

人工鱼群神经网络在热连轧卷取温度预报中的应用

郭强, 张超, 莫天生

北京科技大学高效轧制国家工程研究中心, 北京 100083

摘要 卷取温度预报结果对热轧带钢的成品性能具有重要影响。人工鱼群算法是新近提出的寻优策略, 具有良好的克服局部极值、获得全局极值的能力。建立了一种人工鱼群神经网络预测模型, 利用人工鱼群算法训练神经网络的权值, 并将该神经网络用于卷取温度预报。通过某钢厂现场实测数据对该模型进行离线训练和对比测试, 结果表明, 该方法与传统的 BP 神经网络预测方法相比, 具有较强的自适应能力和较好的预报效果; 该模型能够精确预报卷取温度, 可用于离线学习和预报, 为在线应用打下良好基础。

关键词 人工鱼群算法; 神经网络; 热轧带钢; 卷取温度

中图分类号 TP183

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2010)01-0074-04

Application of Artificial Fish-swarm Neural Network in Coiling Temperature Forecasting of Hot Rolled Strip

GUO Qiang, ZHANG Chao, MO Tiansheng

National Engineering Research Center for Advanced Rolling Technology, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China

Abstract The coiling temperature forecasting, as a non-linear optimal problem, is very important to the performance of hot rolled strip products. Based on the individual local searching, the Artificial Fish-swarm Algorithm (AFSA) is a new optimal strategy, with good capability to avoid the local extremum and obtain the global extremum. In this paper, an Artificial Neural Network (ANN) based the forecasting model of AFSA is proposed, with the weights being trained by AFSA, and the neural network of AFSA being applied to coiling temperature forecasting. Applying the forecasting method to a certain actual hot rolled strip, it is shown that comparing with the traditional BP neural network forecasting method, the presented forecasting method has better adaptive ability and can give better forecasting results. The artificial fish-swarm algorithm network is trained and checked with the actual production data. The result indicates that the method can predict the strip coiling temperature in real-time.

Keywords artificial fish-school algorithm; neural network; hot rolled strip; coiling temperature

0 引言

热连轧带钢的卷取温度对带钢的晶相组织影响很大, 是决定成品带钢加工性能、力学性能、物理性能的重要参数之一。当实际卷取温度超出要求范围, 钢卷的组织性能会变差, 所以保证热轧带钢温度达到规定的目标温度, 提高卷取温度控制精度一直是热连轧领域关注的重要问题。目前卷取温度控制主要靠传统的数学模型完成, 而带钢冷却过程的热交换是非常复杂的非线性过程, 影响卷取温度的因素多且复杂,

难以从在线控制数学模型中全部计算和精确描述。提高卷取温度的预报精度是一个具有现实意义的课题。

随着人工智能技术的发展, 人工神经网络(Artificial Neural Network, ANN)在卷取温度预报中的应用越来越广泛^[1]。ANN是由人工神经元互连组成的网络, 是从微观结构和功能上对人脑的抽象、简化、模拟人脑结构及其功能的非线性信息处理系统, 它能充分逼近任意复杂的非线性的关系, 具有很好的实时性。

收稿日期: 2009-10-14

基金项目: 中国高技术研究发展计划(863计划)项目(2009AA04Z163)

作者简介: 郭强, 副研究员, 研究方向为控制理论及应用, 电子信箱: guoqiang@necar.ustb.edu.cn

基于神经网络的卷取温度预报的关键是选择人工神经网络的学习算法。因为神经网络的学习算法影响神经元之间权值的训练,由此神经网络的学习算法就直接关系到预报模型的精度而成为卷取温度预报的关键。在人工神经网络的学习算法中,误差反向传播(Error Back Propagation,BP)神经网络是使用最为广泛的神经网络,它是一种单向传播的多层前向网络。在模式识别、图像处理、系统辨识、函数拟合、优化计算、最优预测和自适应控制等领域有广泛应用。但由于BP算法本身存在训练速度慢、易陷于局部极小值和全局搜索能力差等固有缺点,影响BP网络预报模型的精度。

