

# 电力市场仿真系统的多智能体结构体系研究

赵波, 曹一家

(浙江大学电气工程学院, 浙江 杭州 310027)

**摘要:** 随着电力工业市场化的不断深入, 电力市场仿真系统对竞价策略的研究、市场运行的分析、电力市场操作人员的培训起着巨大的作用。该文提出了一种基于多智能体系统(MAS)体系结构和 CORBA 技术的电力市场仿真平台的设计方案, 详细分析了将多智能体技术和 CORBA 技术应用于仿真平台设计的灵活性和优越性, 该方案能够满足对不同电力市场模型研究的需求, 符合电力市场仿真系统稳健、灵活、可靠、互操作性强的要求。

**关键词:** 电力市场仿真系统; 多智能体系统; CORBA 标准

**中图分类号:** TM73; F123.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2004)23-0032-04

## 0 引言

近 10 年来, 电力工业正经历着重大的变革。无论是从国际发展趋势还是从国内经济改革的进程来看, 传统上垂直一体化的电力工业正逐渐分解成为相互竞争的实体, 打破垄断、引入竞争机制、降低成本、提高效率, 以使社会资源得到最优的配置, 已是大势所趋<sup>[1]</sup>。在新的环境下, 电力工业正面临着一系列新的、复杂的问题有待解决。为了能够较好地解决这些问题, 电力市场仿真系统在近几年得到了国外电力市场研究人员的足够重视。文献[2, 3]对构建一种通用的电力市场仿真系统给予了详细的论述。文献[4]是基于 Java 和 Agent 技术对加州电力市场进行仿真研究。国内这方面的文献相对较少, 文献[5]进行了基于 CORBA 和 Agent 技术的电力市场仿真平台的研究。本文基于前人的研究成果, 提出了兼具构件技术和 Agent 技术两者优点的电力市场仿真系统的多智能体系统(MAS)体系结构。该方案的仿真系统能够针对不同的市场参与者提出的不同的市场模型进行仿真, 并具备稳健、灵活、可靠、互操作性强的特点。

## 1 电力市场的参与者

本文所研究的电力市场仿真系统应能够对各种不同类型的电力市场模式进行仿真。因此, 典型的电力市场应该包括独立调度中心、市场交易中心、发电公司、买电公司等不同的模型, 如图 1 所示。各模型的功能如下:

1) 独立调度中心模型。它主要负责输电网络

的调度、阻塞管理、电网实时安全运行, 同时也是购买辅助服务的市场交易中心, 并且负责辅助服务交易后的结算。

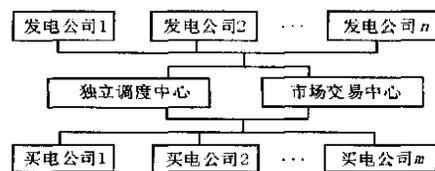


图 1 典型电力市场结构图

Fig. 1 Typical power market architecture

2) 市场交易中心模型。它主要对供电公司 and 买电公司提供竞争性的交易平台, 组织提前一日和提前 1 h 的竞价, 根据其报价规则, 决定最后的清算价格和成交电量, 并负责发布交易信息和进行交易后的结算。

3) 发电公司模型。发电公司在电力市场中的目标就是不断调整自己的竞价策略, 使自己获得最大的利润。因此它需具备预测电价和负荷、平衡长期合同与短期合同、规避风险、内部机组的最优调度等功能。

4) 买电公司模型。买电公司的目标也是通过竞价策略使其获得最大的利润。因此它也需具备预测电价和负荷、平衡长期合同与短期合同、规避风险等功能。

## 2 MAS 技术

多智能体系统(MAS)是分布式人工智能(DAI)的研究热点。它研究的是一组在逻辑上或物理上分离的 Agent 之间行为的协调, 各个 Agent 具有一定的

独立解决问题的能力,他们通过彼此之间的协商共同完成比较复杂的任务。一个 MAS 通常由如下几部分构成:

- 1) 多个已存在的 Agent。
- 2) 多 Agent 间的联合意图 (joint intention), 即多个 Agent 联合参与行动以完成其共同承诺的行为。
- 3) 常识 (common sense), 即 Agent 间的公共知识。
- 4) 公共行为规范, 与单个 Agent 的 (局部) 行为规范相识, 它规定了多 Agent 在实现系统的联合意图时应该或将要采取的行动。
- 5) Agent 赖以生存的环境, 如为 Agent 提供通讯设施的网路、其他实体以及与 MAS 进行交互的用户等。

