

基于COM及多Agent技术的短期负荷预测系统开发

潘爱强, 严正, 贾燕冰

(上海交通大学电气工程系, 上海 200240)

摘要: 提出了一种新的负荷预测系统开发方法。通过引入COM和多Agent技术、采用B/S与C/S相结合的模式、数据库平台及文件转换平台的交互作用, 改善了负荷预测系统的实用性、可扩展性。基于该方法开发的负荷预测系统的运行经验及使用结果表明, 系统的可靠性、灵活性、鲁棒性、实用性及预测精度均有很大提高。

关键词: 短期负荷预测; 可扩展; 可兼容性; COM; 多Agent

Development of short-term load forecasting system based on COM and multi-agent techniques

PAN Ai-qiang, YAN Zheng, JIA Yan-bing

(Dept of Electrical Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: This paper proposes a new method for developing short-term load forecasting system. In order to improve the utility and expansibility of the load forecasting system, COM and multi-agent techniques combined with B/S and C/S modes are adopted in the system, data are transmitted by database and files mode between different level networks. A practical load forecasting system is developed based on these techniques, and the application experience of a regional power system in China shows that the employed techniques can improve the reliability, flexibility, robustness, practicability and the forecasting accuracy of the system.

This project is supported by National Natural Science Foundation of China(No.60474048 and No.90612018).

Key words: short-term load forecasting; expansibility; compatibility; COM; multi-agent

中图分类号: TM73 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2008)09-0048-06

0 引言

电力系统的负荷受政治、经济、气候等复杂因素的影响, 在本质上是不可控的, 准确的进行负荷预测, 对电力系统规划、编排调度计划、供电计划、交易计划、运行计划、机组负荷分配、水火电协调、机组经济组合和交换功率计划等具有非常重要的意义。随着电力体制改革, 电力市场环境下负荷预测的准确性、实时性、可靠性、智能性等都面临着更高的要求。

传统的负荷预测为人工预测, 预测结果的准确度受到预测人员的素质、分析能力和运行经验的影响, 具有很大的不确定性。随着计算机技术的应用, 逐步将具有一定分析功能的负荷预测软件引入了负荷预测, 且预测结果可以由具有经验的运行人员进行修正, 这种负荷预测方法综合了算法的科学性和预测人员的经验, 很大程度上提高了负荷预测的准

确性和可靠性。开发使用方便、界面友好、预测结果准确度高且可扩展的负荷预测软件成为了新的负荷预测方法实施的关键。文献[1]、[2]采用了传统的负荷预测软件设计方法, 可以满足最基本的预测需求, 但不具有可扩展性, 无法兼容最新的算法。文献[3]提出了在线的远程负荷预测服务, 但电力企业为保证信息安全采用内网结构, 信息系统相对封闭, 如图1所示, 其设计难以实现。文献[4]提出了全自动化闭环运行的负荷预测系统, 实现采集系统、负荷预测、上报计划自动闭环运行, 该方法忽视了使用者预测经验的重要性。

本文在分析现有电力企业网络结构、负荷预测算法发展及负荷预测软件使用要求的基础上, 提出了一种新的负荷预测软件的设计方法。基于COM技术可扩展的特性, 可以兼容新的负荷预测算法; 引入多Agent的技术, 集合各级电力企业的负荷预测提交系统, 各级使用人员可以参照下级单位的负荷预测值对本级预测结果做出合适的调整, 并提交上级参照, 实现了各级负荷预测的交互性及合作性;

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目 (No. 60474048, 90612018)

引入 B/S 与 C/S 相结合的模式, 利用数据库平台及文件转换平台的交互作用, 实现了负荷预测软件在电力企业内外网交互, 实现了在线的远程负荷预测服务。改进后的负荷预测系统具有更高的预测精度、可扩展性, 整个系统的可靠性、灵活性、鲁棒性、可用性较传统系统都有很大提高。

