

人工智能 多 Agent 系统 并行计算 分布处理

57-62

# 多 Agent 系统的研究\*

刘海燕 王献昌 王兵山

(国防科技大学计算机系 长沙 410073)

TP18

**摘要** Since the early seventies, agent has been studied for more than twenty years. With the development of concurrency and distribution, multiagent system has become an studying trend. This artical mainly analyzes the internal characteristics of a multiagent system, briefly introduces the concept "agent", which is the basic unit of a multiagent system. Then adopts several criterions such as agent's autonomy, adaptivity to the dynamics, system architecture, control structure and so on to classify multiagent systems. As we know, coordination and cooperation are the key problems of a multiagent system, so we'll introduce some coordinating and cooperating methods.

**关键词** Agent, Knowledge, Message, Goal, Capability, Dynamics, Autonomy, Object.

## 一、引言

自 agent 术语引起国内学者重视以来,人们一直试图寻找一个贴切的汉语名词,“代理人”“智能体”“结点”等概念应运而生,但这些概念都不能令人满意,因为无论是“智能体”、“代理人”,还是“结点”,都仅部分地反映了 agent 的特征,而未完全地反映其本质属性,故本文仍使用 agent 的英文形式。

1970 年起,基于物理符号假设的思想占据着 AI 的研究,它的主题是智能任务可以通过对符号的内部表示进行操作的推理进程实现<sup>[6]</sup>,推理进程及内部表示构成了 agent 的最初轮廓。由于受当时条件的限制,agent 的最初设计者们对之并未抱太高的奢望。但是,随着硬件水平的提高和计算机科学理论的进一步完善,agent 的能力不断加强,能模拟人越来越多的思维和行为。七十年代末八十年代初,AI 研究者又开始了对合作的、分布的多 Agent 系统的研究工作。近些年来,在软硬件领域,并行计算和分布处理技术的研究都取得了很大进展,使得对 agent 的研究工作更集中于对多 Agent 系统的研究。因此,多 Agent 系统已成为当今人工智能研究的热点之一。

## 二、Agent 概念

多 Agent 系统的基本单位是 agent。AI 过去着

重对单个 agent 的研究,用于推理、规划、问题求解等多个方面,但是,从本质上讲,这些都是把单个智能系统作为研究目标。近些年来,非单调推理系统在国内外 AI 领域成为研究热点,是单个 agent 进行理性(rational)推理的系统<sup>[4]</sup>。随着多 Agent 系统的研究,有必要清楚是什么 agent,需要说明的是,本文主要谈多 Agent 系统中什么是 agent,而不专门研究单 Agent 系统。

那么,什么是 agent 呢? agent 没有统一明确的定义,它是分布式人工智能(DAI)的一个基本术语,是人工智能的一个原语。回顾以往国内外 AI 的各种研究工作,我们发现,研究人员都在自己的系统中赋予 agent 不同的结构、内容和能力,以方便自己特定方向的深入研究。但是,根据国内外那些已经实现了的系统,我们仍可以对 agent 进行一般性描述如下: agent 是一种抽象实体,它能作用于自身和环境,并能对环境作出反应<sup>[4]</sup>。一般说来,agent 应该具有知识、目标和能力<sup>[1]</sup>,下面将对它们进行更具体的描述:

知识:就是 agent 关于它所处的世界或它所要求解的问题的描述。这种描述可能采取任何形式,甚至可以隐式表示,agent 拥有的知识可能是由人或其它 agent 给予的,也可能是它自己通过感知或通讯获得的。按知识的内容,可以把知识分为领域知识(对世界的认识等)、通讯知识(协议、类型等)和控制

\* 国家自然科学基金、863 高技术计划、霍英东教育基金会青年教师基金资助项目。

知识(agent间关系等)<sup>[2]</sup>。我们通常所讲信念也是知识的一部分,信念是agent对自己或外界推理、推测的结果。正如人一样,agent的知识可能是不完全的、不确定的甚至是部分错误的<sup>[1]</sup>。

**目标:**Agent所采取的一切行为都是面向目标的。目标在agent内部并不一定要显式存在,目标可以编入算法或显式给定,或通过通讯获得<sup>[1]</sup>。根据目标的变化情况可以将目标分为静态目标和动态目标,前者是指把agent设计成它的行为是为了满足某个断言;后者指随着时间流逝而动态改变的目标<sup>[6]</sup>。