多 Agent 协调与协作是 MAS 研究的核心问题。近几年国内外的一些文献对此问题提出了一些价值较高的理论与方法。但是, Agent 合作机制和产生合作机制的条件、多 Agent 的合作策略以及用多 Agent 间的有效联盟机制来提高多 Agent 求解问题的能力、建立在非协同域前提下的进化协商模型, 以期最大程度地解决 Agent 间的冲突、多 Agent 社会法则的自动产生机制等问题尚需进一步的研究<sup>[6]</sup>。

由于 MAS 具有自治、分布、适应、灵活、开放、动态等特点, 非常适合表示和实现复杂电力市场中各成员 (如发电公司、配电公司、大用户、输电公司等) 之间的合作、协调、竞争的市场行为, 因此采用 MAS 结构对电力市场仿真系统进行构造不失为一种理想的选择。

MAS 开发需要强调的一个关键问题是 Agent 之间的通讯问题, 因为它是 Agent 之间进行协调与合作的基础。电力市场仿真系统中, 各 Agent 之间的通讯语言采用当前较为流行的 KQML (Knowledge Query and Manipulation Language), 它能较好地支持 Agent 成员之间的信息和知识的共享。

### 3 构件技术

电力市场仿真系统应该具有很强的可扩展性、应用系统与支撑平台的相容性、系统的网络互联应用接口的开放性以及人机一体化 GUI 友好交互性等特点, 而且电力市场仿真系统应该设计为具有“即插即用”的特点, 使其可以方便地与其它应用软件实现互联与互操作。因此, 采用构件技术可以实现灵活的接口定义, 执行代码运行时刻的联编/载入, 支持异构分布应用程序间的互操作性及独立于平台和编

程语言的对象重用。

CORBA (Common Object Request Broker Architecture), 即公共对象请求代理体系结构, 是构件技术的 3 大流派之一。它是由 OMG (Object Management Group) 组织制定的一个分布式对象互操作的工业规范。目前, OMG 组织有 800 多个成员, 在主要的操作系统平台上都由 ORB (Object Request Broker) 实现, 通过 IOP (Internet Inter - ORB Protocol) 可以实现不同厂商 ORB 的互连。CORBA 定义了 IDL 中性语言, 并建立了 IDL 向 C、C++、Java 等语言的映射, 因而能够支持多种语言。

CORBA 的优势在于分布异构环境下的互操作以及访问位置的透明, 并且 ORB 提供了很好的通讯基础, 但是 CORBA 的互操作基于对象引用, 一旦网络环境发生变化, 这种互操作性可能无法满足可靠性方面的要求; 而 MAS 的长处在于相互之间的协作与服务能力, 以及领域之间的互理解能力。它们两者的结合使用, 可以使原有电力系统的软硬件重用, 也可使各异构 Agent 更具灵活性和适应性, 易于维护和扩展, 以适应电力市场环境的快速变化。因此本文结合了这两种技术, 提出了电力市场仿真平台的 MAS 结构。

## 4 电力市场仿真系统的 MAS 结构

### 4.1 基于 CORBA 的 Agent 结构

本文在设计 Agent 的体系结构时, 结合面向对象的技术。虽然与面向对象相比, Agent 具有更高的抽象层次, 强调了系统的自主性和系统相互交互的规范性。但是面向对象技术的许多优点如封装、继承、多态性依然是很好的设计风范而应以继承。综合两者的优点, 并结合 CORBA 标准, 我们设计了基于 CORBA 的 Agent 系统。该 Agent 的体系结构分为两个层次: 逻辑通讯与控制层和功能实现层, 通过 CORBA 对象接口把它们联系起来, 如图 2 所示。

逻辑通讯与控制层的核心是 Agent 的推理机制, 由它对 Agent 定义的规则并根据 Agent 的当前运行状态进行解释执行。逻辑通讯与控制层提供了 Agent 最基本的功能, 如处理 Agent 之间的通讯和对 Agent 的规则进行解释和执行。CORBA 对象接口把 CORBA 对象组织在一起, 通过 CORBA 对象接口, Agent 的能力可以随时进行扩充。逻辑通讯与控制层采用 Java 来实现, 这样使得 Agent 能够适应异构环境的要求。Agent 之间的通讯全部采用 KQML 的标

