

Research on Control System of the Construction Elevator Leveling Based on Improved BP Neural Network

Chengfei Ji*, Xuefei Qian

China Petroleum Pipeline Engineering Co., Ltd. International, Langfang Hebei
Email: *jichengfei@CNPC.com.cn

Received: Nov. 2nd, 2020; accepted: Nov. 24th, 2020; published: Dec. 15th, 2020

Abstract

Aiming at the problems of traditional construction elevator leveling process, such as manual judgment, manual operation, poor accuracy and low intelligence, an optimization algorithm of improved BP (Back Propagation) neural network to the leveling control system of construction elevator is put forward. The system is based on DSP master controller. When it is first used, it records the corresponding floor information through self-learning, and uses the optimized BP neural algorithm to train and simulate the designed network. During the operation of the elevator, the elevator will automatically slow down when the height difference between the elevator and the set floor is L, and when it reaches the set floor, it will stop automatically and accurately to realize the automatic leveling process.

Keywords

Elevator, BP Neural Network, Leveling Control

*通信作者。

基于改进BP神经网络的施工升降机平层控制系统研究

姬程飞*, 钱雪飞

中国石油管道局工程有限公司国际事业部, 河北 廊坊
Email: *jjchengfei@CNPC.com.cn

收稿日期: 2020年11月2日; 录用日期: 2020年11月24日; 发布日期: 2020年12月15日

摘要

针对传统施工升降机平层过程需要人工判断、人工操作、精度较差、智能化不高的问题, 提出了将改进的BP神经网络应用到施工升降机中的平层控制系统。该系统基于DSP主控制器, 首次使用时通过自学习, 记录相应楼层信息, 利用优化的BP神经算法对设计的网络进行训练和仿真, 在升降机的运行过程中, 升降机在与设定楼层高差为L时自动减速, 当到达设定楼层时自动精确停靠, 实现自动平层过程。

关键词

升降机, BP神经网络, 平层控制

Copyright © 2020 by author(s), Yangtze University and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着我国基础设施建设能力的不断提高, 建筑行业发展日益迅速, 建筑难度持续提高, 对施工技术的要求也越来越高[1]。在建筑施工领域, 施工升降机是运送垂直升降作业人员必要的设备, 传统的施工升降机大多选用接触器或继电器作为开关, 以直接启动和机械抱闸的原始方法进行启动和停止, 整个过程大都依靠人工手动和人工经验控制来完成, 存在精度低、效率低、舒适度差、智能化程度不高、机械损耗严重等很多缺点, 难以满足当前高层建筑的施工要求[2] [3] [4]。随着异步电机变频调速技术的进步, 利用变频器[5], 结合 DSP 芯片和智能神经网络进行精确的运算控制, 可以有效地解决上述问题, 获得良好的运行特性[6]。各种信息技术的应用使施工升降机械的自动控制迎来了崭新机遇, 各种传感控制技术、荷载自适应控制技术、自动平层控制技术等, 大大提高了设备的耐久性和安全可靠[7] [8]。本文主要介绍一种智能化的自动平层控制系统, 使其实现精确、高效的自动平层。

2. 平层控制系统关键技术

平层控制系统设计实现类似电梯功能的智能精确平层的目标功能, 主要有三项关键技术:

1) 信息采集

系统通过光电编码器将电机输出轴上的旋转速度、运行方向和位置转换转变成脉冲或数字量, 利用

压敏器件，将升降机负载重量转换成连续电压信号，均上载至 DSP 主控制器，为平层制动距离的预测提供样本数据。

2) 制动距离预测

在特定情况下，假如光电编码器的输出脉冲或数字信号与存储器中储存的楼层高度信息吻合则执行机构电机停止转动。系统中的变频器是一个黑匣子系统，无法直接设定预测距离，神经网络通过自己对数据的泛化和系统的整定，能够模拟逼近任何输入输出所遵循的内在规律，并且能够通过自我优化学习，不断提高输出的准确性和抗干扰性，适合本系统制动距离的预测。因此，系统通过人工神经网络来预测平层时的制动距离，使平层控制更加智能化。

