

# 基于快速人工神经网络的短期负荷预测

张 晓, 敬 东

(四川大学电力工程系, 四川 成都 610065)

**摘要:** 根据负荷的不确定性和非线性的特点, 采用了 ANN 和 AFS 理论进行 SILF, 分两个步骤: 在 ANN 中引入了平滑因子和遗忘因子, 来加快收敛速度并解决 ANN 的遗忘问题; 在 AFS 中对基本负荷预测值进行修正, 引进不平均的隶属函数来体现负荷变化对温度的敏感性。实践表明该模型具有速度快、预测精度高等优点。

**关键词:** 人工神经网络; 自适应模糊系统; 短期负荷预测

**中图分类号:** TM715

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1003-4897(2000)12-0013-03

## 1 引言

电力系统负荷预测一般可分为四大类: 即短期、超短期、中期和长期。以往我国对长期负荷预测研究的较多, 对短期负荷预测(SILF)研究的较少。由于负荷预测具有重要的经济意义, 因此如何实现高精度、可靠的 SILF 已成为世界性的研究课题。SILF 的精确性对电力系统的调度及发电计划都有显著的影响, 预测值偏低将导致无法提供必需的电能, 相应地会由于启动昂贵的峰值机组或从相邻系统高价购买而提高供电成本; 反之, 过高地预测负荷值, 将会造成旋转备用容量的浪费。

许多 SILF 方法已经证明了人工神经网络(ANN)及自适应模糊系统(AFS)对短期负荷预测的准确性提高大有益处。国际上关于模糊方法的研究越来越多, 用于预测的模糊规则库大多来自经验的总结, 因此将模糊系统与神经网络结合使用, 便能充分将数据信息与语言信息统一于负荷预测系统。

本文首先采用 ANN 获得基本预测负荷  $L_B$ , 在此过程中不考虑节假日及温度变化等因素; 然后把由 ANN 得到的预测值  $L_B$  与实际负荷之间的相对误差引入 AFS, 加入节假日、温度变化等负荷变化因子, 得到最终负荷预测值  $L_F$ 。与传统的 SILF 方法相比有所不同: 首先在 ANN 系统中, 引入了平滑系数和遗忘系数, 分别用来调整连接权并解决 ANN 的遗忘问题, 进一步增快 ANN 的收敛速度, 同时能提高预测精度; 其次在 AFS 中, 为了充分体现负荷变化对温度变化的敏感, 采用不均匀划分的隶属函数, 增加在负温度方向上的密度。

## 2 负荷预测系统模型分析

根据负荷数据的特征将其划分为三类: 工作日(星期一~星期五)、非工作日(周六、周日)和节假

日。考虑到节假日前、后的负荷类型均可能是变化的, 本文从节假日的前一天下午 6 点(6PM)到节假日后一天的上午 8 点(8AM)都视为节日的一部分, 比较符合实际情况。

温度是天气变量中对负荷影响最主要的因素, 而简单地把温度作为输入变量则会使预测精度过多地依赖于天气预报的准确性, 所以采用日平均温度和日平均温度变化量作为输入变量, 利用模糊理论对负荷预测值进行修正。

## 3 利用 ANN 进行基本负荷预测

人工神经网络又称为连接机制模型或并行分布处理模型, 由大量简单元件连接而成, 用来模拟人脑行为的复杂网络系统。ANN 对信息具有自组织、自学习、知识推理等特点, 尤其擅长处理非线性问题。本文采用三层前向网络(BP 网)的结构, 通过多个神经元的相互连接, 使其输入和输出构成一个复杂的非线性处理系统, 用于负荷预测, 同时利用其记忆功能。本文采用的单隐层 BP 网结构如图 1 所示。

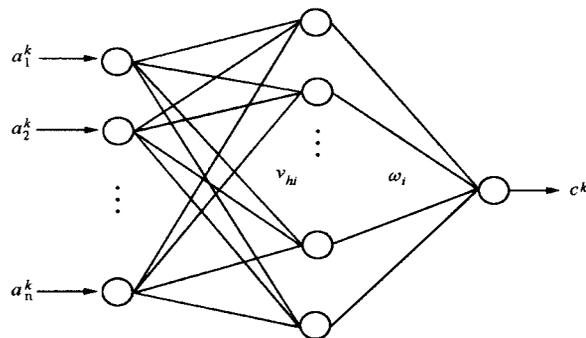


图 1 多输入单输出的 BP 网结构

ANN 采用 6-6-1 的结构, 具体如表 1。

在表 1 中,  $d$  表示第  $d$  天,  $t$  表示预测时间, 而

$L(d, t)$  则代表了预测日  $t$  时间的负荷预测值;其中  $L(d, t) = L(d-1, t) - L(d-2, t)$ , 是前两天  $t$  时刻的负荷变化趋势, 它反应了负荷在  $t$  时刻的增长方向和增长幅度, 来强化说明  $t$  时刻相对于前两天的变化情况。

