

基于相似日的线性外推短期负荷预测

徐进东¹, 丁晓群¹, 邓勇²

(1. 河海大学电气工程学院, 江苏 南京 210098; 2. 福州供电公司, 福建 福州 350001)

摘要: 综合利用了用于超短期负荷预报的线性外推原理和基于相似日的短期负荷预测方法, 相似日的选取采用了严格的差异度量方法, 使得所取的相似日与预测日负荷最可能相似; 线性外推法也弥补了相似日法固有的缺点, 有效地提高了负荷预测的精度, 本文方法对于天气异常变化时的负荷预报具有很强的适应性, 实际应用表明本文所用方法效果良好。

关键词: 短期负荷预测; 线性外推; 相似日

中图分类号: TM715 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2005)07-0037-03

0 引言

电力系统负荷预报对电力系统控制、运行起着十分重要的作用, 也是电网规划决策的前提和基础。准确可靠的负荷预报对电力系统安全经济运行有着重大意义。短期负荷预测是电力系统负荷预报的重要组成部分, 随着电力市场化程度的深入, 负荷预测对于系统运营者、输电系统所有者以及其他市场参与者变得越来越重要, 以便做出适当的电力交易计划, 制定恰当的运行计划和投标策略。目前常用的预测方法有线性回归、时间序列法、卡尔曼滤波、人工神经网络、线性外推、相似日以及灰色理论等多种方法^[1-5]。

短期负荷预报需要考虑的影响因素有很多, 主要因素有工作日类型、天气状况包括温度、降水量、风力、阴晴等。而相似日的选取中直接考虑各种相关因素(不仅是气象因素), 本文通过负荷预测时间间隔差异、日类型差异和天气差异综合度量选取多个相似日, 最后在相似日负荷的基础上利用线性外推法得到预测日的对应负荷。

1 线性外推法与相似日法^[6,7]的基本原理介绍

1.1 线性外推法

线性外推法通常用于超短期负荷预报, 其基本原理是对过去确定时间段里具有随机特性的负荷用线性曲线或二次曲线拟合负荷变化曲线, 使得这条曲线能够反映负荷本身的变化趋势, 然后按照这个增长趋势曲线, 对于要求的未来某一点从其外推曲线估计出负荷预测结果, 它能较好的预测基本负荷的变化。但是当天气出现较大变化时, 该方法无法

适应这种变化, 会出现较大的误差; 另外它的权重选取一般靠经验。

1.2 相似日法

人们在进行短期负荷预测时, 发现气象状况、日类型(指工作日或休息日)等影响因素比较相似的两日, 负荷也比较相近。在实际运行中, 有丰富经验的负荷预测工作人员在进行负荷预测时, 往往能找出与预测日较为相似的某天的负荷, 再进行修正进行短期负荷预测。一般由下面两个步骤组成: 采用某种差异评估函数, 寻找最有可能与预测日负荷相似的某天(相似日); 根据待预测负荷日的参数进行修正。

2 基于相似日线性外推基本原理和步骤

结合相似日法和线性外推法的优点, 本文提出了一种基于相似日线性外推方法。通过严格的差异度量函数选取多个相似日, 然后运用传统的线性外推原理进行负荷预报, 该方法的基本步骤如下。

步骤一: 取预测日前三个星期的已知日作为待选相似日, 考虑到天气突变的情况不容易找相似日, 可以将原来天气异常日保存为一个天气异常日序列作为待选相似日的补充。选取下列三种差异度量化方法进行评价。

(1) 求预测日时间间隔的长短₁, 应该体现的是近小远大的原则。另外考虑到负荷具有按周变化的规律(如本周星期一与上周星期一的负荷相近), 可以用如下函数表达式。

$$I_1 = \begin{cases} \frac{\text{mod}(D, 7)}{N} \cdot \text{int}(D/7), & D \leq LD \\ 1, & D > LD \end{cases} \quad (1)$$

式中: mod()代表取余函数, D是预测日与待选相

似日之间的相隔天数; $\text{int}()$ 代表取整函数, N 和 LD 是常数,可以根据具体的情况进行选择,一般来说 LD 应该和选择待选相似日的天数一致, N 取7和一周的天数一致,一般取 $[1, 2]$ 间的数值。在本文中 $N = 7, LD = 14, \alpha = 1.0$ 。

(2) 日类型的差异 α_2 。在取值时,可以选取该地区春季或秋季某一个天气变化不大的星期的负荷数据进行关联程度分析,从而得到具有该地区典型负荷特性的日类型关联度。判断关联程度,实质上是几种曲线间几何形状的分析比较,认为几何形状越接近,则发展态势越接近,关联程度越大。