3) 电磁抱闸设计

DSP 主控制器和抱闸系统协同控制平层的停车，在达到指定楼层位置时，电机停止转动，同时抱闸系统自动开启。为了提高停车的响应速度和线性平稳度，变频器设置为斜坡停车，继电器控制电磁抱闸吸合或断开，实现平层过程。

3. BP 神经网络

3.1. 传统 BP 神经网络

BP 神经网络基于误差逆向传播思想，主要包括输入层、隐含层及输出层三层结构。网络传输包含两个阶段，即信号前向传输和误差逆向传输。输入信号在前向传输过程中，经过隐含层，在输出层得到输出信号。如果输出信号与预期设定的参数不一致，误差开始逆向传输，经输出层、隐含层、输入层依次优化权值和阈值，降低误差，直到达到设定参数，即停止训练[9]-[15]。图 1 为标准 BP 神经网络结构，各层神经元节点数分别为 M 、 q 、 L 。输入信号为 x_1, x_2, \dots, x_M ，网络输出信号为 y_1, y_2, \dots, y_L ，预期输出信号为 $t_k (k = 1, 2, \dots, L)$ ，误差信号为 $e_k (k = 1, 2, \dots, L)$ 。

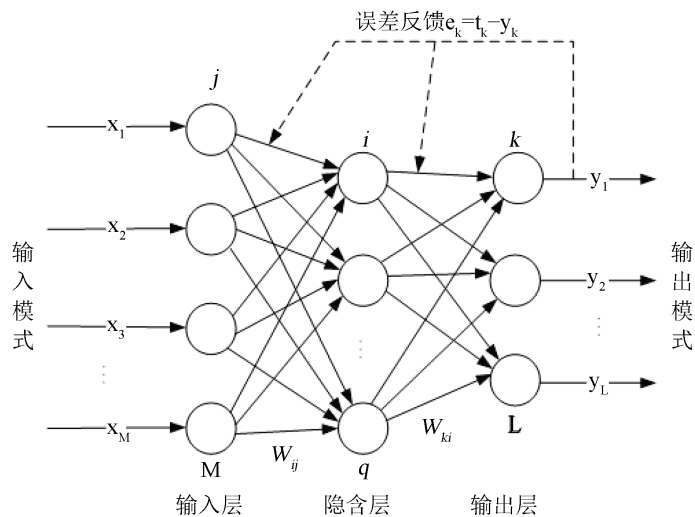


Figure 1. The model of BP neural network
图 1. BP 神经网络模型

根据上述原理，BP 神经网络算法实现主要包括信号的正反两个传输过程[10] [11]，具体如下：

1) 信号的正向传输过程。

隐含层第 i 个节点的输入 net_i 为

$$net_i = \sum_{j=1}^M w_{ij} x_j + \delta_i \quad (1)$$

隐含层第 i 个节点的输出 o_i 为

$$o_i = \phi(net_i) = \phi\left(\sum_{j=1}^M w_{ij} x_j + \delta_i\right) \quad (2)$$

输出层第 k 个节点的输入 net_k 为

$$net_k = \sum_{i=1}^q w_{ki} y_i + \delta_k = \sum_{i=1}^q w_{ki} \phi\left(\sum_{j=1}^M w_{ij} x_j + \delta_i\right) + \delta_k \quad (3)$$

输出层第 k 个节点的输出 o_k 为

$$o_k = \psi(net_k) = \psi\left(\sum_{i=1}^q w_{ki} y_i + \delta_k\right) = \psi\left[\sum_{i=1}^q w_{ki} \phi\left(\sum_{j=1}^M w_{ij} x_j + \delta_i\right) + \delta_k\right] \quad (4)$$

式中, x_j 为 j 节点的输入, $j=1,2,\dots,M$; w_{ij} 和 w_{ki} 分别为输入层到隐含层和隐含层到输出层的权值; δ_i 和 δ_k 分别为隐含层和输出层 i 节点和 k 节点的阈值; ϕ 和 ψ 分别为网络隐含层及输出层的激励函数; o_k 为 k 节点的输出。