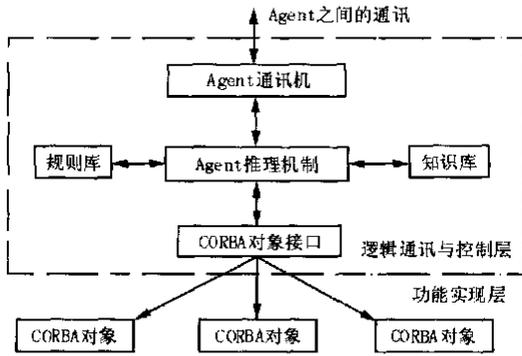


图2 Agent的分层结构

Fig.2 Hierarchical structure of each Agent

准形式。Agent间的交互功能由系统的逻辑通讯与控制层提供,底层的传输采用了Java提供的RMI (Remote Method Invocation)技术。Agent的逻辑通讯与控制层和CORBA对象之间的交互通过CORBA对象接口提供相应的转换接口,负责把从CORBA对象发送的信息封装成KQML消息的标准形式,然后交给逻辑通讯与控制层处理。Agent和用户之间的交互也是通过CORBA对象进行的,此时的CORBA对象可以是GUI应用程序。

功能实现层为电力市场仿真系统中各个子任务,如电网最优调度、阻塞管理等等,它们被作为一个CORBA对象来设计。各CORBA对象相互独立,它们之间没有直接的联系,隶属于同一Agent的各CORBA对象之间的联系是通过CORBA对象接口来进行的。采用这种设计方法,可以使得CORBA对象的可重用性大大增强。各CORBA对象的实现没有要求,可以采用C++、Java等编程语言实现。

#### 4.2 电力市场仿真系统的MAS结构

电力市场仿真系统能够对不同的市场参与者进行仿真,并且能够适应不同的市场环境,MAS适合模拟这样的系统,因此本文提出一种基于MAS体系结构的电力市场仿真系统。在该MAS结构中,面向任务的Agent之间的耦合是松散的,任务规划是动态的,适合互操作性高、环境变化不可预见等情形。如图3所示,整个系统可以分为CORBA封装层、Agent层和Agent协调层3个层次。

CORBA封装层是指在各电力市场参与者内部采用CORBA技术对现有的遗留应用系统(Legacy System)进行封装,封装后的遗留应用系统功能是以一组可供调用的CORBA对象体现出来的,而这些CORBA对象最终将通过上层Agent的行为体现出来。

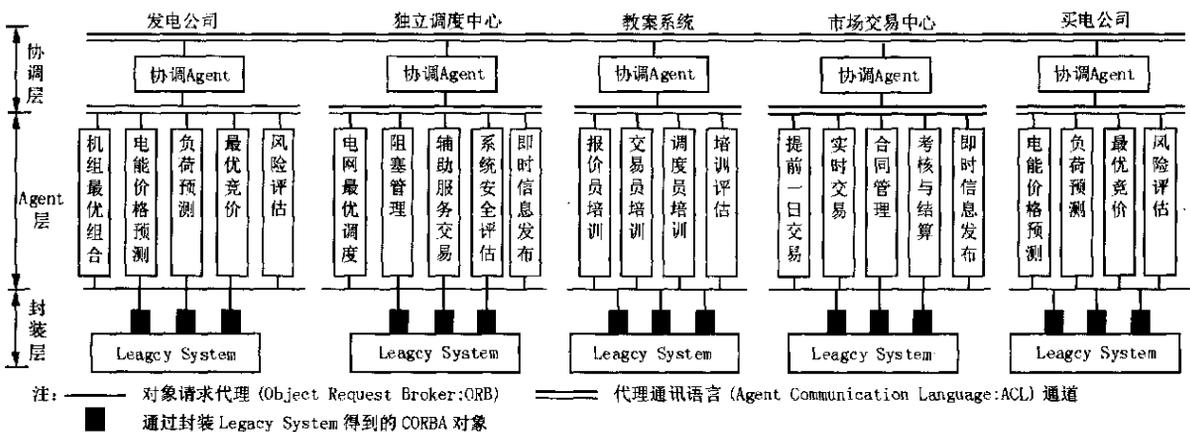


图3 基于MAS和CORBA技术的电力市场仿真系统体系结构

Fig.3 Infrastructure of the simulating system based on MAS and CORBA

Agent层则是在已有系统封装的基础上,应用Agent技术按照电力市场各参与者的应用需求开发配置而成。这里主要根据发电公司、买电公司、独立调度中心、市场交易中心、教案系统在电力市场仿真系统中所表现的基本功能来进行开发配置。下面将对其进行详细介绍。

