

基于汽车操纵动力学的神经网络驾驶员模型

徐瑾 赵又群 阮米庆

(南京航空航天大学, 南京 210016)

摘要 作为人一车一路闭环系统的重要环节,驾驶员模型对汽车闭环系统仿真和汽车主动安全性评价都具有重要的意义. 本文基于汽车操纵动力学,预瞄—跟随理论以及神经网络建立了一种驾驶员方向控制模型,即两层前馈神经网络驾驶员模型,并在此基础上建立了驾驶员—汽车闭环系统模型. 对该闭环模型进行了单移线与双移线仿真试验,仿真结果与理想数据具有很好的一致性,表明该驾驶员模型是合理的,可以有效地模拟驾驶员控制汽车方向的行为特性,为进一步研究人一车一路闭环系统提供了一条可行途径.

关键词 驾驶员模型, 汽车操纵动力学, 神经网络, 仿真分析

引言

随着车辆操纵稳定性研究的发展,将神经网络强大的自学习和非线性能力应用于驾驶员模型的建立成为目前广泛采用的技术手段之一. 国内外已有多位学者基于神经网络理论建立了各种驾驶员模型,如 Stefan Neusser 等人于 1993 年设计了三层前馈神经网络控制器^[1]; C. C. MacAdam 等人于 1996 年提出了基于神经网络和预瞄传感器的汽车转向智能控制系统^[2],用神经网络模仿人的行为驾驶车辆;郭孔辉院士课题组于 2000 年提出了预瞄优化神经网络驾驶员模型^[3]. 虽然这些模型能获得与真实熟练驾驶员驾驶汽车非常接近的轨迹跟随效果,但都需要依据大量的实车或驾驶模拟器试验数据作为训练样本,且对于神经网络的拓扑结构需要通过试凑法多次比较确定,无形中增加了研究的难度和工作量.

因此为解决上述问题,本文根据“预瞄—跟随系统理论”和人工神经网络的基本原理,将 BP 算法和遗传算法相结合,建立了两层前馈预瞄优化神经网络驾驶员模型;同时基于汽车操纵动力学,获得了可靠的训练样本,从而在缺少实车试验数据的条件下为人—车—路闭环系统模型的研究提供有利的理论依据;并以单移线及双移线为例,对建立的闭环系统进行了仿真分析.

1 预瞄优化神经网络驾驶员模型的建立

驾驶员是依据前视轨迹信息和车辆的状态反馈信息来驾驶汽车,因此参照人工神经网络的拓扑结构和驾驶员—汽车闭环系统的功能框图,建立如图 1 所示的预瞄优化人工神经网络驾驶员模型.

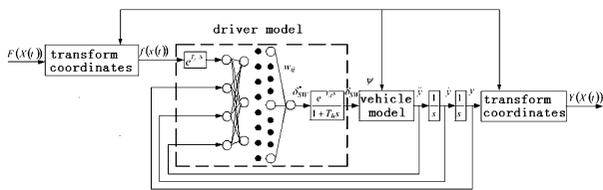


图 1 预瞄优化神经网络驾驶员模型

Fig. 1 Model of preview optimized neural network driver

该驾驶员模型是根据“单点预瞄假设”建立的神经网络驾驶员模型,依据预瞄时间只采集前方道路上一点的信息,模拟真实驾驶员的目光集中于前方一点处,这时道路信息的输入变量简化为一维向量. 通常,基于这个假设得到的仿真结果与实际驾驶员在模拟器试验中的仿真结果能够吻合的比较理想.

此驾驶员模型为两层前馈神经网络,经过多次训练结果比较,确定各层神经元数分别为 4—8—1,网络的拓扑结构如图 2 所示. 神经网络驾驶员模型的输入是一个四维向量,分别是驾驶员预瞄前方道路点的轨迹 $f_e = f \cdot e^{T_p S}$ 和车辆的状态反馈——侧向位移 y 、侧向速度 \dot{y} 和 \ddot{y} 侧向加速度,这些输入经过人工神经网络各个神经元间的权值和转移函数的

叠加综合,得到神经网络的输出一理想方向盘转角 δ_{sw}^* ,再经过驾驶员模型的神经滞后和操纵反应滞后环节,得到驾驶员模型的输出一方向盘转角 δ_{sw} .

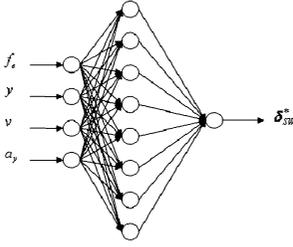


图2 神经网络驾驶员的拓扑结构

Fig.2 Topological structure of neural network driver

2 简化驾驶员模型

如图1所示绝对坐标系与车辆的相对坐标系之间需要进行坐标变换,当道路的方向角变化不大时,车辆的航向角变化也不大($\psi \rightarrow 0$),绝对坐标系的 X, Y 轴与车辆坐标系的 x, y 轴几乎重合,则有如下近似的关系: $X \approx x; Y \approx y$. 在相对坐标系下得到的各个量值与在绝对坐标系下得到的也近似相等,就可以略去坐标变换这一环节,使神经网络驾驶员模型得到简化.