2) 误差的反向传输过程。

在标准 BP 神经网络中, 输入样本 p 的误差可用如下函数表示:

$$E_p = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^L (t_k^p - o_k^p)^2 \quad (5)$$

式中, L 为网络输出层神经元节点数; o_k^p 和 t_k^p 分别为样本 p 条件下节点 k 的实际输出和目标输出。

为使网络收敛, 各层网络权值沿着梯度下降最快的方向进行修正。由下降梯度法得隐含层与输出层神经元样本 p 作用时的加权系数增量公式, 如式(6)~式(11)所示:

$$w_{ij}(k+1) = w_{ij}(k) + \eta \delta_i^p o_j^p \quad (6)$$

$$w_{ki}(k+1) = w_{ki}(k) + \eta \delta_k^p o_i^p \quad (7)$$

$$\delta_{ki}(k+1) = \eta \delta_{ki}(k) \quad (8)$$

$$\delta_{ij}(k+1) = \eta \delta_{ij}(k) \quad (9)$$

$$\delta_{ki}^p = o_k^p (1 - o_k^p) (t_k^p - o_k^p) \quad (10)$$

$$\delta_{ij}^p = o_i^p (1 - o_i^p) \left(\sum_{k=1}^L \delta_k^p \cdot w_{ki} \right) \quad (11)$$

式中, η 为学习速率, $\eta > 0$; o_i^p 和 o_j^p 分别为样本 p 条件下隐含节点 i 和输入节点 j 的输出。

BP 神经网络与其他算法相比, 计算量较小、网络相对简单、并行性较高。但这种算法也有一些弊端, 如学习效率不高, 易于产生局部极小值, 收敛速度不快, 不适合升降机在线平层控制, 存在样本依赖。因此, 标准 BP 神经网络算法改进势在必行。

3.2. 改进神经网络

为了有效改善网络性能, 减小网络误差, 在标准 BP 算法中添加动量项, 使权值不断修正; 自动调整学习步长, 提高学习速率, 形成改进的 BP 网络算法[12][13][14][15][16], 如式(12)所示。

$$\begin{cases} w(k+1) = w(k) + \eta(k)[(1-\alpha)D(k) + \alpha D(k-1)] \\ \eta(k) = 2^\lambda \eta(k-1) \\ \lambda = \text{sgn}[D(k)D(k-1)] \end{cases} \quad (12)$$