表 1 ANN 的结构组成

	$L(d-1, t)$	$L(d-2, t)$
输入层	$L(d-3, t)$	$L(d-7, t)$
	$L(d-14, t)$	$L(d, t)$
输出层	$L(d, t)$	

为避免神经元出现饱和现象<sup>[1]</sup>, 在 ANN 的输入层对进行训练的负荷数据进行归一化处理, 使输入的负荷数据位于  $[-1, 1]$  区间, 采用下面的归一化公式:

$$L_i = \frac{L_i - \frac{1}{2}(L_{\max} + L_{\min})}{\frac{1}{2}(L_{\max} - L_{\min})} \quad (1)$$

在输出层则用式 (2) 重新换算回负荷值:

$$L_i = \frac{1}{2}(L_{\max} - L_{\min})L_i + \frac{1}{2}(L_{\max} + L_{\min}) \quad (2)$$

式中:  $L_{\max}, L_{\min}$  分别代表训练样本集合中负荷的最大和最小值。

同时, 为了加快收敛速度, 减小代价函数  $E_k = \frac{1}{2}(c^k - c)^2$ , 由梯度下降原则 (即连接权的变化正比于负梯度) 来完成连接权的改变, 同时, 引入平滑系数和遗忘系数, 解决神经网络的遗忘问题。具体步骤如下:

a) 计算输出层单元的激活值

$$c = f\left(\sum_{i=1}^p b_i + \right) \quad (3)$$

式中:  $p$  为隐含层单元数目;

为输出层的单元阈值, 是  $[-1, 1]$  区间的随机值;

$f(x) = (1 + e^{-x})^{-1}$  为 S 型函数;

$b_i$  为隐含层单元新的激活值

b) 计算输出层单元的一般化误差

$$e = c(1 - c)(c^k - c) \quad (4)$$

式中:  $k$  是神经网络的输入、输出模式对的第  $k$  对;

$c^k$  为输出层单元的期望输出值

c) 引进平滑系数和遗忘系数, 调整隐含层到输出层单元的连接权

$$i(t) = \eta b_i + \alpha i(t-1) + \beta i(t-2) \quad (5)$$

式中,  $\eta, \alpha, \beta$  分别代表学习速率、平滑系数和遗忘

系数;

而为了快速平息网络的剧烈震荡, 与传统方法不同的是取时刻  $t$  和  $t-1$  时的网络连接权的平均值作为  $t+1$  时刻网络的权重初值, 即

$$i(t+1) = \frac{i(t) + i(t-1)}{2} + i(t) \quad (6)$$

d) 同理, 该算法可以训练得到输入层到隐含层的连接权  $V_{hi}$  ( $h$  为输入层单元个数)

这样通过 ANN 的训练和学习, 最后可以确定权值  $V_{hi}$  和  $i$ , 利用更新的权值获得预测负荷的基本负荷部分  $L_B$ 。

#### 4 利用自适应模糊理论解决其他因素的影响

在自适应模糊系统中, 对  $L_B$  进行修正, 考虑到气温变化及节假日对负荷值的影响。采用三角形的隶属函数, 便于计算; 同时, 为了体现负荷变化对低温的敏感性, 模糊变量  $T$  的隶属函数形状是不均匀的<sup>[2]</sup>, 在零下温度的范围内较为密集, 充分体现低温对负荷变化的明显影响作用, 具体如图 2。