**能力:**agent所具的推理、决策、规划、控制等能力。

由上面的描述可知agent是个应用范围极广的术语,agent知识的多少,能力的大小,可以灵活变化。就多Agent系统中的agent而言,存在两个极端:一是神经网络,它是一个精细的多Agent系统,由一套紧密耦合的、简单的非智能的元件或表示知识的单元组成,每个元件或单元视为一个agent。通过非同步的动作和通过“连结”的通讯,合作单元能对数据作出灵活反应。二是分布式问题求解系统,它是一种粗粒度的多Agent系统,是由自主的agent松散耦合而成的分布式网。每个agent能进行高级问题求解,能随着环境的改变而修改自己的行为、规划和与他人的通讯、合作策略等<sup>[1]</sup>。许多Agent系统都处于这两个极端之间,具有中等粒度。

### 三、多Agent系统

多Agent系统是由多个可计算的agent组成的集合,一般地,每个agent被认为是一个物理的或抽象的实体,能作用于自身和环境,操纵环境的部分表示,并与其它agent通讯<sup>[9]</sup>。从这个意义上讲,人也可以成为多Agent系统中的一员。我们为什么要研究多Agent系统呢?因为多Agent系统优于仅由单个agent控制世界的系统。设计一个agent,使它具有足够的能力来控制其环境,这存在许多困难:首先agent必须处理众多不确定的相互矛盾的信息,其次它必须处理多个上下文相关的、冲突的目标,最后agent必须把它的目标与自己受限的感知和行为能力相对应。然而,为解决上述困难,多Agent系统是一次质的飞跃<sup>[11,9,25]</sup>。首先,通过与其它agent通讯,可以开发新的规划或求解方法来处理不完全的、不确定的知识<sup>[1]</sup>。第二,通过agent间合作,多Agent系统不仅改善了每个agent的基本能力,而且从Agent

的交互中进一步理解了社会行为<sup>[1]</sup>。第三,用模块化风格组织系统<sup>[9]</sup>。如果说模拟人是单agent的目标,那么多Agent系统则是以模拟人类社会作为其最终目标的。

为了加深对多Agent系统的认识,我们介绍如下几种分类标准,对多Agent系统进行分类:

#### 1. 根据agent的自主性进行分类

agent的自主性是指:agent能真正决策,并有自己的喜好。例如,agent有自己的目标,能对自己的目标决策,有选择地采纳别人的目标,控制知识获取等。

a)受控的(controlled):agent之间有较强的关系纽带,每个agent受控于对它具有权威性(authority)的agent,而且还可能存在施于其上的附加约束<sup>[10]</sup>;

b)自主的(autonomous):agent自主地决策,产生计划,采取行动。它对外界的依赖仅仅是为了学习描述世界及其变化的信息<sup>[8]</sup>,agent间仅有松散的社会性联系;

c)灵活性的(flexible):有时要求agent完全自主地工作,有时命令它在某种程度上受控于其它agent<sup>[10]</sup>。

实际的系统一般采用第(c)类agent,而且同一系统中agent的自主程度又各不相同。由分类的特征我们可以看出,受控的agent和自主的agent是灵活性的两个极端,并且与其它两类系统相比,由具有灵活性的agent组成的多Agent系统能更好地模拟人类社会。

#### 2. 根据对动态性的适应方法分类

前面,我们指出:agent能作用于自身和环境,并能对环境的变化作出反应,在现实世界中,由于自然的或人为因素的影响,世界处于不断变化发展之中,有时难以预测其发展变化趋势。所以多Agent系统应该具有应付动态性的能力,其中多Agent系统对动态性的适应方法可以分为以下几类:

a)系统的拓扑结构不变,包括agent数目、agent之间社会关系等。在这种情形中再细分为:(1)agent内部结构固定,功能稳定,通过对所求解的问题重构形来适应环境<sup>[11]</sup>;(2)agent通过自重组来对环境适应,例如修改调整自己的知识结构、目标、选择等<sup>[12]</sup>。

b)系统拓扑结构改变:(1)agent数目不变,每个agent的微结构稳定,可以修改agent间的关系和组织<sup>[11]</sup>;(2)agent数目可增减,agent可以动态创建和

动态删除<sup>[11-13]</sup>。

### 3. 按系统功能结构分类

a)同构型系统,每个 agent 结构相同,功能相同。在这类系统中每个 agent 本身有能力解决系统面临的任何问题。但是,由于每个 agent 自身知识的不足以及不同 agent 所面临的问题之间具有相互依赖性,所以有时并不能单独地解决某个问题,仍需要一个系统中多个 agent 间的协调合作。这类系统与单 Agent 系统相比也存在许多优点,如:通过并行操作,提高求解问题的效率;当一个 agent 出故障时,它所承担的任务可由其它 agent 代替,故整个系统的可靠性较好等。

b)异构型系统,它的特点是:agent 的结构、功能、目标都可以不同,由通讯协议保证 agent 间协调与合作的实现<sup>[5]</sup>。异构型系统才是我们设计使用多 Agent 系统的目的所在。