人工鱼群算法(Artificial Fish-school Algorithm,AFSA)是一种模拟鱼群行为的随机搜索优化算法^[2-3],主要利用鱼的觅食、聚群和追尾行为,从构造单条鱼的底层行为做起,通过鱼群中个体的局部寻优达到使全局最优值在群体中突现出来的目的。文献[4]的实例表明该算法具有良好的克服局部极值、获得全局极值的能力。优化后的鱼群神经网络模型结构形式如图1所示。

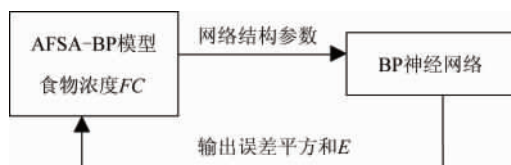


图1 鱼群神经网络的基本原理
Fig. 1 Basic principle of AFSA

1 人工鱼群神经网络预测模型

1.1 人工鱼群算法

在一片水域中,鱼生存数目最多的地方一般是本水域中含营养物质最多的地方,因为鱼往往能自行或尾随其他鱼找到营养物质多的地方。AFSA算法依据这一特点模仿鱼群的觅食、聚群及追尾行为,从而实现寻优。鱼的典型行为如下。

1) 觅食行为。一般情况下鱼在水中随机自由游动,当发现食物时,会向食物逐渐增多的方向快速游去。

2) 聚群行为。鱼在游动过程中,为了保证自身生存和躲避危害会自然聚集成群。鱼聚群时所遵守的规则有3条:分隔规则,尽量避免与临近伙伴过于拥挤;对准原则,尽量与临近伙伴的平均方向一致;内聚规则,尽量朝临近伙伴的中心移动。

3) 追尾行为。当鱼群中的一条或几条鱼发现食物时,其临近的伙伴会尾随其快速到达食物点。

1.2 人工鱼群算法训练神经网络的过程

人工鱼群算法训练神经网络过程的步骤如下:

1) 系统初始化,包括系统参数的设定及初始鱼群的产生;

2) 选择初始鱼群中食物浓度FC最大的人工鱼的个体,进入公告板;

3) 各人工鱼分别模拟追尾行为和聚群行为,选择行动FC值较大的行为执行;

4) 各人工鱼每行动一次后检验自身的FC与公告板的FC,如优于公告板则以自身取代之;

