

基于PID神经网络的智能车舵机控制系统研究

刘石红¹, 党超亮², 王能才²

(1. 兰州石化职业技术学院 电子电气工程系, 兰州 730060;

2. 兰州理工大学 电气工程与信息工程学院, 兰州 730050)

摘要: 针对传统PID控制算法在电磁导航智能车舵机偏差处理中存在比例、积分、微分参数一经确定不能在线调整,不具有自适应能力的缺点,提出了将PID神经网络(PIDNN)控制器及其算法应用到智能车的舵机控制系统中来对传统PID控制进行改进。PIDNN控制系统不依赖智能车舵机的数学模型,能够根据控制效果在线训练和学习,调整网络连接权重值,最终使系统的目标函数达到最小来实现智能车的舵机控制。仿真测试表明,PIDNN控制系统的响应快,无超调,无静差,与传统PID控制算法相比,大大提高了智能车舵机控制系统的性能。

关键词: 电磁导航智能车; 舵机控制; PID神经网络

中图分类号: TP249 文献标志码: A 文章编号: 1000-0682(2014)06-0097-05

Study of intelligent vehicle servo control system based on PID neural network

LIU Shihong¹, DANG Chaoliang², WANG Nengcai²

(1. Lanzhou Petrochemical College of Vocational Technology, Lanzhou 730060, China;

2. College of Electrical Engineering and Information Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

Abstract: In the intelligent vehicle steering deviation, the traditional PID control parameters of proportional, integral, differential algorithm is confirmed, can't adjust online, do not have adaptive ability, put forward the PID neural network (PIDNN) controller and its algorithm should be used in the servo control system of intelligent vehicle to improve the traditional PID control. PIDNN does not depend on the mathematical model of the control system of the smart car servo, according to the control effect of on-line training and learning, adjusts the network connection weights, and makes the objective function of control system reached the minimum value to realize the intelligent vehicle servo control. Matlab simulation tests show that the PIDNN control system has merits of fast response, no overshoot, and no steady-state error. compared with the traditional PID control algorithm, greatly improves the performance of the intelligent vehicle servo control system

Key words: electromagnetic navigation intelligent vehicle; servo control; PID neural network

0 引言

智能车辆是一个集环境感知、信息处理、速度与转向控制等功能于一体的综合系统,具有道路障碍自动识别、自动控制以及巡航控制等功能。以往电磁导航智能车的转向控制都是由一个传统的PID控制器组成的闭环控制系统进行控制,传统PID控制算法具有结构简单、鲁棒性强的优点,但其比例、积分和微分参数是预先设定和固定不变的,且随着路况环境的变化,传统PID控制算法对系统偏差的响应变差,容易产生超调与振荡等现象。为了进一步

提高智能车舵机的控制精度,已将大量PID舵机控制的改进方案运用在了智能车的转向控制上,如模糊PID控制、自校正PID控制、专家PID控制等等。以上方案都是在保持传统PID控制器结构的基础上,采用新的方法在线或离线选取和整定PID参数。这些方法一定程度上提高了PID控制器的性能,但这些方案附加的结构和算法也增加了控制系统的复杂性,使智能车舵机的动态响应时间增大。该文结合智能车转向控制系统的特点,采用PIDNN算法,使智能车转向控制达到最佳状态。

1 舵机工作原理

S3010舵机由舵盘、位置反馈电位计、减速齿轮组、直流电动机和控制电路组成,内部位置反馈齿轮

收稿日期: 2014-06-18

作者简介: 刘石红,甘肃天水人,大学学历,工程师,研究方向为电力电子技术与智能控制。

组由直流电动机驱动,其输出轴带动一个具有线性比例特性的位置反馈电位器作为位置检测。当电位器转角线性的转换为电压并反馈给控制电路时,控制电路将反馈信号与输入的脉冲相比较,产生纠正脉冲,控制并驱动直流电机正向或反向转动使减速齿轮组输出的位置与期望值相等,从而达到舵机精确控制转向角度的目的。