上述算法能够自动修正迭代过程中的学习步长，让误差函数以相对合理的步长沿着梯度曲面的各个方向逼近极小点。

BP 网络在学习过程中沿着误差梯度变化最大的反方向不断修正网络阈值和权值，使网络误差达到最小，图 2 为网络具体的学习流程。

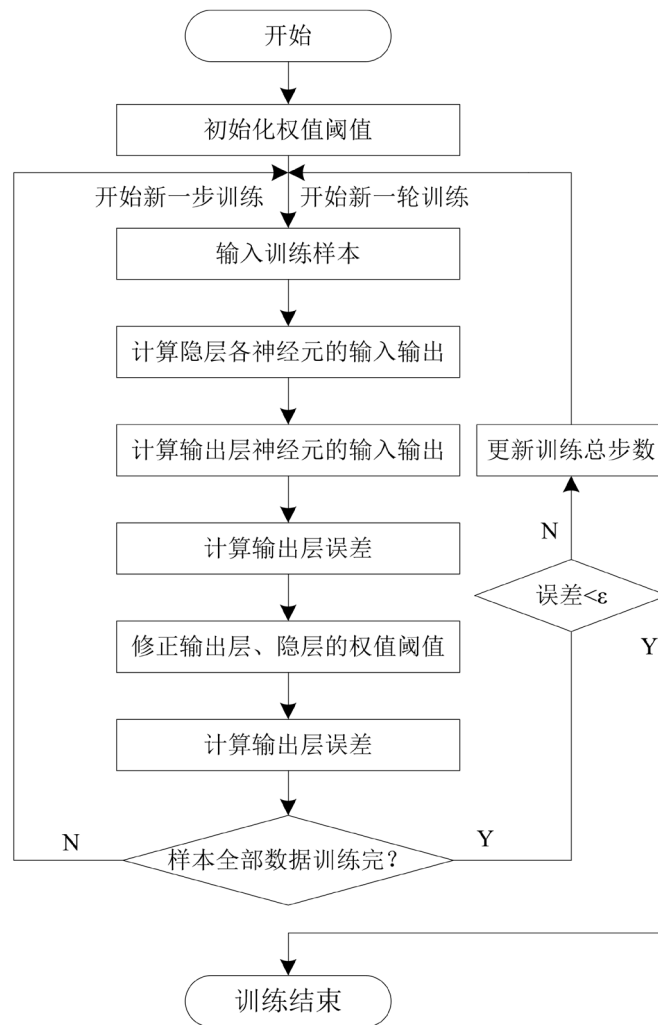


Figure 2. Learning process of BP network
图 2. BP 网络的学习流程

4. 平层制动过程分析

平层的制动主要包括两个过程，即提前减速和停车，通过变频器可预先设置升降机的运行速度和减速时间[2] [3]。由工作经验可知，制动距离主要与升降机货台的运行速度、货物载重量和上下运行方向等因素有关。以升降机上升运行为例，当升降机停止运行时，则平层有三种情况，如图 3 所示。

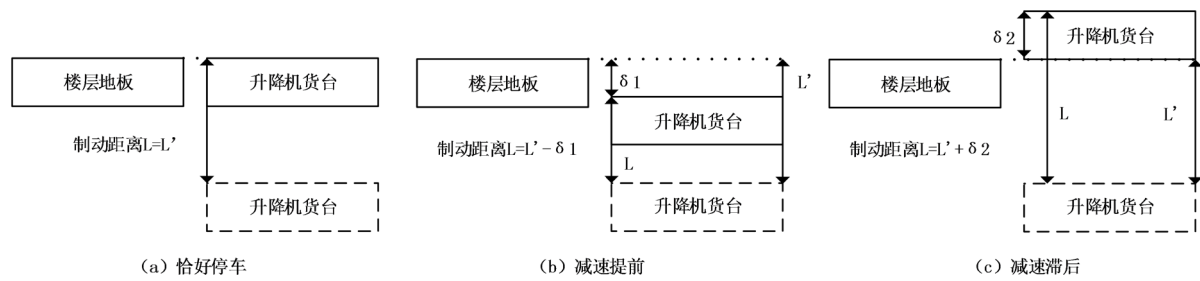


Figure 3. Parking plan of leveling floor
图 3. 平层停车示意图

1) 理想情况: 升降机吊笼平台与该楼层底板恰好平齐; 2) 不理想情况: 升降机吊笼平台还没有到达楼层地板的位置, 与目标高度还有一段距离 $\delta 1$, 此时要重新启动电机, 因此这种情况在实际运行中要绝对禁止; 3) 正常情况: 升降机吊笼平台超出楼层地面一段距离, 记为 $\delta 2$, 表示吊笼平台与楼层恰好平平时还没有完全停止, 此时需要人工操作电磁抱闸系统实现平层过程。

5. BP 神经网络仿真分析

为提高平层精度, 降低机械磨损和能量损失, 减少人工操作次数, 系统引入智能 BP 神经网络实现制动距离 L' 的预测, 使 L' 与实际制动距离 L 尽量相等, 电磁抱闸时吊笼速度尽量为 0。由于实际制动距离主要受升降机运行速度、载重和运行方向三个方面的影响, 因此在设计神经网络时, 输入信号为这三个变量, 输出信号为要预测的制动距离, 由于输入层和隐含层神经元个数 M 和 q 之间具有 $q = 2M + 1$ 的近似关系, 由 $M = 3$, 得 $q = 7$ 。隐含层和输出层的传递函数分别选用 *tansig* 和 *logsig* 函数。确定了网络结构和训练方法后, 在 *Matlab* [17] 中, 用标准 BP 算法和改进算法对网络模型分别进行仿真分析, 训练样本和两种算法的误差性能曲线分别如表 1 和图 4 所示。