5) 判断中止条件,如不满足条件则返回步骤3)。

计算框图如图2所示。

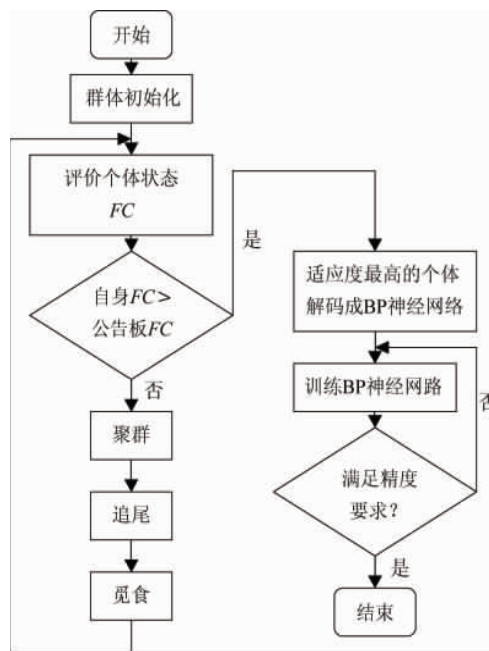


图2 鱼群神经网络的计算流程
Fig. 2 Calculation flowchart of AFSA

1.3 人工鱼群神经网络的具体实现

1.3.1 算法结构及相关定义

假设前向神经网络有 n 个输入神经元、 h 个隐层神经元、 m 个输出神经元, E 为实际输出和期望输出的误差平方和。利用人工鱼群算法训练该前向神经网络的关键是人工鱼个体模型的构造,鱼群规模设为 N ,每条人工鱼代表一个前向神经网络,任意两人工鱼个体 X_p 和 X_q (其中 $p, q \in \{0, 1, 2, \dots, N-1\}$)的差 $(X_p - X_q)$ 或和 $(X_p + X_q)$ 仍代表一个神经网络^[3-4]。前向神经网络的欲寻优变量为两个权值矩阵 $[w_{ij}]$ 、 $[v_{ki}]$ 和两个阈值向量 $[w_{i0}]$ 、 $[v_{k0}]$,其中, w_{ij} 为第 i 个隐层神经元与第 j 个输入神经元之间的权值; v_{ki} 为第 k 个输出神经元与第 i 个隐层神经元之间的权值; v_{k0} 为第 k 个输出神经元的阈值; w_{i0} 为第 i 个隐层神经元的阈值。此外还需定义人工鱼的行为函数。人工鱼当前位置的食物浓度为 $FC=1/E$,两人工鱼个体 X_p 与 X_q 之间的距离为

$$d_{pq} = \sum_{i=1}^h \sum_{j=1}^n [w_{ij}(p) - w_{ij}(q)]^2 + \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^h [v_{ki}(p) - v_{ki}(q)]^2 + \sum_{i=1}^h [w_{i0}(p) - w_{i0}(q)]^2 + \sum_{k=1}^m [v_{k0}(p) - v_{k0}(q)]^2 \quad (1)$$

1.3.2 行为描述

1) 觅食行为。令 V 为人工鱼的感知距离,STEP为人工鱼

移动步长的最大值, δ 为拥挤度因子, 人工鱼当前状态为 X_i , 在其可见域内 ($d_{ij} \leq V$) 随机选择一个状态 X_j , 若该状态食物浓度大于当前状态, 则向该方向前进一步, 执行式(2); 反之随机移动一步, 执行式(3); v_{ki}, w_{i0}, v_{k0} 的变化同理。

$$w(i+1)=w(i)+\text{Random}(\text{STEP})(w_{ij}(j)-w_{ij}(i))/d_{ij} \quad FC_i < FC_j \quad (2)$$

$$w(i+1)=w(i)+\text{Random}(\text{STEP}) \quad FC_i > FC_j \quad (3)$$

其中, $1 \leq j \leq n$, $1 \leq i \leq h$, $1 \leq k \leq m$, $w_{ij}(j), w_{ij}(i)$ 和 $w_{ij}(i+1)$ 分别为人工鱼 X_j, X_i 和人工鱼的下一步状态 X_{i+1} 的参数矩阵 $[w_{ij}]$ 中的第 i 行, 第 j 列元素, $\text{Random}(\text{STEP})$ 为 $[0, \text{STEP}]$ 间的随机数。以下各式中的符号含义相同。

2) 聚群行为。人工鱼当前状态 X_i , 探索可见域内的伙伴数为 n_f , 形成集合

$$J_{ki} = \{X_j | d_{ij} \leq V\} \quad (4)$$

若 $J_{ki} \neq \emptyset$, 则在集合 J_{ki} 内搜索中心位置 X_{center} 且各变量初值为 0, 按式(5)搜索可见域内的人工鱼:

$$\begin{aligned} w_{ij}(\text{center}) &+= w_{ij}(j) & v_{ki}(\text{center}) &+= v_{ki}(j) \\ w_{i0}(\text{center}) &+= w_{i0}(j) & v_{k0}(\text{center}) &+= v_{k0}(j) \end{aligned} \quad (5)$$

其中, $w_{ij}(j), w_{i0}(j), v_{ki}(j)$ 和 $v_{k0}(j)$ 为 X_i 在 X_j 可见域内所携带的变量, 在扫描完可见域内的所有人工鱼个体后执行式(6):

$$\begin{aligned} w_{ij}(\text{center})/n_f & & v_{ki}(\text{center})/n_f \\ w_{i0}(\text{center})/n_f & & v_{k0}(\text{center})/n_f \end{aligned} \quad (6)$$

