

热电厂热负荷预测的神经网络模型

(东北电力学院) 李 勇 宋景东
(北京电力高等专科学校) 孙海波
(吉林市东关热电厂) 周 勤

[摘要] 提供了一种基于改进的 BP 网络——合成 BP 网络的热电厂热负荷预测模型,并对网络结构的构造方法及拟合精度进行了讨论。实际预测结果表明,基于合成 BP 网络的预测模型能很好地实现对热电厂热负荷的预测。

关键词 热负荷 神经网络 预测模型

中图分类号 TP27, TP15

0 前言

安全、经济地向用户提供高质量的热负荷,是热电厂运行的一个主要目标。而欲实现这个目标,热电厂在运行、计划及控制等方面就面临许多经济和技术上的问题。其中,如何预知热电厂在未来时刻需生产的热负荷,对热电厂实行超前管理,以便更经济、合理地安排生产计划,是运行人员普遍关心的问题。尤其是随着热电厂现代化管理水平的提高,这种预测工作显得更为必要。

文献 [1] 中采用乘积型积分滑动平均 (ARIMA) 模型对热电厂的热负荷进行了预测,取得了比较满意的结果。但 ARIMA 模型在建模前须预先对原始数据进行零均值化、平稳化及正态化处理,如果原始数据不能化为零均值、平稳、正态的时间序列,则无法采用 ARIMA 模型进行建模^[2]。因此,在实际应用中,ARIMA 模型的适用范围受到一定的限制。

近几年来,人工神经网络作为人工智能的一个分支,以其高度的非线性映射及学习能力引起了各学科的广泛关注,在火电厂的运行及设备管理中也日益受到重视^[3]。在众多的神经网络模型中,BP 网络是应用范围最广的一种网络模型。由于 BP 网络具有较强的非线性映射能力,因此,该网络特别适合于对时间序列的预测。借助于 BP 网络的预测方法,不需要对原始数据进行任何假设,而只用一个网络来拟合该时间序列或产生该时间序列的非线性系统,本文尝试用神经网络中的 BP 网络实现对热电厂热负荷的预测。

1 BP 网络的预测模型

对于非线性时间序列,其非线性自回归 (the nonlinear autoregressive) NAR(N) 模型为

$$x_t = h(x_{t-1}, x_{t-2}, \dots, x_{t-N}) + e_t \quad (1)$$

这里, $h(\cdot)$ 是未知的光滑函数, $e_t \sim NID(0, \sigma^2)$ 。

此时 x_t 的最小方差预测为

$$\hat{x}_t = E(x_t | x_{t-1}, x_{t-2}, \dots, x_{t-N}) = h(x_{t-1}, x_{t-2}, \dots, x_{t-N}) \quad (2)$$

$$\dots, x_{t-N}) \quad (2)$$

该预测模型的均方误差为 e^2 。

由于一个三层 BP 网络可以逼近任何连续函数^[4],因此,上式中的 $h(\cdot)$ 可以近似用一个三层 BP 网络来描述,而且,借助于 BP 网络的非线性映射能力,还可以实现对时间序列的多步预测。当采用标准的 BP 网络时,其第 l 步的预测值为:

$$\begin{aligned} x_{t+l-1} &= h(x_{t-1}, x_{t-2}, \dots, x_{t-N}) \\ &= g \left[\sum_{i=1}^M k_{li} f \left(\sum_{j=1}^N k_{ij} x_{t-j} + b_i \right) + b_l \right] \end{aligned} \quad (3)$$

其中 $l = 1, 2, \dots, L$, L 表示 BP 网络输出层节点数或预测步数,当 $L = 1$ 时,即表示一步预测 (或单步预测); $g(\cdot)$, $f(\cdot)$ 分别表示输出层、隐层节点的激励函数,通常均为 S 型曲线函数 $g(x) = f(x) = 1 / (1 + \exp(-x))$; k_{li} , k_{ij} 分别表示输出层与隐层、隐层与输入层节点间的连接权; b_i , b_l 分别表示输出层、隐层节点的阈值; N , M 分别为网络输入层和隐层节点数。

考虑到热负荷值组成的时间序列是一具有确定性趋势的非线性随机时间序列,同时又考虑到任一非线性函数均可以表示为若干个线性与非线性函数的线性组合,因此,本文采用了一种改进的 BP 网络

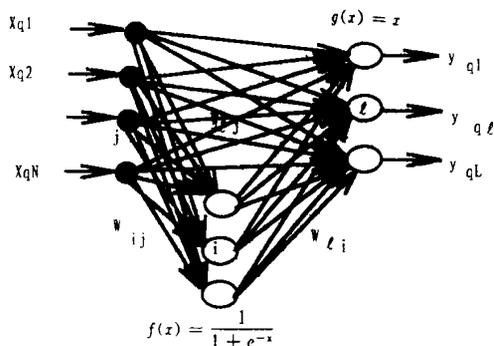


图 1 合成 BP 网络结构图

结构,如图 1 所示。这种 BP 网络是在常规 BP 网络的基础上,通过在常规 BP 网络的输入层与输出层间引入直接连接权,同时将输出层节点的激励函数改为线性函数 $g(x) = x$ 得到的,文献 [5] 中称之为合成 BP 网络。采用这种改进的 BP 网络有利于提高对具有确定性趋势的非线性随机时间序列的预测精度^[5]。

