

人工智能

移动 Agent 系统

智能

行为

14

移动 Agent 系统的智能与行为^{*}

53-57, 73

The Intelligence and Behavior of the Mobile Agent Systems

董军^{1,2} 潘云鹤¹

TP18

(浙江大学计算机系 杭州 310027)¹ (上海贝尔公司 上海 201206)²

Abstract The target of artificial intelligence is to build agent exhibiting intelligent behavior. Agent should be a unity of intelligence and behavior. In the paper, agent's intelligence was discussed, the characters of multi-agent systems were described, the behavior of agent was analyzed, the standardizing effort was introduced, and dynamic routing-selecting thread based on mobile agent systems was expressed. Finally, the relationship and differentiation between classic and behavior-based artificial intelligence were compared.

Keywords Agent, Multi-agent systems, Artificial intelligence, Mobility, Behavior, Dynamics routing

1 引言

九十年代, Agent 一词频繁出现在人工智能和计算机学科的其他领域, 人们在研究其内涵的同时, 在众多方面寻求它的应用, 然而, 迄今为止, 尚未有 Agent 的普遍接受的定义, 在我国, 该词如何译尚有不同意见. Agent 的初步定义可以是^[1]: 驻留在环境中的一个实体, 解释“感知”到的反应环境中事件的数据, 执行对环境产生影响的“推动”命令, 可以是纯粹的软件或硬件. Agent 涉及很多种类, 诸如智能 Agent、自主 Agent、娱乐 Agent、接口 Agent、信息 Agent、协作 Agent、反应 Agent 和移动 Agent 等等.

有人预测, Agent 将是未来十年最重要的计算范型^[2], 而只有当 Agent 同时基于社会仿真和人工智能模型才能解决问题^[3].

移动 Agent 包括移动性和通常的 Agent 概念两个方面, 它指自包含和可标识的、能在网络中移动并按用户或其它实体的利益活动的计算机程序. 有人将 Agent 译为主体或智能体, 主体是包含了智能的, 所以前者似乎合适; 同时, Agent 更多地涉及的是智能, 因而也许后者更能反映本质. 智能会影响行为, 而移动性本身就是一种行为, 所以移动 Agent

将智能与丰富的行为集于一体, 同时, 行为又反映系统, 移动 Agent 是研究智能系统的又一切入处. 本文讨论 Agent 的智能, 描述多 Agent 系统的特征; 分析移动 Agent 的行为; 介绍有关 Agent 的标准化工作; 表述基于移动 Agent 的路由选择思想; 最后比较了经典人工智能和基于行为的人工智能的联系和区别.

2 Agent 的智能

人工智能是计算机科学的一个分支, 其目标是构造展现智能行为的 Agent, 然而, 直到八十年代中后期, 人工智能对围绕 Agent 的有关内容考虑很少^[4].

2.1 智能 Agent

Agent 采用适于人的概念进行形式化和实现. 众所周知, 人类行为通过态度进行预测和解释, 如相信, 需要, 希望, 害怕等. 态度分为两种: 信息态度: 信念, 知识和预先态度; 愿望, 倾向, 义务, 承诺, 选择等. 对于智能 Agent, 必须用至少一种信息态度和至少一种预先态度来表达.

本质上, 智能 Agent 是辅助人们根据他们的要求活动的软件. 它能发现、过滤和用户化信息, 通过

^{*})中国博士后科学资助项目. 董军 博士后, 主要兴趣为 Agent 系统、智能通信等. 潘云鹤 教授, 中国工程院院士, 主要研究人工智能, 认知科学、智能 CAD.