2 智能车舵机控制方案的提出

智能车控制系统主要包括电源模块、控制器模块、测速模块、舵机控制模块、电机控制模块和路径检测模块。电磁导航智能车舵机的转角大小由智能车控制模块中单片机输出的脉冲频率和占空比决定,单片机输出的脉冲频率和占空比的大小取决于路径检测模块对路况的判断。智能车依靠安装在小车前端的电磁传感器对小车前方路径中央的电磁导航信号进行检测,提取小车和导航线之间的位置关系后,单片机控制输出的脉宽与舵机的转角在 $-60^\circ \sim +60^\circ$ 范围内线性变化。当小车偏离导线较少时,给定一个较少的回正角度,小车可以加速行驶;当小车偏离导航线较大时,应该给定较大的回正角度以减慢车速。由于舵机从执行转动指令到响应输出需占用一定的时间,因而产生舵机实时控制的滞后,虽然小车在进入弯道时能够检测到导航线的偏转方向,但由于舵机的滞后性,使得小车在转弯过程中时常偏离跑道,且速度越快,偏离越远,极大地限制了小车在连续弯道上行驶的最大时速,使得小车全程跑道速度很难进一步提高。因此,在要求无超调、无静差、舵机响应时间短的调节过程中,智能车的转向控制必须是一个由 PIDNN 控制器组成的控制系统。

3 PIDNN 控制系统结构框图

智能车舵机控制系统如图 1 所示。图中虚线部分为 PIDNN 控制器,其与被控对象舵机是一种串联关系。

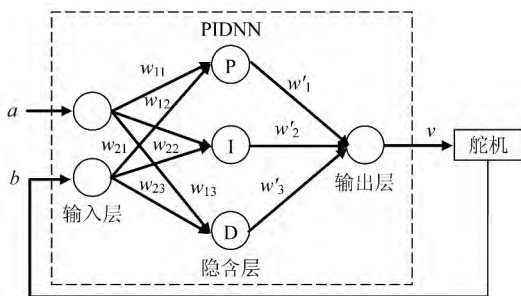


图 1 PIDNN 控制系统结构框图

PIDNN 控制器是一个三层前向网络,为 $2 \times 3 \times 1$ 结构^[4],它的输入层有 2 个神经元,分别接收舵机目标位置的给定值 a 和舵机实际位置值 b ;它的隐含层有 3 个神经元,分别为比例元 P、积分元 I 和微分元 D,完成比例、积分和微分运算;它的输出层只有一个神经元,经过运算完成控制规律的综合,网络的输出 v 作为控制量送入舵机输入端,舵机的输出值 b 反馈回神经元的输入层。

4 PIDNN 控制器的工作原理

4.1 PIDNN 控制器的前向计算方法

4.1.1 输入层

PIDNN 控制器的输入层有 2 个神经元,在构成智能车舵机控制系统中分别输入舵机目标位置的给定值 a 和舵机位置的实际值 b 。对于任意采样时刻 k ,其输入函数为:

$$\begin{cases} netI_1(k) = a(k) \\ netI_2(k) = b(k) \end{cases} \quad (1)$$

输入层神经元的状态函数为:

$$\begin{cases} u_1(k) = netI_1(k) \\ u_2(k) = netI_2(k) \end{cases} \quad (2)$$

输入层神经元的输出函数为:

$$f_i(k) = \begin{cases} 1, & u_j(k) > 1 \\ u_i(k), & -1 \leq u_j(k) \leq +1 \\ -1, & u_j(k) < -1 \end{cases} \quad (3)$$

式中: $i = 1, 2; j = 1, 2, 3$ 。

4.1.2 隐含层

隐含层是神经网络中最重要层次,PID - NN 控制器的隐含层含有 3 个神经元,分别为比例元、积分元和微分元,其各自的输入为:

$$\begin{bmatrix} netI'_1 \\ netI'_2 \\ netI'_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{21} \\ w_{12} & w_{22} \\ w_{13} & w_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_1(k) \\ f_2(k) \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中: $w_{ij} (i = 1, 2; j = 1, 2, 3)$ 为输入层至隐含层的连接权重值;上标“'”为隐含层输入函数变量标记。