设参考数列 $x_0: x_0 = \{x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(n)\}$

被比较数列(如预测序列或因素序列): $x_i = \{x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(n)\} \quad i = 1, 2, \dots, n$

则曲线 x_0 与 x_i 在第 k 点的关联系数为:

$$r_i(k) = \frac{\min_k \min_k |x_0(k) - x_i(k)| + \max_k \max_k |x_0(k) - x_i(k)|}{|\min_k |x_0(k) - x_i(k)| + \max_k |x_0(k) - x_i(k)|} \quad (2)$$

其中: $|x_0(k) - x_i(k)| = \delta_i(k)$ 为第 k 点 x_0 与 x_i 的绝对差;

$\min_k |x_0(k) - x_i(k)|$ 为第一级最小差,表示在曲线 x_i 上,找各点与 x_0 的最小差;

$\min_i \min_k |x_0(k) - x_i(k)|$ 为第二级最小差,表示在各条曲线中找出的最小差基础上,再按 $i = 1, 2, \dots, m$ 找所有曲线的最小差;

$\max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|$ 为第二级最大差,意义与第二级最小差相似;分辨系数 α_2 是0与1之间的数,一般取 $\alpha_2 = 0.5$ 。

综合各点的关联系数,整个 x_i 曲线与参考曲线 x_0 的关联度 r_i 为

$$r_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n r_i(k) \quad (3)$$

对于单位不同、初值不同的序列作关联度分析时,为了使各数列之间具有可比性,首先要做无量纲化、归一化预处理。用每一个数列的第一个数 $x_i(1)$ 除其它数 $x_i(k)$,就可以把各数列无量纲化,并且使得所有数列都有公共的交点。

(3) 天气差异 α_3

主要由下列因素决定: 平均温度 α_{31} ; 最高温度 α_{32} ; 最低温度 α_{33} ; 降雨量 α_{34} ; 能见度 α_{35} 。将上述因素组成天气向量 $\alpha_3 = \{\alpha_{31}, \alpha_{32}, \alpha_{33}, \alpha_{34}, \alpha_{35}\}$ 用上面的关联程度分析天气的差异。

最后得到各候选日与预测日之间的差异值,即

$$\Delta = K_1 \times \alpha_1 + K_2 \times \alpha_2 + K_3 \times \alpha_3 \quad (4)$$

则各候选日与预测日之间的相似度 $\rho_i = 1/\Delta$ 。

式中 K_1, K_2, K_3 为3个主要因素的权重系数,他们在不同的季节取值有少许变动。选取时主要考虑三个因素对于各候选日的差异情况和对负荷预测精度的影响程度,例如:当夏季天气变化剧烈时,应该适当地提高 K_3 的值。比较各候选日的相似度 ρ_i 的大小,并从中选出该值最大的 M 天。

步骤二:取上面选定 M 天的负荷并分别归一化,归一化方法如下:

$$L_n(k, i) = \frac{L(k, i) - L(k, \min)}{L(k, \max) - L(k, \min)} \quad (5)$$

其中: $L_n(k, i)$ 为第 k 日 i 小时负荷数据的归一化值; $L(k, i)$ 为第 k 日第 i 小时负荷数据; $L(k, \min)$ 为第 k 日最小负荷数据; $L(k, \max)$ 为第 k 日最大负荷。用以上公式得出 $1, 2, \dots, n$ 天48点负荷归一化系数。

步骤三:由以上 M 天的归一化系数,根据权重得出预测日48点的负荷归一化系数:

$$L(p, i) = \sum_{k=1}^n \frac{\rho_k}{\rho_1 + \rho_2 + \dots + \rho_M} L_n(k, i) \quad (6)$$

其中: $L(p, i)$ 为预测日(p 日)第 i 时刻负荷归一化系数; ρ_k 为 $1-M$ 各天的负荷相似度, $\frac{\rho_k}{\rho_1 + \rho_2 + \dots + \rho_M}$ 得到 $1-M$ 各天负荷的归一化权重系数。

步骤四:选取过去 M 天的最大、最小负荷,并用此 M 天的最大、最小负荷权重系数用 b 中的方法得出最大负荷 L_{\max} 、最小负荷 L_{\min} ,预测日任一时刻的负荷计算如下:

$$L(i) = L(p, i) \cdot (L_{\max} - L_{\min}) + L_{\min} \quad (7)$$

其中: $L(i)$ 为预测日第 i 点的负荷。

3 算例分析比较

对某省2000年的负荷数据和天气数据进行分析。分别用常规线性外推法(方法一)和基于相似日线性外推法(方法二)进行短期负荷预测和分析。限于篇幅,图1、2分别给出了两种预报方法与真实负荷曲线比较(实线为实际负荷,虚线为预测负荷)。

