

分布式人工智能研究近况

施 浩 石统一 (清华大学计算机系)

摘要

Distributed artificial intelligence (DAI) is a spectacular research direction in recent years. This paper describes the origin, background and trend of DAI along with the discussion about the significance of research for DAI in respect to artificial intelligence. A overview about international research situation of DAI is given and research issues about DAI are presented in this paper.

一、系统的分类

大规模集成电路的迅速进步使分布式计算机环境得以建立和发展,为人工智能(AI)问题提供了更有效的求解工具,分布式人工智能(DAI)作为一个新的研究方向,应运而生。

DAI系统不同于传统的分布式处理系统,它要求系统中各个结点及结点间的信息交互必须具有智能特征(如推理、规划能力)。根据结点的智能程度,可以对DAI系统就如下尺度进行度量。

1. 问题分解的程度(结点的等级);
2. 经验知识分布的程度;
3. 实现分布控制的方法及程度;
4. 通讯过程;

根据尺度1和2, DAI系统可以简单地分成图1的几种类型:

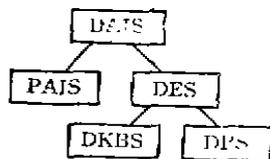


图1 DAI系统的简单分类

当一个问题被分解为较低级的子问题时,子问题数量较多,但每个问题都很简

单,只需DAI系统中的每个结点执行最简单的智能操作,这类DAI系统可称之为并行AI系统(PAIS)。因为这类系统主要是利用大量简单智能操作的并行性来提高系统性能,如联结机;反之,把问题只是分解成若干子任务由结点去完成,这种系统可称之为分布式专家系统(DES)。

对于DES类的系统,根据经验知识的完整性,以及不同结点上经验知识的分布情况可分成两类:分布式知识库系统(DKBS)和分布式求解系统(DPS)。DKBS的知识比较完整,知识类型变化大,可用来解决各种目标的问题。DPS则相反,求解目标单一,知识类型单一,而且知识完整性不如DKBS。

对上述的DAI系统,还可以根据尺度3和4进行划分。

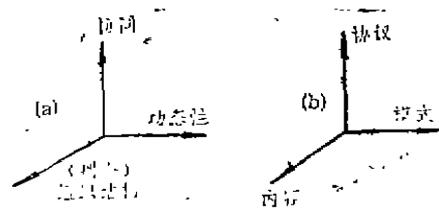


图2 (a)按控制方式分类;
(b)按通讯方式分类

如,一个DAI系统,根据其控制方式中

的协同程度,结构的耦合程度,控制的动态性在图2(a)的三维坐标系中找到一个对应的位置,同样,也可以在图2(b)的坐标系中找到一个位置。

二、背景及意义

研究DAI系统的意义主要有以下几个方面:

1. **提高效率**, DAI用AI的方法对任务进行分布,并在结点间进行协同,从而提高效率。

2. **提高能力**: 在一定的环境下,分布式人工智能系统可以提高自身的能力。这可以表现在三个方面。

- 容错能力: 即允许个别结点在某些时刻求解出错而不影响系统的结果。

- 多结点的特性使系统有更多的资源来求解问题。

- 多个结点还可以合理安排任务,使每个结点去完成最适宜的任务,以提高系统能力。

3. **更好地适应问题特征**: 在现实世界中存在许多需要采用AI方法、又有分布特征的问题。

- 自然位置分布: 如交通控制的监视器网,各个结点都要处理不完全的数据和知识,在处理中必须相互协同。

- 智能施主(agent): 当一组智能施主(如机器人、飞机等)共同完成一项工作时,既要求它们有独立的求解能力,又要求它们能够相互协同。

- 功能自然分布: 这类问题中,各个结点并不具有明显的位置分布特征,但在功能上却各有特点,能完成各自特殊的任务,而这些任务之间又因相互关联而需要协同。

- 分布控制: 在许多情况下,对一组功能各异的结点需要分布控制,而不是集中控制。如复杂的工业控制过程。

关于DAI对AI的影响, Nils, Nilsson曾经作过如下评论: “DAI的研究将加深我们对于如何就知识、行为、演绎和规划进行显式推理的认识、并且改进这方面的技术。”即,通过了解一个AI系统如何对另一个AI系统进行推理,能帮助解决AI系统的自推理问题,下列传统的AI问题、将从DAI的研究中获益:

1. **知识表示**. 由于AI系统相互推理的需要,将推动关于行为、信念的表示,通用的知识表示及知识表示转换的研究。

2. **分层规划**. 在DAI系统中,各个结点都应具有规划其他结点行为的能力,即各结点的行为在整个系统中占据不同的层次。

3. **信息收集**. DAI系统中,各个结点间如何获取必需的知识的能力,对于AI系统也是有益的。

4. **运行监视**. DAI系统中,结点间监视运行状态的技术将有助于改善AI系统的自身控制。

5. **自然语言通讯**. DAI系统中的通讯,需要通用的抽象简化模式,这些模式有助于某些特定方面的自然语言的产生和理解。

6. **复杂性处理**. DAI系统中,由于知识量及结点数量的增加,使整个系统的复杂性增加,而DAI系统的松耦合方式可能是一个有效的解决方法。

7. **动态环境处理**. DAI系统中,由于各结点的求解过程异步,必须要处理不一致的非静态环境,这种技术对AI系统有普遍意义。

三、主要研究问题

在DAI系统中,协同和知识表示转换是两个重要的问题,协同问题对DAI系统的性能有着重要的影响,而协同的研究目前尚处于经验总结和实验阶段,离深入的理论研究尚有不小的距离。知识表示转换是影响DAI应用前景而又十分困难的问题。目前这方面的研究还很少。

除以上两个问题外,下列问题是DAI研究者已经或正在着手解决的问题。

1. **全局一致性问题**. 在DAI系统中,由于知识的来源不同,求解策略的各异,各个结点的求解结果有可能不一致。因此,全局一致性问题是十分重要的问题。

2. **组织模式**. 组织模式和全局一致性是紧密相关的,目前较多采用的模式有网络结构,层次结构,分类网络结构。

3. **控制的分布**. 控制机制不可避免地影响全局一致性,在分布式系统中,控制的分布可以有两个极端状况。1)各个结点完全自治,地位平等;2)有一个中央控制结点,全权控制其他结点的活动。而DAI系统的控制分布一般处于两者之间。

4. 不完全性、不一致性及世界的观点。在单一的AI系统中,我们一般假定系统对世界的描述是正确的。但在DAI系统中,如果各个结点对世界的描述是不一致的。就会出现观点的冲突及不完全性。

5. 任务分解。在DAI系统中,首先是对一个任务进行合适的分解,而在分解之后,如何分布到各个结点中去,仍然是一个困难问题。这一问题在一些算法分析、系统应用及AI的文章中都有所讨论。

6. 通讯与计算的关系。在一个DAI系统中,是通过本结点的计算来获取必要的信息,还是由通讯来获取,往往影响到系统的效率等问题。这种选择要考虑两者的费用,通讯的频宽限制,有效处理时间的限制等,关于这方面的讨论可从有关参考文献中了解。

7. 资源指标。这一问题和计算与通讯的关系有类似性,在DAI系统中,当一项任务在两个结点均可完成时,选择哪个结点,有关的考虑包括两个结点执行该任务的可能性、费用、负载平衡、传送费用等问题,其解决办法对一般的分布式系统均有意义。

8. 同步性。当各个结点独立工作时,它们之间要进行相互作用,就可能影响全局一致性,因此,要保证它们的求解规划在全局一致性的意义下实现同步。

9. 可靠性与冗余性。DAI系统的一个目标就是要提高可靠性,但提高可靠性的办法就是增加执行任务的冗余度,而这在许多情况下又是不允许的,或不合算的,这也是需要进一步研究的问题。

四、现况

1. 早期与分布有关的AI工作

DAI出现之前的七十年代中期,一些对DAI有益的研究工作就已经取得了成绩。这些工作是AI技术与分布式系统的结合,但由于各结点的智能程度和自治能力较低,还不能称为真正的DAI系统。

一部分工作是HEARSAY-II(1977)和其它黑板系统,这些系统是在单机上模拟若干协同实体来进行工作。

另一部分工作是一些实际分布的系统,如LADDER(1978)。它只有一个结点具有AI能力,其它结点通过它来分配任务,传递

信息,但缺乏协同求解的能力。

2. 当前有代表性的研究成果

从80年代以来,DAI在一些领域得到了应用,下面就几个有代表性的应用领域,介绍一些研究机构及学者的研究情况。

· 信息解释 DAI的一个广泛应用的领域就是信息解释。在这一领域中,数据从分布环境中的各个结点获取,结点间进行协同,根据知识解释数据,以产生一致而且正确的环境模型。在这方面,美国的DREA, AI&-DS都取得过一定的成果。