独立调度中心的功能由5个Agent的行为体现出来。他们分别是:电网最优调度Agent、阻塞管理

Agent、辅助服务交易Agent、系统安全评估Agent、即时信息发布Agent。根据市场交易中心提交的各个发电公司成交电量,电网最优调度Agent运行最优调度程序进行电网调度。阻塞管理Agent分析该调度是否存在电网阻塞,若存在,进行阻塞管理。安全评估Agent主要是保证电网实时安全运行。独立调度中心也是辅助服务市场的交易中心,辅助服务交易Agent主要负责购买辅助服务和辅助服务交易后

的结算。最后,即时信息 Agent 将发布电网的运行信息和辅助服务的市场信息。

市场交易中心的提前一日交易 Agent 和实时交易 Agent 根据发电公司和买电公司提交的竞标曲线,计算市场的清算价格和成交电量。同时合同管理 Agent 和考核与结算 Agent 对各合同进行监督管理和交易完成后的结算。市场最终的交易信息由即时发布 Agent 来完成。

发电公司的目标就是不断优化自身的竞价策略,以便获取最大的利润。根据历史数据库,负荷预测 Agent 和电能价格预测 Agent 协调运作,预测下一交易时段的负荷和电价,并指导发电竞价 Agent 向市场交易中心提交最优的竞价曲线;风险评估 Agent 将会指导发电公司平衡合同电量和提前一日交易电量,从而趋避风险;机组最优调度 Agent 根据市场交易中发布的最终成交电量信息,运行最优机组组合或者最优潮流模块,使得其成交电量在发电公司内部得到最优的分配。

买电公司的目标也是使其利润最大化。负荷预测 Agent、电能价格预测 Agent、最优竞价 Agent、风险评估 Agent 与其发电公司相对应的各 Agent 功能相同。

教案系统能够对不同的人员提供仿真平台。报价员培训 Agent、调度员培训 Agent 和交易员培训 Agent 主要针对发电公司或者买电公司的报价员、独立调度中心的调度员和市场交易中心的交易员的行为进行仿真,并且能够对培训过程进行控制,可监视培训人员的操作并处理培训人员的误操作。培训评估 Agent 主要是对培训过程的回放、重演和评估。

协调代理层主要针对通过专门的各电力市场参与者间的协调 Agent 对电力市场各参与者之间的合作进行协调,充分体现电力市场的最终目的:通过引入竞争机制,协调发展,使得社会福利最大化。

#### 4.3 电力市场仿真系统的实现

由于 Internet 的高速发展,利用 Internet 作为通讯手段(当然可以根据各参与者的具体情况采用载波、微波、电话拨号、卫星、专线等通讯方式),采用 B (Browsers) / S (Server) 结构体系构建电力市场仿真系统<sup>[1]</sup>,并且用三层模型来实现。在客户端和服务端之间加进一个中间层,即应用服务层,这样对中间层应用服务级别上的管理大大增加了分布式应用的伸缩性和灵活性。客户端只需要有 IE 和 Netscape

浏览器,是零安装,不同地区的市场参与者都可以通过 Web 对其进行试验和仿真,充分体现了平台无关性、易用性,宜于升级,可在不同的地方进行试验和仿真。

## 5 结论

随着电力市场化改革在我国的不断深入,电力市场的运行特点、各参与方在市場中的策略行为都将对各参与方的利益产生重大的影响,电力市场仿真系统将为研究这些问题提供一个实用的工具。本文提出了一种基于 MAS 体系结构的电力市场仿真系统,为电力市场仿真系统的深入细化研究提供了一个总体思路。

