

车辆电子稳定性程序神经网络 PID 控制算法

李 静¹, 徐 斌¹, 张英锋², 刘 巍¹, 刘曼远³

(1. 吉林大学 汽车工程学院, 长春 130022; 2. 军事交通学院 汽车工程系, 天津 300161; 3. 邯郸市交通局运输处, 河北 邯郸 056002)

摘 要: 设计了面向车辆操纵稳定性控制的车轮制动神经网络 PID 控制器参数自调整算法, 介绍了自行研制的车辆 ESP 硬件在环试验平台, 采用该平台进行了控制算法的台架试验。结果表明: ESP 神经网络 PID 控制算法能有效防止极限工况下车辆丧失操纵稳定性, 显著改善车辆的主动安全性。

关键词: 车辆工程; 主动安全性; 电子稳定性程序; 神经网络; 硬件在环

中图分类号: U463.54 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-5497(2007)04-0741-04

Control algorithm based on neural network PID controller for vehicle electronic stability program

Li Jing¹, Xu Bin¹, Zhang Ying-feng², Liu Wei¹, Liu Man-yuan³

(1. College of Automotive Engineering, Jilin University, Changchun 130022, China; 2. Automobile Engineering Department, Academy of Military Transportation, Tianjin 300161, China; 3. Handan Municipal Transportation Management Department, Handan 056002, China)

Abstract: A neural network was used to design a PID controller with adaptively adjustable parameters for the vehicle stability control program, and a self-developed hardware-in-the-loop simulator was presented. The tests were made to debug the control program with the above-mentioned simulator. The results show that the electronic vehicle stability control program based on the neural network can prevent effectively the vehicle from losing the handling and stability performance under the severe conditions, and lead to significant improvement of the vehicle active safety.

Key words: vehicle engineering; active safety; electronic stability program; neural network; hardware-in-the-loop

电子稳定性程序 (Electronic Stability Program, ESP) 能显著改善车辆极限转弯的主动安全性^[1,2], 可通过发动机力矩、车轮制动、可控悬架^[8]、四轮转向等控制方式^[3,4]实现, 其中发动机力矩和车轮制动方式 (尤其是后者) 是主要的控制方式。

PID 控制器因结构简单、精度高而得到广泛应用, 但其适应性差, 使参数在线整定成为难点^[5], 故为改善其控制品质^[6,7]引入了多种智能控制方法。本文采用神经网络设计了实现车辆稳定性控制的车轮制动 PID 控制器, 并在自行搭建的硬件在环试验台上进行了试验。

收稿日期: 2006-04-08.

基金项目: 长春市振兴老工业基地科技攻关及市、院合作计划项目 (2004175); 吉林大学“985 工程”资助项目; 高等学校博士学科点专项科研基金资助项目 (20020183025).

作者简介: 李静 (1974-), 男, 副教授, 博士. 研究方向: 汽车地面系统分析与控制. E-mail: liye1129@163.com

1 自适应 PID 控制器

图 1 为车辆 ESP 神经网络自适应 PID 控制系统框图,采用整车横摆角速度作为主控制参数,质心侧偏角作为辅助控制参数。

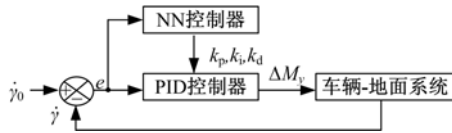


图 1 车辆 ESP 神经网络 PID 控制系统框图

Fig. 1 Diagram of PID control system for vehicle electronic stability program

PID 控制器输入误差 e_k 可表示为

$$e_k = \dot{\gamma}_0 - \dot{\gamma} \quad (1)$$

式中 k 为控制循环标志变量; $\dot{\gamma}, \dot{\gamma}_0$ 分别为整车横摆加速度及其名义值(名义值按式(2)确定)。

$$\dot{\gamma}_0 = \begin{cases} \dot{\gamma}_{01} & \beta > \beta_0 \\ \dot{\gamma}_{02} & \beta < \beta_0 \end{cases} \quad (2)$$

式中: $\dot{\gamma}_{01}, \dot{\gamma}_{02}$ 为横摆角速度名义值的限值, $\dot{\gamma}_{01} < \dot{\gamma}_{02}$; β, β_0 分别为整车质心侧偏角及其限值。

PID 输出的整车横摆控制力矩

$$\Delta M_{yk} = k_i e_k + k_p (e_k - e_{k-1}) + k_d [e_k - 2e_{k-1} + e_{k-2}] \quad (3)$$