### 4. 按 Agent 关于世界知识的存贮来分类

a)agent 不构造任何关于世界的内部模型,它的行为是以它对环境的即时感知为基础的<sup>[15]</sup>。

b)共享存贮法:所有的 agent 关于世界的某一方面的信息或全部信息,都存贮在一个或多个共享区域中<sup>[16]</sup>。

c)分布存贮法:agent 有自己的关于世界的私有信息,实行数据封装<sup>[17]</sup>。

### 5. 按控制结构分类

a)集中控制:由一个中心 agent 负责整个系统的控制、协调工作。

b)层次控制:每个 agent 控制处于其下层的 agent 的行为,同时又受控于其上层的其它 agent<sup>[18]</sup>。

c)网络控制:由信息传递构成的控制结构,且该控制结构是可以动态改变的,可以实现灵活控制<sup>[13,17]</sup>。

除以上列出的这五种分类方法外,还有其它分类标准,例如,系统规模、粒度、是由硬件还是软件实现的,agent 交互的复杂度,结果形成方式(分解、合成)等<sup>[19]</sup>。

现在根据上面的分类标准,我们来考察两个实际的系统:从七十年代早期开始,麻省理工学院 Hewitt 等人一直致力于 Actor 系统的研究工作<sup>[13,17,27]</sup>。Actor 系统中,每个 actor 是一种自包含的、交互式的、相互独立的实体,有自己的私人信息并实行数据封装;它的行为是输入信息的函数,actor 通过向另一个 actor 发送消息来影响另一个 actor 的行为。在最初的 Actor 模型中,actor 的行为仅

是输入信息的函数,所以它不是自主的。如果把信息的传递者看作权威 agent,那么 actor 是一种受控的 agent,其权威不只一个并且动态改变。actor 可以动态创建。每个 actor 的行为可以不同。在 Actor 模型后来的进化过程中,又增加了可以动态更换 actor 的行为的能力,所以 Actor 系统是个拓扑结构可改变的、异构的多 Agent 系统,actor 的控制结构是由 actor 间的信息传递形成的,故呈网状分布;南加利福尼亚大学的 Les Gasser 和日本的 NTT 通讯与信息处理实验室的 Toru Ishida 等人研制了 OSD(Organizational Self-Design)系统,每个 agent 除了拥有领域知识外,还拥有关于整个系统中 agent 间组织关系、agent 间知识关系等的知识(称为元知识),每个 agent 是个自主的实体,随着环境的改变,系统中 agent 间的组织关系也发生变化<sup>[11]</sup>,系统还可以通过分解(decomposition)来创建新的 agent,或通过组合(composition)把两个邻近的 agent 组合成一个 agent。所以,OSD 系统是一个自主的、用改变拓扑结构来适应动态性的多 Agent 系统,agent 的信息分布存贮,它的功能结构可以是同构的,但尤其支持异构型系统,并可以采用任何复杂的控制结构。

每个多 Agent 系统的设计者,都应根据自己的目标和背景,选择 agent 的自主程度、对动态性的适应方式、控制方式和功能结构,从而确定 agent 自身的结构和实现其能力的手段。

## 四、关于 Agent 的通讯

通讯是多 Agent 系统中最关键的问题。

在人类社会中,个体之间存在着一定联系,正是这种联系把一个人的集合变成人类社会,把一个单独的人变成一个具有社会属性的人。多 Agent 系统也是如此。几个 agent 堆放在一起永远是几个独立的个体,只有相互协调合作它们才能构成一个有一定功能的可以运转的系统。所以协调是多 Agent 系统至关重要的部分。虽然多 Agent 系统与单 Agent 系统相比有很大优越性(见第二节),但是由于 agent 间联系的存在、由于协调的必要性,致使多 Agent 系统有了质的区别。对多 Agent 系统的研究,不仅存在单个 agent 的表示问题,而且还存在如何协调多个 agent 间关系的问题,这两个问题密切相关,而后者更是研究的热点所在。

在多 Agent 系统中,agent 的各种关系(受控、合作、互斥等)是通过 agent 间的交互实现的,agent 间交互可能出于多种原因,下面我们把 agent 间交互