自主处理用户不关心的事情来解决问题,并在恰当的时刻得到恰当的信息^[5]。很多有关智能 Agent 设计的创新来自人工智能的规划领域,大量努力是使 Agent 的基本部件是一个规划器。综合其它的考虑和实践,智能 Agent 具有如下特性:自主/个性;社会能力/协同;反应性;目标驱动;时间连续;自适应;以网络为中心;持久;活动;异构。

一种典型的智能 Agent 如图1所示^[6],它包括移动、协调和接口等。

实际上很多情况下都是集成的 Agent^[7],某些 Agent 的特性可能是有差异的,每个 Agent 不需要具备所有上述特点,也许,宏观上,区分 Agent 的原则可以是:Agent 是否显示了智能行为。

面向 Agent 程序设计 (Agent-Oriented Programming, AOP)^[8]参考了面向对象程序设计方法,可看作面向对象程序设计的特例。Agent 的状态由信念、决策、能力和义务等组成,因而叫做精神状态,它体现了自主体。精神状态的描述使用引入了信念、承诺等算子的标准认识逻辑,其上有不同的约束;还定义了一个 Agent 解释器类及各种操作和相互间通知、请求、提供、接受、反对、竞争和支持等基于语言行为理论的通信原语,以保证有效的交互。一个完整的 AOP 系统包括三部分:约束的形式语言、解释的程序语言和形成可编程 Agent 的机制。Agent 的行为包括两步:第一,读当前消息,更新精神状态,包括信念和承诺;第二,执行承诺,并可能导致进一步的信念改变。AOP 是一个认知模型,也是实现 Agent 的一个参照。

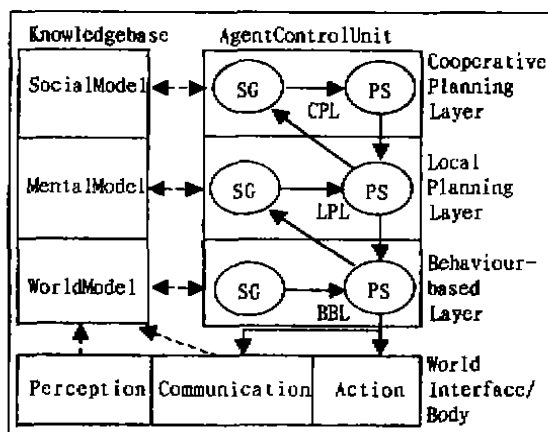


图1 一种典型的 Agent 的刻画

2.2 多 Agent 系统

多 Agent 系统是单个 Agent 的必然发展,但又

是一个全新的领域。

2.2.1 背景 经典人工智能往往很脆弱,因为它研究的是单个 Agent,当问题很大、很复杂,超出其知识范围时往往无能为力,对此,研究多个 Agent 在合作或竞争情况下交互、协同工作的行为的分布式人工智能 (DAI)^[10]日益引起重视。DAI 中的 Agent 共享信息,控制及数据在逻辑上且常常在地理上是分布的,每个 Agent 企图实现、预报并且影响全局状态以便满足其局部估计,它求解一个给定的子问题,并将任务、目标和结果传给其它 Agent。每个 Agent 不仅要针对自己的,还要针对其它 Agent 的知识、行为和目标进行推理;不仅依赖于自己的知识库状态和求解模型,还受其它 Agent 的有关资源、行为的制约。人类社会的复杂行为和高度组织为 DAI 提供了众多可借鉴之处。

DAI 研究可分为分布式问题求解 (Distributed Problem Solving, DPS) 和多 Agent 系统 (Multi-Agent systems, MA)^[11]。DPS 针对事先已定义好的一个全局任务,研究其分布性并使它们协作完成任务,MA 考虑如何协调一组自主(可能不同类)的 Agent 的智能行为,以便采取联合行动,这里没有全局控制,没有全局一致性知识,没有全局共有目标,这更符合多个 Agent 间实际的协作或竞争情况。

当问题域有大量的问题求解实体(如数据源),而这些实体在逻辑上或物理上又是分布的,并且需要相互协同时,多 Agent 系统是合适的选择。它减去了系统计划好的、顺序的控制,使其分散、并发。

