶颈；共享数据结构难以灵活地使用异构数据源；解决单一任务使得黑板系统无法有效地完成相互关联的任务。再加上黑板系统的可靠性差，所以在一些可靠性要求较高的系统（如军用系统）中很难采用黑板结构作为基本结构，第三种基本结构是多 Agent 结构，基本类型在上一部分已有涉及。多 Agent 结构适用于异构、分布控制、解决多个具有关联性任务等场合，具有较高的可靠性、模块化、可以动态由系统进行任务分解等特点，其缺点是没有全局的控制机制，通过协商完成任务，Agent 间的通讯消耗和冲突影响系统的实时性。

从宏观上看，数据的分布、资源的分布、任务的分布是分布的主要内容，影响着系统的结构。数据的分布是最基本的分布，在分布式数据库研究等领域得到了深入的研究。当前，对资源分布的研究正在广泛展开，正如文[1]中所提到的，计算机资源包括资源构件和计算机构件，它们的不同的分布位置构成了不同的结构，如 C/S 模型、REV 远程求值模型、代码请求模型、MAS 模型。任务的分布与资源、数据的分布有着密切的联系，利用分布在不同节点上的资源智能化地完成多任务将是设计系统结构的出发点。

3 有限资源动态调配系统的体系结构

在实际问题的解决过程中，存在一些约束条件，并非都如理想情况那样，Agent 以及 Agent 所拥有的资源足以单独解决相应的问题。例如，在资源的使用上除了受到地域分布的影响外，还受到使用时间以及资源本身有效性的影响，某些资源只有在完成特定任务时，才是有效的，例如，在空战决策支持系统中轰炸机是用于对地面目标进行攻击的，如果用于空中护航，不仅浪费资源，而且会导致整个决策任务的失败。

在任务层上、任务与任务之间同样也存在着约束，例如任务的顺序性，即一项任务的开始需要以另一项任务的结束为前提，这样可以在完成某项任务时暂时使用完成后续任务的 Agent 所拥有的资源，或者动态规划完成下一任务所需的资源分配。由此可见，在实际情况中存在如下的现象：一方面一个或多个 Agent 为使用有限的资源相互协商、竞争；另一方面，有些资源又存在闲置现象。因此，在任务多于完成任务的 Agent 或资源冲突的情况下，问题的解决和任务的完成呈现层次化的特点。为了高效、可靠、合理地利用闲置资源、协调资源的使用、解决资源冲突，我们采用了一种分层分布的体系结构，如图1。

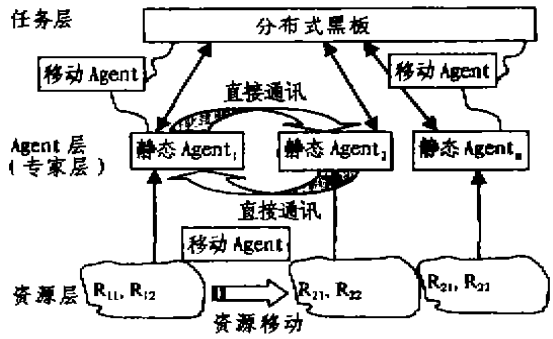

图1

任务层由相关任务组成，记为（T1，T2，…，Tn）。任务层中的任务具有一定的优先级，优先级方法是解决资源冲突的重要方法，影响优先级的主要因素是任务的重要性、紧迫性以及任务间的相关性，黑板控制机制可以动态地调度优先级，调度的方法可采用实时数据库技术或操作系统的进程调度技术，当某项任务完成后，根据任务间的相关性，激活等待状态的任务，提高该任务的优先级，更新黑板上的优先级调度数据库。黑板还负责生成和控制移动 Agent，将级别高的 Agent 所需的有关信息，如 T-A-Q（任务-Agent 质量）表复制给该 Agent，主动将信息"送"给级别高的静态。

Agent 层是由完成任务的 Agent 组成，记为（A_1，A_2，…，A_m）。每个 Agent 根据黑板上的任务以及自己的能力和拥有的资源情况，评估完成任务的质量指标 Q_{ij}，Q_{ij}表示第 i 个 Agent 完成第 j 项任务的质量指标，同时，记录完成任务的方案。

Agent 层中的 Agent 可以读、写黑板内容，首先，Agent 向黑板写入 Agent-Resource 表。Agent 需要使用这个表评估完成的质量指标、与其他 Agent 合作的

维普资讯 http://www.cqvip.com

信息以及制定方案。其次，Agent 根据黑板已经按优先级排序的任务，完成评估后向黑板写入 T-A-Q(任务-Agent 质量)表。T-A-Q 表如下，其中 Q 是由时间 T、资源的使用成本 C、Agent 的能力 A 以及网络代价 N 等因素确定，即 $Q_{ij}=f(T_i,C_i,A_i,N_i,\delta_i)$，$\delta_i$ 为扰动变量：

$$
\begin{array}{l} \text{任务}1 \\ \text{任务}2 \\ \quad M_{TAQ}= \\ \cdots \\ \text{任务 } n \end{array}
\begin{array}{c} \text{Agent}_1\ \text{Agent}_2 \cdots \text{Agent}_m \\ \begin{pmatrix} Q_{11} & Q_{12} & \cdots & Q_{1m} \\ Q_{21} & \ddots & \ddots & 0 \\ \cdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ Q_{n1} & \cdots & \cdots & Q_{nm} \end{pmatrix} \end{array}
$$

