

文章编号:1000-582X(2008)04-0421-05

多 agent 的短期负荷预测系统

张 谦¹, 俞集辉¹, 李春燕¹, 李 克²

(1. 重庆大学 输配电装备及系统安全与新技术国家重点实验室, 重庆 400030;

2. California Independent System Operator, Folsom, CA, 95630, USA)

摘要:将智能主体(agent)技术应用到短期负荷预测系统中,提出了基于多 agent 的负荷预测系统的功能分层模型。针对如何从 web 页面提取有用的数据并将其集成并入到数据库中这一重要问题,提出结合 agent 技术将 HTML(hypertext markup language)页面转化为 XML(extensible markup language)数据源的方法,使得在论文提出的功能结构中,数据采集层除具备基本的数据采集功能外,同时具备集成 web 页面的数据信息到系统数据库中的功能。给出了功能 agent 的实现方案。最后以一个实例证明了该方法的有效性。

关键词:短期负荷预测;多 agent 系统;电力市场;CORBA(common object request broker architecture)技术

中图分类号:TM732

文献标志码:A

A short-time load forecasting system based on multi-agent system

ZHANG Qian¹, YU Ji-hui¹, LI Chun-yan¹, LI Kenny²

(1. State Key Laboratory of Power Transmission Equipment & System Security and New Technology, Chongqing University, Chongqing 400030, P. R. China; 2. California Independent System Operator, Folsom, CA, 95630, USA)

Abstract: Agent technology was applied in a short-time load forecasting system and a layered model was proposed based on the load forecasting system. In order to develop a means of extracting useful data from web page and integrate the data into a database, a useful method was given which can transfer an HTML page into data source for XML using agent technology. Thus, in functional structures, the data gathering layer possesses the basic function of gathering the data, and the function of extracting useful data from web pages and integrating the data into system database. A scheme of an agent function module was obtained and was confirmed by a real example.

Key words: short-time load forecasting; multi-agent system; power market; common object request broker architecture technology

负荷预测是电力系统调度和计划部门安排购电计划和制定运行方式的基础,是保障电力系统安全和经济运行的一项重要手段。准确的负荷预测不仅可以帮助电力企业经济地安排电网发电机组的起

停,合理制订机组检修计划,减少不必要的旋转储备容量,保证电网运行的安全稳定性。同时是建设电力市场,实现促进电网和供电企业参与市场竞争,提高电力行业经济效益和社会效益的基本工作内容之

收稿日期:2007-11-30

基金项目:重庆市自然科学基金资助项目(CSTC 2006BB3213)

作者简介:张谦(1980-),女,重庆大学讲师,博士研究生,主要从事电力市场、电力工程与优化技术的研究,
(Tel)023-65106007;(E-mail)zhangq411@163.com。

欢迎访问重庆大学期刊网 <http://qks.cqu.edu.cn>

一。当电网公布的负荷预测数据(指用户侧需求负荷)偏高,将导致系统边际电价过高,直接影响到电网的经济效益;负荷预测数据如果偏低,将导致系统边际电价过低,直接影响到电厂的经济效益。因此,在电力市场运行模式下,负荷预测工作对保证电网运行的经济性尤为重要。迄今为止,电力负荷的预测理论和方法有了很大的进展^[1-9],同时涌现出许多新的理论和方法,如时间序列分析法、模糊理论、人工神经网络、混沌时间序列预测等。上述方法都需要大量的数据做支撑,通过对海量的历史负荷数据进行处理、“学习”(learning),从而准确预测出短期负荷。

近年来,agent 技术已被逐步应用于电力市场的研究中^[10-13],但将其应用于短期负荷预测的研究还不多见。笔者将 agent 技术应用于短期负荷预测系统中,首先提出了基于多 agent 的短期负荷预测系统的功能分层模型。针对如何从 web 页面提取有用的数据并将其集成并入到数据库中这一重要问题,提出结合 agent 技术将 HTML(hypertext markup language)页面转化为 XML(extensible markup language)数据源的方法,使得在提出的功能结构中,数据采集层除具备基本的数据采集功能外,同时具备集成 web 页面的数据信息到系统数据库中的功能。随后,详细论述了各功能 agent 模块的实现方案以及各功能模块间的通信方式,最终以实例证明了该方法的有效性。由于重点在于应用 agent 技术进行数据的采集和处理,故在数据处理层,笔者直接采用文献[9]提出的方法进行短期负荷预测。