2.2.2 基本特性 自主性与合作性是多 Agent 系统的两大基本特性。为了获得连贯的行为,Agent 在多 Agent 系统中不仅要共享有关问题及解的知识,还要推理其它 Agent 中的协调过程。协调引起通信、交互、协同和一致性等方面的问题。现有很多多 Agent 系统是以通信为中心的,很少定义社会行为,例如广播通信机制就不足。

多 Agent 系统可分为两种方式^[12]:一是基于效用的模型:如对策论模型,Agent 要为它们的全局行为相互协调,其它 Agent 的存在会限制其自主性和能力;二是基于互补的模型:其它 Agent 的存在增强了其自主性和其它能力。如果某个 Agent 不能实现它自己的某个目标,可求助于其它 Agent。这样一来,就出现了“社会推理机制”:

·Agent 要显式表达其它 Agent 的性质,这些性质可能动态改变;

·Agent 必需挖掘这样的表达,并按照社会的进

化改变其行为:

- Agent 发现关于其它 Agent 的信念有误时,要作修正。

这样的 Agent 间有“互相依赖”和“互惠依赖”这两种依赖关系,前者为共同的目标而导致协同;后者各自有不同的目标而导致社会交换。依赖关系是动态的、可预测的:

- 就 Agent 的自适应性而言,依赖关系使 Agent 知道哪个目标是可完成的,哪个目标是可行的;

- 就 Agent 的联合形式而言,Agent 要评估其它 Agent 采用它的目标的可能性,选择更有效的联合伙伴;

- 就 Agent 的信念修改而言,在得知自己关于其它 Agent 的信念不完全或不准确时,必需作修正以求一致。Agent 间的交互由关于其它 Agent 的信息所指导。

在这样的系统中,Agent 采用如下原则:非慈善:不管是否与其它 Agent 协同,都自主决策而不互相帮助。诚实:不互相利用。自我知识:具有其目标、经验的完整、准确的表达。一致性:不维持关于其它 Agent 的矛盾信念,若发现有不一致,即修改。多 Agent 系统的冲突可通过协商解决^[13]。

2.2.3 非功能特性 多 Agent 要分配资源、解决冲突和提高有效性,很多研究关注其协调、合理性和知识模型等功能特性,而对于多 Agent 系统的非功能特性,包括性能、可扩展性和稳定性很少涉及。然而,随着多 Agent 系统的技术的成熟和应用,其非功能特性变得越来越重要。

- 1)性能。在分布式系统中涉及的吞吐量、响应时间以及并发用户和任务数在这里同样重要。此外,还有一些影响性能的重要因素,包括计算和通信开销、Agent 的知识模型(数据结构及其操作)以及 Agent 的组织等。

- 2)可扩展性。可扩展性指系统做有用工作的能力如何随系统规模增长,它依赖于系统不良情况下的性能是否限制在一个负荷的多项式函数范围内。

- 3)稳定性。通常用于刻画策略集在平衡方面的特性。

2.2.4 实现 多 Agent 系统是计算系统,与分布式计算主要涉及并行和同步不同,在设计、实现和评价方面引起了很多新问题。多 Agent 系统遇到的根本困难是:

通信:如,何时 Agent 通信,使用什么样的协议。通信使 Agent 能交互信息,在此基础上 Agent 协调

行为并互相协同。这里的问题是:什么样的通信协议和机制能增强相互通信的 Agent 的协作。方式有:直接通信,联邦系统,广播通信(合同网和规范共享方法)和黑板系统。

交互:相互用什么语言交互,正是交互使若干 Agent 联合行动成为可能。异构和分布性使交互的实现是一个困难的过程,这需要一个公共的语言,而这正是 Agent 不同于对象的地方,因为对象可以通过互相存取依赖于对象的公有方法进行交互。言语行为(speech-act)理论是最常用的构造言语层和规范 Agent 言语行为的方法之一。

