

多代理系统及其在电力系统中的应用

刘红进¹, 袁 斌¹, 戴宏伟¹, 祁达才², 焦连伟², 倪以信¹, 吴复立¹

(1. 香港大学电机电子工程系, 香港; 2. 清华大学电机系, 北京 100084)

摘要: 多代理技术(multi-agent technology)是计算机技术、网络技术和分布式人工智能相结合的产物,是近年来新兴的计算机软件著作权技术之一。它为大量存在于科学计算、机械工程、生产控制、电子商务、企业管理和电力系统等广阔领域的复杂的分布式、开放式系统的设计和实现提供了新的途径和方法。文中对多代理技术的特征,相关的技术以及目前在电力系统计算和设计、电力市场及其仿真等方面的应用做了概要介绍。在其他方面的应用,如经济学领域,以参考文献的形式给出。

关键词: 多代理技术; 分布式人工智能; 网络技术; 电力系统; 电力市场

中图分类号: TP 31; TM 769

0 引言

随着分布式人工智能的需要和计算机技术的发展,近年来多代理技术(multi-agent technology)得到迅速发展并成为多学科交叉领域中的一个热门研究课题,为存在于科学计算、机械工程、生产控制、电子商务、企业管理和电力系统等领域的分布、开放式系统的设计和实现提供了新的途径和方法。

本文介绍多代理系统的基本原理和技术,并综述其在电力系统分析计算和电力市场及其仿真等方面的应用,对在其他领域的应用也做了简单介绍,以期起到抛砖引玉的作用。

本文所论述的多代理系统中的“代理”(agent)主要指软件代理(software agent),而不包括其他如智能机器人等物理或硬件形式的“代理”。

1 多代理技术的历史及其发展^[1]

多代理技术的思想可以上溯到近 20 年前,最初由分布式人工智能(distributed artificial intelligence,缩写为 DAI)和人工生命(artificial life,缩写为 AL)科学的发展需要而产生的。

20 世纪 70 年代末,美国的 Erman 和 Lesser 等人基于“黑板系统”(blackboard system,缩写为 BBS)模型,通过随机激活多个“专家”即多个知识源(knowledge sources,缩写为 KS)来求问题的解。知识源通过在一个共同的“黑板”区域进行信息和知识的存取和修改,并由一个控制器来解决不同知识源

同时访问黑板时产生的冲突。各个知识源可以独立地进行计算、分析等“思维活动”。然而,“黑板系统模型”中的“知识源”结构简单,通过“黑板”共享信息的方式访问效率较低,知识源之间不易实现交互协调。80 年代初,Lenat 等人在进一步的研究中又提出了通过“专家群”(community of specialists)来求解问题的想法。这一方法中的“专家”已经不同于简单的知识源,他们可以通过直接主动地咨询其他“专家”来取得及丰富自身信息,并在一个特别“专家”的协调下求取问题的解。与此同时,Hewitt 的并行编程和开放式系统的研究也取得了较大成果,并发展了用于不同“专家”间交互的通信语言,改善了他们的独立性和协作性,提高了求解问题的效率和系统的适应性。这是多代理技术的雏形。

80 年代中期到 90 年代初期,计算机网络技术的飞速发展和分布式人工智能的需要,多代理技术正式形成并进入工程应用。其中代表性的研究成果包括 Lesser 等人的分布式交通监查(distributed vehicle monitoring test,缩写为 DVMT)系统、Gasser 等人的 Mace 系统以及 R. Smith 等人在这领域所做的研究。这些研究不但从理论上对多代理系统做了进一步的探索,如提出多代理系统的合作协调机制、信息交换机制、工作(运算、推理)方法的基本原理、定义和方法等,而且在实际系统的开发中加以应用和验证。随着多代理技术研究体系的形成,相关的技术也逐渐成为热门的科研领域,出现了一批优秀的成果。例如,Jennings 和 Wooldridge 等人提出代理之间通信语言的标准,即知识查询与处理语言(knowledge query & manipulation language,缩写为 KQML);Rosenschein 等人研究运用多代理技术结合博弈论(game theory)应用于

经济方面取得了明显的效益。到了 90 年代中后期,多代理技术的理论逐渐丰富,应用日益广泛,出现了国际性的组织、会议,如 International Conference on Multi-Agent Systems(ICMAS)以及专门的教育学科,从而使多代理技术成为计算机技术、网络技术和分布式人工智能技术等多学科交叉的一个新的科研分支。