的原因(目的)进行简要分类,以方便以后的研究。

第一种:分布式问题求解。是一种协作式问题求解方法,它通过分散于不同节点上的松散耦合的知识源(KB)集合来进行协作求解。每个KB为一个agent。由于每个成员都不能利用自己有限的知识来圆满完成任务,而且也没有足够的资源和足够的处理该问题的信息,所以首先将任务分解成子任务,分配给合适的agent来求解。子问题求解过程中,由于子问题间的相互依赖性和agent自身信息的缺乏性,agent间必须进行交互。最后,在解的综合过程中,通过对各个子问题进行求解的节点间的交互,解决部分解的不确定性,逐步形成全局解。可见,无论是任务分配阶段,还是子问题求解阶段,或解的综合阶段,各参与agent间需要进行一系列交互动作<sup>[19]</sup>。

第二种:采纳(adoption)。特点是:agent<sub>1</sub>把agent<sub>2</sub>的目标作为自己的目标来完成<sup>[20]</sup>,agent<sub>1</sub>采纳agent<sub>2</sub>的目标G<sub>2</sub>,可能是由agent<sub>2</sub>申请的,也可能是agent<sub>1</sub>自己感知到的,agent<sub>1</sub>根据自己的合作本质(仁慈、利人、利己)自愿把G<sub>2</sub>作为自己的目标,帮助agent<sub>2</sub>实现G<sub>2</sub>。

第三种:合作(cooperation)。特点是:首先每个agent有各自的目标,但是,或者由于本身不能实现自己的目标,或者为了更高效地实现,它们达成互惠互利的协议。典型的例子是:两个邮递员,每个人有一堆信件需要送到信封所指的地址。二人手中有地址相同或接近的信件,那么通过合作,二人走的路程都尽可能短,而又能完成两个人的任务。

第四种:影响(affection)。agent<sub>1</sub>的某个动作可能影响agent<sub>2</sub>对某一目标实现的可能性<sup>[20]</sup>。几个agent共享互斥使用的资源就属于这种情况。一个agent占有或释放互斥资源,直接影响其它agent是否能利用该资源完成自己的目标。

以上这四种类型的交互原因,并不是绝对不相容的。分布式问题求解中可能发生采纳、合作和影响,合作也可以看作采纳的特殊情况,即双方都采纳对方的部分目标。

为了研究agent间的交互手段,我们不妨先考虑人与人之间的交互手段:人对于外界(包括物理环境和其它人)的信息获取,按人所处的角色不同可分为两类:一类是人主动地用感官去感知;另一类是外界(人或其它物理环境)作用于人的感官,“迫使”人感知,随后用头脑去理解。前者人是主动的,而后者开始人处于被动位置,随之又变成主动的了。正如前面已谈过的,对多Agent系统的研究是以人类社会

为其模拟范型的,所以agent间的交互也不外乎两种方式:一种是“感知”方式,对应于第一类手段;另一种是通讯方式对应于第二类手段。Leslie Pack Kaelbling和Stanley J. Rosenschein曾研究了一个多Agent系统,其中agent是一个计算机,能感知并作用于环境,监督复杂的动态条件,并影响着环境的变化<sup>[1]</sup>。由于多Agent系统中agent间交互在很大程度上是通过“通讯”实现的<sup>[21]</sup>,所以这里我们将重点谈一谈agent间的通讯问题。

首先谈一谈“通讯什么”的问题。根据上面提到的交互目的,我们可以看出,通讯的内容可以是“请求”(request),是应答(reply),可以是任务、目标、部分解,还可以是控制信息等。在一个具体的多Agent系统中,通讯的内容依赖于具体背景和系统实现。

在人工智能领域,过程间的通讯一般分为四种方式,且各有所长。第一种方式叫“私线”(private-line)方式,是指“只有调用和被调用的过程可见该通讯”。这种方式是直接通讯,保密性好。第二种方式叫“团线”(party-line)方式,也叫黑板(blackboard)方式,即把信息放在广泛可存取的“黑板”上,实现广播通讯。第三种方式叫预定点(reserved-spot)方法;过程每次将信息放在同一个预定的位置,该方法实现间接通讯,且具有保密性。第四种方式是介于黑板方法和预定点方法之间的一种方式,黑板被分为几个概念性区域,将过程分成利益群体,它们特别注意与自己相关的黑板区域。黑板方法和预定方法分别是第四种方式的两个极端<sup>[22]</sup>。