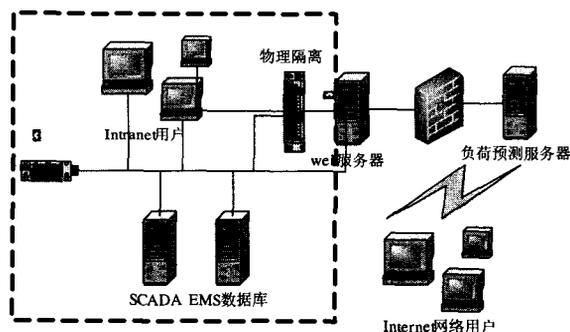


图1 负荷预测系统应用网络结构图

Fig.1 Net structure of a load forecasting system

1 系统设计

该系统运行在 Windows 环境下, 使用 SQL Server 作为数据库支持, Visual Basic 6.0 作为软件开发环境, Visual C++ 6.0 语言作为算法编程环境, 使用 COM (Component Object Model) 技术将用 C++ 语言开发的算法制作作为 COM 组件, 供 VB 所做的主程序调用, 实现算法组件化, 同时引入多 Agent 理论, 通过 Web 程序设计下级负荷提交考核系统, 扩展负荷预测软件的网络功能, 实现多语言, 多环境的合理结合, 发挥各自的优势, 形成相对独立而又通过数据库相连的模块, 为可扩展、可兼容提供了技术条件。

1.1 系统结构

负荷预测软件系统包括本地方式 (服务器端) 和网络方式 (客户端), 这两种方式功能的差异在于, 前者负责由 SCADA 数据库中读取负荷数据, 而后者可以通过网络对负荷或者预测结果等进行操作。在设计上, 这两种方式均可以对数据库进行不同权限的操作, 但对于数据库的连接方式互不相同, 服务器端软件是本地连接, 而客户端软件是通过网络远程连接的方式, 实现所有能在本地实现的预测功能, 大大方便了预测人员的使用。

1) 企业数据平台

负荷预测软件所需数据的来源与现有企业的 EMS、SCADA 和 MIS 系统, 通过数据池处理技术, 自动从各系统数据库中读取数据到数据池内。

2) 文件平台

由于内网物理防火墙及物理隔离的作用, 无法直接进行数据库访问, 本设计引入文件转换平台的技术, 将数据操作指令发送给内部的数据池, 通过文件的转换来实现企业内外网数据池的数据交换, 实现负荷预测远程进行。

3) 数据预处理

对负荷预测使用的数据进行先期处理, 包括对坏数据的检查修改, 对数据的预分析等, 这些数据经过处理之后存入数据库, 以供下一步的操作。

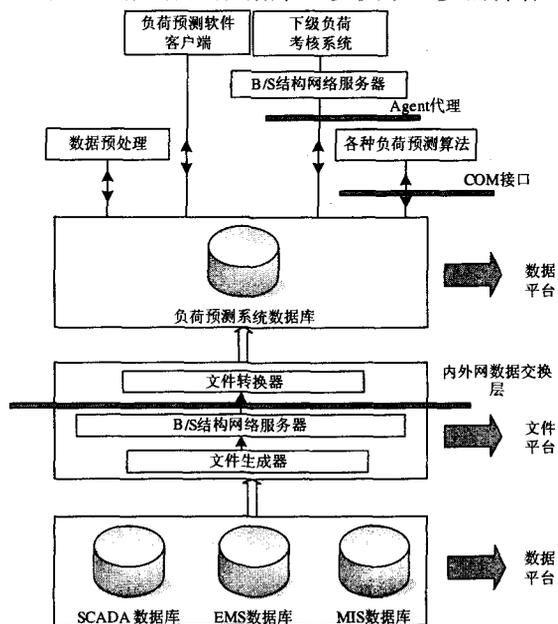


图2 短期负荷预测系统结构图

Fig.2 Architecture of short-term load forecasting system

4) 负荷预测算法

采用 COM 技术, 选用现有的算法进行负荷预测, 并将预测结果存入数据库, 同时根据历史上各种算法的预测精度决定组合预测算法中当前各个算法的权重, 进行组合预测。

5) 下级负荷提交系统

引入 Agent 技术, 下级单位作为一自主 Agent 分别对各自地区的负荷进行预测, 并将预测结果通过网络提交, 通过上级管理 Agent 实现对下级进行考核的功能, 下级 Agent 可以根据考核结果和掌握的信息资料调整以后的预测。管理 Agent 通过数据库与负荷预测软件系统形成交互, 来为预测提供参考。

1.2 程序流程

以该系统在某地区的使用经验为例, 地区供电公司要求下级单位在早上 9 点前提交其次日的负荷预测数据, 供电公司 10 点上报全区次日 9 点预测数据。采用以下流程进行