2 多代理技术的基本概念

2.1 多代理技术的定义和系统结构

软件代理实质上就是在一定的环境下,独立的、具有一定的自主性和推断能力、又能够和系统中其他代理通信交互以及能对周围的环境做出反应,从而完成一个或者多个功能目标的软件模块^[2]。

为了实现以上的目的,一个多代理系统一般由 3 部分组成:①具有不同或者类似功能的代理可以和其他代理交互,独立或者共同完成一定功能的软件代理。②提供各代理交互的友好环境,包括其他代理、其他计算机应用程序、计算机网络或其组合。各代理在该环境中进行交互以完成各自或者共同的目标。③各个代理之间的关系模型可以是相互合作、相互竞争,也可以是二者在不同阶段的组合。系统构成简图参见图 1。

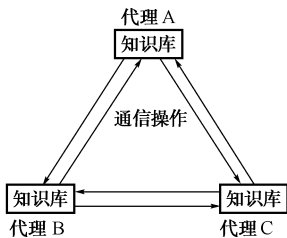


图 1 智能多代理系统简图

Fig. 1 Diagram of multi-agent system

总结来看,一个多代理系统中各代理的功能、目标可以完全不同,但需要有一定的联系;它们通过信息交换和操作交互,完成各自或者共同的任务。

对于单个软件代理,其典型结构参见图 2,主要包括 6 个部分:①人机界面,用于软件代理与用户的交互,如接受指令、显示任务完成情况等;②通信模块,用于和其他代理交换信息;③计算、分析和推理模块,是软件代理的“智能”核心;④语言包装和协调机制,将不同语言实现的软件模块封装、协调运行的机制,如 Java 中的 JNI;⑤知识/数据库,用于储存代理已有的知识、经验或者数据,这些数据来自与其他代理的交互过程或者以往处理过的问题;⑥总体控制管理模块,将以上各个模块整合为完整的软件代理协作运行模块。

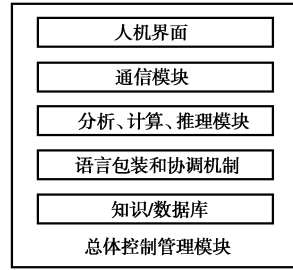


图 2 软件代理结构简图

Fig. 2 Structure of a software agent

2.2 多代理系统示例及特征

以一个用来安排会议的简单多代理系统为例^[3],来说明多代理系统的组成及特征。

在该系统中,位于领导者电脑中的软件代理通过和与会管理人员的软件代理进行信息交互来寻找与会人员的空余日程时段,从而完成会议时间安排的任務。系统中各软件代理之间相互独立,彼此间又有相互合作的关系。

公司的领导召集有关管理人员开会时将对运行于自己电脑的个人代理发出指令,说明希望会议将于何时举行,并给出会议持续时间长度、基本内容和与会者名单。于是该领导的个人代理将就时间问题咨询与会者个人电脑中运行着的软件代理,这些代理将按照内部储存的日程信息(知识和数据库),返回各与会者空闲时段的信息。会议召集者的个人代理再根据收到的回馈信息,确定具体的会议时间,并将有关信息报告给会议召集人,得到确认后,再将协商确定的会议信息通知给与会者的个人助理。收到消息的其他个人助理代理将此会议安排填写到日程表,并自发通知与会者。

在整个过程中,我们假设与会者的日程表在各代理协调确定开会的这段时间内没有变化,而一旦有这种变化发生,有关代理应当能够自发通知会议召集者的个人代理,以便其对情况(环境)变化做出反应,主动与其他所有代理重新安排会议时间,更改内部日程记录并通知与会者。在这个例子中,各软件代理是独立的,并处于整个会议安排系统(包括人、其他代理及通信网络)的环境下,通过相互协调合作来完成会议安排任务;在环境条件如某个管理者的日程变化时,可自发地做出应变反应。当然,代理执行任务或者应变还要有一定的时间限制,无休止的通信和决断过程不但浪费资源,还会使代理变得毫无意义。比如用于负责飞机自动驾驶和起落控制的软件代理,如果没有一定的时效限制将十分危险。