式中: k_p, k_i, k_d 分别为控制器比例、积分、微分系数。

采用三层结构的神经网络,设输入层神经元

输入为 $x_1^1 = e_k, x_2^1 = e_k - e_{k-1}, x_3^1 = e_k - 2e_{k-1} + e_{k-2}$, 输出层神经元输出为 $y_3^1 = k_p, y_2^1 = k_i, y_3^1 = k_d$ 。则隐含层神经元输入

$$x_2^1 = \rho_2^1 x_1^1 + \rho_2^2 x_2^1 + \rho_2^3 x_3^1 \quad (4)$$

式中: $\rho_2^1, \rho_2^2, \rho_2^3$ 为隐含层神经元输入权系数。

隐含层神经元输出 y_2^1 按式(5)确定。

$$f(t) = (e^t - e^{-t}) / (e^t + e^{-t}) \quad (5)$$

式中: t 为函数自变量,取 $t = x_2^1$ 。

输出层神经元输入

$$x_3^1 = \rho_3^l y_2^1, l = 1, 2, 3 \quad (6)$$

式中: ρ_3^l 为输出层神经元输入权系数。

输出层神经元输出 $y_3^n (n=1, 2, 3)$ 按式(7)给出的激发函数确定。

$$g(u) = e^u / (e^u + e^{-u}) \quad (7)$$

式中: u 为函数自变量,取 $u = x_3^1$ 。

设与输出层神经元输出 y_3^n 对应的理想输出为 Y_3^n , 则取优化的目标函数为

$$E = |y_3^n - Y_3^n| \quad (8)$$

采用基于梯度学习算法的学习公式优化确定神经网络各层权值,则

$$\omega^{(p)} = \omega^{(p-1)} - \eta (\partial E / \partial \omega) \quad (9)$$

式中: ω 代表 $\rho_2^1, \rho_2^2, \rho_2^3, \rho_3^1$; p 为学习迭代次数; η 为学习速率。

2 硬件在环试验台

为进行控制算法与硬件的匹配研究,搭建原理如图 2 所示的 ESP 硬件在环试验台。

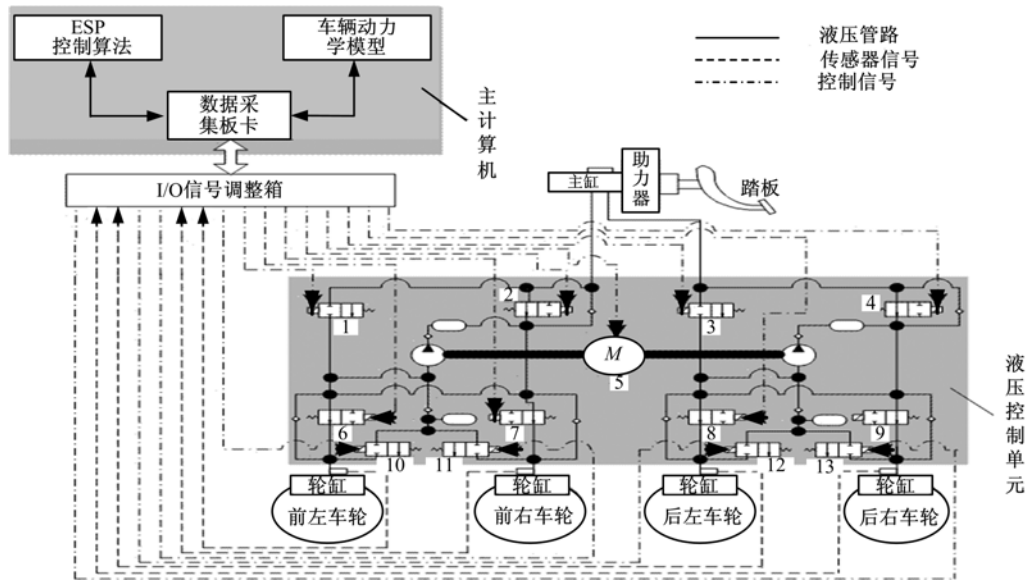


图 2 ESP 硬件在环试验台

Fig. 2 Hardware-in-the-loop simulator for electronic stability program

ESP 硬件在环试验平台包括:①适用车型制动系统,由制动踏板、助力器、液压管路、轮缸及制动器等组成;②液压控制单元,由电磁阀、电机带动的双联泵及蓄能器组成;③在线传感系统,主要为各轮缸制动压力传感器;④信号调理箱,接收传感器信号并将其传给采集卡;⑤主计算机,由软、硬件两部分组成,包括采集卡、车辆动力学模型及 ESP 控制算法。其中车辆动力学模型用来模拟生成目标车型的运动状态参数,车辆动力学模型和控制算法所需的制动压力信号则从采集卡获得。数据采集卡除接收传感器信号外,还将由 ESP 控制算法生成的控制指令经 I/O 信号调理箱放大后传给电磁阀和电机。