1) 早上 6 点, 系统自动从 SCADA 数据库中读取

前一日96点负荷数据。

2) 早上9点, 下级单位提交预测数据, 由程序自动进行综合, 显示给使用人员下级的负荷预测情况。

3) 使用人员输入其他信息(例如气象信息, 可预见性负荷变动等等), 按照现有的算法, 进行预测, 得出综合的预测的结果。

4) 与下级的预测信息相比较, 经过调整后向上级提交预测信息。

2 基于多 Agent 的下级负荷提交系统

2.1 Agent 与多 Agent 技术

Agent的概念源自人工智能学科, 代表了一种具有独立的问题求解能力和与环境其他Agent合作求解问题能力的自治实体, Agent作为自主的个体, 在一定的目标驱动下, 具有某种对自身行为和内部状态的自我控制能力。

多Agent系统是指一些Agent通过协作完成某些任务或者达到某些目标的计算系统, 这些Agent要协作解决超过各自单个能力的问题, 自主、分布运行, 各个Agent之间相互协同服务, 协调各自的知识、目标、技能、规划来产生相应行为或解决问题, 多Agent系统中要求各Agent具有自组织能力(如推论、规划、学习等)。所以多Agent中的Agent一般具有自主性、交互性和合作性、可变性和适应性、自发性的特征^[5]。

2.2 下级负荷提交系统

由于电力系统负荷的可加性, 综合各个地区的负荷情况显然会对负荷预测有很大帮助, 而且每个地区可以根据当地的具体情况做出具体化的调整和预测, 使预测的科学性也会有很大提高。每个下级用户作为一个自主实体, 可以根据本地区情况单独预测本地区负荷值, 并且将这些预测值提交给上级系统然后接受精度的考核。而上级用户则可以对下级各个单位的预测结果进行协调综合, 并通过考核的方式对每个下级用户给出反馈。下级根据考核结果和协调信息调整未来预测, 并可以通过学习选择适合当地负荷情况的预测方法, 改进预测精度。根据以上特点, 可以引入多 Agent 技术构建下级负荷提交系统, 主要包括下级负荷的预测、预测数据的提交以及对所提交数据的处理和用户干预操作等一系列功能。根据运行要求, 从功能上将系统分为地理位置相对分散的多个 Agent 子系统和 Agent 模块。

如图 3 所示, 基于多 Agent 理论的下级负荷考核系统可分为四个层次: 最底层为下级预测 Agent 子系统 (Agent 联邦), 每个预测单位为一个 Agent 联邦, 其中包含为实现预测功能而设的各个子 Agent, 它们相互协调配合得出预测结果并提交。通信 Agent 模块使上下级建立联系, 这个模块 (Agent)

可从下级 Agent 接收预测结果提交各上级 Agent, 也可以从上级得到考核结果下发给下级。上级负责提取下级 Agent 的数据, 对下级 Agent 的考核同时负责对下级 Agent 进行调整, 这样就需要数据存储模块和负荷考核模块, 同时需要一个管理 Agent 对各个 Agent 联邦和 Agent 模块进行协调和管理。

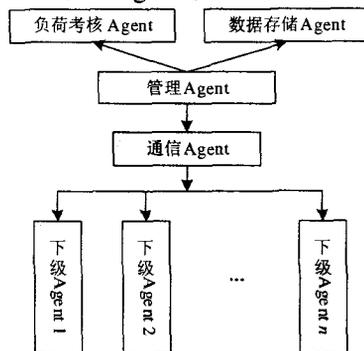


图3 多Agent系统各个Agent关系图

Fig.3 Chart of agents in multi-agent system

3 数据处理

3.1 数据流程

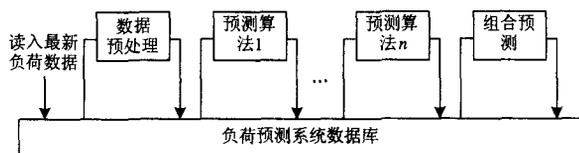


图4 短期负荷预测系统数据流程图

Fig.4 Chart of data flow in short-term load forecasting system

如图4所示, 在此系统中的各个功能均形成单独的模块, 其相互间的唯一交互就是系统的数据库, 数据库保存了原始读入的数据、经过数据预处理之后的数据和各个算法包括组合预测得出的预测负荷数据等等, 这些数据均可以通过界面显示给用户, 由用户查看或者调整。

3.2 文件与数据库交互平台

一般来说为了安全起见, 各电力公司的SCADA系统均由防火墙与外界相互隔离, 以某公司调度机房网络为例, 包含三个安全等级区域, SCADA系统处于最高等级区域, 在中间等级区域有系统的数据库备份及Web发布服务器, 经过一单向防火墙与低级等级区域即电力系统内部网络相连, 如图1所示。