因此可以看出,多代理系统中的代理一般具有以下特征^[4]:

a. 独立性:代理应当具有脱离人和其他代理的直接参与,通过自身掌握的知识或者对外部环境的感知而独立完成一定任务或者对自身的状态有一定程度的控制能力;

b. 群组性(社会性):代理应当具有在适当的时候与其他的代理或者人互相作用以协助其完成任务或者在需要的时候向其他代理提供信息的能力;

c. 应变能力:代理应当具有对周围环境改变(如其他代理的状态变化)的感知能力,并能够在一定时限内对变化做出反应;

d. 自发性:代理不只是被动地做出反应,还应当具有自发完成目标任务的能力。

多代理系统与专家系统的最大区别在于后者在具体处理(推理)某一问题时一般不与周围环境发生相互作用,不需要与其他系统或者代理相互协调或对抗;同时,系统的运行一般需要人的干预,不具备自发性。另外,代理与软件工程中的对象(object)的区别在于对象运行需要一个中心进程来控制,不具备分布性,不强调彼此间自发的协作/竞争及群组性。当然,多代理系统应尽量用面向对象编程的技术手段来实现,但二者在功能和性能上有本质区别。

3 多代理系统的实现及关键技术

由多代理系统的特征可知,其设计开发与计算机网络、软件工程等技术密切相关,甚至有学者认为:“代理包含 99% 的计算机科学,1% 的人工智能”。

多代理系统的设计目前尚未标准化,但有以下关键问题应予以认真考虑:

a. 多代理系统的平台开发。该平台不仅要能够把分散的代理组合在一起,为其提供运作的环境,而且要提供灵活、可靠的通信机制,使代理间可以自由地进行信息交流,共同合作或者相互竞争,完成各自或者共同的任务。

伴随多代理系统的研究和应用,出现了多种不同的平台结构,有的研究机构和公司甚至专门进行多代理系统平台的设计,并推出了专用软件。其中应用较多的商用软件有 Reticular 系统公司的 AgentBuilder,国际知识系统公司的 AgentX 等,二者均以 Java 语言实现,具有计算机平台无关性。这些商用多代理技术软件平台的价格约在 500 美元到 5 000 美元之间。除此之外,还有研究部门开发的多代理系统平台。如麻省理工学院的 Hive,英国电信实验室的 Zeus 以及斯坦福大学的 JATLite 等。这些平台也大多用 Java 语言实现。但在应用中缺乏商业公司的服务和保障,工具软件略显不足。

在多代理系统开发中,也可以自己创建平台,但除非出于专门研究的目的,否则最好采用成熟的平台以确保系统可靠性,取得较好的技术和功能支持,减少开发时间,节省投资和便于系统扩展。

b. 用于代理间通信的语言或者协议。标准化的通信语言不仅可以使代理在本系统中自由通信,还可以使其在不同系统之间较为容易地移植甚至实现不同多代理系统之间的通信(尽管现在看来还没有这个要求)。然而,目前并没有统一的多代理通信标准。对于软件代理来讲,目前的通信语言标准即为前文提到的 KQML,有关内容可以参看文献[5]。

c. 多代理系统中各个代理的结构和功能设计及编程。这里需要考虑:代理知识库的模式,对可能的环境变化应当采取的反应,与人、系统内的其他软件代理和应用程序的关系,以及可以完成的任务或目标。

一般来讲,设计多代理系统要尽量减少代理间的通信流量,同时,通信内容及相对的反应要精心设计,以免发生死锁或者死循环对系统运行造成阻碍。此外还要注意保持系统的鲁棒性和灵活性,避免非关键性代理离线即导致系统瘫痪的问题产生。

代理的应用程序应当选取合适的编程语言。如前文所述,多代理系统除了要完成分布式任务之外,还应当能够将已经存在的使用不同的计算机语言或者处于不同的硬件平台的应用程序进行包装,从而使这些系统可以相互协调运作,在达到多代理系统功能的同时能够节省重新编写内部应用软件或者软件平台移植的时间和费用,从而节省大量投资。基于以上的考虑,尽管目前并没有规定多代理系统专用的编程语言标准,但事实上大多数系统均以 Java 语言编写^[6]。这一语言属于面向对象的编程语言,具有计算机硬件和软件平台无关性,提供了对现存其他语言程序的包装机制,并有优良的网络通信、数据库通信等功能。