方法一的最大相对误差是5.71%,平均相对误差为2.86%,方法二的最大相对误差仅为3.32%,平均相对误差仅为1.21%,分析可以看出传统的线性外推法对变化较平坦的负荷预测还是具有很好的

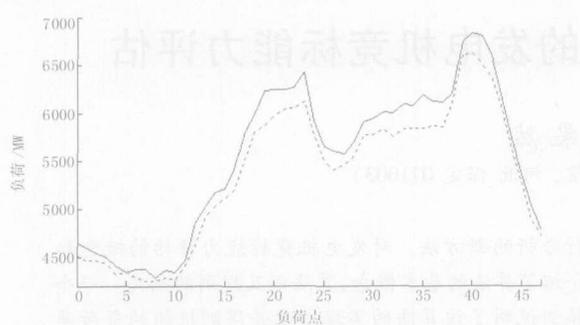


图 1 传统线性外推法预测结果

Fig 1 Predictions using traditional linear extrapolation and true value of one day

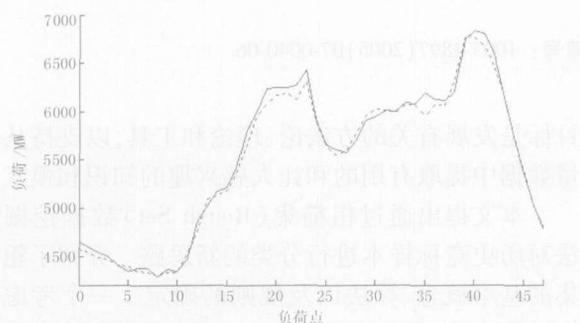


图 2 基于相似日线性外推法预测结果

Fig 2 Predictions using linear extrapolation based on similar historical day data and true value of one day

精度,而对负荷曲线的拐点处预测效果较差,这与其数学原理还是很吻合的;基于相似日线性外推法有效克服了这一点,明显提高了在拐点(负荷变化趋势不是很明显)时段的负荷预报的精度,而且在其他时段(负荷变化相对比较平缓)的预测也更加准确。

表 1 负荷预报精度后验比较

Tab 1 Comparison of the forecasting precision

星期	最大相对误差 / (%)	平均相对误差 / (%)
星期一	4.32	3.38
星期二	3.41	2.02
星期三	3.47	2.11
星期四	4.01	2.67
星期五	4.07	3.12
星期六	3.54	2.31
星期日	4.54	3.47

表 1 分别给出了 2000 年 7 月某一周基于相似日线性外推负荷预报的后验比较,其中星期二与星期五天气情况差异很大(温度相差达到 10 度),可以看出,由于天气的异常变化,负荷预报的精度比平常略差一点(一般平均相对误差只有 2.32% 左右),

总体来讲,基于相似日线性外推的短期负荷预测的精度还是很稳定的,对于天气的异常变化适应性很强,弥补了传统线性外推法对于天气异常变化适应性差的缺点。

4 结语

本文结合了相似日法和线性外推法,采用了在相似日基础上进行线性外推的短期负荷预报方法,通过严格的差异度量函数选取多个相似日,再采用传统的线性外推的方法进行短期负荷预报,对负荷预报的精度改善明显,同时对天气的异常变化也表现出很强的适应性,长期使用的实践也表现出很强的稳定性。

参考文献:

- [1] 刘晨辉. 电力系统负荷预报理论和方法 [M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1987.
L U Chen-hui Theory and Method of Power System's Load Forecasting [M]. Harbin: Harbin Institute of Technology Press, 1987.
- [2] 牛东晓, 曹树华, 赵磊, 等. 电力负荷预测技术及其应用 [M]. 北京: 中国电力出版社, 1998.
N U Dong-xiao, CAO Shu-hua, ZHAO Lei, et al Power System Load Forecast Technique and Its Application [M]. Beijing: China Electric Power Press, 1998.
- [3] Nason G P, Sachs R V. Wavelets in Time-series Analysis [J]. Philosophical Transactions of the Royal Society Series, 1999, 357: 2511-2526.
- [4] Campbell A J, Murtagh F. Combining Neural Networks Forecasts on Wavelet Transformed Time Series [J]. Connection Science, 1997, 9(2): 113-121.
- [5] Rahman S, Bhatnagar R. An Expert System Based Algorithm for Short Term Load Forecast [J]. IEEE Trans on Power Systems, 1988, 3(2): 392-399.
- [6] 程松. 一种新的基于相似负荷日的短期负荷预计方法 [J]. 江苏电机工程, 1999, 18(4): 28-32.
CHENG Song A New Approach to Load Forecasting Based on Similar Day [J]. Proceeding of Jiangsu Electrical Engineering Association, 1999, 18(4): 28-32.
- [7] 张颖, 张瑞, 高中文. 基于相识日的神经网络短期负荷预测方法 [J]. 黑龙江大学自然科学学报, 2003, 20(2): 59-61.
ZHANG Ying, ZHANG Rui, GAO Zhong-wen Short-term Load Forecasting Using ANN Based on Similar Historical Day Data [J]. 2003, 20(2): 59-61.