综合上面四种通讯方式的优缺点,多Agent系统中,agent间的通讯方式一般分为两类,即黑板方式和信息传递方式<sup>[23]</sup>,其中黑板方式与上面提到的团线方式相同,是广播通讯;“信息传递”方式可以实现上面第一、三种方式中的任一个,对应于前者的是同步信息传递,对应于后者的是异步信息传递。这两种通讯方式各有所长,目前都被研究人员广泛使用。黑板方式中,“黑板”是一个共享的知识结构(也是一种agent),agent可以向它张贴(post)信息,也可以从它读取由其它agent张贴的信息<sup>[23]</sup>。“信息传递”系统中,一个agent向一个或多个其它的agent发送信息时,采用点对点的传递,那么对方的名字及地址应该是已知的,所以与“黑板”方式相比较,信息传递方式需要agent间相互了解得更多一些<sup>[23]</sup>。

虽然两种结构对agent的要求不同,但是这两种方法在功能上是等价的,即它们可以相互模拟。历史上对这两类结构曾作了大量的研究工作,Hayes

Roth[1985]和 Hewett[1989]在 BBI 中为“黑板”方式提供了一种通用的体系结构。继他们之后,对“黑板”方式的研究又有了新进展,出现了允许多个“黑板”的通讯体系结构,这种结构的一个典型应用是:一个黑板用于问题求解;另一个黑板用于控制前一个的过程。同样,Gasser[1987]在 MACE 中也为“信息传递”系统提供了一个通用体系结构<sup>[23]</sup>。

实际的多 Agent 系统中,许多采用了处于上面提到的两个极端之间的通讯方法。例如,agent 可能不知道,到底哪个 agent 得到它的信息,但是它能知道对方是属于哪一类的 agent,那么在“信息传递”方法中,把 agent 组织成层次结构,允许把信息传递给类,进而传递到类的所有成员,这就用信息传递方法实现了广播通讯。在“黑板系统”中,为黑板元素建立类型,当张贴消息时,只有标记了该类型的 agent 才能有机会对它反应,从而限制了广播的范围<sup>[23]</sup>。在 Takeo Maruichi 等人设计的模型中,引入环境(environment)的概念,既可以实现对环境中的所有 agent 的广播通讯,又可以实现点对点的通讯<sup>[24]</sup>。

最后谈一谈多 Agent 系统中的 agent 与面向对象程序设计中的对象(object)的关系:agent 与对象是两个不同的概念,首先 agent 是个主动的实体,它有自己的目标和面向目标的行为;而对象是被动的,它的行为是指:信息(message)调用其方法(method),由对象完成该方法所规定的动作。第二,agent 是自主的,而对象是受控的,对象没有信息执行的控制结构,它对接收到的信息,并不理解其含义,只机械地执行信息规定的动作,而 agent 能理解信息,控制自己的行为。第三,对象间是以信息传递方式通讯的,需要明确对方的存在性;而 agent 间的通讯既可以了解对方,直接通讯,又可以不了解对方,间接通讯。目前许多研究人员正致力于把 agent 与对象交叉综合的研究工作。例如,用面向对象的思想方法来设计多 Agent 系统,或给对象增加部分自主性、自控能力、用“类”作为中间媒介实现广播通讯等<sup>[24,25]</sup>。总之,虽然 agent 与对象是两个不同的概念,但是我们从所描述的 agent 属性来看,对象是一种特殊的 agent。

## 五、结论

本文首先谈了 agent 的研究历史和它的一般性描述,进而对多 Agent 系统进行了详细分类,并考察了多 Agent 系统常采用的协调方式,最后,澄清了 agent 与对象的概念区别。本文是作者在参考了目前

所有能得到的资料的基础上分析和总结而成的。我们下一步的任务是集中设计一种多 Agent 系统的协调机制,进一步研究发展其逻辑基础<sup>[27]</sup>等。