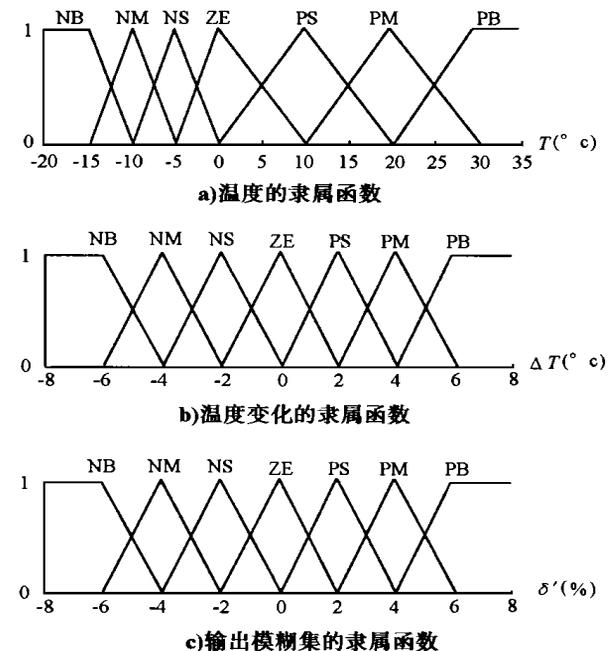


图 2 关于气温模糊域的隶属函数

由于相对误差比较灵活, 它能够随实际系统值的改变而改变, 因此在工程实践中, 常常用相对误差来代替实际误差, 本文采用相对误差对  $L_B$  进行修正。其中, 误差定义如下:

$$\delta(d, t) = \frac{L(d, t) - L_B(d, t)}{L_B(d, t)} \times 100(\%) \quad (7)$$

### 4.1 考虑温度变化对负荷造成的影响

为降低天气预报不准确造成的影响,要减少负荷预测精度对天气预报准确度的依赖性,因此使用日平均温度及其变化作为模糊变量,分别表示为  $T$  和  $\Delta T$ ,确定输出变量为  $L$ 。从数据样本中求出对应于  $T$ 、 $\Delta T$  和  $L$  的最大及最小值,并将  $[T_{\min}, T_{\max}]$ 、 $[\Delta T_{\min}, \Delta T_{\max}]$  和  $[L_{\min}, L_{\max}]$  分别进行  $M$  划分,每一划分对应一个模糊子集  $A_{ij} (j=0, 1, \dots, M; i$  代表  $T$ 、 $\Delta T$  或  $L$ )。其中  $T$  和  $\Delta T$  都取 7 个模糊语言值:NB(负大),NM(负中),NS(负小),ZE(零),PS(正小),PM(正中),PB(正大);而温度变化  $\Delta T$  则取 5 个模糊语言值:NB(负大),NS(负小),ZE(零),PS(正小),PB(正大)。模糊集的隶属函数如图 2 示。然后根据已知的输入—输出对应的隶属度,采用“IF..AND..THEN...”推理方法,建立模糊规则库。最终的去模糊变换本文采取常用的面积重心法,即

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^m \mu_i \cdot i}{\sum_{i=1}^m \mu_i} \quad (8)$$

式中:  $m$  为模糊规则库的规则数目;

$\mu_i = \mu(T_i) \cdot \mu(\Delta T_i)$ , 是规则  $i$  的置信度。

### 4.2 考虑节假日的影响

由于节假日的前一天及后一天都要受到节日的影响,而使负荷趋近于节假日负荷特性,所以本文把节日前一天 ( $d-1$ ) 的下午 6 点 (6PM) 之后和节日后一天 ( $d+1$ ) 的上午 8 点 (8AM) 之前均视为节日的一部分。

在该过程,把去年此时的相对误差  $\mu$  作为输入变量,  $L$  作为输出量。由于节假日的相对误差较大,为了提高预测精度增加模糊语言值,把输入模糊变量等分为 10 个模糊语言值 (NB2, NB1, NM2, NM1, NS2, NS1, ZE, PS, PM, PB), 建立模糊规则库, 进行去模糊变换, 得到受节假日影响的相对误差  $\mu$ 。同时由于样本数据中相同节假日的数目有限, 为了提高节假日预测精度, 可以人为地复制节假日数目。例如, 在由一年的历史数据构成的样本集中, 实际仅仅包含一个“国庆节”的样本, 人为复制后, 样本集中就有多多个“国庆节”的样本。

如果预测日并非节假日, 那么  $\mu = 0$ , 结束预测工作, 相反地, 如果预测日为节假日, 则有  $\mu = \mu + \mu$ , 得到负荷预测的最终结果

$$L_F = L_B + \mu \cdot L_B / 100 \quad (9)$$

## 5 算例分析与结论

为验证 ANN 模型与 AFS 相结合的有效性, 针对四川省某地区的电力系统历史负荷数据进行验算, 样本集由 3 个月的历史数据构成。在同一精度要求下, 分别用传统 BP 网和本文方法进行计算, 相比较而言, 后者所用的学习时间远小于传统 BP 网法, 而且精度也比前者高; 在考虑节假日影响时的预测误差也在精度要求范围内。某日具体负荷预测结果如表 2 所示。

