

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2011.01.014

BP 神经网络在双伺服同步运动系统中的应用

郭丽, 石航飞, 陈志锦, 杨凯, 李勇

(中国兵器工业第 58 研究所 数控事业部, 四川 绵阳 621000)

摘要:针对传统的 PID 调节器不能解决双伺服同步运动系统中经常出现的超调和滞后问题,提出一种将传统 PID 和 BP 神经网络的 PID 调节器相结合的方式来控制两伺服电机轴的运动。其中,传统 PID 算法用于系统正常运行时的控制,而 BP 神经网络的 PID 算法用于调试过程中修改位置调整器和速度调节器的参数。该方案能实现轴 B 准确地跟踪轴 A 的速度和轨迹而运动。

关键词: 双伺服; 同步; BP 神经网络; PID

中图分类号: TP183; TP273 **文献标志码:** A

Application of BP Neural Network in Double Servo Synchronous Motor System

Guo Li, Shi Hangfei, Chen Zhijin, Yang Kai, Li Yong

(Dept. of CNC Engineering, No. 58 Research Institute of China Ordnance Industries, Mianyang 621000, China)

Abstract: In the double servo synchronous motor system, the current speed often surpasses or lags the given speed, however the traditional PID algorithm can't solve this problem. Therefore, introduce a new PID regulator which combines the traditional PID with BP neural network's PID algorithm, it can control the movement of two servo motors. The traditional PID is used for controlling the two axles during normal operation. However, BP neural network PID algorithm is used to modify the parameters of the position regulator and parameters of the speed regulator in the process of debugging. Through this method, we can achieve the axis B track the speed and orbit of the axis A accurately.

Keywords: double servo; synchronous; BP neural network; PID

0 引言

伺服控制技术是随着电力电子技术、计算机技术、和现代控制理论的发展而逐步发展起来的,被广泛应用于数控机床、工业缝纫机、机器人及火控领域。数字控制器是数字伺服控制系统中实现控制功能的重要部分,它根据系统的控制要求,按一定规律和规则对系统实时控制。由于在双轴协调运动系统中,对控制精度和系统实时响应的要求很高,传统的 PID 控制算法已不能满足这种需要,故提出一种基于 BP 神经网络 PID 控制算法,以解决双轴协调运动控制系统中出现的超调以及滞后等问题。

1 BP 神经网络算法原理

BP 神经网络具有非线性、并行分布处理、硬件实现容易、自学习和自适应等能力。通过对神经网络的自学,容易找出某最优控制下的 P、I、D 参数。基于 BP 神经网络的 PID 控制系统结构如图 1。

从图 1 可以看出, BP 神经网络 PID 控制器由 2 部分组成:

1) 经典 PID 控制器: 直接对被控对象进行闭环控制, 3 个参数 K_p 、 K_d 、 K_i 为在线整定。

2) 神经网络 NN: 根据系统的运行状态, 调节 PID 控制器的参数, 以达到某种性能指标的最优化。即使输出层神经元的输出状态对应于 PID 控制器的 3 个可调参数 K_p 、 K_d 、 K_i , 通过神经网络的自身学习以及加权系数调整, 使稳定状态对应于某种最优控制律下的 PID 控制器参数。

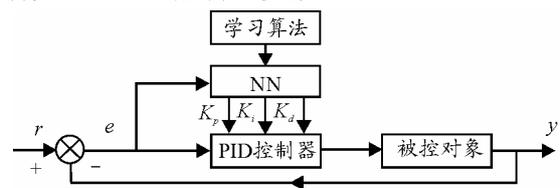


图 1 基于 BP 神经网络系统的 PID 控制系统结构^[1]

通常情况下, 基于 BP 神经网络的 PID 控制器控制算法步骤如下:

(1) 确定 BP 网络的结构; 即确定输入层节点数 M 和隐含层节点数 Q , 并给出各层加权系数的初值 $W_{ij}^*(0)$ 和 $W_{ii}^*(0)$, 确定学习速率 η 和惯性系数 α , 此时 $k=1$;