4 多代理系统目前的主要应用

凡是具有以下一方面或几方面特点的场所,均可以采用多代理技术:

a. 数据、控制和资源处于分布式环境,需要协调运作;

b. 系统中的软件模块相互独立但又相互通信,需要通过合作或者竞争方式实现某些功能或任务;

c. 用不同编程语言或者在不同硬件平台上实现系统需要的相互间协作完成的某些功能或任务,进而需要将原有的软件进行包装并增加通信功能。

现代电力系统,尤其是在电力市场出现之后,几

乎具有以上提及的所有特征,因此,由 90 年代初期开始,多代理技术已经开始运用于电力系统分布式计算和设计、电力市场计算和仿真等各个方面,并可望在与电力系统有关的研究中得到更为广泛的应用。在商业决策支持和企业流程控制等方面,多代理技术的应用则更早些,涉及的领域也相当广泛。

4.1 多代理技术在电力系统计算和设计领域中的应用

多代理技术在电力系统计算和设计中的应用开始于 20 世纪 90 年代初,也就是多代理系统刚付诸应用的时期。到本世纪初期,其应用已经遍及分布式负荷预测计算、电力系统保护系统设计与仿真、动态环境中的电力系统故障定位以及大型电力系统控制中心分布式系统等方面。以下分别予以概括介绍。

4.1.1 短期负荷预测

短期负荷预测是能量管理系统(EMS)发电计划的一个重要部分。然而,要综合考虑各种负荷波动因素并取得比较精确的结果并不容易。Tsai 和 Chen 在 1992 年提出利用多代理技术^[7],采取分布式计算和分段整合的方法进行较精确的负荷预测。

众所周知,负荷波动在不同的时间受不同因素的影响,各种因素影响的权重并不完全相同。Tsai 和 Chen 提出的方法的基本思想是在分布式计算环境下采取不同的负荷预测方法,在软件代理的协调控制下将所得结果与负荷历史数据做比较,并采用与历史数据(图形)最为接近的计算结果作为负荷预测值,将各个软件代理的计算结果分段整合,从而取得整体上较为精确的预测,而所需的计算时间也大大降低。需要注意的是,该负荷预测方法的提出尚处于多代理技术应用的初期,因而在论文中软件代理尚称为知识源,代理间的信息共享和交换也通过“黑板系统”来进行。短期负荷预测系统模型见图 3。

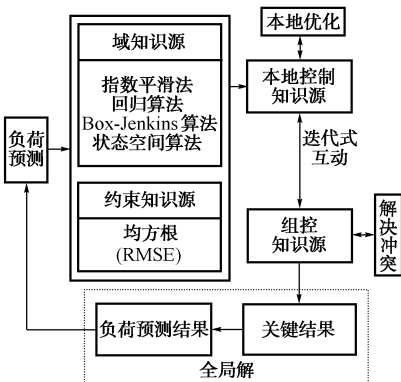


图 3 短期负荷预测中的多代理系统应用
Fig. 3 Multi-agent technology applications in short-term load forecasting

域知识源负责采用不同的算法进行运算,本地控制知识源负责计算结果的收集和检索,组控知识源由本地控制源收集检索到的结果,优化负荷预测并将结果发还给约束知识源进行校验,必要时由域知识源进行进一步的负荷预测优化。系统的详细描述请参见文献[7]。在文献[7]的计算机测试中,负荷预测结果与实际负荷需求的百分比误差均低于 0.96%,并且总体运算速度比传统方法快 1.5 倍,且相关的历史数据(湿度、风力、日类型等)越完备,负荷预测误差越小。

4.1.2 考虑安全约束的最优潮流计算

长期以来,考虑安全约束的最优潮流算法一直是电力系统计算领域内一个具有挑战性的课题。1994 年, Talukdar 和 Ramesh 提出了基于多代理技术的安全约束最优潮流算法^[8]。该方法基于以下 3 方面的基本前提:①电力系统中的严重故障可以以故障校正时间(correction time)来表述,而不只局限于硬约束;②该故障清除时间约束被附加到最优潮流并将该最优潮流的求解分解成较快的小规模优化问题;③应用多代理技术,由软件多代理对每一个小规模优化问题并行求解并最终整合。

在 Talukdar 和 Ramesh 设计的软件多代理系统中,各个代理除了包含传统的最优潮流算法之外,还包含了称为探测算法的新算法,用来为传统计算方法生成起始点。软件代理之间采用异步通信的方式,从而可以使各代理并行运算而不打断或延迟相互运作。有关该系统的详细信息和测试参见文献[8]。测试结果表明,这一基于多代理技术的设计在处理电力系统故障计算以及其他全局优化问题方面具有较大的潜力。