黑板根据任务的优先级和完成任务的质量指标大小排序，质量越高在 Agent 合作中更具主动权，离黑板距离近的 Agent 可以直接从黑板上读取 TAQ 信息，与需要合作的 Agent 直接通讯，根据不同的处理能力，选择"推"或"拉"方式，通过 Agent 层和资源层之间的移动 Agent 调配资源，本地化地完成任务，然后归还资源。离黑板较远的 Agent 可以通过移动 Agent 传递消息，根据黑板或移动 Agent 上的消息，Agent 可以明了与其他 Agent 合作的方式，从而，直接同合作 Agent 通讯，减少了黑板系统的复杂性，同时降低了整个系统的通讯量，增加了系统实时性；移动 Agent 和 Agent 直接通讯减少了 Agent 层与黑板的通讯，增加了系统的可靠性。Agent 层中的 Agent 结构如图2，移动 Agent 不属于 Agent 层。

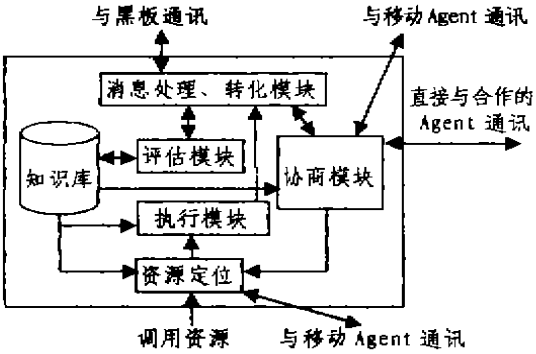

图2

资源层是由 Agent 拥有的资源组成的，记为$(R_{11},R_{12}\cdots R_{ij},\cdots,R_{mp})$，其中，$R_{ij}$表示第 i 个 Agent 具有的第 j 个资源。为此可以用表结构或矩阵来表示，即 Agent-Resource 矩阵，记为 M_{A-R}，其中0表示无资源，Agent-Resource 矩阵可以以表的形式存放在 Agent 层中。

$$
\begin{array}{l} \text{Agent1} \\ \text{Agent2} \\ \quad M_{A-R}= \\ \cdots \\ \text{Agent3} \end{array}
\begin{pmatrix} R_{11} & R_{12} & \cdots & R_{1p} \\ R_{21} & \ddots & \ddots & 0 \\ \cdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ R_{m1} & \cdots & \cdots & R_{mp} \end{pmatrix}
$$

在实际执行任务时，Agent 将它拥有的资源分为两类，正在使用的资源和闲置资源，分别形成已用 A—R 表和未用 A—R 表，并将此信息写入黑板，供黑板控制模块动态安排任务，以便并行完成多项任务。

每个任务完成之后或资源被返回后，Agent 将更新 A—R 表以及 T-A-Q 表，并报告任务完成信息，黑板控制模块根据这些信息，改变任务的优先级，重新对任务进行排序并分配给 Agent，Agent 根据任务的优先级的高低循环地完成所有任务，这种动态的循环置优方法很好地解决了资源的冲突问题。

基于黑板和消息传递的分层分布系统结构的特点在于：

· 黑板的数据结构简单，有利于控制机制高效运作。在分层分布系统中，位于任务层的黑板结构主要涉及任务的有关信息，如优先度信息、任务-能力表信息、Agent-资源表信息等，没有过多的知识处理中间结果，下层的 Agent 也不对黑板进行过多的写操作，使得任务的分配更为快速。

· 层次化循环置优降低了资源冲突发生的可能性，同时减少了为争用资源而产生的死锁现象。

· 任务确定后，Agent 之间的直接通讯减少了系统的通讯量以及 Agent 之间的消息转换。增强了实时性。

· 合理的资源调用，促进了 Agent 的合作，在给定时间段里可以动态、并行地执行任务，发挥多 Agent 的作用以及提高闲置资源的使用率。

· 移动 Agent 不仅将静态 Agent 与黑板相沟通，传递黑板信息，也在一定程度上弥补了在决策过程中由于黑板崩溃而使整个系统崩溃的缺点，提高了系统的稳定性和坚定性。

总结 本文对有限资源下的多任务分布与解决等问题进行了研究。结合黑板结构和 MAS 结构提出了一种分层分布的体系结构，在任务层根据各 Agent 的能力进行粗粒度的控制和任务分配，在 Agent 层进行协调、合作、资源调配智能化地并行完成多任务。采用层次化循环置优以及引入移动 Agent 等方法，减少 Agent 间的消息转化、降低黑板结构的复杂性，解决资源冲突。

参 考 文 献

1 陈翀，麦中凡. 可移动的软件 Agent 研究. 计算机科学，1999，25(5)：63～66
2 何新贵. 知识处理与专家系统. 国防工业出版社，1990
3 Nwana H S. Software Agents：an overview. The Knowledge Engineering Review，1996，11(3)：205～244
4 Yang Ju-Yuan D，et al. An Architecture for Control and Communications in Distributed Artificial Intelligence Systems. IEEE Trans. on Systems，Man，and Cybernetics，15(3)：316～326
5 Wooldridge M，Jennings N. Intelligent Agents：theory and practice. The Knowledge Engineering Review，10(2)：114～115