(2) 采样得到 $r_{in}(k)$ 和 $y_{out}(k)$, 计算该时刻误差 $error(k)=r_{in}(k)-y_{out}(k)$;

(3) 计算神经网络 NN 各层神经元的输入和输

收稿日期: 2010-07-02; 修回日期: 2010-08-25

作者简介: 郭丽 (1983-), 女, 四川人, 硕士研究生, 从事运动控制研究。

出, NN 输出层的输出即为 PID 控制器的 3 个可调参数 K_p 、 K_d 、 K_i ;

(4) 根据经典式数字 PID 控制算法公式计算 PID 控制器的输出 $U(k)$;

(5) 进行神经网络自学习, 在线调整网络的加权系数 $W_{ij}(k)$ 和 $W_{ii}(k)$, 实现 PID 控制参数的自适应调整;

(6) 令 $k=k+1$, 返回 (1), 并重复以上步骤。

2 BP 神经网络算法在双轴同步交流伺服系统中的运用

在本伺服系统调试过程中应用 BP 神经网络, 以自动整定速度调节器和位置调节器的 PID 参数, 使伺服控制系统性能达到较高的精度。而在伺服系统正常运行阶段, 仍采用传统的 PID 调节算法。

BP 神经网络在该系统中的设计流程如图 2。

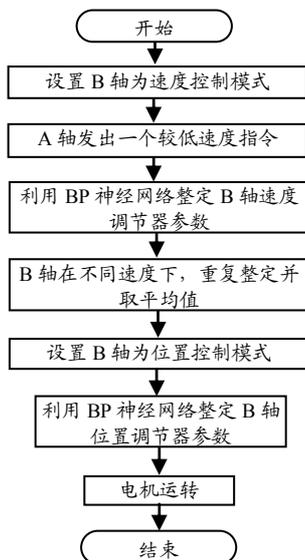


图 2 BP 神经网络 PID 参数整定过程

在调试阶段, 置 A 轴处于支配地位, B 轴处于被支配地位, B 轴的速度和位置信号必须跟随轴 A 的速度和位置信号的变化而变化, 不能滞后也不能超调, 以保证双轴的同步运动。设两伺服电机轴同步速度偏差值为 $\Delta 2$, 在 k 时刻, 电机的实际反馈转速分别为 $n1k$ 、 $n2k$ 。A、B 伺服电机轴同步速度偏差值 $\Delta 2=|n1k-n2k|$ ($n1k$ 为 k 时刻 A 电机的反馈转速, $n2k$ 为 k 时刻 B 电机的反馈转速)。根据不同的设计要求, 可以设定两伺服电机轴同步速度允许偏差值的最大变化范围 $\Delta \max$, 当 $\Delta 2 \leq \Delta \max$ 时, 系统不需要对 PID 调节参数进行调节控制, 当 $\Delta 2 > \Delta \max$ 时, 需要采用 BP 神经网络算法对 K_p 、 K_d 、 K_i 进行调节控

制, 不断地将采集的 B 伺服电机轴的转速和位置信号与 A 伺服电机轴的转速和位置信号进行比较, 求出偏差值 $\Delta 2$ 。当 $\Delta 2 > \Delta \max$ 时, 调节器立即产生控制作用, 使控制量朝着使偏差变小的方向变化, 控制作用的强、弱取决于比例系数 K_p ; 积分调节器的作用, 是把偏差累积的结果作为它的输出。在调节过程中, 只要有偏差 $\Delta 2 > \Delta \max$, 积分器的输出就会不断增大, 直至偏差 $\Delta 2 \leq \Delta \max$, 输出才可能维持某一常量, 使系统在速度指令信号不变的条件下趋于稳态; 微分调节器的作用, 是阻止偏差的变化, 偏差变化越快, 微分调节器的输出也越大。

经典增量式数字 PID 的控制算式为:

$\Delta n 2 = n 1(k) - n 2(k) = K_p [n 1(k) - n 2(k)] + K_i n 2(k) + K_d [n 1(k) - 2n 2(k-1) + n 2(k-2)]$, 其中, K_p 、 K_d 、 K_i 为比例、积分、微分常数。 $n 1(k)$ 、 $n 2(k)$ 、 $n 2(k-1)$ 、 $n 2(k-2)$ 分别是 k 、 $k-1$ 、 $k-2$ 时刻 A 轴电机的转速及 B 轴电机转速的采样值。

设 BP 神经网络 NN 是一个 3 层 BP 网络, 有 M 个输入节点, Q 个隐层节点, 3 个输出节点, 其结构如图 3。

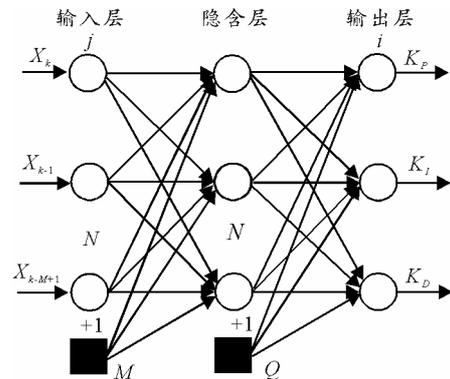


图 3 BP 神经网络三层结构示意图^[1]

BP 神经网络 NN 的输入为:

$$\begin{cases} o^{(1)}_j = X_{k-j} = e(k-j) \text{ 其中 } j=0,1,2,\dots,M-1 \\ o^{(1)}_M = 1 \end{cases}$$

输入变量的个数 M 取决于被控系统的复杂程度。BP 神经网络的隐含层输入输出为:

$$\begin{cases} net_i^{(2)}(k) = \sum_{j=1}^m w_{ij}^{(2)} o_j^{(1)}(k) \\ o_i^{(2)}(k) = f[net_i^{(2)}(k)] \\ o_Q^{(2)}(k) = 1 \end{cases}$$

其中, $i=0,1,2,\dots,Q-1$

$w_{ij}^{(2)}$ 为隐含层的加权系数 BP 网络的输入输出

为:

$$\begin{cases} net_l^{(3)}(k) = \sum_{i=0}^Q w_{li}^{(3)} o_i^{(2)}(k) \\ o_l^{(3)}(k) = g[net_l^{(3)}(k)] \\ o_{ij}^{(3)}(k) = K_p \\ o_l^{(3)}(k) = K_i \\ o_2^{(3)}(k) = K_d \end{cases} \quad \text{其中, } l=0,1,2$$

取性能指标函数为:

$$J = \frac{1}{2} [r(k+1) - y(k+1)]^2 = \frac{1}{2} z^2(k+1)$$

根据最速下降法修正网络的加权系数可得:

$$\Delta w_{li}^{(3)}(k+1) = -\eta \frac{\partial J}{\partial w_{li}^{(3)}(k)} + a \Delta w_{li}^{(3)}(k)$$

其中, η 为学习速率; a 为惯性系数;

根据经典 PID 算法, 可推导出 BP 神经网络 NN 输出层的加权系数为:

$$\begin{aligned} \Delta w_{li}^{(3)}(k+1) &= \eta \delta_l^{(3)} o_i^{(2)}(k) + a \Delta w_{li}^{(3)}(k) \\ \delta_l^{(3)} &= e(k+1) \text{sgn} \left[\frac{\partial y(k+1)}{\partial u(k)} \right] \cdot \frac{\partial u(k)}{\partial o_l^{(3)}} \cdot g' [net_l^{(3)}(k)] \end{aligned}$$

其中 $l=0,1,2$

同理, 可得导出 BP 神经网络 NN 隐含层的加权系数为:

$$\begin{cases} \Delta w_{ij}^{(2)}(k+1) = \eta \delta_i^{(2)} o_j^{(3)}(k) + a \Delta w_{ij}^{(2)}(k) \\ \delta_i^{(2)} = f' [net_i^{(2)}(k)] \sum_{l=0}^2 \delta_l^{(3)} w_{li}^{(3)}(k) \end{cases}$$