## 参考文献:

- [1] 李佳道,刘亚安,管晓宏(LI Jia-dao, LIU Ya-an, GUAN Xiao-hong). 电力市场仿真的系统设计及实现(System Design and Practice for the Electrical Power Market Simulation) [J]. 空军工程大学学报(Journal of Air Force Engineering University), 2003, 4(2): 87-90.
- [2] LIU Hong-jin, YUAN Bin, DAI Hong-wei, et al. Framework Design of a General-purpose Power Market Simulator Based on Multi-agent Technology[A]. Power Engineering Summer Meeting. 2001. 1478-1482.
- [3] Atif D, Charles H, Wu Y C. Effective Electricity Market Simulators[J]. IEEE Computer Applications in Power, 2001, 14(1): 29-34.
- [4] Lam Y C, Wu F F. Simulating Electricity Markets with Java[A]. IEEE Power Engineering Winter Meeting. 1999. 406-410.
- [5] 张知良,楚丰,游大海,等(ZHANG Zhi-liang, CHU Feng, YOU Da-hai, et al). 一种基于 CORBA 和 Agent 技术的电力市场仿真平台的研究(Research on a Simulating Platform of Electricity Markets Based on CORBA and Intelligent Agent Technology) [J]. 电力系统及其自动化学报(Proceedings of the EPSA), 2002, 14(4): 29-31.
- [6] 曹一家(CAO Yi-jia). 多 Agent 系统协调理论中的几个关键问题(Some Important Problems in Coordinative Theory of Multi-agent System). 技术跨越与高新技术产业发展(Technological Leapfrog and Development on Hi - New Technology Industry) [M]. 北京: 中国科学技术出版社(Beijing: China Science and Technology Press), 2001. 21-22.

收稿日期: 2004-03-22; 修回日期: 2004-07-22

(下转第 57 页 continued on page 57)

京:电子工业出版社(Beijing: Publishing House of Electronics Industry), 2000.

路平(1979-),男,硕士研究生,研究方向为电力系统运行与控制; E-mail: luping@mail.sdu.edu.cn

梁军(1956-),男,教授,主要从事电力系统运行与控制方向的研究。

收稿日期: 2004-03-15

作者简介:

### DSP and CHLD based real-time and synchronous measurement device for power system

LU Ping, LIANG Jun, YUN Zhi-hao, LIU Yr-tian

(School of Electrical Engineering, Shandong University Jinan 250061, China)

**Abstract:** The functional characteristics and hardware configuration of a newly developed device for real time and synchronous measurement are introduced. To reduce the CPU's burden, complex programmable logic device (CHLD) is utilized to realize phase locking, import GPS, and send out sampling pulse. In order to reduce the quantity of wire and raise reliability and stability of the device, I/O interface and programmable function of CHLD are used to implement the function of various logic devices by compiling software of CHLD. The digital signal processor (DSP) is used to realize control and mathematics operation. The mixed programming technology of DSP not only fully exerts its powerful digital signal processing ability, but also shortens the developing period of the device. This device can meet requirements of systems real-time and synchronous measurement, and also can be applied in other online monitoring fields.

**Key words:** CHLD; DSP; GPS; synchronous measurement

(上接第 35 页 continued from page 35)

作者简介:

赵波(1977-),男,博士研究生,研究方向为智能优化算法和多智能体技术在电力系统中的应用; E-mail:

zhaobaozju@zju.edu.cn

曹一家(1969-),男,教授,博士生导师,主要研究方向为电力系统优化与控制、进化计算与计算智能。

### Research on the MAS architecture of power market simulating system

ZHAO Bo, CAO Yr-jia

(College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

**Abstract:** With the development of power industry restructuring, the simulating system plays an important role in studying bidding strategies, market operation and market operators training. This paper provides a simulating system based on multi-agent system (MAS) and CORBA technology. Moreover, the advantages of using multi-agent system and CORBA in the simulating platform are discussed in detail. The novel simulating system can be used on various market models, which is in accordance with the demand of the stability, flexibility and reliability.

**Key words:** power market simulating system; multi-agent systems; CORBA criterion

(上接第 39 页 continued from page 39)

### A new method of single-phase measurement for power system harmonics

ZENG Jian-yong, REN Zhen

(Electrical Power College, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

**Abstract:** Based on the instantaneous reactive power theory, this paper presents a new harmonic detecting method in contrast to the methods which involve  $d-q$  transform and can not work under unbalanced currents. This is a single-phase measurement that multiplies the amplitude of fundamental current of a line by a sine signal which has the same phase with the current. With simpler block structure and improved algorithm, the proposed method performs well both in single-phase circuits and three-phase circuits. The simulation shows that this method is of real-time and accuracy under both balanced and unbalanced three-phase currents.

This project is supported by National Natural Science Foundation of China(No. 50337010).

**Key words:** harmonic measurement; single phase; unbalanced three-phase currents