

基于自适应 FCM 算法的智能母线负荷聚类特性研究

吴茵¹ 岳菁鹏² 罗欣² 杨小卫¹

(1. 广西电网公司, 广西南宁 530023; 2. 北京清软创新科技有限公司, 北京 100085)

摘要: 随着新一轮的科技革新和电力体制改革的不断深入, 电力调度的智能化和工作精细化的要求不断提高。以母线负荷数据的有效信息提取和应用为主线, 结合广西省母线负荷数据, 基于自适应 FCM 算法对区域电网母线建立聚类 C 模型, 从而针对不同母线的负荷特征进行分析, 为精确的负荷预测提供了一种新思路 and 算法参考。

关键词: 自适应 FCM 算法; 母线聚类; 负荷预测

Abstract: With a new round of technological innovation and the deepening of power system reform, the requirements for intelligent and refined power dispatching continue to increase. Taking the effective information extraction and application of bus load data as the main line and combined with the bus load data of Guangxi province, the C model of regional power grid is established based on adaptive FCM algorithm, and then the load characteristics of different buses are analyzed. It provides a new idea and algorithm reference for the accurate load forecasting.

Key words: adaptive FCM algorithm; bus clustering; load forecasting

中图分类号: TM76 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2015)06-0068-04

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2015.06.016

0 引言

广西电网地处“西电东送”主要通道的中部位置, 是南方电网的重要组成部分。广西电网供电面积达到 23.67 万平方公里, 供电服务人口 5 200 多万人, 供电客户数 960 多万户。广西省母线数量庞大, 覆盖面广, 母线种类错综复杂; 对于其特性也较难把握, 导致母线负荷预测难度较大, 而精确的母线负荷预测可以提高电网智能化调度水平, 所以做好负荷分类与特性分析工作是提高负荷预测的根本和前提条件。

目前母线负荷预测主要有两大类方法: 一类是基于母线负荷自身变化规律的预测方法。这类方法全网负荷的分析相似, 根据母线负荷自身的变化规律, 用全网预测的某些方法进行负荷预测; 但由于母线符合的波动性和不稳定性, 用此种方法预测可能会产生较大误差。另一类是基于系统负荷分配的预测方法, 该方法首先取得全网某一时刻的预测值, 然后按照一定的比例因子将其分配到每一条母线上。此方法便捷易用, 但缺少独立的母线负荷规律性分析和预测手段^[1-2]。

电网中母线数目众多, 各个母线负荷具有不规

律波动性和变化模式复杂性等特点, 提高母线预测精度的途径之一是通过不同的母线特征进行分析, 研究自适应策略。利用自适应 FCM 算法找到科学合理的母线聚类数 C , 将区域电网母线进行分类, 进而对不同的母线负荷特征进行分析, 为进一步精确快速的母线负荷预测提供了有效算法。

1 母线负荷模型与数据

母线负荷建模即构建母线负荷对象, 基本模型一般为树状结构, 可以描述为分区、厂、母线负荷的层级关系, 其定义依据源自 EMS 电网模型。母线负荷模型可以通过电网模型中的负荷组定义、主变压器端点定义或者线路端点定义进行创建^[5]。如图 1 采用的母线负荷分层树状结构中, 第一层为系统负荷, 第二层为区域负荷, 第三层为变电站负荷, 第四层为母线负荷。

母线负荷在数据统计上可以关联到电力元件测量值, 采用状态估计或 SCADA 数据作为数据源, 通常情况下针对日 96 点(每 15 min 一点)的有功和无功负荷进行统计和预测。其中单母线负荷在时段的相对误差为

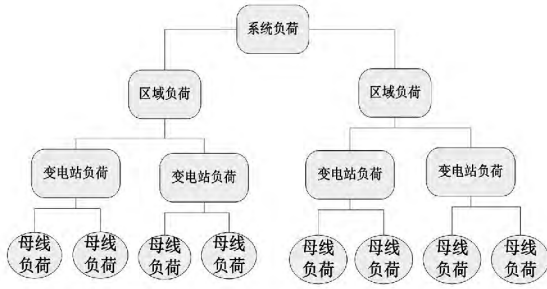


图 1 母线负荷分层树状结构图

$$\frac{|i \text{ 时段预测值} - i \text{ 时段实际值}|}{i \text{ 时段负荷基准值}} \times 100\% \quad (1)$$