## 参考文献

- [1] Yves Demazeau et al., *Decentralized Artificial Intelligence*, Proc. of the First European Workshop on Modelling Autonomous Agent in a Multi-Agent World. Cambridge, England, Aug. 16—18, 1989, edited by Yves Demazeau
- [2] Joel Riedesel et al., *A Knowledge Base Architecture for Distributed Knowledge Agent*
- [3] 王献昌, 单调推理与非单调推理研究, 博士论文 1991
- [4] Frank Von Martial, *Interaction Among Autonomous Planning Agents*, same to [1]
- [5] Pattie Maces, *Designing Autonomous Agent, Theory and Practice From Biology to Engineering and back*, North-holland Robotic and Autonomous Systems 6(1990)
- [6] Leslie Pack Kaelbling et al., *Action and Planning in Embedded Agent*, same to [5]
- [7] Wang Xian Chang et al., *W—A logic System Based on The Shared Common Knowledge Views*, IJCAI' 93
- [8] M. Lizotte & B. Moulin, *A Temporal Planner for Modelling Autonomous Agent*, same to [1]
- [9] Elaine Rich, *Parallel and Distributed AI*, Artificial Intelligence, second section
- [10] Mark Evans Jones Anderson et al., *Achieving Flexible Autonomy In Multiagent Systems Using Constraints*, Artificial Intelligence Vol. 6 No. 1 1992
- [11] Lesgasser Toru Ishida, *A Dynamic Organizational Architecture for Adaptive Problem Solving*, AAAI—91 Vol. 1
- [12] Luc Steels, *Cooperation between Distributed Agents through Self-organization*, same to [1]
- [13] D. h. Norrie et al., *Object-oriented Distributed Artificial Intelligence*, *Lecture Notes in Computer Science* 555
- [14] 王克宏、石纯一、胡蓬等, 分布式人工智能, 第二届中国人工智能联合学术会议
- [15] D. Connach et al., *An Experiment in Cooperation*, same to [1]

人工智能

信息管理

人工智能

13

计算机科学 1995 Vol. 22 No. 2

62-67

## 关于人工智能的哲学思考

刘泉宝 刘永清

(华南理工大学系统工程研究室 广州 510641)

JP18

**摘要** This paper describes the mechanism and features of Artificial Intelligence—Machine Thinking by analyzing the condition of producing nature intelligence. Based on the comparing artificial intelligence with nature intelligence, we discuss the difference between both in philosophy and point out the limitation of artificial intelligence.

**关键词** Philosophy, AI

## 1. 引言

随着现代社会的进步和科学技术的飞速发展,人们把“空间技术”、“能源革命”和“人工智能”(Artificial Intelligence 简称 AI)称为世界三大尖端技术。

众所周知,人类社会所经历的前三次工业革命,虽然其主要内容有所差别,但其共同特征是延长了人手的功能,也就是对人类体力劳动的代替与扩大,

而今天在欧洲与日本称之为第四次工业革命,在美国称之为第三次浪潮,在我国所进行的新技术革命则是对人类智能劳动的替代与扩大,其目的是延长人脑的功能。因此科学技术革命文明的发展将更加空前的速度。实际上,只有当计算机和人工智能的出现,才预示着这次新技术革命的到来。正因为如此,有的科学家则说:谁掌握了人工智能谁就能征服世界。

近半个多世纪来,人工智能一直是许多哲学家

- [16] Brigitte Maitre et al., Cooperation Expert Problem-solving in Blackboard System: ATOME Case Study, same to [1]
- [17] Gul Agha, The Structure and Semantics of Actor Languages, Proc. of the School/Workshop on Foundation of OOL, Springer-Verlag, 1992
- [18] Gajananan Nadoli'et al., Intelligent Agent in the Simulation of Manufacturing Systems, Advances in AI on Simulation, edited by Ranjeev Uttamsingh et al.
- [19] Norman Carver et al., Sophisticated Cooperation in FA/C Distributed Problem Solving System, same to [1]
- [20] Cristiano Castelfranchi, Social Power—a Point Missed in Multiagent DAI and HCI, same to [1]
- [21] Munindar P. Singh, Towards a Formal Theory of Communication for Multiagent System, 12th Intl. Joint Conf. On Artificial Intelligence
- [22] Patrick Henry Winston, Artificial Intelligence, second edition Addison-Wesley Publishing Company
- [23] Elain Rich, Parallel and Distributed AI, Artificial Intelligence second section
- [24] Takeo Maruichi et al., Modeling Autonomous Agent and Their Group, same to [1]
- [25] Zhang Chengqi & Zhang Minjie, International Development of Distributed Artificial Intelligence, PR & AI Vol. 6 No. 2, 1993
- [26] Yoav Shoham, Agent-Oriented Programming, Artificial Intelligence 60(1993)Elsevier
- [27] Gul Agha, Semantic Considerations in the Actor Paradigm, In seminar on Concurrency Springer-Verlag 1985

刘泉宝 博士生,研究领域:决策支持系统、神经网络、人工智能。刘永清 教授,博士导师,研究领域:大型动力系统的稳定与镇定、智能控制与智能自动化、神经网络。