其中, $i=0,1,2 \dots Q-1$

3 双轴同步交流伺服系统中 BP 神经网络软件的实现

IN=M;H=Q;OUT=3; %BP神经网络有 3 层结构, 输入层有 M 个神经单元, 隐含层有 Q 个神经单元, 输出层有 3 个神经单元;

IF S==1; %假定输入为阶跃信号;

Wi=[-0.634 -0.296. -0.356 -0.723;
 -0.365 -0.026 -0.643 -0.289;
 -1.074 -1.553 -1.683 -0.543;
 -0.363 -0.274 -0.643 -0.283
 0.145 0.274 0.506 0.766];

%网络输入层与隐含层的权值设置;

Epid=[x(1);x(2);x(3)];

I=xi×wi';

For j=h;

Oh(j)=(exp(I(j))-exp(-I(j)))/(exp(I(j))+exp(-I(j)));

%BP神经网络隐含层;

End;

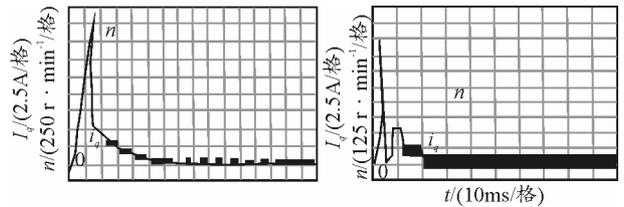
K=wo×oh;

For j=out; %BP神经网络输出层;

K(I)=exp(K(I))/(exp(K(I))+exp(-K(I)));

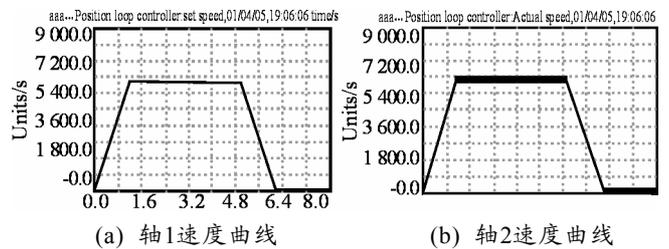
End; %计算得Ki, Kp, Kd;

仿真结果如图 4 ~ 图 6。



(a) 轴1阶跃速度2 000 r·min⁻¹ (b) 轴2阶跃速度500 r·min⁻¹

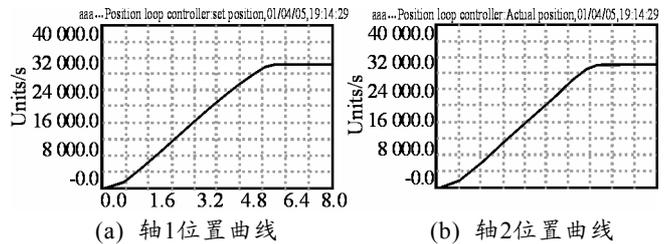
图 4 阶跃速度 n 与电流 i_q 响应曲线



(a) 轴1速度曲线

(b) 轴2速度曲线

图 5 速度同步曲线



(a) 轴1位置曲线

(b) 轴2位置曲线

图 6 位置同步曲线

4 结论

实验结果表明, 该系统具有较快的响应速度和较高的控制精度, 速度跟踪误差和位置跟踪误差都较小, 两轴在稳态和动态过程中具有较好的同步控制效果和动态响应。

参考文献:

[1] 王晓明, 王玲. 电动机的 DSP 控制—TI 公司 DSP 应用 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2004.
 [2] 张伟. 数字信号处理器 (DSP) 易学通 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2006: 134-171.
 [3] 卢志刚, 吴杰. 数字伺服控制系统与设计 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2007: 367-383.
 [4] 粟海滨, 时广礼. 新型模糊—PID 复合控制器设计及应用 [J]. 自动化与仪表, 2003: 4.
 [5] 刘妹琴. 神经网络控制的交流位置伺服系统 [J]. 电器传动自动化, 1998: 2.