4.1.3 动态电力系统故障定位

1995 年, Lekkas 等人^[9]提出了将多代理技术应用于动态电力系统环境中的故障定位,通过将复杂问题分解,应用不同的软件代理协调求解,以实现动态电力系统中的自动故障定位,并满足一定的精度和计算速度要求。

图 4 所示为文献[9]中故障定位采用的“信息分层”(information-level decomposition)系统分解方法。通过分解,问题的求解难度得到降低,在多个软件代理并行运行的情况下,故障定位的速度和准确性得到提高。图 5 所示为该系统所应用的不同代理。需要指出的是,用户界面代理的目的是为整个系统提供一个和用户非同步交互的界面,从而在人机交互方面实现模块化和较大的灵活性。由于篇幅所限,有关整个系统及计算机测试结果分析的详细内容可参见文献[9]。

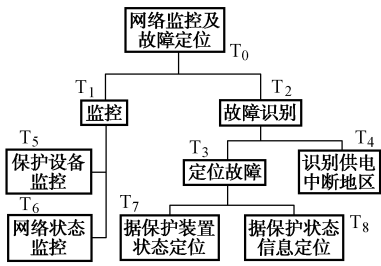


图4 信息分层故障定位示意图

Fig. 4 Information-level decomposition in fault identification

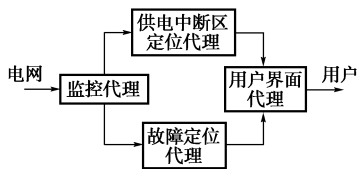


图5 故障定位系统软件代理组织结构

Fig. 5 Multi-agent system in fault identification

4.1.4 电力系统保护设计

在1995年“能量管理和电力输送”国际会议以及1996年“智能系统在电力系统中的应用”国际会议上, Wong 和 Kalam^[10,11]提出将多代理技术应用于电力系统保护设计、分析和评估,以实现自动化,同时也可以作为保护系统人员进行培训的工具。

电力系统保护设计大多基于已有设计方案或经验, Wong 和 Kalam 系统中的软件代理主要采取称为基于事件的推理(case based reasoning)的方法,即首先在各自维护的历史设计方案中提取可以应用于新设计的组件(components),必要时才从头开始。同时,每一次的新方案都将存入软件代理的历史库,成为可以再次应用的新经验方案。这样的设计方法使得保护系统设计不必每次均由基本原理做起,并且基本实现了设计自动化,从而节省了设计的时间和成本,设计周期也相应加快。

Wong 和 Kalam 系统中的软件代理大致有3种类型:第1种称为启动代理(initiator agent,缩写为IA),负责整个系统与外界系统或者用户的界面交互和信息接收,在系统中只有1个;第2种称为方案代理(case agent,缩写为CA),代表电力系统中需要装设保护设备的不同组件,在该系统中有多个;第3种称为控制代理(control agent,缩写为ConA),负责各个CA间的协调和最后设计方案的整合。保护系统设计要求由用户提交给IA并由其分解成多个小规模问题后发送给适当的CA进行方案设计,并由ConA负责CA间的协调,CA完成后再经由ConA将设计方案组合,作为提交给用户的最后方案。各个代理间的信息交换通过“黑板系统”来进行。

显然,采用多代理技术完成这一任务相对于传统的在单一计算机上由一个系统串行完成相应的任务而言,更加灵活、有效和优质。这也是多代理技术得以广泛应用的重要原因。

该系统的结构和软件代理间的信息流向见图6,有关该系统的具体论述请参考文献[10,11]。

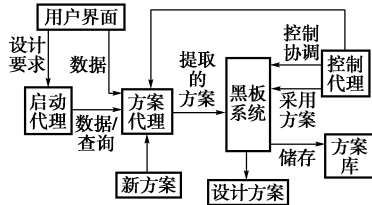


图6 基于多代理技术的电力系统保护设计系统方案

Fig. 6 System structure of the multi-agent based power system protection design system