比例元的状态函数为^[6]:

$$u'_1(k) = netI'_1(k) \quad (5)$$

积分元的状态函数为:

$$u'_2(k) = u'_2(k - 1) + netI'_2(k) \quad (6)$$

微分元的状态函数为:

$$u'_3(k) = netI'_3(k) - netI'_3(k - 1) \quad (7)$$

隐含层各神经元的输出函数为^[7]:

$$f_j'(k) = \begin{cases} 1, & u_j'(k) > 1 \\ u_j'(k), & -1 \leq u_j'(k) \leq +1 \\ -1, & u_j'(k) < -1 \end{cases} \quad (8)$$

式中: $j=1, 2, 3$ 。

4.1.3 输出层

PIDNN 控制器的输出层只含有一个神经元,完成网络的总和输出功能,其总的输入为:

$$net''(k) = \sum_{j=1}^3 w_j f_j'(k) \quad (9)$$

式中: $f_j'(k)$ 为隐含层各神经元的输出值; w_j' 为隐含层至输出层的连接权重值。

输出层的状态函数为:

$$u''(k) = net''(k) \quad (10)$$

输出层神经元的输出函数 $f''(k)$ 为:

$$f''(k) = \begin{cases} 1, & u''(k) > 1 \\ u''(k), & -1 \leq u''(k) \leq +1 \\ -1, & u''(k) < -1 \end{cases} \quad (11)$$

PIDNN 控制器的输出 $v(k)$ 就等于输出层神经元的输出,即

$$v(k) = f''(k) \quad (12)$$

4.2 PIDNN 控制器的反传学习计算方法

PIDNN 控制器的反传学习即误差反向传播学习算法,主要功能是在线完成学习和记忆,对网络权重值进行修改。

该文采用误差反向传播算法修改连接权重值,通过在线训练和学习,使系统的目标函数值达到最小。PIDNN 是将 PID 控制规律融入到神经网络之中构成的,因此定义系统的性能指标为:

$$J = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m [a(k) - b(k)]^2 = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m e^2(k) \quad (13)$$

式中: m 为采样点数; $a(k)$ 为 k 时刻智能车舵机目标位置给定值; $b(k)$ 为 k 时刻智能车舵机实际位置值; $e(k)$ 为 k 时刻的偏差值。

为了使系统的性能指标最小,采用梯度法调节 PIDNN 权值^[6],即经 n 步训练和学习后, PIDNN 各层权重值的迭代方程为:

$$w(n_1 + 1) = w(n_1) - \eta \frac{\partial J}{\partial w} \quad (14)$$

式中: η 为学习步长; n_1 为训练和学习步数。

隐含层至输出层的权重值 w_j' 和输入层至隐含层的权重值 w_{ij} 的具体计算方法如下。

4.2.1 隐含层至输出层权重值计算

PIDNN 隐含层至输出层的权重值迭代公

式为^[7]:

$$w_j'(n_1 + 1) = w_j'(n_1) - \eta_j \frac{\partial J}{\partial w_j'} \quad (15)$$

式中:

$$\frac{\partial J}{\partial w_j'} = \frac{\partial J}{\partial v} \times \frac{\partial v}{\partial w_j'} = -\frac{2}{m} \times \sum_{k=1}^m [a(k) - b(k)] \times \operatorname{sgn} \frac{b(k+1) - b(k)}{v(k) - v(k-1)} f_j'(k) \quad (16)$$

令

$$\delta'(k) = 2[a(k) - b(k)] \times \operatorname{sgn} \frac{b(k+1) - b(k)}{v(k) - v(k-1)} \quad (17)$$

则隐含层至输出层的权重值计算公式为:

$$w_j(n_1 + 1) = w_j(n_1) + \frac{\eta_j}{m} \sum_{k=1}^m \delta'(k) f_j'(k) \quad (18)$$