计算该中心位置食物浓度值 FC_c , 如果满足式(7)则表明伙伴中心位置安全度较高且不太拥挤, 执行式(8), 否则人工鱼执行觅食行为。 v_{ki}, w_{i0}, v_{k0} 的变化与之同理。

$$FC_c/n_f > \delta FC_i \quad (7)$$

$$w(i+1)=w(i)+\text{Random}(\text{STEP})(w_{ij}(\text{center})-w_{ij}(i))/d_{i, \text{center}} \quad (8)$$

若 $J_{ki} = \emptyset$, 执行觅食行为。

3) 追尾行为。人工鱼当前状态为 X_i , 可见域内的所有伙伴中 FC 最大的伙伴为 X_{max} , 如满足(9)则表明伙伴的食物浓度高且其周围不太拥挤, 则执行式(10), 否则执行觅食行为。 v_{ki}, w_{i0}, v_{k0} 的变化同理。

$$FC_{\text{max}} > \delta FC_i \quad (9)$$

$$w(i+1)=w(i)+\text{Random}(\text{STEP})(w_{ij}(\text{max})-w_{ij}(i))/d_{i, \text{max}} \quad (10)$$

其中 $d_{i, \text{max}}$ 为人工鱼 X_i 与最大伙伴 X_{max} 间的距离。若人工鱼当前可见域内没有其他伙伴也执行觅食行为。

4) 公告板。算法中设立一个公告板, 同样定义为一条人工鱼, 用以记录最优人工鱼个体状态。每条人工鱼行动一次就将自身当前状态的食物浓度与公告板进行比较, 如优于公告板则用自身状态取代公告板状态。

1.3.3 行为选择

对人工鱼当前所处的环境进行评价, 即模拟执行聚群、追尾行为, 然后选择行动后食物浓度值较高的动作来执行, 缺省行为方式为觅食行为。

2 实例仿真

利用福建某钢厂 2009 年 4 月 1 日至 5 月 20 日的历史数据进行建模、训练并验证本研究提出的方法, 编程环境为

VC++ 6.0。对预报带钢卷取温度的鱼群神经网络进行离线学习和预报。取终轧厚度分别为 13, 11, 9.5, 8.7, 5.5, 5, 4.5mm 的 600 组数据作为鱼群神经网络的训练数据, 取 200 组数据作为测试数据。

利用训练样本分别对 BP 神经网络和鱼群神经网络在相同精度要求 0.10 的情况进行误差反向传播训练。图 3 显示了两种方法收敛速度的差异。鱼群优化后的 AFSA-BP 神经网络在训练 2400 次时就可达到精度要求, 而直接 BP 神经网络则需要 3300 次, 收敛速度提高 27.4%。

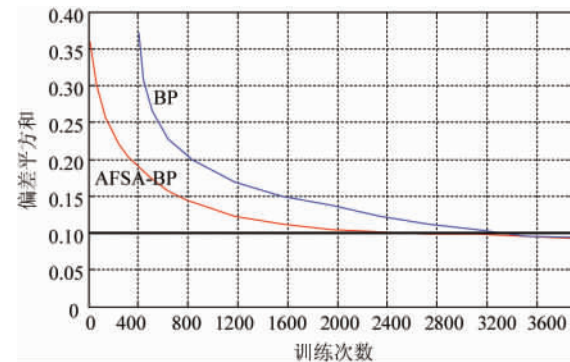


图 3 鱼群神经网络与神经网络收敛速度的对比

Fig. 3 Comparison of convergence rate of AFSA and NN

鱼群算法参数: 种群大小 20; 可视域 0.7; 最大移动步长 0.5; 拥挤度因子 3.618。鱼群神经网络的结构参数和性能参数: 隐藏层神经元个数为 19, 基本上是输入层神经元个数的两倍略多, 和一般的经验值相近; 初始学习率为 0.3, 在 BP 网络的进一步学习中动态改变; 隐藏层作用函数斜率为 0.5。