如果希望用过去的 N 个数据来预测未来 L 个时刻的值,即进行 L 步预测,可取时间序列的历史数

据中 N 个等距的数据为滑动窗并将它们映射为 L 个值,这 L 个值就表示在该窗之后的 L 个时刻的预测值 这里以 $L = 1$ 为例,表 1 中给出供网络训练用数据的一种分段方法.这种分段方法是将训练数据分成 Q 段有一定重叠度的数据段,每一段的前 N 个数据作为网络的输入,后一个数据则作为其相应的目标输出 据此即可用合成 BP 网络进行训练.通过对网络的训练^[4],得到参数 k_{li}, k_{lj}, b_i, b_j 的估计值,并因此得到函数 $h(\cdot)$ 的近似表示 $h(\cdot)$. 当采用合成 BP 网络时,其一步预测值为 ($L = 1$):

$$x_t = h(x_{t-1}, x_{t-2}, \dots, x_{t-N})$$

$$= g \left[\sum_{i=1}^{M+L} W_{Li} f \left(\sum_{j=1}^N W_{ij} x_{t-j} + b_i \right) + b \right]$$

表 1 网络的训练用数据

输入数据	目标输出
x_1, x_2, \dots, x_N	x_{N+1}
x_2, x_3, \dots, x_{N+1}	x_{N+2}
.....
$x_Q, x_{Q+1}, \dots, x_{Q+N}$	x_{Q+N+1}

2 合成 BP 网络在热负荷预测中的应用

对于任一个三层 BP 或合成 BP 网络,只要其隐层节点数足够多,它可以逼近任一连续函数.但对于时间序列的预测问题,网络的输入层节点数决定了 $NAR(N)$ 模型的阶数,因此对网络的预测精度也产生较大的影响.因此,在训练之前,首先对网络的拓扑结构进行优化选择.

这里以文献 [1] 中给出的某热电厂 1987~1991 年共 60 个月的月热负荷值作为网络的训练数据.为了对网络的结构进行优选,又将这 60 个数据中的前 40 个数据定义为初步训练样本集,后 20 个数据定义为检验集.初步样本集用于对网络进行初步训练,检验集用于对经过初步训练的合成 BP 网络的预测精度进行检验,以预测精度作为指标来确定网络的结构.

2.1 合成 BP 网络结构的优选

2.1.1 网络隐层节点数的选择

通常,隐层节点数越多,其拟合非线性函数的能力越强,迭代次数减少,但网络每迭代一次的计算量也增大,使网络的训练时间增加;反之,隐层节点数过少,则网络拟合非线性函数能力的减弱,迭代次数增加,甚至不能收敛到所要求的拟合精度.作者在文献 [5] 中的研究证明,只要网络的训练已收敛到给定的精度,则隐层节点数在很大的范围内变化时对网络的预测精度无明显的影响.因此,隐层节点数选择是以使训练时间最短作为依据,这里,我们取隐层节点数为 6.

2.1.2 网络输入层节点数的选择

当隐层节点数选定后,分别取不同的输入层节点数使网络训练到相同的精度,然后采用上述的检验集进行预测,以预测误差最小来确定输入层节点数.这里,我们取输入层节点数为 8.

2.2 合成 BP 网络训练精度的确定

当 BP 网络用于对时间序列进行预测时,网络的训练拟合精度是决定网络预测精度的一个很重要的因素.网络的训练精度过低,则训练后的网络不能反映出所描述的时间序列间的函数关系,使预测精度降低;反之,网络的训练精度过高,可能将时间序列

中的随机噪声拟合进去,即,出现“过拟合”的情况,则网络也不能很好地反映时间序列间的函数关系,同样影响预测精度的提高.对于本文中热负荷这类随机噪声的统计规律未知的时间序列,其训练拟合精度应依据前述的使网络对检验集的预测误差最小的指标通过试算选取.本文中通过试算取训练拟合方差 $e^2 = 0.0033$.

2.3 合成 BP 网络对热电厂热负荷的预测

当网络的输入层、隐层节点数及网络的训练拟合精度确定后,采用前述训练样本集中的 60 个数据对网络进行训练,网络训练收敛后,即可对后续时间序列进行预测.网络对 1992~1993 年共 24 个月热负荷的预测结果如图 2 所示.图中前 60 个值表示 1987~1991 的月热负荷实际值和网络的训练拟合值,后 24 个值表示 1992~1993 年的月热负荷实际值和网络的预测值,其预测误差方差为 $e^2 = 0.0026$.可见,合成 BP 网络较好地实现了对热电厂热负荷的预测.