平均日母线负荷预测准确率为

$$\left(1 - \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N A_k^2}\right) \times 100\% \quad (2)$$

2 自适应 FCM 算法思想及关键技术

2.1 自适应 FCM 算法

FCM 算法是基于聚类的划分算法,其思想是认为同一类的分析对象相似度最大,不同类之间相似度最小。用普通 FCM 算法可以对数据集进行有效聚类,但聚类数需事先人为给出,聚类的“好坏”需进行有效验证。

将 FCM 算法和自适应方法进行结合,在数据划分上采用柔性模糊划分,数据分类时尽可能将类间距离增大,而同类的数据点距离减小,下面给出自适应 FCM 算法的具体函数。

总体样本的中心量为

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^n u_{ij}^m x_j}{n} \quad (3)$$

聚类数 C 的自适应函数为

$$L_{(c)} = \frac{\sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^n u_{ij}^m \|v_i - \bar{x}\|^2 / (c-1)}{\sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^n u_{ij}^m \|x_j - v_i\|^2 / (n-c)} \quad (4)$$

式中 $L_{(c)}$ 的分子表示类与类之间的距离,分母表示类内数据点与该类中心之间的距离,因此 $L_{(c)}$ 的值越大,说明分类越合理,对应 $L_{(c)}$ 值最大的 C 为最佳值。

2.2 自适应 FCM 算法步骤及实现

2.2.1 自适应 FCM 算法的具体步骤

首先初始化:给出迭代标准 $\varepsilon > 0$,聚类数 $C = 2$,聚类数 1 的自适应函数 $L_{(1)} = 0$,初始分类矩阵 $V^{(0)}$, $K = 0$ 。

1) 用式 (3) 计算 $U^{(K)}$

$$u_{ij}^{(k)} = \frac{1}{\sum_{r=1}^c \left(\frac{d_{ij}^{(k)}}{d_{ij}^{(r)}}\right)^{\frac{2}{m-1}}} \quad (5)$$

如果存在 j, r , 使得 $d_{ij}^{(k)} = 0$, 则令: $u_{ij}^{(k)} = 1$ 。

2) 用式 (4) 计算 $V^{(K+1)}$

$$v_i^{(k+1)} = \frac{\sum_{j=1}^n (u_{ij}^{(k)})^m x_j}{\sum_{j=1}^n (u_{ij}^{(k)})^m} \quad (6)$$

3) 用一个矩阵范数 $\|\cdot\|$ 比较 $V(K+1)$ 与 $V(K)$, 若 $\|V(K+1) - V(K)\| \leq \varepsilon$, 则停止迭代, 否则, 置 $k = k + 1$, 转向步骤 1)。

4) 计算 $L_{(c)}$, 在 $c > 2$ 并且 $c < 2$ 的情况下, 若 $L_{(c-1)} > L_{(c-2)}$ 并且 $L_{(c-1)} > L_{(c)}$, 则聚类过程结束, 否则, 置 $c = c + 1$, 转向步骤 1)。

FCM 算法基于局部寻找点最小, 故只需要在局部数据比较 $L_{(c)}$ 。

2.2.2 系统实现

系统根据离线的历史负荷数据来独立操作来完成自适应网络训练。自适应系统应具备按照外部环境的变化进行调整和自身不断学习的能力。通过循环训练过程以找到一套合理的预测参数和聚类数 C , 将负荷进行分类后进行预测, 其效果明显优于固定参数估计的方法。

自适应 FCM 预测技术是采用反馈型的预测思路, 把得到合理的预测参数作为自适应过程得到的模型参数, 用于未来时间的母线负荷预测, 这个过程构成了预测行为的闭环和反馈。

主要实现过程如图 2。

由于母线节点数量多, 预测参数及模型组合复杂等原因, 基于自适应机制实现的母线负荷预测计算量和实现难度较大, 其中自适应预测天数、母线的数量、母线的梳理预测模型库中模型的数量、参数优化组合、各模型参数的数量等因素决定了预测计算量的大小, 并且随着预测节点的增加自适应训练的计算量也会成倍增长。因此只有借助计算机软件平台才能完成如此大的计算量, 且应在负荷较轻的时间段完成训练。