4.1.5 多代理技术在电力系统控制中心的应用

随着多代理技术的不断发展,其应用范围逐渐扩大,应用规模也不断增长。多代理技术在电力系统控制中心的应用由Azevedo等人^[12]在2000年发表。Azevedo等在文章中认为,随着当前电力系统的发展尤其是电力市场的建立,电力系统的控制逐步由集中式转向分布式,而不断增长的电力系统规模和不断进步的计算机技术对控制中心的要求也越来越高。在这样一种趋势下,势必要以分布式系统来代替原有的以EMS为中心的集中式系统。作者在文中认为未来控制中心需要解决的问题主要有以下几个方面:

a. 由于对目标、方法和需求的不断评估及新需求的出现,要求控制系统具有动态适应的特征,从而要求其软件的设计具有较高程度的模块化以及易于跟随情况的变化而进化;

b. 系统各组成部分的灵活性和能动性要求控制中心可以承受运算负荷的较大变化;

c. 由于经济性的要求,未来电力系统需要在接近临界状态运行,从而要求控制中心要尽可能地提高操作和控制的精度;

d. 计算机技术和软件技术的飞速发展,要求控制中心的软件系统有高度模块化的特征,易于适应技术的发展,延长控制中心(软件)的寿命;

e. 分布化的趋势,作者认为当前地理位置集中的控制中心必将逐渐由不同公司和合作者组成的小规模的分布式的控制实体取代,使得控制计算软件也必须符合这一分布性趋势的要求。

针对以上考虑,Azevedo等人提出由面向任务(task-oriented)的软件多代理系统取代原有的集中式的EMS的建议,由不同的软件代理系统地控制

需要执行的不同任务和功能,并通过人机界面代理与用户进行良好的交互。

这一提议中描述的“面向任务”的软件多代理系统示意图见图 7,详细论述参见文献[12]。

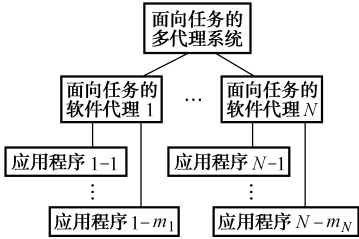


图 7 面向任务的多代理系统
Fig. 7 Task-oriented multi-agent system

4.2 多代理技术在电力市场及其仿真中的应用

近年来,电力系统解除管制和垄断已经成为全球趋势,各个国家和地区按照需求,纷纷建立或者计划建立各自不同模式的电力市场。电力系统逐渐由垄断和集中中央决策走向个体化竞争和分散决策,产生了很多新的研究课题。在这样一种开放性和分散性的环境下,多代理技术凭借其优势,在电力市场计算和仿真方面有着极为重要的应用前景。

4.2.1 在电力市场环境下载电网扩建中的应用

在电力市场环境下,无论是投资还是能量交易,应当在满足系统安全约束和用户输电要求的同时,各市场参与者均争取各自的利益最大化。这就需要充分考虑市场信息及自身的生产成本等因素,在市场运营期间要有适当的投资策略。

一般来说,在复杂的电力市场环境下,依靠纯粹的双边贸易谈判和传统的集中式优化决策软件计算,上述目的难以实现。1998 年,Yen 和 Wu 等人^[13]对于研究输电系统扩建计划形成联营的过程提出利用多代理技术的解决方案,即用软件代理模拟输电系统计划的参与者,考虑输电要求和系统建设成本,各个代理内部进行独立计算并通过网络进行信息交换,运用博弈理论,综合考虑不同联营组合的成本和效益,从而得到令人满意的结果。1999 年发表的文章中,Yeung 和 Wu 等人^[14]又将多代理技术应用于市场多边交易,由不同的软件代理代表不同的市场参与者进行博弈竞争,最终形成交易合作(partnership)各方。有关系统结构和算法的详细论述请参考文献[13,14]。

4.2.2 在电力市场仿真中的应用

90 年代,电力系统解除管制成为全球的趋势,形成了许多电力市场。电力市场交易中各个市场参与者的决策软件模块既相互独立,又可以在市场运营的过程中进行交互。而市场运营部门则要对参与