协调和一致性:如何保证 Agent 互相协调以获得对欲解问题的一致解。一致涉及整个系统的行为,协调指一组 Agent 执行某集体活动时的交互特征,它是一个尤其突出的问题。由于 Agent 间有依赖性,又需要全局约束,所以需要协调,没有协调,分散解决的优越性将会丧失,并很快进入混沌^[15]。它们的相关性在于:更大的协调导致更好的一致解。

3 Agent 的移动性

计算技术中的移动性可追溯到客户-服务器结构,它在替代传统的以服务器为中心的网络结构方面起了重要作用,得到了广泛应用。然而,随着信息传输量的巨增和对传输效率要求的提高,它日益显现出不足。

3.1 客户-服务器结构的局限

“客户-服务器”这个术语诞生于七十年代,通常指由一台或多台客户机和一台或多台服务器以及支持它们的操作系统和进程间的通信机制所构成的一个可以进行分布计算的合成系统,它包含数据分布、处理分布及用户界面三个方面,前两者是关于服务器的,后者是关于客户机的,客户机与用户交互,应用被分解成若干分离的进程,在客户机上运行;服务器则为客户机提供服务,数据库管理系统的核心在服务器上运行。整个系统依托于网络。目前智能网、电信管理网系统较多依赖于传统的客户-服务器结构。

显然,客户机/服务器结构在减轻网络负担方面有其卓绝之处^[16]。然而,当系统的应用量越来越大时,客户机和服务器间的频繁交互使带宽浪费很多,服务器负荷又不断增重,拥塞延时问题越发突出;同时它不能动态扩充其能力。所以,客户-服务器范型面对大规模的分布式应用必须增强或改进。

对用户而言,不断增长的服务意味着必须面对

提供不同功能^[17]、以不同方式表达信息的许多服务,这意味着通信任务和信息量的增加,因而用户需要帮助以克服复杂性。再者需求与用户移动性有关,即在任何地方存取信息。但移动通信导致业务和连接持续时间的减少,这些约束使传统的客户-服务器结构不再适用。

正是在这样的背景下出现了移动代码范型,它并非静态地将执行服务的代码捆绑在一个或多个主机上,而是允许描述服务的代码迁移到不同的主机上。对此有三种不同的方法^[18]:

按需代码(Code on Demand):客户机拥有执行一个服务所需的资源,但缺少部分执行它所需的代码。

远程评估:客户机拥有执行一个服务所需的代码,而服务器拥有资源,并提供由客户机代码的执行而构成的唯一服务。

移动 Agent: Agent 拥有执行一个服务的代码,但没有完成它所需的资源。

3.2 移动 Agent

移动 Agent 能根据问题求解的需要改变其物理位置,这种在数据源附近执行的自己控制的程序将因比客户-服务器结构更灵活、有效而替代它。在这样的系统中,管理中心不需要查询每个结点以获得执行某个操作所需的信息,而只要“放出”一个移动 Agent 到网络中。移动 Agent 要访问所有具有必需信息的结点并进行局部处理。无论何时移到一个不同的结点,都保持计算的状态。其好处是:增加灵活性,减少管理中心附近的业务,分布处理负荷。

管理中心甚至可以给 Agent 以更多自由,但同时随着 Agent 功能的增加,其复杂性也随之增加。单就业务花费方面而言可能不合适,但网络的拓扑结构和物理特征、特殊的管理任务,灵活性和重构性也都是要考虑的方面。当管理中心与一个将由 Agent 管理的结点没有网络级的连接时,它可通过历史路由信息把 Agent 送到第一个中间结点,其余由 Agent 完成。甚至 Agent 还能用以发现和绕过环路。

移动 Agent 系统可以看作是客户机和服务器的组合,位于主计算机上时,运行、发送和接收其它移动 Agent,并防止移动 Agent 误用。它与移动 Agent 运行其中的环境交互。为了有效,移动 Agent 系统必须在所有移动 Agent 可能经过的设备上扩展^[19]。有关移动 Agent 的内容涉及^[20]:命名、定址和定位;传递机制;输出 Agent 状态和数据;透明通信、保密和鉴权、合法性;协调;控制;通信语言;性能、稳