Table 1. Training sample form
表 1. 训练样本表格

速度(m/s)	载重(t)	运行方向(0/1)	制动距离(m)
0.5	0	1	0.252
0.5	1	1	0.268
0.5	2	1	0.312
1	0	1	0.401
1	1	1	0.512
1	2	1	0.689
1.5	0	1	0.692
1.5	1	1	0.803
1.5	2	1	0.962
0.5	0	0	0.269
0.5	1	0	0.315
0.5	2	0	0.358
1	0	0	0.439
1	1	0	0.594
1	2	0	0.726
1.5	0	0	0.738
1.5	1	0	0.801
1.5	2	0	0.991

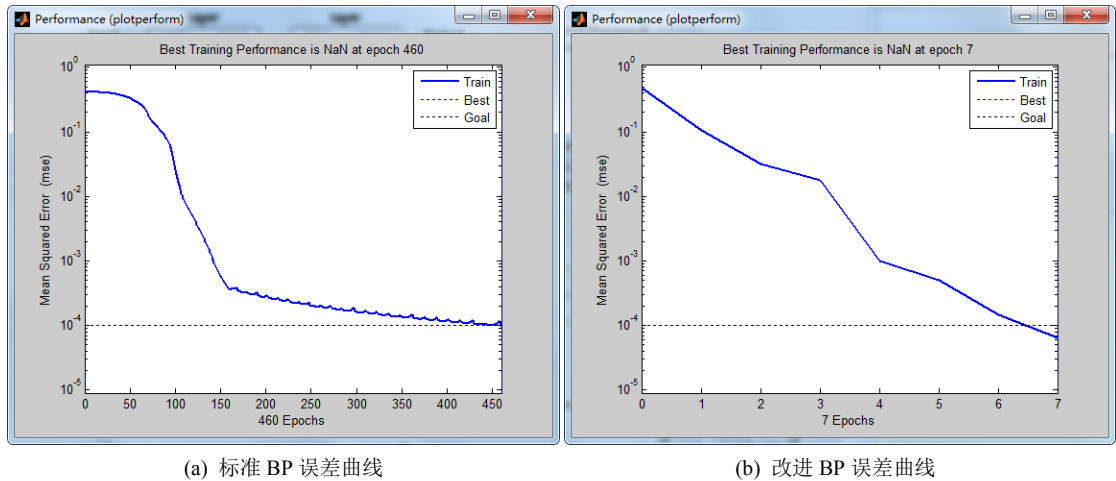


Figure 4. Training results of BP neural network
 图 4. BP 神经网络的训练结果

当设置的误差参数 $\epsilon = 10^{-4}$ 时，标准 BP 算法需要训练 460 次，改进算法只需要 7 次即可达到设定的目标值，效率远远高于标准 BP 算法，实现了精准预测制动距离，以便能够快速抱闸平层，从而减小了能量损失和机械磨损，增加了平层精度。利用上述数据，结合已经训练好的 BP 神经网络，在 Matlab 中，得到制动距离预测曲面图，如图 5 所示。