者的投标进行协调,最后决定市场结清价和发电计划。依据前文阐述的多代理系统的特征,它在电力市场及其仿真应用中具有优势。

1999 年,文献[15]首先提出将多代理技术应用于电力市场仿真的思想。文献[16]通过对各种市场结构和多代理技术的研究,对该系统重新进行了设计,初步实现了基于多代理技术的通用的电力市场仿真器,其结构见图 8。该系统采用 JATLite 多代理系统平台,系统中不同的软件代理分别代表发电公司、配电公司/用户、电力交易所(PX)和独立系统运行部门(ISO)。各代理具有各自独立的运算/决策支持模块和知识/数据库,并通过通信路由进行交互,以完成各自的功能。整个系统的结构和各代理间的关系还可以依照市场结构的要求进行变化,运算模块可以按照市场参与者的要求灵活变换,从而满足不同的仿真要求。该仿真器可以模拟不同的电力市场模型,研究电力电价投标策略及市场参与者之间的相互影响,较为全面和真实地模拟市场参与者的行为,从而既可供市场参与者和市场研究人员进行决策支持研究和市场力作用研究,也可以为市场运营人员提供有力的培训工具。有关该电力市场仿真器的详细信息请参见文献[16]。

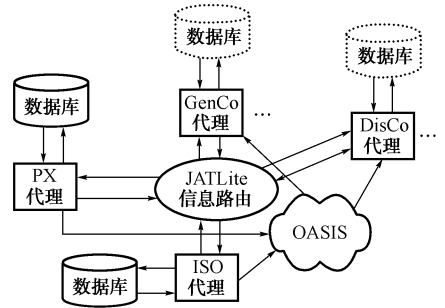


图 8 基于多代理技术的通用电力市场仿真器基本结构
Fig. 8 A general-purpose power market simulator based on multi-agent technology

多代理技术在其他领域,例如商业决策支持系统^[17,18]、企业工业流程设计和资源配置^[19~23]、通信系统仿真^[24~27],以及前文提到的用于协调公司内部运作的个人助理系统、人事管理系统、邮件管理系统、用于娱乐的游戏系统、用于计算机网络管理的网络安全和网络流量控制系统等,有着广泛的应用。本文不予详细介绍。