1 多 agent 系统简介

agent 是人工智能领域中的概念。agent 可以进行推理、决策和问题求解,是一种具有智能的逻辑单元。agent 可以是一个计算机软件,也可以是一个硬件系统。在分布式领域,人们通常把分布式系统中持续自主发挥作用的,具有自主性、交互性、反应性、主动性特征的计算实体称为 agent。agent 技术为解决新的分布式应用问题提供了有效途径,也为全面准确地研究分布式计算系统提供了合理的概念模型^[14]。

多 agent 系统通过 agent 本身的求解活动和相互之间的交互活动,构成系统的群体活动,从而实现系统整体的功能或目的;同时,每个 agent 也在这种交互的过程中实现了自己的功能或目的。基于 agent 的分布式计算系统的工作方式与基于对象技术的系统相比,在物理意义上更接近于实际系统。多 agent 系统为解决复杂、分布式环境下的交互问题提

供了新的认识视角和理论框架,为复杂系统的建模、分析、设计和实现提供了一条新的途径^[15]。

2 短期负荷预测系统功能分层模型

短期负荷预测系统的功能包括了从数据采集到负荷预测结果输出等各个方面,该系统可划分为几个通用的功能层,这些通用功能层可以共同表示一个完整的短期负荷预测系统,但是每层的内容需要根据实际应用确定。其结构如图 1 所示。

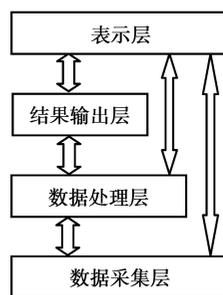


图 1 短期负荷预测系统功能分层模型

每一层都具有向其它任何功能层请求和发送数据的能力,也就是说信息既能从下层传到上层,也可以从上层传到下层。数据的流动通常只发生在临近的功能层间,但是在实际的应用中考虑到信息处理的效率,数据可能越过中间层而直接传到目的层。另外,各层数据都可以直接传递给表示层以进行人机交互。

目前,网络信息越来越丰富,在电力市场中,大部分数据也都是通过网络发布,因此,发电公司的决策人员也越来越关心怎样把有用的 web 数据信息集成到系统的数据库中。但是,如何从 web 页面提取有用的数据并将其集成并入到自己的数据库中一直是一个难题。作为 web 页面信息的主要载体,HTML 无法提供管理数据的标准方式,即在数据管理方面的功能明显不足。HTML 标记几乎不含任何数据信息,很难支持对数据的搜索,即 HTML 只描述页面的外观形式而不能显示其数据。随着 XML 的快速发展,已有许多组织针对上述问题提出了将 HTML 页面转换为 XML 数据源的方法。XML 文档不仅包括用户感兴趣的数据,同时也包括数据的结构信息和其它相关的元数据。XML 可被视为一种半结构化数据模型,它能方便地将 XML 的文档描述与关系数据库中的属性一一对应起来,实现精确的数据查询与模型抽取。因此,通过将 HTML 页面转化为 XML 数据源可将 web 数据集成到系统的数据库中。但是,该方法的难点在于如何实现信息检

索(information research, IR)和信息抽取(information extraction, IE)功能。利用软件 agent 技术可实现将 HTML 页面转化为 XML 数据源,即完成提取 web 页面信息的功能,具体过程如图 2 所示。其中,信息检索 agent 实现搜索与用户需求相关的 HTML 页面的功能;信息抽取 agent 实现对有用信息抽取的功能,即首先定制生成 XML 元数据的模板,然后将 HTML 页面的相关数据填充到 XML 元数据模板中并形成 XML 数据源,再通过自动提取便可导入到数据库中。因此,在功能分层结构中,数据采集层除了具备通常的数据采集功能外,还具备集成 web 数据信息到系统数据库中的功能。

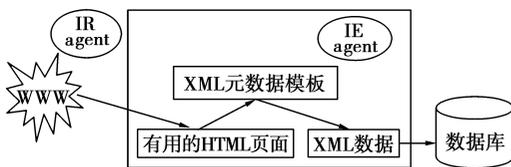


图 2 HTML 页面转化 XML 数据源的过程

3 功能模块的实现

3.1 功能模块结构设计

软件 agent 的结构主要包括慎思主体结构、反应主体结构和混合主体结构。慎思主体采用传统的知识处理技术,对主体拥有的知识进行符号表示和处理,因而可以进行推理求解以解决决策和规划等复杂问题。反应主体通过规则库为环境刺激和动作反应建立了映射,因此可以对简单的问题进行快速反应处理。混合主体是以上两者的结合。在本系统中,功能 agent 需要对信息进行推理求解,因此属于慎思主体。agent 的信息刺激来源于黑板系统,agent 内部主要是对黑板上的任务进行处理。agent 功能模块的结构如图 3 所示。