定性、可扩展性和可携带性;资源发现和管理;以及伦理方面。这里很多方面来自分布式系统和人工智能。

移动 Agent 有两个一般目标:减少、平衡网络负荷,异步交互。通常移动 Agent 的设计和实现有三个方式:使用或生成一种特定的语言;作为操作系统服务或扩充;应用软件。在第一种方法中,语言特性提供移动 Agent 系统的需求;第二种途径将移动 Agent 系统作为操作系统的扩充以利用其特性;第三种途径将移动 Agent 系统构造成一种特定的应用软件。有关安全性是一个要引起高度重视的问题。

Agent 可以为移动客户机提供更好的支持。它们只断续与网络连接,因而只断续接入服务器;即使在连接时,仅是相对低带宽的连接。

总之,就移动 Agent 的单独技术而言^[21],其优点是:高带宽远程交互;非连接交互;支持弱的客户机;容易分布;个体化地为客户机服务;语义路由;可扩展性;安全处理的低开销;强的远程交互性能。而缺点是:需要高度安全的 Agent 执行环境;强的病毒控制机制;传输效率不高。

移动 Agent 系统实现时的一些困难之处在于:有效性:是否需要大量计算资源,使网络过载?灵活性:是否有更灵活的方法,很快扩展到服务器?安全性:在孤立 Agent 执行环境和对系统其它部分的存取之间,以及客户机和服务器间交互的有效表达间是否有一个折衷?

4 基于移动 Agent(蚂蚁)活动的路由选择

网络可看作分布式人工智能,尤其是基于 Agent 的计算技术的一个自然的应用领域^[22]。移动 Agent 的足够的智能使它能从一个结点到另一结点收集信息并执行控制任务。

以往,路由问题依赖于集中存储的网络连接数据,动态的网络拓扑结构使其实现很困难,且花费很多资源。人工生命研究展现了具有自然生命系统特征的人造系统,其表现是动态和不可预测的,有时甚至是混沌的,本质上是基于行为的、多层次的活动,有其自主性和自适应性。为了解决电信网的拥塞,基于移动 Agent(蚂蚁)取食的过程被建模和研究,该模型可表示结点间呼叫的典型分布^[23]。

假设电信网络模型是无向图,节点间的连接有无限能力,节点容量是唯一瓶颈。人工蚂蚁在随机选择的结点对间移动,并留下某种痕迹,这种痕迹是它离源结点距离和途中所遇拥塞程度的函数。它们按

照在每个结点所模仿的痕迹的分布选择路径。结点间呼叫的路由是每个中间结点的痕迹分布的函数。

初始呼叫概率是随机选择的,并随机产生呼叫、使用随机的呼叫长度。新的呼叫会影响结点的负荷,以延时机制影响蚂蚁的行为。本质上,是通过负荷平衡系统对呼叫分布等变化的响应,来维持网络性能。系统是动态和随机的。

仿真结果显示,基于蚂蚁的控制(Ant-based Control, ABC)有比其它方法好的地方,但其路由决策仅依赖于当前和今后网络状态的局部和近似信息是一个严重不足。然而,这是一个展现移动 Agent 的智能与行为特征的良好应用。

我们针对通信网(S1240程控交换机),提出了基于多 Agent 系统的智能路由资源分配策略,预计明年可获得具体结果。

5 Agent 标准

Agent 是由不同的公司,在不同时间、用不同技术开发的,因而标准化是必需的工作。这样的标准应提供的最小集^[24]为:通信;定位便利性;安全性;标识;接入方法;用户交互;迁移能力。目前,标准化过程已从争论长期的研究问题转到了实现商业化系统的可行性方面。