特别是University of Massachusetts,在Daniel Corkill和Victor Lesser的领导下,将早期的HEARSAY-II扩展为分布式环境,并通过这一环境探讨了分布式的负载平衡,结点间的协商及通讯策略、局部规划等问题。近年来,Lesser和Corkill致力于在车辆监控领域建立一个实验模型,其特点在于可改变结点间协同参数来改变协同策略。

CMU(卡内基梅隆大学)作为AI的一个重要研究中心,在Mark Fox的领导下,对信息解释进行了与University of Massachusetts相类似的项目。他们的工作是建立一个分布监视器网,这一工作包括首先建立一个分布式系统的程序环境,然后进行三个方面的研究。1)通讯导向的操作系统;2)具有可调约束的分布式数据库;3)对一组可移动的有声目标进行定位、识别及跟踪的监视实验。现已部分实现。

USC/ISI在分布式监视网方面所做的工作是模拟防空系统,所研制的实验模型已可以进行防空游戏,目标是把模拟攻击的危险减至最小,研究的目标是建立人一机对话系统。

· 机器人规划 DAI另一个重要的应用领域是机器人控制。在许多情况下,要求一组自治的机器人来协同完成任务。在这一过程中,需要有效地处理该领域中的复杂问题,包括其它智能实体(如人和机器)的活动。这使机器人规划构成了DAI应用的一个

理想领域。SRI和MIT在这方面都开展了工作。

SRI主要是对机器人规划进行理论研究。Kurt Konigse早期曾和Nils Nilsson一道进行过多施主规划的工作。并将STRIPS系统扩展到新的多施主环境,在此基础上,Konigse近期的工作着重于研究用一阶谓词逻辑来形式化描述多施主中的信念和愿望。这种形式化描述为不同施主间能够相互就信念、行为进行推理,以协调整体的行为规划。Nils Nilsson和Stan Rosenschein是SRI在DAI方面的领导者,目前的工作集中于研究机器人行为的“合理性理论”,这一理论是为了提供一个形式化的合一框架用于机器人行为的控制,其中心思想是一个合理的机器人,如果具有一组对它有利的行动状态集合,那么,它将朝着目标状态逐步实现上述状态的转移。这一理论的意义在于为多施主规划提供了一个协同结构的基础。Michael Georgeff的主要工作是在可移动机器人规划方面研究如何解决多施主之间的同步及冲突避免问题。SRI的上述工作大多是与领域无关的,其主要目标是在可移动机器人的环境中对上述理论进行研究。

MIT以机器人系统为背景的工作主要包括两个方面,一个是在Rand Davis领导下的关于“协同原则”的研究,目的是为机器人系统提供相互作用时可遵循的启发式准则,要求机器人规划应该是“坚定的”(对其它施主的行为不敏感)和“谨慎的”(减少干预其他施主的机会),为实现这些要求,他们设计了一个规划系统并且确定了一些原则如行为要可预见,先产生简单规划,运用领域知识来预见其它施主的下一步规划。另一部分工作是Reid Smith提出的“合同网”思想(这是他在stanford的论文中提出的),这一思想可用于构造一个分布式求解过程,其过程是,一个施主(自身有需要完成的任务)将任务向其它结点发布,其他施主选择可接受的任务进行响应,建立协议进行求解,这一思想

的不足在于分配任务的施主失败可能导致系统失败,同一任务可能有几个施主在执行,通讯量影响了效率等。另外,WiNiam Kornfeld主要是研究计算分布时,降低复杂性的算法。

• 组织管理 过去几年中,CMU的工作者们如Fox, Rashid, Reddy, Fitzgerald, Hibbard, Hoffman, Webb等,一直致力于研制一个能管理大型组织的系统(IMS——Intelligent Management System),这一系统的目标是使系统能够监视,模型化、管理并且优化诸如生产组织中的各种行为,这一系统可认为是高级的DAI网络。工厂环境被选做最初的应用领域,系统的一部分正在实现中。