5 结语

多代理技术是由计算机技术、网络技术和人工智能等多学科交叉而形成的新兴分支。

尽管多代理技术在电力系统中的应用仍然处于

初步阶段,但其在电力系统尤其是电力市场中有着广阔的应用前景,值得我们进一步研究和探讨。

参 考 文 献

- Jacques F. Multi-Agent Systems: An Introduction to Distributed Artificial Intelligence. New York: Addison-Wesley, 1999
- Franklin S, Graesser A. Is It an Agent, or just a Program? A Taxonomy for Autonomous Agents. In: Proceedings of the Third International Workshop on Agent Theories, Architectures and Languages. Budapest (Hungary): Springer-Verlag, 1996
- Woo Seok Jeong, Jeong Seob Yun, Geun Sik Jo. Cooperation in Multi-Agent System for Meeting Scheduling. In: Proceedings of the IEEE Region Conference TENCON'99. 1999. 832~835
- Wooldridge M. Agent-Based Software Engineering. IEE Proceedings—Software Engineering, 1997, 144(1): 26~37
- UMBC Lab for Advanced Information Technology. UMBC KQML Web. <http://www.cs.umbc.edu/kqml/>
- Sun Microsystems Inc. The Source for Java Technology. <http://www.javasoft.com>
- Tsai R, Chen J L. Design of a Distributed Problem-Solving System for Short-Term Load Forecasting. In: Proc of the 35th Midwest Symposium on Circuits and Systems. 1992. 395~399
- Talukdar S, Ramesh V C. A Multi-Agent Technique for Contingency Constrained Optimal Power Flows. IEEE Trans on Power Systems, 1994, 9(2): 855~861
- Lekkas G P, Avouris N M, Papakonstantinou G K. Development of Distributed Problem Solving Systems for Dynamic Environments. IEEE Trans on Systems, Man and Cybernetics, 1995, 25(3): 400~414
- Wong S K, Kalam A. Development of a Power Protection System Using an Agent Based Architecture. In: Proc of International Conference on Energy Management and Power Delivery. 1995. 433~438
- Wong S K, Kalam A. Distributed Intelligent Power System Protection Using Case Based and Object Oriented Paradigms. In: Proc of International Conference on Intelligent Systems Applications to Power Systems. 1996. 74~78
- Azevedo G P, Feijo B, Costa M. Control Centers Evolve with Agent Technology. IEEE Computer Applications in Power, 2000, 13(3): 48~53
- Yen J, Yan Y H, Wang B J, et al. Multi-Agent Coalition Formation in Power Transmission Planning. In: Proceedings of the Thirty-First Hawaii International Conference on System Sciences. 1998: 433~443
- Yeung C S K, Poon A S Y, Wu F F. Game Theoretical Multi-Agent Modelling of Coalition Formation for Multilateral Trades. IEEE Trans on Power Systems, 1999, 14(3): 929~934
- Lam Y C, Wu F F. Simulating Electricity Markets with Java. In: Power Engineering Society Winter Meeting. 1999: 406~410
- Liu H, Yuan B, Dai H, et al. Framework Design of a General-Purpose Power Market Simulator Based on Multi-Agent Technology. In: IEEE PES 2001 Summer Meeting. 2001
- Buttman R H, Moukas A G, Maes P. Agent-Mediated Electronic Commerce: A Survey. Software Agents Group Workpaper, MIT Media Lab, 1999
- Yen J, Chung A, Ho H, et al. Collaborative and Scalable Financial Analysis with Multi-Agent Technology. In: Proceedings of the 32nd Annual Hawaii International Conference on Systems Sciences. 1999
- Gorodetski V, Lebedev A. Multi-Agent Technology for Planning, Scheduling, and Resource Allocation. In: Proceedings of International Conference on Multi Agent Systems. 1998. 429~430
- Roche C, Fitouri S, Glardon R, et al. The Potential of Multi-Agent Systems in Virtual Manufacturing Enterprises. In: Proceedings of Ninth International Workshop on Database and Expert Systems Applications. 1998. 913~918
- Cost R S, Finin T, Labrou Y, et al. An Agent-Based Infrastructure for Enterprise Integration. In: Proceedings of First International Symposium on Agent Systems and Applications and Third International Symposium on Mobile Agents. 1999. 219~233
- Debenham J. Controlling a Web-Based Workflow System. In: Proceedings of the 1998 IEEE International Symposium on Intelligent Control (ISIC), Held Jointly with IEEE International Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation (CIRA), Intelligent Systems and Semiotics (ISAS). 1998. 588~593
- Pechoucek M, Marik V, Stepankova O. Coalition Formation in Manufacturing Multi-Agent Systems. In: Proceedings of 11th International Workshop on Database and Expert Systems Applications. 2000. 241~246
- Praca I C, Ramos C. Multi-Agent Simulation for Balancing of Assembly Lines. In: Proceedings of the 1999 IEEE International Symposium on Assembly and Task Planning (ISATP'99). 1999. 459~464
- Papp Z, Hoeve H J. A Multi-Agent Based Modeling and Execution Framework for Complex Simulation,

- Control and Measuring Tasks. In: Proceedings of the 17th IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference (IMTC). 2000. 1561~1566
- 26 Chpudhury R R, Bandyopadhyay S, Paul K. A Distributed Mechanism for Topology Discovery in Ad Hoc Wireless Networks Using Mobile Agents. In: First Annual Workshop on Mobile and Ad Hoc Networking and Computing. 2000. 145~146
- 27 Burmeister B, Haddadi A, Matylis G. Application of Multi-Agent Systems in Traffic and Transportation. IEE Proceedings— Software Engineering. 1997, 144(1): 51~60

刘红进,男,硕士研究生,研究方向为电力市场仿真。

袁 斌,男,博士,研究方向为电力系统仿真、电力市场。

戴宏伟,男,博士,研究方向为电力市场。

MULTI-AGENT SYSTEM AND ITS APPLICATION IN POWER SYSTEMS

Liu Hongjin¹, Yuan Bin¹, Dai Hongwei¹, Qi Dacai², Jiao Lianwei², Ni Yixin¹, Wu Fuli¹

(1. The University of Hong Kong, Hong Kong, China)

(2. Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Multi-agent technology is a new multi-discipline research field regarding computer technologies, network technologies and distributed artificial intelligence. It is one of the strongest tools for constituting large-scale distributed and open computer-based systems which are widely needed in the fields of scientific computing, mechanical engineering, electronic commerce, enterprise management and power systems. In this paper, an introduction of this state-of-the-art technology with its application in power system computation and system design, and power market simulation is presented. Its applications in other fields, e. g. economics, are also given in brief with references.

This project is supported by National Key Basic Research Special Fund of China (No. G1998020305), RGC of Hong Kong Government and CRCG of the University of Hong Kong.

Keywords: multi-agent technology; distributed artificial intelligence; network technology; power systems; power market