智能物理 Agent 基金 FIPA(Foundation for Intelligent Physical Agents)是有关这方面工作的非盈利机构,它致力于解决在商业化的 Agent 开发时面临的关键冲突的协调,它提出了规范化的领域:Agent 通信;Agent 管理;Agent 集成;以及 Agent 间及其与人的交互。

5.1 Agent 通信

知识查询和通信语言 KQML(Knowledge Querying and Communication Language)是一种被广泛使用的 Agent 通信语言(ACL, Agent Communication Language),但它缺少普遍接受的形式语义。而 ARCOL 是语义定义和表达性好的 ACL。它提供了一组原语,通过它们,可创建其它 Agent 消息。FIPA 的规范结合了 ARCOL 和 KQML 两者的优点。

FIPA ACL 由五级构成:协议;定义构造 Agent 间对话的社会规则;通信动作;定义被执行的通信类型;基本消息;定义关于 Agent 消息的元消息;语言内容;定义表达消息的语法和相关语义;本体机制(ontology);定义在语义表达中使用的术语和概念的词汇和意义。

5.2 Agent 管理

Agent 管理的主要需求是给定具有下列特征的 Agent 平台:提供可靠、有序和准确的基本消息服务;Agent 有一名字,使消息能递送到正确的目的地;为发送 Agent 检测和报告错误;减少对单个交互机制的依赖性;支持 Agent 和设备移动性;为基本消息提供安全服务。

Agent 平台由下列必需的部件构成:目录工具(facilitator);Agent 管理系统;Agent 通信信道。

5.3 Agent 集成

Agent 还可通过包装 Agent 与非 Agent 软件沟通,从而实现集成。

5.4 有关移动 Agent

另一与 FIPA 有关的标准化活动是移动 Agent 系统互操作设施 MASIF(Mobile Agent Systems Interoperability Facilities),它定义了 Agent 在平台间迁移的有关内容,已获对象管理组 OMG 通过。智能 Agent 可能希望迁移,所以 FIPA 规定了将使智能 Agent 能在平台间迁移的性能。MASIF 提供了 Agent 代码迁移的机制。

Agent 将代表一种强有力的软件工程范型,它要在商业方面成熟,标准是必需的。

结论 “人工生命”描述了有关展现自然生命系统的行为特征的人造系统。它属于 DAI,是基于行为的人工智能。DAI 的 Agent 通常在计算和通信方面很复杂,而且常常使用它们驻留其间的世界的符号模型。与用符号表达和推理技术自上而下解决问题,或者说基于知识的经典人工智能相比,人工生命采用没有集中控制的自下而上的方法。智能 Agent 跨越了两者,而移动 Agent 更是集中了智能和行为,是人工智能发展到新阶段的一个表征。

基于知识的人工智能系统的特征有:孤立,有特殊的、先进的能力;处理一个问题;使用声明好的、静态的知识结构;主要关心如何对知识建模,以及推理和规划机制;通常对变化的环境不能自适应;问题域和问题由符号项定义,返回的解也是符号的,而且必须由用户在问题域中实现;与问题域无直接的交互,通过用户,或独立的感知和执行模块与环境连接。

很多应用是开放、异构、分布、动态、大而自治的。协调的管理需要有关交互中的 Agent 的外部事件的知识,而不是其行为的细节^[25],基于行为的人工智能担当起了相应角色,其特征是:有多重低层竞争;系统位于其环境中,把世界当作其自己的模型。

(下转第73页)

表3

编号	小雪	大雪	...	苗数 10~20	苗数 20~30	...	苗高 10~20	...	降水 00~10	降水 10~20	...	日照 20~30	...
1	T	F	...	T	F	...	T	...	T	F	...	T	...
2	T	F	...	F	T	...	T	...	T	F	...	T	...
...
1	F	T	...	F	T	...	T	...	F	T	...	T	...
2	F	T	...	F	T	...	T	...	F	T	...	T	...
...