• 自然语言理解 Ferrant曾经指出,DAI与自然语言理解(NLP)有两种方式发生联系。1)用分布式系统解决NLP问题;2)自然语言引导DAI系统中施主间的通讯。

University of Rochester的主要工作在1)方面。具体工作可分为两部分,一部分是研究“大脑的抽象联结模型”以解释监视器监视汽车的工作过程。这一工作包括研究低层视觉,抽象计算机问题,模型化汽车行为,其主要研究者是J. Feldman和D. Ballard,另一部分工作是研制一个用于“文本理解”的DAI系统(ARGOT),与其相关的还有两个系统。1)Word Expert Parsing(WEP);2)Exploded Connection Scheme。这些工作的主要研究者是Steven Small和Jams Allen。

Perrant和他在University of Toronto的同事主要从事2)方面的研究。“合同点”(Point of Contract)已被研制出来,这些工作促进了SRI和Stanford已进行的通讯理论研究。

• 办公室自动化 Fikes和Malone是Xerox研究中心在DAI方面的主要研究者。他们的工作首先集中在研究非形式化的协同工作的框架,这方面的典型例子是办公事务,研究的目的是发展在这类环境中能执行或支

持这类工作的系统。Richard Fikes对此提出的组织原则是：一个施主的任务要根据对其它施主产生并履行的义务来确定。Tom Malone的另一项工作是提出一个施主相互作用的经济模型。在这个模型中的施主可看成消费者/生产者，每个施主的“产品”根据需求来“开价”，最后竞争到最高定价。这一模型的不足在于为定价所需的迭代次数大大影响了效率。系统的工作目前尚处于研究阶段。

• 空中交通管制 Rand公司的研究者如 Robert Wesson, Frederick Hayd-Roth, McArthur, Steeb, Cammarata所进行的工作目标是研究合作原则，这些工作和MIT的工作有类似之处，但Rand公司的研究者们则采用更多的经验方法，他们对各种不同领域中的协同策略加以区分，并且评价每种策略的效率，他们所选择的第一个试验领域是空中交通管制，每架飞机看成一个施主，对不同的协同策略及通讯策略进行了测试。

• 操作系统 Stanford的Rosenschein, Genescreth, Gisberg, Sigh正在从事一项分布式操作系统及有关的工作。这一工作的目标是产生一个程序，将用户的高层目标转为局部操作系统可执行的低层目标，在这些工作中涉及到多施主在操作系统领域中协同的问题，研究的焦点是这些计算机如何相互作用以完成目标，其中也包括同步及任务分布等问题。

3. 其他工作

围绕着DAI的理论实现基础，如逻辑程序设计，并行逻辑程序设计及分布式的逻辑、函数程序设计、分布式结构等方面，欧洲、日本及美国的不少研究机构都开展了有意义的工作。

另外，对于DAI中颇具代表性的分布式专家系统，国外也开展了一些工作。

• 法国的INRIA Sophia-Antipolis设计了一个用于海港设计的基于协同专家系统的CAD系统。

• 美国Florida大学提出用分布式专家系统方

法建立一个VLSI的设计CAD系统。

• California大学(Los. Angeles, CA)提出了用于宇宙飞船的分布式专家系统的一种表示方法。

• 美国的Houston大学对于建立协同专家系统的理论问题进行了有关探讨。

• 我国DAI的研究刚刚起步。

DAI作为AI的一个新的分支，正受到人们越来越多的重视。关于DAI的研讨会，至今已举过8次，这些成果在AI杂志及SIGART Newsletter上都有所报道。另外，目前已出版了一个DAI的专著。但是，许多思想及方法还很不成熟，成功的应用则更为罕见。所以，要使DAI成为一门成熟的科学还有大量工作要做。

参考文献

- [1]. Daniel D. Corkill and Victor R. Lesser. The use of meta-level control for coordination in a distributed problem solving network. In the Proceedings of 8th IJCAI, pages 748-756. 1983.
- [2]. Mark S. Fox. The intelligent management system: an overview. In H. G. Sol, editor, Processes and Tools for Decision Support, North-Holland Publishing Company, 1983.
- [3]. Michael Georgeff. Communication and interaction in multi-agent Planning. In Proceedings of the AAI, pages 126-129. Washington, D.C. 1983
- [4]. Carl Hewitt. The apiary network architecture of Knowledge systems. In Proceedings of the 1980 Lisp Conference, Stanford Univ. 1980.
- [5]. Kurt Konolige. A first-order formalization of knowledge and action for a multi-agent planning system. Tech Note 232, SRI. 1980.
- [6]. Kurt Konolige and Nils J. Nilsson. Multi-agent planning systems. In Proceedings of the AAI, pages 138-142, Stanford CA, Aug. 1980.
- [7]. Vitor R. Lesser and J. Pavlin, and S. Reed. Quantifying and simulating the behavior of Knowledge-based interpretation systems. In Proceedings of AAI, Pages 111-115, Stanford, CA, Aug. 1980.