3 试验结果与分析

为验证控制算法的效果,并完成软硬件匹配,进行了硬件在环试验。图 3 为转向轮转角输入曲线,图 4~7 为试验曲线。图 4 和图 5 的试验条件:车速 12 m/s、路面附着系数 0.4;图 6 和图 7 试验条件:车速 13 m/s、路面附着条件同前。

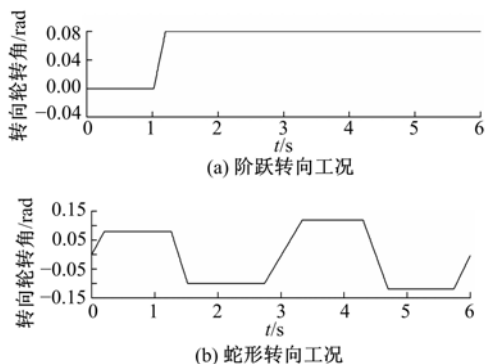


图 3 典型转向工况的转向轮转角输入曲线
Fig. 3 Curves of steering wheel angle on during typical steering conditions

由图 4~图 7 可知,无 ESP 转向,当横摆角速度明显偏离其名义值、且横摆角速度和质心侧偏角绝对值超出驾驶员控制范围时,车辆丧失操纵稳定性。图 6 所示的蛇形转向工况的横摆角速度和质心侧偏角最大值分别达 2 rad/s 和 1 rad;有 ESP 转向,当横摆角速度偏离其名义值时,对车轮施加制动可改善汽车操纵稳定性。如图 5 中 0.5 s 左右,横摆角速度大于其名义值,对前外轮(因是左转弯,故对应前右轮)施加制动;图 5 中 1 s 左右,横摆角速度小于其名义值,则对后内轮(即后左轮)施加制动;图 7 中 0.3 s 左右,横摆角

速度小于其名义值,对后内轮(因该时刻汽车左转弯,故对应后左轮)施加制动;图 7 中 3 s 左右,横

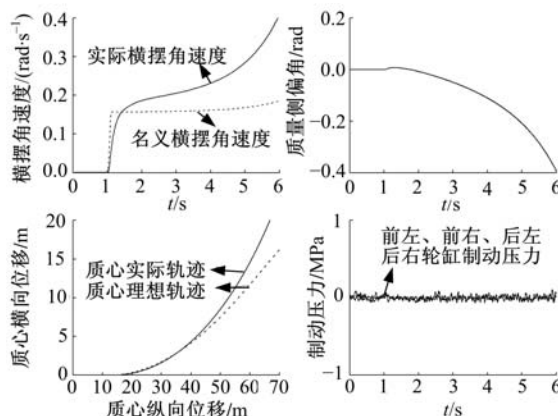


图 4 阶跃转向无 ESP 硬件在环试验曲线
Fig. 4 Curves of hardware-in-the-loop tests without ESP during step steering wheel angle

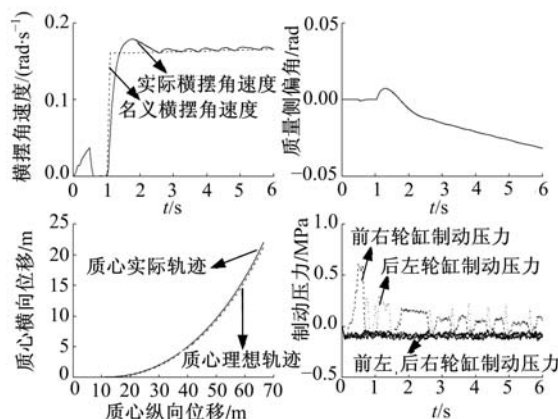


图 5 阶跃转向有 ESP 硬件在环试验曲线
Fig. 5 Curves of hardware-in-the-loop tests with ESP during seep steering wheel angle

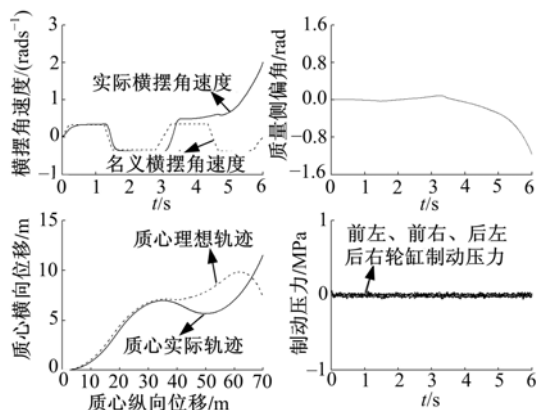


图 6 蛇形转向无 ESP 硬件在环试验曲线
Fig. 6 Curves of hardware-in-the-loop tests without ESP during snake steering wheel angle