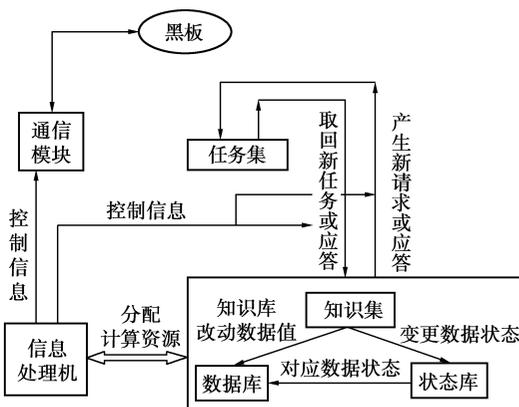


图 3 功能模块结构框图

3.2 agent 的知识库实现过程

agent 软件不同于一般程序的特点在于它具有自主性,它能控制自身的内部状态。而在功能 agent 中,所谓的内部状态信息主要是与其实现功能相关的数据和状态。在实现时,可在 agent 内部建立数据库,数据库中存储的主要是实现其功能时需要用到的数据信息。状态库是和数据库一一对应的,它给出了数据库中每个数据变量的当前状态,从而实现功能 agent 对当前信息状态的把握。

同时,为完成特定的任务,agent 不仅需要知道该任务涉及的数据信息,还需要掌握任务完成的方法,因此在实现时建立了知识库,由它存储完成各种任务的相关知识,且采用模块化方法针对每个模块的具体情况选择合适的知识表示方法。一个新任务的具体实现流程可以表示为图 4。

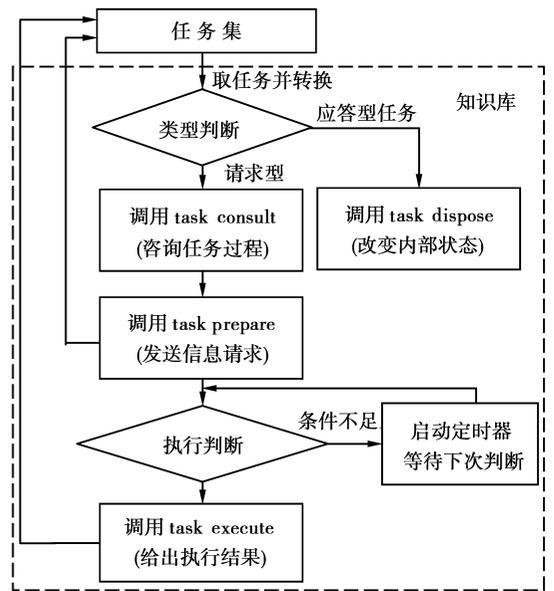


图 4 任务的执行过程

知识库完成新任务的步骤主要有:1)在处理机控制下,从任务集中取出新任务,再送入知识库后进行任务格式转换;2)判断新任务的类型,即确定是请求型还是应答型;3)对请求型任务,知识库先进行任务信息咨询,如完成该任务的信息充足则执行任务并完成,当信息不足则产生相应信息请求并送入任务集中,此任务暂时挂起,直到完成该任务的条件满足后,接着继续执行任务并完成;4)对应答型任务,知识库分析任务内容并更改自身内部状态。

4 系统通信的实现

在上节中,给出了功能模块的设计,但是不同类型的功能模块为了共同完成某项任务需要相互配合

和协调,因此,在系统的运行中,进程间的通信是必须解决的问题。

4.1 通信方式设计

主体通信方式可以分为黑板系统和消息/对话系统。黑板系统是人工智能中议事日程的扩充,黑板提供了公共工作区,主体可以在此交换信息、数据和知识。在黑板系统中,主体间不发生直接通信,每个主体独立完成它们答应求解的子问题并通过特定协议实现主体间的消息交互。因本系统中涉及的模块数目较少,所以系统通信容量较小,故选择黑板系统实现通信功能。