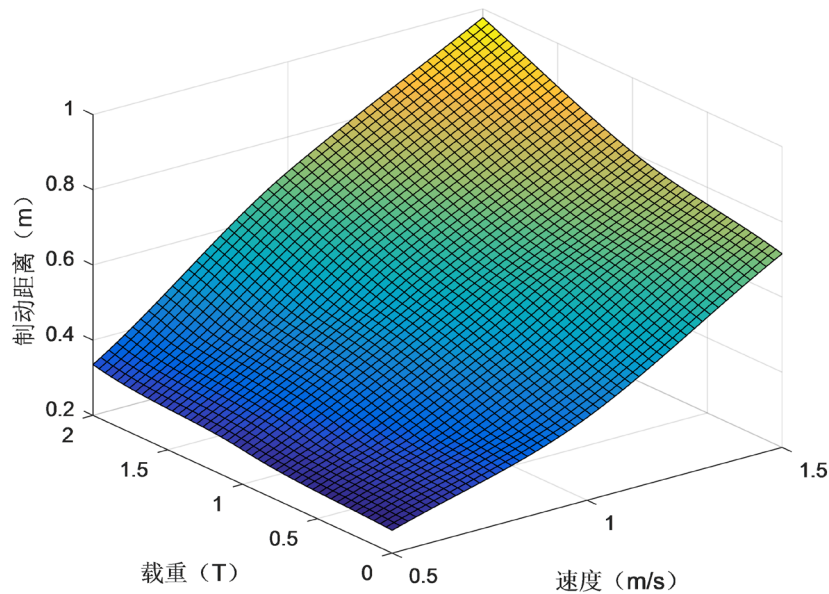


Figure 5. The prediction curve of BP neural network
 图 5. BP 神经网络预测曲面图

图 5 中，xyz 分别为升降机运行速度、车厢载重和上升过程中预测的制动距离 L' ，由图可知当速度和载重增加时，制动距离也跟着非线性增大，与选择的训练样本变化的趋势一致，符合基本的变化规律。

6. 总结

本文提出基于改进 BP 神经网络的施工升降机平层控制系统，首先介绍了智能平层控制系统的三个

关键技术, 其次对标准 BP 神经网络和改进神经网络算法做了简单介绍, 将其引入到施工升降机制动距离预测的网络模型中, 利用 *Matlab* 对设计的网络进行训练, 得出训练结果与样本变化趋势一致, 能够预测制动距离, 可进一步将其应用到平层在线控制系统的设计中。

参考文献

- [1] 刘子金, 吴学松, 张磊庆. 信息化开启机械化施工新时代[J]. 建筑机械化, 2019, 40(10): 11-13.
- [2] 刘仁强. 施工升降机的快速平层智能化系统设计及应用[J]. 电子制作, 2015(2): 56.
- [3] 张春莉. 基于 S7-200PLC 的五层电梯的换速、平层、停车控制系统设计[J]. 电子制作, 2019(16): 13-14+51.
- [4] 毛晓雯, 霍孟友, 朱振杰. 基于插值算法的升降机自动平层控制器设计[J]. 自动化仪表, 2018, 39(11): 73-77.
- [5] 曾东. 变频器在施工升降机上的应用[J]. 建筑机械化, 2013(3): 86-88.
- [6] 吴海涛. 建筑升降机智能自动平层控制系统设计[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2014.
- [7] 盖晓东, 李溪水, 秦文江, 等. 基于 BP 神经网络的电梯制动距离预测系统[J]. 电脑知识与技术, 2019, 15(23): 200-202.
- [8] 刘子金, 王春琢, 张淼. 建筑施工装备研发历程回顾与展望[J]. 建筑科学, 2018, 34(9): 99-109.
- [9] 赵旭峰. LMBP 神经网络算法改进及其应用[D]: [硕士学位论文]. 合肥: 中国科学技术大学, 2014.
- [10] 周菁菁. 一种 BP 神经网络的改进算法及其应用[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 兰州大学, 2017.
- [11] 刘莉, 刘强, 靳鸿, 等. 引入动量项的变步长 BP 网络预测算法[J]. 探测与控制学报, 2015, 37(5): 102-105.
- [12] 潘程艳. 带动量的 BP 神经网络在线梯度学习算法的收敛性[D]: [硕士学位论文]. 上海: 华东理工大学, 2020.
- [13] 苏赫. 基于改进 BP 神经网络的空气质量预测研究[D]: [硕士学位论文]. 南昌: 南昌大学, 2020.
- [14] Chen, M.J. (2014) An Improved BP Neural Network Algorithm and Its Application. *Applied Mechanics and Materials*, 543-547, 2120-2123.
- [15] Huang, Q. and Cui, L.M. (2019) Design and Application of Face Recognition Algorithm Based on Improved Backpropagation Neural Network. *Revue d'Intelligence Artificielle*, 33, 25-32. <https://doi.org/10.18280/ria.330105>
- [16] 王磊, 王汝凉, 曲洪峰, 等. BP 神经网络算法改进及应用[J]. 软件导刊, 2016, 15(5): 38-40.
- [17] 董长虹. *Matlab 神经网络与应用*[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007: 125-186.