这样, 由防火墙外界网络直接连接SCADA系统的数据库是非常困难的, 访问最新负荷数据一般通过Web发布方式, 但是直接读取网页信息容易出错, 稳定性不好, 而且一旦网页格式发生变化, 这种方法就完全失效, 本系统采用的方式是由SCADA系统Web服务器自动生成每日96点的负荷数据, 存储为

Excel格式,由负荷预测系统每日固定时间发布下载此数据文件,与网页剥离,既方便了读取,又防止格式变化。

3.3 异常数据处理

负荷预测系统每日自动读取负荷数据之后,将这些最原始的数据存入数据库,但是有可能出现数据读入出错,或者负荷数据本身出现坏数据,例如由于SCADA采集设备或传输设备质量不高,容易造成一些坏负荷数据;另一方面,电网中,一些人为或非人为的突发事件(如重大事件、电网故障、停电检修等)影响用电负荷,造成畸变负荷数据^[4,6]。这些异常数据若直接参与预测,必然误导负荷预测分析和建模,降低预测准确率。则在进行预测之前,需要对这些数据进行辨识和修正。

在正常运行情况下,电力系统负荷的变化是连续性的,虽然异日同时刻负荷绝对值波动较大,但是,对于同一天负荷的变化趋势是类似的,尤其是对于同星期类型(如都为星期一,节假日除外)的各日,不但变化趋势十分相似,各采样点的负荷也非常类似,这样,就可以根据已有历史负荷信息计算采样点负荷的期望值,如果读入的负荷数据偏离这个期望超过设定值,则判断为异常点,对其按照期望值进行修正。根据以上原理,可以在系统读入前一日负荷之后,依照下列步骤进行数据预处理,以每日96点负荷为例。

(1) 系统读入负荷之后,根据前一日(D)的节假日类型(五一,十一,春节,周末等等)选取上一相邻的相似日(D')。

(2) 设读入的 D 日96点负荷分别为 $J_1^D, J_2^D, \dots, J_{96}^D$, D' 日的96点负荷值为 $J_1^{D'}, J_2^{D'}, \dots, J_{96}^{D'}$, 取 $D-1$ 日的最后一点负荷为 J_{96}^{D-1} (设为 J_0^D), $D'-1$ 日的最后一点负荷为 $J_{96}^{D'-1}$ (设为 $J_0^{D'}$)。组成两组数列 $J_0^D, J_1^D, J_2^D, \dots, J_{96}^D$ 和 $J_0^{D'}, J_1^{D'}, J_2^{D'}, \dots, J_{96}^{D'}$ 。

(3) 计算 D 日的第 i 点负荷数据期望值 $\overline{J_i^D}, \overline{J_i^D} = J_{i-1}^D \frac{J_i^{D'}}{J_{i-1}^{D'}}$, 设读入负荷值偏离期望值 σ 即视为坏数据(在本系统的实际情况下 σ 取15%), 即当 $\frac{J_i^D - \overline{J_i^D}}{\overline{J_i^D}} > \sigma$ 时, 将负荷值修正为 $\overline{J_i^D}$ 。

(4) 按照(3)的方法从第1点到第96点进行辨识修正。

4 可扩展算法式组合预测方案

4.1 COM技术

COM(组件对象模型)是微软公司推出的标准,主要应用于Windows操作系统平台下的组件化

程序设计,采用这种技术可以将应用程序分为多个功能独立的模块,每个模块都可以单独开发、编译,甚至单独调试和测试^[7]。

使用COM技术设计负荷预测软件最大的意义在于将软件平台与算法模型分离。算法模型独立于软件平台,可实现算法的升级更新和动态添加、删除^[8]。

4.2 可扩展性预测算法

短期负荷预测技术经过多年的发展,在数据分析,选取模型,预测算法等各个方面都有了很大的改进,方法也比较多,比如:比例系数增长法,趋势外推预测技术,负荷回归模型预测技术,时间序列预测技术,灰色预测技术,专家系统预测技术,模糊预测技术,人工神经网络技术,小波分析技术等等^[9],负荷预测的方法众多,发展也比较快,如何选取合适的算法来对特定的负荷进行预测,以及如何随着负荷技术的发展采用更新更合理准确的算法进行预测是需要解决的问题,可以将算法与程序剥离的COM技术为解决这个问题提供了条件。