4.2.2 输入层至隐含层权重值计算

PIDNN 的输入层至隐含层的权重值迭代公式为:

$$w_{ij}(n_1 + 1) = w_{ij}(n_1) - \eta_i \frac{\partial J}{\partial w_{ij}} \quad (19)$$

式中

$$\frac{\partial J}{\partial w_{ij}} = -\frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \delta_j'(k) w_j' \times \operatorname{sgn} \frac{u_j'(k) - u_j'(k-1)}{netI_j'(k) - netI_j'(k-1)} f_i(k) \quad (20)$$

令

$$\delta_j(k) = \delta_j'(k) w_j' \quad (21)$$

则有

$$\frac{\partial J}{\partial w_{ij}} = -\frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \delta_j(k) f_i(k) \quad (22)$$

由以上各式,可得到 PIDNN 输入层至隐含层连接权重的公式为:

$$w_{ij}(n_1 + 1) = w_{ij}(n_1) + \frac{\eta_i}{m} \sum_{k=1}^m \delta_j(k) f_i(k) \quad (23)$$

5 智能车舵机控制系统仿真

5.1 PIDNN 控制器输入标准值的设定

智能车自身的舵机是 PIDNN 控制器的控制对象,舵机的控制信号是一个脉宽调制信号,其转动角度的大小由单片机输出的 PWM 脉冲频率和脉宽决定,实际操作过程中可采用频率固定、脉宽可调的方法控制舵机。由于智能车舵机转动角度的大小是随路况信息变化的,所以智能车的舵机转角对于整个路况来讲是变化的,但对于某一路段来讲又是恒定的。因此系统中所要输入舵机目标位置的给定值 a

必须要受控于路径传感器对路况的判断。实际小车运行时设定 3 个给定值:舵机目标位置为 3980;舵机左极限位置为 3335,舵机右极限位置为 4630。仿真中设定智能车舵机目标位置的给定值为阶跃函数,用于直观地显示 PIDNN 控制效果。

5.2 PIDNN 连接权重初值的确定

PIDNN 连接权重初值决定了网络学习的起始点和收敛的初始方向,恰当合理地选取连接权重初值,可以加快网络的学习和收敛速度,且能避免陷入局部最小。PIDNN 连接权重初值的选取原则可参照 PID 控制器的特点确定。

5.2.1 PID 控制器的计算公式和参数

若 PID 控制器的输入值为智能车舵机的目标位置给定值 $a(k)$ 和其实际位置值 $b(k)$ 的偏差 $e(k)$,即

$$e(k) = a(k) - b(k) \tag{24}$$

则 PID 控制器的输出值为比例、积分和微分作用的线性叠加 $v(k)$,其离散化的 PID 控制规律表达式为:

$$v(k) = K_p e(k) + K_I \sum_{i=0}^k e(i) + K_D [e(k) - e(k-1)] \tag{25}$$

式中: K_p 为比例系数; $K_I = K_p T / T_I$ 为积分系数; $K_D = K_p T_D / T$ 为微分系数, T 为采样周期; T_I 为积分时间常数; T_D 为微分时间常数。

5.2.2 PIDNN 连接权重初值选取

PIDNN 是将 PID 控制规律融合进神经网络中构成的^[4],利用人们已经掌握的大量的 PID 参数整定规律和经验来确定 PIDNN 的连接权重初值,使智能车 PIDNN 控制器初始等价于 PID 控制器,初始运行时与 PID 控制器有相近的控制效果,在这个基础上,通过在线训练与学习,不断调整网络连接权重值,从而使智能车舵机控制系统具备优异的控制效果。