(下转40页)

管理的时候。对原型法来说需要快速的寻找和存取数据。如果数据目前没有管理起来,那么在原型法使用之前必须解决。

·在组织中的软件资源没有被组织和管理起来的时候。一个组织的MIS中已有的模型、模块、实用设施及程序等使用的难易程度对原型法的使用很关键。这些资源就象数据一样,必须能够容易地被所有的系统/建造者所共享。

·在MIS管理人员不希望安排专职的系统/建造者的时候。在开发阶段,原型法要求系统/建造者在整个过程检查他的判断,管理人员必须乐意把系统/建造者当作MIS的专业人员。

·在用户/设计者不希望把自己的时间花在应用系统的开发过程中的时候,也就是说,在用户/设计者不要系统也足以参与其自己的开发工作的时候。

5.3 应用原型法的成本和效益

在各个具体的组织中都必须考虑成本及效益问题,下面列出的所需成本及所得效益,则是所有组织要考虑的。

成本:

- 数据和软件资源的组织和管理。
- 第四代软件的获得——包括语言,关系DB-MS,屏幕发生器,等。
- 在使用原型法及有关工具时的系统人员培训。

·系统开发组织的重新组合。

·硬件成本。

效益

·对用户需求进行广泛响应的能力。

·珍贵资源的有效使用。

·在开发系统时,极大地减少MIS人员花费的时间。

·在用户专业人员和MIS专业人员之间进行有效的劳动力划分

·增加用户的应用系统满足程度及得到这种满足所需要的努力

·及时地解决了高层管理人员对信息系统(D-SS)需要的能力。

·原型法给MIS专业人员提供了一种重要的提高其工作效率和生产率的途径。

根据以上所有事实,尽管组织在没有具体实现原型法之前得承担原型法的主要费用,但当原型法实现以后,效益会大大地超过成本。组织可以租用软件和硬件资源,用原型法进行有限的试验而不需要投入大量的资金,因此原型法能成为比LCDM更吸引人的一种开发方法选择。

参考文献(共20篇,略)

[谢 寅译自<DISCUSSION PAPER

#227, Indiana University>1983.

仲 源校]

(上接20页)

- [8]. Elaine Rich, Artificial Intelligence. McGraw-Hill Book Company, 1983.
- [9]. Jeffrey S. kosenstein, Synchronisation of multi-agent Plans. In Proceedings of AAAI, Pages 115-119. Pittsburgh, PA, Aug. 1982.
- [10]. SIGART Newsletter, A Quarterly Publication of the Association for Computer Machinery Special Interest Group on Artificial Intelligence. No 73 Oct. 1980 PP. 42-52, NO 80 Apr 1982. PP13-23, NO 84 Apr 1983 PP3-12.
- [11]. S. L. Small, Viewing word expert parsing as linguistic theory. In Proceedings of the 7th IJCAI, Pages 70-76, Canada, Aug 1981.
- [12]. Reid G. Smith. The contract net protocol, high-level Communication and control in a distributed problem solving. IEEE Transactions on Computer C-29(12):1104-1113, Dec. 1980.
- [13]. Reid G. Smith and Randall Davis. Frameworks for cooperation in distributed Problem solving. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, SMC-11(1) 61-70, Jan. 1981.
- [14]. Keith S. Decker. Distributed Problem Solving Techniques: A Survey. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, SMC-17(5):729-740. 1987.
- [15]. V. Jagannatham and R. Dodhiawala. Distributed Artificial Intelligence: An annotated bibliography. SIGART Newsletter, PP 44-56. Jan. 1986.
- [16]. Edited by Michael N. Huhns. Distributed Artificial Intelligence. Morgan Kaufmann Publishers, Inc., Los Altos, CA. 1987.