如图4所示,本文采用各个算法直接与数据库发生交互的方式,系统提供读写数据库的COM组建接口API,只要获取了接口的格式,就可以直接用来读取特定日期的负荷数据,天气数据等等,并将预测数据写入对应数据库,这种设计使算法读取数据更加灵活。数据库读写的接口如下所示。

```
interface IRWData : IDispatch
{
    [id(1),helpstring("method ReadLoad")] HRESULT
    Read Load([in] int *B Date Array,[in] int *E Date
    Array,[in] int district_id,[out] double *p Data,
    [out,retval] BSTR *p Output);
    [id(2), helpstring("method Write")] HRESULT
    Write([in] int Suanfa,[in] int *S Date Array,[in] int
    district_id,[in] double *Load,[out,retval] BSTR *p
    Output);
    ...
};
```

如上所示为数据库接口的一部分,ReadLoad接口用于读取历史负荷,输入数据为起始终止年月日和地区号码,输出为该时段该地区的负荷数据指针。Write接口用于写入预测数据,输入为算法标志符、写入年月日、数据指针和地区号码,输出执行状态。拥有了读取和写入数据库的API,算法就与主程序独立出来,既可以通过dll方式来实现,又可以通过独立的exe程序实现,可以形成与主程序相对独立的实体,来参与预测。

由于dll组件与主程序共享同一片内存区域, 执行效率非常高, 所以预测算法采用dll组件形式, 在本系统中采用VC环境下使用C++语言编译动态链接库的方法。要通过dll的形式实现, 则需要负荷主程序调用的接口, 接口格式如下:

```
interface IForecast : IDispatch
{
    [id(1), helpstring("method ForecastMethod ")]
    HRESULT ForecastMethod([in] int *DateArray, [in]
    int district_id, [out, retval] BSTR* pOutput);
};
```

在上面的接口中, 输入为预测日的年月日和预测地区, 输出为预测状态, 接口格式非常简单。

这样只需要根据所提供的接口就可以编写符合格式的dll文件, 每个算法可以根据自己的需求读取相应日期的负荷天气等信息, 并将预测结果直接写入对应的预测数据库, 参与组合预测并可以直接由用户查看。

这样就实现了算法与主程序的脱离, 如果要添加新算法, 只需要在算法选择界面添加新的算法标志符即可, 如果要更新现有的算法, 只需要把对应的要更新的算法dll替换掉。这种设计方法使此系统的负荷预测算法可以进行无限的扩展, 可以随着算法的改进, 提高系统预测的精度, 实现良好的兼容性。

4.3 动态组合预测

优化组合预测技术也是现今负荷预测中研究的热门, 但是基本上都是对固定数量的负荷预测算法进行组合, 在本系统中, 负荷预测算法存在与删除是不固定的, 就此, 本节介绍如何在这种环境下使用组合预测技术。

优选组合预测技术有两种方法: 一是从几种预测方法得到的结果中选取适当的权重加权平均; 另一种是, 可在几种方法中比较, 选择标准偏差最小或拟合度最佳的一种方法。针对本系统所应用的短期负荷预测的实际情况, 选用第一种方法比较合理。

在进行组合预测的时候, 计算每个算法历史预测精度, 以每日96点负荷数据为例, 某一算法j的日负荷预测准确率计算如下:

$$A_j = 1 - \sqrt{\frac{1}{96} \sum_{i=1}^{96} \left(\frac{L_{i,j}^f - L_i}{L_i} \right)^2}$$

式中: A_j 为算法j的日负荷预测准确率; $L_{i,j}^f$ 为算法j在时刻i的负荷预测值, L_i 为时刻i负荷实际值。当某个算法不存在时, 即可设定准确率为0。

每个算法在组合预测中的权重依据算法在相似

日和相邻日的负荷准确率, 准确率越高占的比重越大, 所谓相似日, 即节假日类型类似的日期, 相邻日, 即已经得算出准确率的最近日期。在本系统中选取四个日期的日准确率作为组合预测权重的依据, 两个最近的相似日和两个相邻日, 计算出该算法j在此四日的平均准确率 \bar{A}_j , 它的权重 α_j 即应为

$$\alpha_j = \frac{1}{1 - \bar{A}_j} = \frac{1}{\sum_k \frac{1}{1 - A_k} - \sum_k \frac{1 - A_j}{1 - A_k}}$$