3 应用算例分析

选取广西省某区域电网 120 条 220 kV 母线的

96 点负荷为观测样本,利用 Matlab 进行 FCM 聚类分析。目标函数在循环 68 次后收敛,选择的聚类数 C 为 2 类,图 3 列出了两种类型的负荷聚类曲线。



图 2 系统实现流程

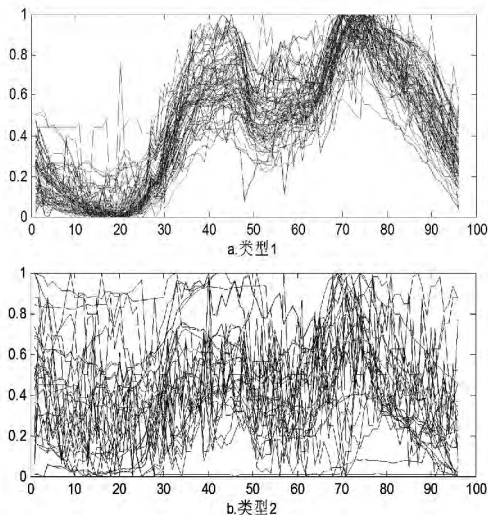


图 3 220 kV 母线 96 点负荷聚类图

表 1 将两种类型进行了统计,具体统计如下。

表 1 母线分类情况统计表

	类型 1	类型 2
120 条	88 条	32 条
平均日负荷率	0.6	0.42
平均日峰谷差率	0.8	0.35

由表 1 可知,本区域母线负荷大多为类型 1,为 88 条,占总母线数量比为 73.3%,类型 2 有 32 条,占总量的 26.7%。

由表 1 还可知,类型 1 的平均日负荷率达到 0.6,负荷曲线在 0 到 30 点为较低值,在 65 到 85 点为较

最高,同时平均峰谷差为 0.8,可以判断类型 1 受时间的影响较大,应以民用电为主。类型 2 的平均日负荷率为 0.42,且平均日峰谷差率为 0.35,可以判断应以连续生产或三班倒的企业为主,受时间的影响较小。在电网运行中的一项基本原则是,尽量提高负荷率、降低峰谷差。根据聚类后母线负荷特性的分析结果,可以对突变较大的负荷采取有效方法来应对峰谷差,进行“削峰平谷”,使供电企业有较好的经济性能及有利于电网的稳定安全运行。

基于以上结果,对同一或相似区域电网母线或进行负荷预测时,可将此区域电网负荷与已经聚类好母线进行对比,由于不同类型母线影响其负荷的因素不同,在对母线特征进行综合分析后,选择成熟的有针对性的方法进行预测,也可以有效提高母线负荷预测速度和准确度。

4 结 论

针对广西省某一区域电网母线数量多、不规则波动及模式多样性的特点,通过自适应 FCM 算法对母线进行聚类,根据聚类的结果对日负荷率和峰谷差率进行分析。根据实例仿真,算法可以完成对该区域母线负荷较科学的分类,在下一步进行预测中根据不同的母线类型分别进行负荷预测,提高了预测速度和精度。对广西地区母线负荷类型具有针对性的掌控,同时也为进一步建设“无人值守”的预测机制和智能化母线负荷预测平台提供了参考。

参考文献

- [1] 康重庆,夏清,刘梅. 电力系统负荷预测[M]. 北京:中国电力出版社,2007.
- [2] Espinoza M, Joye C, Belmans R, et al. Short-term Load Forecasting Profile Identification and Customer Segmentation: A Methodology Based on Periodic Time Series[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2005, 20(3): 1622-1630.
- [3] 廖峰. 220 kV 母线负荷特性缝隙及其预测的研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2012.
- [4] 李光珍. 电网短期母线负荷数据预处理及预测模型研究[D]. 保定: 华北电力大学, 2009.
- [5] 赵燃,康重庆,刘梅,等. 面向节能发电调度的母线负荷预测平台[J]. 中国电力, 2009, 42(6): 32-36.
- [6] 牛东晓,曹树华,卢建昌,等. 电力负荷预测技术及其

应用(第二版)[M].北京:中国电力出版社,2009.