在这个农业数据库上发现部分关联规则如下:

(小雪)⇒(降水00~10)
 (6%support,100%confidence)
 (清明)⇒(日照60~70)
 (7%support,67%confidence)
 (苗高60~70)⇒(清明)
 (3%support,81%confidence)
 (苗高70~80)⇒(清明)
 (2%support,100%confidence)
 (苗数10~20)⇒(苗高00~10)
 (8%support,66%confidence)
 (苗高70~80)⇒(苗数30~40)
 (1%support,67%confidence)
 (降水80~90)⇒(春分)
 (3%support,100%confidence)
 (降水50~60)⇒(日照10~20)
 (3%support,100%confidence)
 (降水80~90)⇒(日照30~40)
 (3%support,100%confidence)
 (苗数10~20,日照20~30)⇒(小雪)
 (1%support,67%confidence)
 (苗高00~10,日照20~30)⇒(小雪)
 (2%support,78%confidence)
 (小雪,苗数10~20)⇒(苗高00~10,降水00~10)
 (2%support,67%confidence)

对上面的结果有一点需要说明:由于小麦的生长情况在不同节气中有不同的特点,而我们考察的数据库中包含了所有十个节气的数据库信息,所以我们在进行关联规则的发现时,可以把最小支持度阈值适当地设小一点。

我们可以用同样的方法,对不同内容的农业数据库进行关联规则的发现,希望发现有用知识,并把

它应用到农业生产中。例如我们发现关联规则:

(小雪,苗数10~20)⇒(苗高00~10,降水00~10)
 (2%support,67%confidence)

即发现这样的知识:在小雪这个节气,对每亩小麦植株数在10~20万的田块,其平均苗高在10厘米以下,并且这个节气的平均降水量在10毫米以下,对照当前情况,对于小雪时平均苗高超过10厘米的田块,就要控制氮肥的施用,以防止植株过高,不易过冬,上面发现的其它有关苗高、苗数与节气、日照、降水等因素的关联规则,也将有助于我们对农作物田间管理、施肥、施药等各方面进行有针对性的科学指导,并预测作物的生长与收成。

参考文献

- 1 Agrawal R, Imielinski T, Swami A. Mining Association Rules Between Sets of Items in Large Databases. In: Proc. of the ACM SIGMOD Conf on Management of Data. Washington, 1993
- 2 Agrawal R, Srikant R. Fast Algorithms for Mining Association Rules. In: Proc. of the 20th Intl. Conf. on Very Large Database. Santiago, Chile, 1994
- 3 Savasere A, Omtecinski E, Navathe S. An Efficient Algorithm for Mining Association Rules in Databases. In: Proc. of the VLDB Conf. Zurich, Switzerland, 1995

(上接第57页)

通过感知器和效应器直接与研究域相连接;问题域是复杂和动态的,要在有限的时间内动作;典型地,它们是自主的,其运作不需要人类的指导,不需要从用户那里得到显式的目标陈述;强调导致的系统行为,而不是知识;结果可能是突现的,不需要归于特定的内部结构;非常强调反应和自适应性;自下而上设计。

概括而言,基于知识的人工智能和基于行为的人工智能的区别在于:①焦点是显式符号知识还是导致的行为;②单一的高层活动还是多种低层活动;③用户驱动计算还是自主运作;④学习还是自适应。

智能影响行为,行为是智能的某种表现,基于行为的人工智能可能是对基于知识的人工智能所面临的困境的一种弥补。移动 Agent 是智能和行为的统一。随着计算系统变得越发分布、互联和开放,智能 Agent 将成为一个关键技术,其意义将不断显露。由于多 Agent,尤其是移动 Agent 系统是不确定和难以预测的,系统的整体行为和性质只有在运行时才能体现,在设计阶段不能确定。所以,除了 Agent 的内涵需不断深入、明晰外,面向 Agent 的程序设计方法有待深入研究。(参考文献共25篇,略)