利用此权重 α_j 计算出该日的组合预测值, 可以看出, 新参加的算法在最初预测时的参与度不大, 但是很快就可以正常参与预测, 准确率高的算法, 其在组合预测中的参与度也会相应增大。

5 应用实例

本系统在安徽省某地区运行, 默认使用了两个算法组件, 分别是时间序列算法 (ARIMA), 人工神经网络 (ANN), 后根据该地区负荷特点动态添加支持向量机 (SVM) 算法组件。此地区按照上级考核要求, 每日10点提交该地区次日96点 (15 min 间隔采样) 负荷数据, 并考核平均日负荷预测精度应在96%以上。

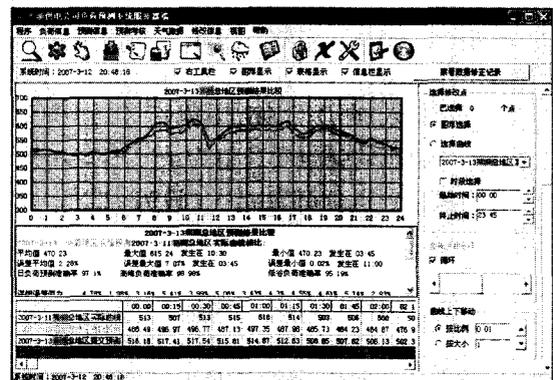


图5 系统运行主界面

Fig.5 The main graph interface of the system

图5是系统人机交互主界面, 同时显示参考实际负荷曲线, 预测曲线和下级单位提交负荷曲线。参考实际负荷曲线为用户自定义日期或前一日的实际负荷曲线; 预测曲线为用户自定义算法或组合预测的预测值; 下级单位提交负荷曲线默认为下级单位提交负荷的点对应加和。三条曲线的信息同时通过曲线、文字、表格多种形式体现, 系统操作人员可以通过曲线拖拉、表格输入和工具栏调整三种方式对预测值修正。

表 1 2007-3-11 各算法预测相对误差

Tab.1 Load forecasting results in 2007-3-11

时间/h	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00
ARIMA/(%)	2.59	0.08	1.54	0.99	-0.84	-1.07
ANN/(%)	1.21	-0.73	1.41	0.56	-1.55	-1.43
SVM/(%)	3.19	2.49	3.23	2.38	-0.6	-0.76
组合/(%)	2.58	0.87	2.17	1.45	-0.87	-1.01
时间/h	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00
ARIMA/(%)	2.8	-2.1	-0.77	-0.88	-1.75	-2.19
ANN/(%)	2.02	-1.83	0.22	-1.49	-1.49	-3.1
SVM/(%)	3.27	-1.49	1.36	0.11	-0.4	-1.81
组合/(%)	2.85	-1.82	0.21	-0.6	-1.19	-2.19
时间/h	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
ARIMA/(%)	-2.77	-2	-2.55	-1.98	-2.76	0.02
ANN/(%)	-4.17	-1.64	-2.46	-4.07	-2.47	-0.83
SVM/(%)	-4.46	-1.66	-1.59	-3.88	-1.93	-2.56
组合/(%)	-3.65	-1.81	-2.17	-3.06	-2.39	-1.11
时间/h	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
ARIMA/(%)	1.21	-0.21	0.72	-0.49	-2.84	-1.89
ANN/(%)	-0.06	-0.82	-1.1	-3.34	-4.42	-4.35
SVM/(%)	-0.25	-0.86	-1.16	-3.57	-1.73	-0.97
组合/(%)	0.44	-0.56	-0.31	-2.15	-2.68	-1.95

表 2 2007 年 3 月预测精度统计

Tab.2 Load forecasting results in 2007-3

日期	1 日	2 日	3 日	4 日	5 日	6 日
准确率	93.86	95.07	95.26	97.77	93.55	94.22
日期	7 日	8 日	9 日	10 日	11 日	12 日
准确率	92.84	95.08	96.64	96.89	98	93.62
日期	13 日	14 日	15 日	16 日	17 日	18 日
准确率	96.59	96.56	95.49	97.69	96.98	96.79
日期	19 日	20 日	21 日	22 日	23 日	24 日
准确率	97.98	98.25	97.52	96.11	96.89	96.07
日期	25 日	26 日	27 日	28 日	29 日	30 日
准确率	96.49	98.47	97.85	95.06	97.31	96.28
日期	31 日	平均				
准确率	96.11	96.24				