[7] 陈小平. 母线负荷预测的实用算法[J]. 四川电力技术, 2012, 35(1): 66-68.

[8] 高峰,康重庆,程旭. 短期负荷预测相关因素的自适应训练[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(18): 6-10.

作者简介:

吴茵(1979), 硕士, 高级工程师, 主要从事电网运行方式策划管理工作;

杨小卫(1982), 硕士, 高级工程师, 主要从事电网调度运行管理工作;

岳菁鹏(1985), 硕士, 助理工程师, 主要研究电网负荷预测、分布式发电等;

罗欣(1983), 硕士, 工程师, 主要研究电力市场分析、电网负荷预测等。

(收稿日期: 2015-07-06)

(上接第62页)
也得到显著改善。

表1 瀑布沟电站计划电量完成率

日期	策略执行前(2014年)			策略执行后(2015年)		
	计划 电量 /MW	实发 电量 /MW	电量 完成率 /%	计划 电量 /MW	实发 电量 /MW	电量 完成率 /%
3/1	21 100	26 142	123.9	14 000	14 056	100.4
3/2	17 250	24 844	144	14 000	15 513	110.8
3/3	20 200	26 109	129.3	14 000	13 914	99.4
3/4	21 350	18 468	86.5	14 000	17 263	123.3
3/5	16 700	25 926	155.2	17 175	16 041	93.4
3/6	19 800	17 503	88.4	16 025	14 189	88.5
3/7	18 700	22 499	120.3	15 325	18 374	120

CPS1 指标体现了控制区域对互联电网频率质量贡献的大小,该策略执行前后相邻年份某同一月份的 CPS1 日平均值对比情况如图 5 所示。从图中 CPS1 曲线可以看出,启用新策略后四川电网 CPS1 考核指标亦有所改善。

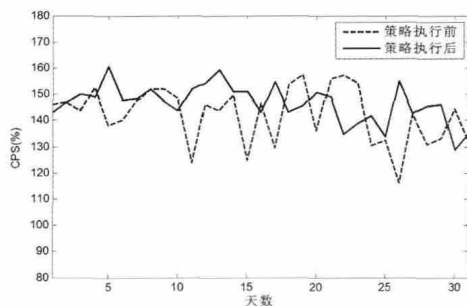


图5 CPS1 日平均值曲线对比

4 结 语

AGC 应用作为电网实时控制的重要环节,承担着安全稳定运行、频率稳定和联络线、电量考核的重

要职责。从机组有功控制模式着手,探索实时发电计划与 AGC 闭环控制策略,并阐述了 AGC 控制模式切换方案及多工况下模式切换策略,通过备用在不同控制模式机组间相互转移,促进不同控制模式机组调节备用的合理分布,降低了机组整体调节成本。

参考文献

- [1] 张伯明,吴文传,郑太一,等. 消纳大规模风电的多时间尺度协调的有功调度系统设计[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(1): 1-6.
- [2] 周劭英,张伯明,尚金成,等. 河南电网实时调度系统若干功能与算法[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(2): 99-104.
- [3] 滕贤亮,高宗和,张小白,等. 有功调度超前控制和在线水火电协调控制策略[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(22): 16-20.
- [4] 李予州,张伯明,吴文传,等. 在线有功调度协调控制系统的研究与开发[J]. 电力自动化设备, 2008, 28(5): 12-16.
- [5] 徐帆,丁怡,谢丽荣,等. 实时发电计划闭环控制模型与应用[J]. 电网技术, 2014, 38(11): 3187-3192.
- [6] 邓勇,朱泽磊,黄文英,等. 日内及实时发电计划的递进协调方法[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(1): 141-146.

作者简介:

周剑(1972), 硕士, 高级工程师, 研究方向为智能电网调度控制;

于昌海(1987), 硕士, 工程师, 研究方向为电网调度自动化、新能源协调控制;

吴继平(1984), 硕士, 工程师, 研究方向为智能电网调度自动;

滕贤亮(1978), 硕士, 高级工程师, 研究方向为电网调度自动化、新能源运行控制。

(收稿日期: 2015-08-10)