智能车舵机控制系统是单输出 PIDNN,根据 PID 控制算式的特点,选取输入层至隐含层的比例元和微分元的连接权重初值为:

$$w_{11}(0) = w_{21}(0) = 1, w_{13}(0) = w_{23}(0) = -1$$

输入层至隐含层积分元的连接权重初值为:

$$w_{12}(0) = 0.2, w_{22}(0) = -0.2$$

参照式(25),隐含层至输出层的连接权重初值为 $w_1' = K_p = 4.25, w_2' = K_I = 0.853, w_3' = K_D = 0.025$ 。

5.2.3 PIDNN 控制系统仿真

PIDNN 对智能车舵机的控制就是为了减少其响应时间和提高稳定性。采用 PIDNN 控制器对智能车舵机进行控制时,不需要预先得知舵机的数学模型,网络通过自学习,自动调整网络权重值。舵机的工作特性包括死区、线性区和非线性区,正常是工作在线性区的,考虑了采样保持器后的二阶环阶的传递函数为:

$$G(s) = \frac{B(s)}{V(s)} = \frac{1 - e^{-Ts}}{s} \frac{K_h}{s(1 + T_h s)} \tag{26}$$

式中: T 为系统采样周期; $B(s)$ 为舵机输出; $V(s)$ 为舵机输入; K_h 为放大系数; T_h 为时间常数。

式(26)经 z 变换后得:

$$G(z) = \frac{B(z)}{V(z)} = \frac{Tz^{-1} + T_h z^{-1} - T_h}{1 - z^{-1}} + \frac{T_h(1 - z^{-1})}{1 - e^{-T/T_h} z^{-1}} \tag{27}$$

取 $K_h = 10/s, T = T_h = 0.1 s$,将式(27)离散化为

$$b(k+1) = 1.396b(k) - 0.364b(k-1) + 0.062v(k) + 0.035v(k-1) \tag{28}$$

设 PIDNN 的学习步长 $\eta = 0.03$,每步采样点数 $q = 100$,在仿真软件 Matlab/Simulink 中对智能车舵机控制系统进行仿真。

图 2 是 PIDNN 学习 5 步后的舵机控制系统输出响应曲线;图 3 是 PIDNN 学习 20 步后舵机控制系统输出响应曲线;图 4 是 PIDNN 控制系统目标函数 $J = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m [a(k) - b(k)]^2$ 在前 5 步学习过程中的收敛曲线;图 5 是传统 PID 控制器经过大量参数调整后系统输出曲线。