表 1 为分别采用默认的两组算法、动态添加的 SVM 算法及组合预测对 2007-3-11 日地区负荷预测的预测结果中整点预测值的精度。表 2 为系统 3 月份负荷预测的精度统计信息。

从以上结果可以看出,系统通过多种表现形式向用户提供数据对比,并提供多种数据调整方式,操作简便。实际经验表明,基于 COM 技术的算法引进机制,可以为用户提供更多的预测参考信息,并改善了组合预测算法的预测精度;基于多 Agent 技术的多级预测结果提交机制,使得预测算法可参考的有效数据信息量增大,进一步有利于改善每一种算法的预测精度,使得系统的稳定性、可靠性、可扩展性都得到了很大的改善。

6 结论

本文提出基于 COM 和多 Agent 技术来开发负荷预测系统,这种方法可以融合现有负荷预测系统的优点,改善系统实用性,同时提高其兼容性。利

用 COM 技术,将软件平台与算法相互分离,并为此设计相应的动态组合预测方法,使负荷预测软件系统更好的适应了预测算法的不断更新。并设计远程在线操作方法,增加了使用的方便性;引入多 Agent 的技术,集合各级电力企业的负荷预测提交系统,各级使用人员可以参照下级单位的负荷预测值对本级预测结果做出合适的调整,提交上级参照,实现了各级负荷预测的交互性及合作性。基于该设计技术开发的负荷预测系统已经在某电力公司得到实际运用,实际运行结果表明,该系统运行稳定,使用方便,并具有较高的预测精度。

参考文献

- [1] 祝斌,张艳杰,刘耀年,等.地区电网调度短期负荷预测系统[J].电力自动化设备,2001,21(10):37-39.
ZHU Bin, ZHANG Yan-jie, LIU Yao-nian, et al. Short-Term Load Forecasting System of District Power Network[J]. Electric Power Automation Equipment, 2001, 21(10): 37-39.
- [2] 陈根永,王常飞.电力系统短期负荷预测系统的实现[J].郑州大学学报,2004,25(4):94-97.
CHEN Gen-yong, WANG Chang-fei. Implementation of Short-Term Load Forecasting System in Power System[J]. Journal of Zhengzhou University, 2004, 25(4): 94-97.
- [3] 张伏生,刘芳,赵文彬,等.基于Internet/Intranet的负荷预测系统方案[J].电力系统自动化,2003,27(10):77-79.
ZHANG Fu-sheng, LIU Fang, ZHAO Wen-bin, et al. Research of Load Forecasting System Based on Internet/Intranet[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(10): 77-79.
- [4] 胡子珩,等.深圳电网自动运行的短期负荷预测系统[J].电网技术,2003,27(5):21-25.
HU Zi-heng, et al. An Auto-operating Short-Term Load Forecasting System for Shenzhen Power Network[J]. Power System Technology, 2003,27(5):21-25.
- [5] 赵廷红,齐学义.基于多Agent的水电站经济运行控制系统[J].微计算机信息,2007,23(4-3):54-56.
ZHAO Yan-hong, QI Xue-yi. Control System of Hydropower Economic Running Based on Multi-Agent Theory[J]. Control & Automation, 2007, 23(4-3):54-56.
- [6] 吴小明,邱家驹,张国江,等.软计算方法和数据挖掘理论在电力系统负荷预测中的应用[J].电力系统自动化学报,2003,15(1):1-3.
WU Xiao-ming, QIU Jia-ju, ZHANG Guo-jiang, et al. Applications of Soft Computing and Data Mining in Electrical Load Forecasting[J]. Proceedings of the EPSA, 2003,15(1):1-3.
- [7] 刘涛,等.组件化负荷预测软件的设计开发[J].电力自动化设备,2003,23(6):45-48.
LIU Tao, et al. Design and Development of Component Load Forecasting Software[J]. Electric Power Automation Equipment, 2003, 23(6):45-48.