表 2 某日各小时负荷预测结果

小时 (h)	预测值 (MW)	实际值 (MW)	误差 (%)	小时 (h)	预测值 (MW)	实际值 (MW)	误差 (%)
1	721.96	735	1.77	13	905.76	910	0.46
2	594.15	604	1.63	14	831.76	843	1.33
3	565.13	573	1.37	15	835.71	847	1.33
4	542.63	537	-1.05	16	862.35	868	0.65
5	523.92	531	1.33	17	879.12	865	-1.63
6	518.99	526	1.33	18	890.96	876	-1.71
7	545.63	553	1.33	19	877.92	867	-1.26
8	589.04	597	1.33	20	890.72	873	-2.03
9	647.25	656	1.33	21	897.87	879	-2.14
10	823.87	835	1.33	22	984.69	996	1.14
11	869.25	881	1.33	23	966.80	970	0.33
12	938.32	951	1.33	24	836.15	835	-0.14

表 2 所示的某日负荷预测值与实际值相比, 平均误差小于 1.275%。由此可得出结论 ANN 与 AFS 相结合的方法更有效, 可以较好地解决了系统负荷的非线性问题, 并且较好地解决了天气及节假日对负荷预测的影响, 具有较高的预测精度。

### 参考文献:

- [1] 蒋平, 鞠平. 应用人工神经网络进行中期电力负荷预测. 电力系统自动化, 1995, (19).
- [2] 王磊, 王为民. 模糊控制理论及应用. 北京: 国防工业出版社, 1997.

收稿日期: 2000-06-21

作者简介: 张晓(1976-), 女, 硕士研究生, 主要从事调度自动化和电力系统负荷预测的研究工作; 敬东(1944-), 男, 教授, 主要从事计算机通信和实时监控系统的研究工作。

(下转第 23 页)

能:

a) 完成对交流连续信号的离散化采集控制和傅氏级数计算,滤去信号中的各次谐波和直流成分得到其基波量。

b) 完成对电流的各序电流和等效电流计算,根据各保护方程,判别故障类型及保护动作与否。

c) 控制各保护出口动作、延时及恢复;并对跳闸保护结果进行检查,若跳闸失灵立即报警。

d) 实现人机对话:响应外部键盘操作;给出各种显示。

e) 自检保护装置工作状态,若有异常,发出告警。

f) 控制 X25043,保存各项保护整定参数和故障记录;并构成片内、片外双 WATCHDOG,对于程序性的死机,能够自动复位。实现对 RS232 和 RS485 标准接口的远程通信。

## 5 结语

利用微机实现的大中型电动机保护综合装置,

顺利通过清华大学国家重点实验室的动模试验和许继国家继电保护产品检测中心的按国际 EMC 标准的快速瞬变干扰试验。保护功能全面,装置的各项电气性能指标符合有关国际和国内的标准要求。

## 参考文献:

- [1] 王维俭. 电力系统继电保护基本原理. 北京:清华大学出版社,1991.
- [2] 陈树德. 计算机继电保护原理与技术. 北京:水利电力出版社,1992.
- [3] 许实章. 电机学(修订本). 北京:机械工业出版社,1988.

收稿日期: 2000-08-14

作者简介: 孙嘉宁(1954-),女,在职研究生,从事微机继电保护产品开发工作。

## Theory and practices of multiple protection for large and middle capacity asynchronous motors

SUN Jia-ning

(Hefei University of Technology, Hefei 230022, China)

**Abstract:** This paper deals with theory and design for multiple protection of asynchronous motors. Based on the theory and design, a kind of microcomputer control device has been successfully developed and commercialized.

**Key words:** asynchronous motor; multiple protection; theory; design; microcomputer device

(上接第 15 页)

## Short-term load forecasting using artificial neural network and adaptive fuzzy system

ZHANG Xiao, JING Dong

(Sichuan University, Chengdu 610065, China)

**Abstract:** This paper proposes a hybrid model for short-term load forecast using ANN and AFS, according to the uncertainty and nonlinearity of the load. The forecasted load is obtained through two steps. In the first procedure, this paper introduces the smoothing factor and the forgetting factor. In the second procedure, the uneven membership function is used. The result shows the efficiency and accuracy of this hybrid model.

**Key words:** artificial neural network; adaptive fuzzy system; short-term load forecast