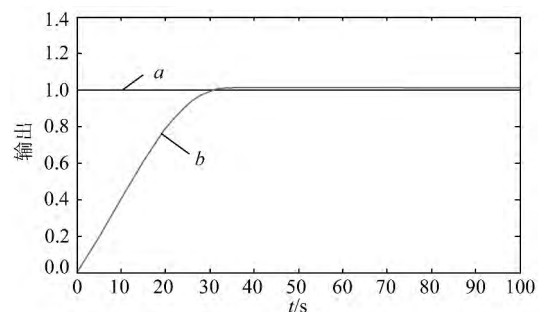


图 2 PIDNN 学习 5 步后的舵机控制系统响应曲线

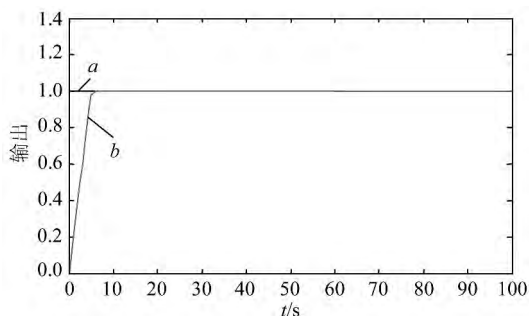


图3 PIDNN 学习 20 步后的舵机控制系统响应曲线

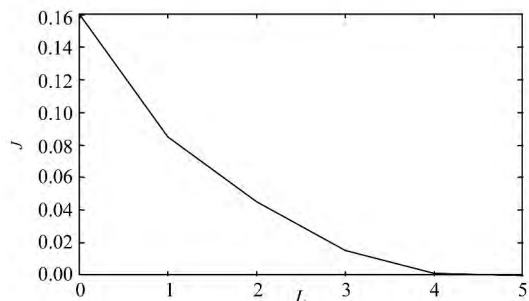
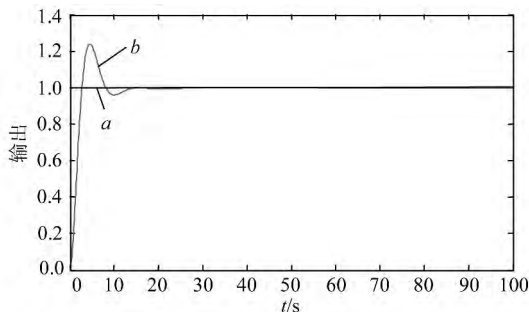
图4 PIDNN 前 5 步学习过程中
舵机控制系统目标函数收敛曲线

图5 传统 PID 舵机控制系统仿真曲线

由以上图示得出,对于智能车舵机的控制,尽管 PIDNN 事先并不知道舵机的任何情况,网络学习 5 步后系统输出偏差较大,存在一定的超调,也为过阻尼系统,但通过 PIDNN 的自学习和调整,系统在很短时间内达到了较好的动态和静态性能。经过一段时间学习后,系统输出响应无超调、无静差,响应速度很快,而传统 PID 控制器的输出在经过繁琐的参数整定之后,其输出还存在很大超调。在未改变舵机参数的情况下,基于 PIDNN 控制的效果要明显优于传统 PID 控制器对舵机的控制,而且控制精度较

高,鲁棒性很好。学习过程中,系统的目标函数是单调递减的,收敛速度很快。

6 结论

该文研究了基于 PID 神经网络的智能车舵机控制系统,给出了 PIDNN 舵机控制系统的结构形式以及计算方法,并参照传统 PID 控制规律对 PIDNN 连接权重初值进行了恰当的选取,通过网络的自学习,系统具有良好的动态和静态特性,仿真结果显示, PIDNN 在学习中的收敛速度很快,无超调、无静差,不易陷入局部极小点,其性能明显优于在已知对象参数情况下设计的传统 PID 控制器,经过车模试验验证,以 PIDNN 算法为主要控制策略的智能车具有良好的鲁棒性和抗干扰能力,能够精确循迹,快速转弯,得到了良好的控制效果。

参考文献:

- [1] 刘源,张文斌,刘雪扬,等.电磁导航智能车检测和控制系统研究[J].传感器与微系统,2012,31(4):63-66.
- [2] 韩启勇,王蕊.模糊 PID 控制器 MATLAB 仿真探讨[J].中国仪器仪表,2009(12):78-81.
- [3] Bo XIONG, Shiru QU. Intelligent Vehicle's Path Tracking Based on Fuzzy Control[J]. IEEE Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2010, 10(2):70-75.
- [4] 袁朝辉,张慧.多温区电加热炉的 PID 神经网络控制[J].计算机仿真,2010,27(12):176-185.
- [5] 袁佑新,卢立殊,王萍,等.基于 PID 神经元的温度控制系统研究[J].武汉理工大学学报,2002,24(3):21-23.
- [6] 钱宇达,朱凌云,赵玮娜,等.基于 PID 神经网络的恒压供水控制系统设计[J].仪表技术,2008(10):15-17.
- [7] 汤积仁,雷玉勇,聂光伟,等.神经网络 PID 控制在柴油机调速系统中的应用[J].煤矿机械,2010,31(01):201-204.
- [8] 卢萍,金朝永.基于 PID 神经元网络的研究和改进[J].自动化仪表,2012,33(8):51-54.

欢迎投稿! 欢迎订阅! 欢迎刊登广告

国内邮发代号:52-49

国际发行代号:BM529

订价:12.00 元/期 72.00 元/年

投稿信箱:gyybbjb@126.com

<http://yb-zdh.shaangu-group.com>

地址:西安市高新区沣惠南路 8 号

邮编:710075

咨询电话:029-81871277