(下转第 86 页 continued on page 86)

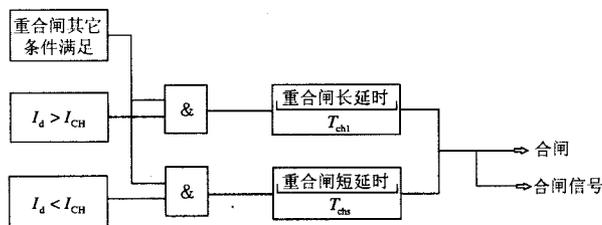


图2 新型重合闸
Fig.2 New reclosing

综上所述:随着电力系统短路电流的急剧增大,而烧损主变的事件经常发生,为了解决这问题,本文提出了三种方案。而其中第三方案,应为最佳方案,它不但解决了主变在短时间内多次遭受大电流冲击而损害主变的难题,而且又不需要退出线路重合闸,从而提高了供电可靠性。 I_{CH} (主变间歇性冲击电流)还可作为签订变压器技术协议的一项重要指标。

参考文献

- [1] 王维俭,电气主设备继电保护原理与应用(2版)[M].北京:中国电力出版社,2002.
WANG Wei-jian.Principle and Application for Electric Equipment Protection,2nd Edition[M].Beijing: China Electric Power Press,2002.
- [2] 陈松林,文继锋,陆晓平等.变压器保护应用中一些技术问题的探讨[A].2004 全国电力主设备保护学术研讨会论文集[C].南京:2004.

(上接第 53 页 continued from page 53)

- [8] 潘爱民.COM原理与应用[M].北京:清华大学出版社,1999.
PAN Ai-min. The principle and Application of COM[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1999.
- [9] 杜松怀.电力系统负荷预测技术[J].华东电力,2000,9: 50-52.

收稿日期:2007-09-11; 修回日期:2007-11-14

(上接第 72 页 continued from page 72)

- WANG Zheng, HU Min-qiang, ZHENG Jian-yong. Synchronization in the Substation Based on Global Positioning System[J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(4): 39-39,50.
- [13] 匡绍龙.基于GPS的变电站自动化系统校时问题定量分析[J].电力自动化设备,2004,24(11): 26-29.
KUANG Shao-long. Quantitative Analysis of Time Correction in Substation Automation System Based on GPS[J]. Electric Power Automation Equipment,2004, 24(11): 26-29.
- [14] 李建,谢小荣,韩英铎,等.北斗卫星导航系统与GPS互备授时的分布式相量测量单元[J].电网技术,2005,29(9): 1-4,9.
LI Jian, XIE Xiao-rong, HAN Ying-duo, et al. Study on Distributed PMU for Synchronous Phasor Measurement

CHEN Song-lin, WEN Ji-feng, LU Xiao-ping, et al. Research on Technical Problem About Protection of Transformer[A]. In: Proceedings of 2004 Chinese Conference on Relay Protection for Main Equipment[C]. Nanjing:2004.

- [3] 王维俭,侯炳蕴.大机组继电保护理论基础[M].北京:水利电力出版社,1989.
WANG Wei-jian,HOU Bing-yun.The Theory of Large Generator and Transformer Protection[M].Beijing: Hydraulic and Electric Power Press,1989.
- [4] 陈增田.电力变压器保护(第2版)[M].北京:水利电力出版社,1989.
CHEN Zeng-tian.Protection of Transformer,2nd Edition[M]. Beijing:Hydraulic and Electric Power Press,1989.
- [5] 史世文.大机组继电保护[M].北京:水利电力出版社,1987.
SHI Shi-wen.Large Scale Generator Transformer Unit Protection[M].Beijing:Hydraulic and Electric Power Press,1987.

收稿日期:2007-10-24

作者简介:

叶生强(1961-),男,工程师,从事调度运行及继电保护工作;

陈纲(1975-),男,工程师,从事调度运行工作;

谢永胜(1971-),男,工程师,江西赣东北供电公司

E-mail:xysctp@163.com

作者简介:

潘爱强(1984-),男,硕士研究生,主要研究方向为电力系统规划、电力系统稳定分析;E-mail:jackain@gmail.com

严正(1964-),男,教授,博士生导师,主要研究方向为电力系统优化运行、电力系统稳定分析、电力市场;

贾燕冰(1980-),女,博士研究生,主要研究方向为电力市场、电力系统稳定分析。

Using Mutually Backup Synchronization Signals from Both Seidou Satellite Navigation System and Global Positioning System[J].Power System Technology, 2005, 29(9): 1-4, 9.

收稿日期:2007-08-28; 修回日期:2007-10-27

作者简介:

张信权(1965-),男,高级工程师,从事继电保护和变电站自动化产品的技术开发、技术管理工作;E-mail:zhangxq@nari-relays.com

梁德胜(1971-),男,工程师,从事自动化运行管理工作;

赵希才(1969-),男,高级工程师,主要从事继电保护与变电站自动化系统的技术开发工作。