经过鱼群算法的优化设计后, BP 神经网络进一步进行误差反向传播计算 2000 次, 作为预测网络对测试数据进行测试, 单样本预测时间不超过 10ms。

图 4 是鱼群神经网络测试的预测值和实际值对比, 图 5 是预测值和实际值的偏差曲线。从图 4 可以看出, 预测的卷取温度可以较好拟和实测的卷取温度。从图 5 可以看出, 偏差比较集中, 偏差绝对值在 5℃ 以内的预测值达到 80%, 偏差绝对值在 10℃ 以内的预测值达到 94.25%, 能够达到偏差绝对值在 20℃ 以内的设计要求。

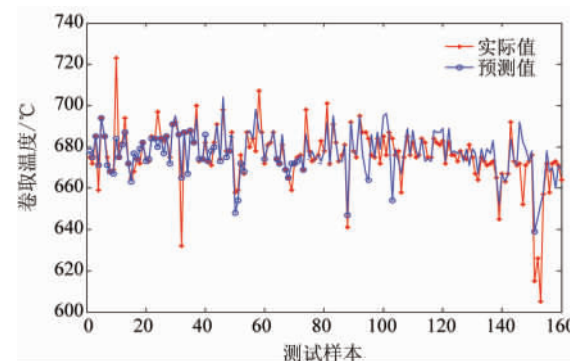


图 4 预测值与实测值的比较

Fig. 4 Comparison of actual value and predicted value

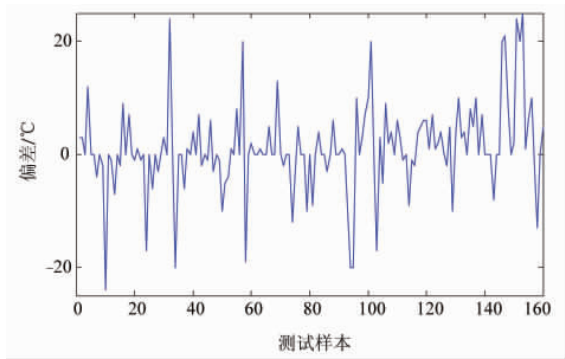


图 5 实际值和预测值的偏差
Fig. 5 Deviation of actual value and predicted value

3 结论

1) 将鱼群算法和 BP 神经网络相结合,取长补短,加快了 BP 算法的搜索进程;保证了网络隐层节点数、隐层作用函数的最佳选取和网络权值、阈值的优化。

2) 将鱼群神经网络应用于热轧带钢卷取温度的预测,能够满足卷取温度预报的精度要求,同时具有较快的收敛速度,能够满足在线实时控制的要求。

参考文献 (References)

- [1] 于庆波, 刘相华. 人工神经网络在层流冷却卷取温度预报中的应用[J]. 钢铁, 2002, 37(8): 37-41.
Yu Qingbo, Liu Xianghua. *Iron and Steel*, 2002, 37(8): 37-41.
- [2] 李晓磊, 邵之江, 钱积新. 一种基于动物自治体的寻优模式: 鱼群算法[J]. 系统工程理论与实践, 2002, 22(11): 33-39
Li Xiaolei, Shao Zhijiang, Qian Jixin. *Systems Engineering-theory & Practice*, 2002, 22(11): 33-39.
- [3] 李晓磊, 钱积新. 基于分解协调的人工鱼群优化算法研究 [J]. 电路与系统学报, 2003, 8(1): 1-6.
Li Xiaolei, Qian Jixin. *Journal of Circuits and Systems*, 2003, 8(1): 1-6.
- [4] 马建伟, 张国立, 谢宏, 等. 利用人工鱼群算法优化前向神经网络[J]. 计算机应用, 2004, 24(10): 21-23.
Ma Jianwei, Zhang Guoli, Xie Hong, et al. *Computer Applications*, 2004, 24(10): 21-23.

(责任编辑 王芷)

2010年海峡两岸地震科技论坛

时间: 2010年6月20-28
地点: 台湾·台北

**主办: 中国地震学会
台湾“中央大学地球科学系”**

电子信箱: zgdxh@sina.com