4.2 通信语言设计

目前国际上著名的主体通信语言(agent communication language)包括美国高级研究计划署(advanced research projects agency, ARPA)在知识共享计划中提出的 KQML(knowledge query and manipulation language)和 KIF(knowledge interchange format)语言。KQML 定义了主体间传递信息的标准语法以及一些“动作表达式”,它采用了“协议栈”思想并可分成内容层、消息层和通讯层。KIF 则为信息的内容提供了一种语法,它基本上是用类似表处理(list processing, LISP)的语法书写一阶谓词演算。考虑到 KQML 语言的分层优越性和广阔的应用前景,各功能 agent 之间的交互内容采用 KQML 语言来表示。在交互时,各 agent 都将信息送往黑板并通过对黑板的访问获取属于自己的信息。

5 实例分析

在本文提出的预测系统中,按照设计要求,主要的功能模块包括数据采集 agent、数据处理 agent 和结果输出 agent。其中每个 agent 对应一个程序,所以整个预测系统涉及到 3 个功能程序。在实现了上述的功能模块后,增加了一个管理程序,它可以实现对这 3 个模块的管理,诸如负责它们的启动和停止等,使得每个模块能正常运行。在该系统中,各个功能模块各自独立完成自己的任务,同时相互协作,其独自完成任务的结果最终构成了共同任务的结果。

在数据库中已存储了加州市场 2002 年 1—3 月每天 24 点的历史负荷数据。为了验证本文方法的有效性和可行性,对 2002 年 4 月 2—8 日一周的负荷进行了预测,其预测结果如图 5 所示。从图中可以看出,预测曲线与实际曲线基本吻合。在为期一周的预测当中,最大相对误差为 5.33%,误差控制在 1% 以内的点达到 71.43%,误差控制在 2% 以内的点达到 89.29%,超过 3% 的点仅为 8.93%,且基

本位于电力负荷曲线的折叠处。

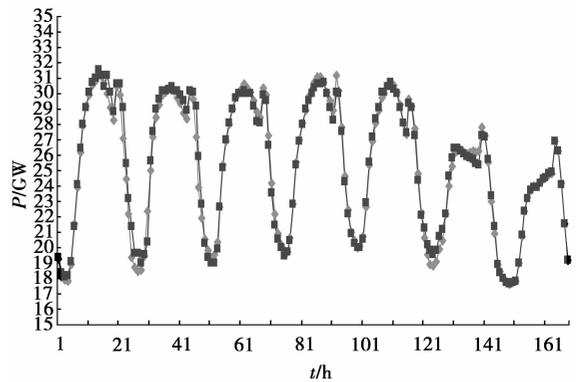


图 5 2002 年 4 月 2—8 日预测曲线与实际曲线对比图

另外,由于该系统的信息采集层除具备基本的数据采集功能外,还具备及时提取有用页面数据信息的功能。因此,通过数据采集层,能够获取相关网站上最新发布的信息,从而使得在数据库中不仅存储历史的数据,同时得以存储最新的数据。在进行负荷预测时,数据处理层不仅可以调用数据库中以往存储的相关信息,而且能够调用最近、最新的数据。通过数据处理 agent 对以上数据进行“学习”、处理,系统可预测出第 2 天的负荷曲线。图 6 即为系统得出的 2007 年 4 月 12 日 24 h 负荷曲线与加州 ISO 公布的当天实际负荷曲线的对比图。图中,虚线为本系统得出的负荷预测曲线,实线为加州 ISO 公布的实际负荷曲线。

从图 6 可以看出,系统得到的负荷预测曲线与当天的实际负荷曲线也是基本吻合的。计算可得,最大相对误差为 3.33%,出现在负荷曲线的折叠处,绝大部分时刻的相对误差不超过 3%。预测结果证明了本系统提供的信息的可靠性。



图 6 负荷预测曲线与实际负荷曲线对比图

6 结 语

将智能信息处理技术应用于短期负荷预测中,

提出了基于多agent的短期负荷预测系统的功能分层模型。在该功能结构中,数据采集层除具备基本的数据采集功能外,提出了结合软件agent技术将HTML页面转化为XML数据源的方法,实现了将web页面的有用数据信息集成到系统数据库中,大大增强了数据采集层的功能。最后以一个实例证明了该方法的有效性。

参考文献:

- [1] 张智晟,孙雅明,王兆峰,等. 优化相空间近邻点与递归神经网络融合的短期负荷预测[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23(8): 44-49.
ZHANG ZHI-CHENG, SUN YA-MING, WANG ZHAO-FENG, et al. A new stlf approach based on the fusion of optimal neighbor points in phase space and the recursive neural network[J]. Proceedings of the CSEE, 2003, 23(8): 44-49.
- [2] 康重庆,夏清,张伯明. 电力系统负荷预测研究综述与发展方向的探讨[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(17): 1-11.
KANG CHONG-QING, XIA QING, ZHANG BO-MING. Review of power system load forecasting and its development[J]. Automation of Electric Power System, 2004, 28(17): 1-11.
- [3] HAGAN M T, BEHR S M. The time series approach to short term load forecasting[J]. IEEE Transactions on Power System, 1987, 2(3): 25-30.
- [4] LIANG Z S. The short term load forecast of power system based on adaptive neural network[J]. Journal of Northeast China Institute of Electric Power Engineering, 1994, 14(1): 27-35.
- [5] 王志勇,郭创新,曹一家. 改进范例推理在短期负荷预测中的应用[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(12): 33-37.
WANG ZHI-YONG, GUO CHUANG-XIN, CAO YI-JIA. Improved case-based reasoning for short-term load forecasting[J]. Automation of Electric Power System, 2005, 29(12): 33-37.
- [6] 朱六璋. 短期负荷预测的组合数据挖掘算法[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(14): 82-86.
ZHU LIU-ZHANG. Short-term electric load forecasting with combined data mining algorithm[J]. Automation of Electric Power System, 2006, 30(14): 82-86.
- [7] 唐巍,谷子. 基于相关邻近点与峰谷荷修正的短期负荷时间序列预测[J]. 电力系统自动化, 2006, 26(17): 25-29.
TANG WEI, GU ZI. Short-term load time series forecasting based on correlative neighboring points and peak-valley correction[J]. Automation of Electric Power System, 2006, 26(17): 25-29.
- [8] 杨文佳,康重庆,夏清,等. 基于预测误差分布特性统计分析的概率性短期负荷预测[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(17): 47-52.
YANG WEN-JIA, KANG CHONG-QING, XIA QIANG, et al. Short term probabilistic load forecasting based on statistics of probability distribution of forecasting error[J]. Automation of Electric Power System, 2006, 30(17): 47-52.
- [9] 雷绍兰,孙才新,周隽,等. 电力短期负荷的多变量时间序列线性回归预测方法研究[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(2): 25-29.
LEI SHAO-LAN, SUN CAI-XIN, ZHOU QUAN, et al. The research of local linear model of short-term electrical load on multivariate time series [J]. Proceedings of the CSEE, 2006, 26(2): 25-29.
- [10] 袁家海,胡兆光. 基于智能体的电力合约市场协商模拟系统[J]. 电网技术, 2005, 29(11): 49-53.
YUAN JIA-HAI, HU ZHAO-GUANG. A multi-agent based negotiation simulation system for electricity contract market[J]. Power System Technology, 2005, 29(11): 49-53.
- [11] 邹斌,李庆华,言茂松. 电力拍卖市场的智能代理仿真模型[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(15): 7-11.
ZOU BIN, LI QING-HUA, YAN MAO-SONG. An agent-based simulation model on pool-based electricity market using locational marginal price[J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25(15): 7-11.
- [12] 刘梅招,杨莉,甘德强. 基于Agent的电力市场仿真研究综述[J]. 电网技术, 2005, 29(4): 76-80.
LIU MEI-ZHAO, YANG LI, GAN DE-QIANG, et al. A survey on agent based electricity market simulation[J]. Power System Technology, 2005, 29(4): 76-80.
- [13] 束洪春,唐岚,董俊. 多Agent技术在电力系统中的应用展望[J]. 电网技术, 2005, 29(6): 27-31.
SHU HONG-CHUN, TANG LAN, DONG JUN. A survey on application of multi-agent system in power system[J]. Power System Technology, 2005, 29(6): 27-31.
- [14] WOOLDRIDGE M J, JENNINGS N R. Intelligent agents: theory and practice[J]. Knowledge Engineering Review, 1995, 10(2): 115-152.
- [15] 方义,熊璋,王剑昆. 智能控制中的多Agent系统[J]. 控制理论与应用, 2006, 23(5): 810-814.
FANG YI, XIONG ZHANG, WANG JIAN-KUN. Multi-agent system in intelligent control [J]. Control Theory & Application, 2006, 23(5): 810-814.

(编辑 赵静)