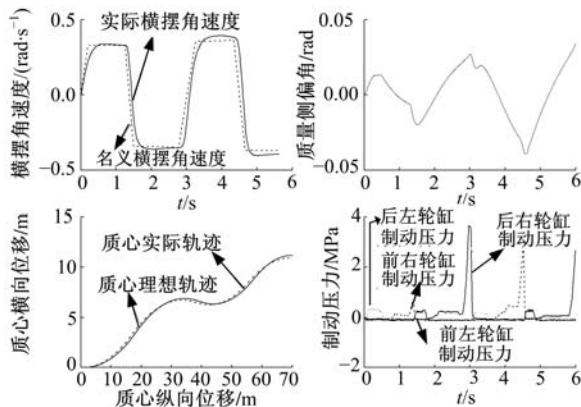


图 7 蛇形转向有 ESP 硬件在环试验曲线

Fig. 7 Curves of hardware-in-the-loop tests with ESP during snake steering wheel angle

摆角速度小于其名义值,对后内轮(因该时刻右转弯,故对应后右轮)施加制动。无论何种转向工况,一旦汽车将要发生丧失操纵稳定性情况,控制算法即对最佳控制车轮施加制动,防止丧失操纵稳定性,有效改善主动安全性,控制后的横摆角速度和侧偏角最大值均在驾驶员可控范围内。

4 结 论

(1)车辆 ESP 神经网络 PID 控制算法能在线整定 PID 控制器参数,使汽车在极限转向工况下具有良好的操纵稳定性。

(2)本文针对典型工况,采用硬件在环试验方法完成了基于神经网络 PID 控制算法的 ESP 软硬件调试和匹配。

参考文献:

[1] 冯金芝,喻凡,李君. 基于混合仿真技术的车辆横向稳定性控制系统[J]. 汽车工程, 2004, 26(2): 187-192.
Feng Jin-zhi, Yu Fan, Li Jun. Vehicle yaw stability control based on hardware-in-the-loop[J]. Automotive Engineering, 2004, 26(2): 187-192.
[2] 董华林,吴光强. 汽车动力学稳定性控制仿真研究

[J]. 汽车研究与开发, 2003(5): 40-44.
Dong Hua-lin, Wu Guang-qiang. Research on simulation for vehicle dynamics stability control[J]. Automotive Research and Development, 2003(5): 40-44.
[3] 徐延海. 考虑路面不平度的汽车稳定性控制的研究[J]. 汽车工程, 2005, 27(3): 330-333.
Xu Yan-hai. Investigation into vehicle stability control with the consideration of road surface roughness[J]. Automotive Engineering, 2005, 27(3): 330-333.
[4] Bodie Mark O, Aleksander H A C. Closed loop yaw control of vehicle using magneto-rheological dampers [C]//SAE Paper 2000-01-0107.
[5] 孙宗毅,王柏林. 一种改进的模糊 PID 控制器及其仿真[J]. 计算机仿真, 2003, 20(3): 79-81.
Sun Zon-yi, Wang Bo-lin. The study simulation about a kind of improved fuzzy-PID control[J]. Computer Simulation, 2003, 20(3): 79-81.
[6] 童春霞,张天桥. 仿人智能 PID 控制器设计[J]. 计算机仿真, 2005, 22(1): 191-193.
Tong Chun-xia, Zhang Tian-qiao. Design of an artificial intelligence PID control[J]. Computer Simulation, 2005, 22(1): 191-193.
[7] 廖芳芳,肖建. 基于 BP 神经网络 PID 参数自整定的研究[J]. 系统仿真学报, 2005, 17(7): 1711-1713.
Liao Fang-fang, Xiao Jian. Research on self-tuning of PID parameters based on BP neural networks[J]. Acta Simulata Systematica Sinica, 2005, 17(7): 1711-1713.
[8] 李静,吴云平,杨宗昂,等. 车辆姿态控制系统悬架阻尼控制策略[J]. 吉林大学学报:工学版, 2006, 36(增刊 2): 24-28.
Li Jing, Wu Yun-ping, Yang Zong-ang, et al. Suspension damping control strategy for vehicle attitude control system[J]. Journal of Jilin University(Engineering and Technology Edition), 2006, 36(Suppl. 2): 24-28.