(下转第 65 页 continued on page 65)

3 结束语

本文应用电能计量专用芯片 ADE7758设计的配网数据采集终端不仅能提供丰富的电气参数,如:三相电压有效值、三相电流有效值、波形、谐波分量、有功功率、无功功率、视在功率、电网频率、现场温度、电压峰值、电流峰值。还能实现可靠的现场负荷的控制,为配电网的运行分析和控制提供了可靠的手段。与同类的装置比较,具有较高的性价比。从测试的结果看,工作稳定可靠,具有实用价值。

参考文献:

- [1] 耿德根,宋建国,马潮,等. AVR高速嵌入式单片机原理及应用(修订版)[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2002

GENG De-gen, SONG Jian-guo, MA Chao, et al Theory and Application of AVR High-speed Embedded Single Chip Processor, Revised Edition[M]. Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press, 2002

- [2] 2512FS-AVR-12/03, A mel Corporation, 2003[Z].
[3] 3347F-SEEPR-1/04, A mel Corporation, 2004[Z].
[4] D0443-0-1-04(0), Analog Devices, Inc, 2004[Z].

收稿日期: 2004-08-25; 修回日期: 2004-10-30
作者简介:

袁义江(1979-),男,硕士研究生,现从事配电网数据采集、电力系统无线通信的研究; E-mail: roseyyj@tom.com

章健(1963-),男,博士,副教授,主要从事电力系统运行分析、负荷建模、电网规划等方面的研究;

王君亮(1971-),男,硕士,主要从事电力系统测量与控制、电力系统运行与控制的研究。

Design and realization of measurement and control terminal of power system based on chip ADE7758

YUAN Yi-jiang¹, ZHANG Jian¹, WANG Jun-liang², ZHANG Jia-chen³

(1. College of Electrical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China;

2. Henan Electric Power Research Institute, Zhengzhou 450002, China;

3. Xichuan Electric Power Exploration and Design Institute, Xichuan 474450, China)

Abstract: This paper gives a new type of distribution monitor and control terminal based on chip ADE7758 and details its hardware and software design principle. In the distribution networks, it is crucial to take the rein of the operation status of the distribution transformers for the nets. In present distribution nets, limited measured values of distribution transformers can't meet the demand of the distribution net analysis. The terminal based on chip ADE7758 has plentiful measured values and flexible control functions. It is reliable and has a high performance/price ratio.

Key words: chip ADE7758; monitor and control; distribution networks

(上接第 39页 continued from page 39)

收稿日期: 2004-07-12; 修回日期: 2004-09-07

作者简介:

徐进东(1980-),男,硕士研究生,主要研究方向为电力系统运行与控制; E-mail: nking_xjd@163.com

丁晓群(1964-),男,教授,主要从事人工智能在电力系统中的应用,电气设备故障诊断以及配电自动化领域的教学和科研工作;

邓勇(1978-),男,硕士,主要研究方向为电力系统运行与控制。

Short-term load forecast using linear extrapolation based on similar historical day data

XU Jin-dong¹, DENG Xiao-qun¹, DENG Yong²

(1. School of Electrical Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Fuzhou Electric

Power Corporation, Fuzhou 350001, China)

Abstract: The paper proposes a new method for short-term load forecast using linear extrapolation usually used in super-short-term load forecast based on similar historical day data. The selection of similar day adopts strict difference evaluation functions to make the load of the choosed days most similar to that of forecasted day. And the linear extrapolation makes up the inherent defect of the way of similar day and improves the accuracy of the load forecast effectively. The method is more adaptive to the weather changing abruptly, the results indicate the method is a practical one for load forecast.

Key words: short-term load forecast; linear extrapolation; similar historical day