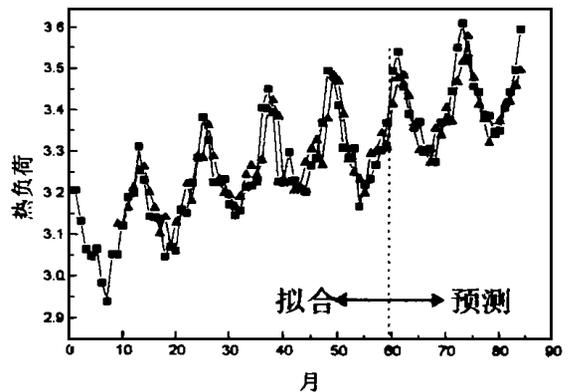


图 2 合成 BP 网络的拟合值和预测值及与实际值的比较

3 结论

- (1) 采用改进的 BP 网络——合成 BP 网络对热电厂热负荷的预测是完全可行的,而且,预测精度比较高.
- (2) 本文提出的热负荷预测神经网络模型不需要原始数据的可零均值化、平稳化及正态化,因此,该模型比文献 [1] 中的乘积型积分滑动平均 (ARIMA) 模型适用范围更广.

参考文献

- 葛晓霞,缪国均.热电厂热负荷的预测方法.热力发电,1996,(2): 25~28.
- 项静恬,杜今观,史久恩.动态数据处理——时间序列分析.北京:气象出版社,1986 212~254.
- 李勇,叶荣学,曹祖庆.汽轮发电机组故障预测方法.汽轮机技术,1996,(1): 17~20.
- Cybebo G. Approximations by superpositions of sigmoid function. Mathematics of Control, Signals and Systems, 1989(2): 303~314.
- 李勇.人工神经网络及其在汽轮机故障预测与诊断中的应用.南京:东南大学博士学位论文,1997. (渠源 编辑)

ence of an internal heat source, obtained by the use of a complex series method, and in tandem with the introduction of plate corner heat flux corner conditions, the anisotropic heat source-containing rectangular domain temperature field of four-side convection heat exchange was analyzed for the first time. Discussed is the effect of ply angle, anisotropic degree, boundary convection heat exchange factor and length-to-width ratio on the temperature field distribution. Key words anisotropic steady state heat conduction, convection, rectangular domain, analytic solution, corner condition, heat source

有换热的流化床废液焚烧炉燃烧室热力计算 = Thermodynamic Calculation of the Furnace of a Fluidized Bed Waste Liquid Incinerator Containing Heating Surfaces [刊,中] /Bie Rushan, Liu Wentie, Yang Lidan, et al (Harbin Institute of Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power). - 1998, 13(6). - 441~ 443

A furnace thermodynamic calculation method has been established for a fluidized bed waste liquid incinerator equipped with heating surfaces. By solving for dense phase zone and rarified phase zone heat balance equation obtained are the dense phase zone and rarified phase zone outlet incineration temperature as well as the formula for calculating auxiliary fuel consumption and incinerator efficiency. All the above has provided a theoretical basis for the design of fluidized bed waste liquid incinerators. Key words fluidized bed, incinerator, thermodynamic calculation, heat transfer, auxiliary fuel consumption, thermal efficiency

蒸汽透平全三元粘性流场计算 = The Calculation of A Steam Turbine Three-dimensional Viscous Flow Field [刊,中] /Huang Diangui (Southeastern University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power). - 1998, 13(6). - 444~ 446

This paper gives a brief description of the method for calculating three-dimensional viscous flow field of a steam turbine blade row with the use of a finite volume time marching method. The specific calculation of an existing steam turbine blade row has demonstrated the validity and correctness of the calculation method and procedures. The proposed method can be used for conducting a detailed analysis of steam turbine blade performance. Key words turbine, three-dimensional flow, viscosity

热电厂热负荷预测的神经网络模型 = A Neural Network Model for Predicting Cogeneration Plant Thermal Loads [刊,中] /Li Yong, Sun Haibo (Beijing College of Electric Power Engineering), Zhou Qin (Jilin Dongguan Cogeneration Plant) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power). - 1998, 13(6). - 447~ 448

On the basis of an improved version of BP network the authors propose a synthesized BP network model for predicting cogeneration plant thermal loads. Discussed also are the network structure constructing method and fitting precision. The results of actual prediction show that this prediction model based on the synthesized BP network performs very well in the prediction of cogeneration plant thermal loads. Key words thermal load, neural network, prediction model

IFC公式在热能动工程中的应用 = The Application of IFC Formula in Thermal Energy Power Engineering [刊,中] /Wang Shizhong, Li Zhongying, Wang Huaibin (Harbin Institute of Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power). - 1998, 13(6). - 449~ 451