由于人工神经网络具有极强的自学习能力,从理论上讲,只要训练样本数足够多且具有代表性,神经网络就能揭示出蕴藏在其间的任意复杂规律.描述驾驶员熟练程度的参数为神经反应滞后时间 t_d 、操纵反应滞后时间 T_h 和预瞄时间 T ,通过组合三个参数在各自变化范围内的不同取值,来模拟多位驾驶员驾驶同一辆汽车.在此基础上可得到有效的训练数据,从而只需利用以上建立的两层前馈神经网络,就能直接获得方向盘实际转角 δ_{sw} ,这样就进一步简化了驾驶员模型.

综上所述,图1所示的驾驶员模型就简化成图3所示:

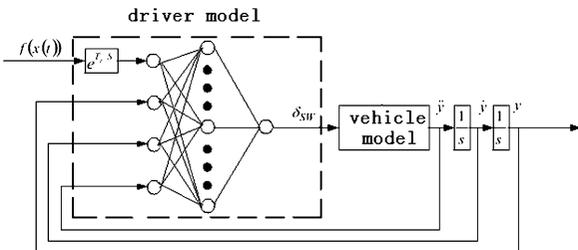


图3 两层前馈神经网络驾驶员模型

Fig.3 Two-layer-feedforward neural network driver model

3 神经网络学习算法

基于对现有的人工神经网络模型的分析,综合考虑实用性、高效性及针对性等各种因素,最终采用BP改进算法——带有动量项的BP算法,对驾驶员模型进行建模和仿真.同时针对BP网络存在的收敛速度慢、易于陷入局部极小点、网络的泛化能力及适应能力较差等缺陷,本文参考文献[4][5],利用遗传算法GA对改进的BP网络的权值进行训练.

GA和BP算法结合的步骤如下:

- ①随机产生一组实数制位串种群,每一个位串表示网络连接权和阈值的一个集合.
- ②对实数制位串进行解码成网络的各个连接权和阈值,运行网络,评价网络性能.
- ③根据遗传操作,产生下一代种群,形成下一代网络.
- ④重复②、③,直到 $J \leq J_{max}$ 或达到进化代数,此时,将最终种群中的个体进行解码,从而得到通过GA优化后的网络的连接权和阈值. J_{max} 为遗传算法所要达到的性能指标.
- ⑤将GA优化后的网络权值和阈值作为BP算法的网络初始权值和阈值.
- ⑥依据动量法BP网络权值调整公式进行网络权值和阈值的调节,评价网络性能.
- ⑦重复⑥,直到 $J \leq J_{min}$ 或 $e(i) \leq \max ep(i=1, \dots, l)$,其中 l 为训练网络的样本数, J_{min} 为BP算法所要达到的网络性能指标,即最终要求的性能指标, $\max ep$ 是单个样本的最大误差.此时,保存网络权值和阈值.

4 获取训练样本

为获得神经网络的训练样本,需要建立汽车闭环系统模型,如图4所示.由于本文主要研究侧向

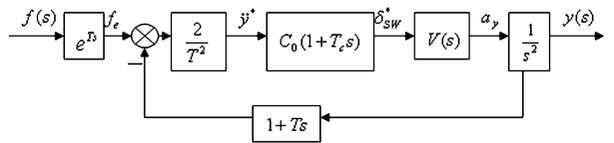


图4 驾驶员-汽车闭环系统模型

Fig.4 Model of driver-vehicle closed-loop system

加速度不是很大的汽车的平面转向问题,故只需采用二自由度线性汽车模型.

由上图可得到人一车一路闭环系统状态方程及输出方程,具体内容参见文献[6].

本文采用均匀设计的方法^[7]来安排仿真试验.仿真计算涉及 3 个因素——驾驶员预瞄时间、神经反应滞后时间和操纵反应滞后时间,可以选择均匀设计表进行仿真试验设计,试验次数为 15 次.通过试验可获得由有效道路输入、汽车侧向位移、侧向速度、侧向加速度以及对应的方向盘角输入的离散值组成的 15 组训练样本.

5 仿真试验及结果

以某轿车为例,使用上述的两层神经网络驾驶员模型对驾驶员—汽车闭环系统进行单移线和双移线路下的模拟与仿真.

闭环系统仿真由驾驶员响应模块和汽车响应模块组成.其中驾驶员模块的输出作为汽车模块的输入,汽车模块的输出又反馈给驾驶员模块,仿真框图如图 5 所示.

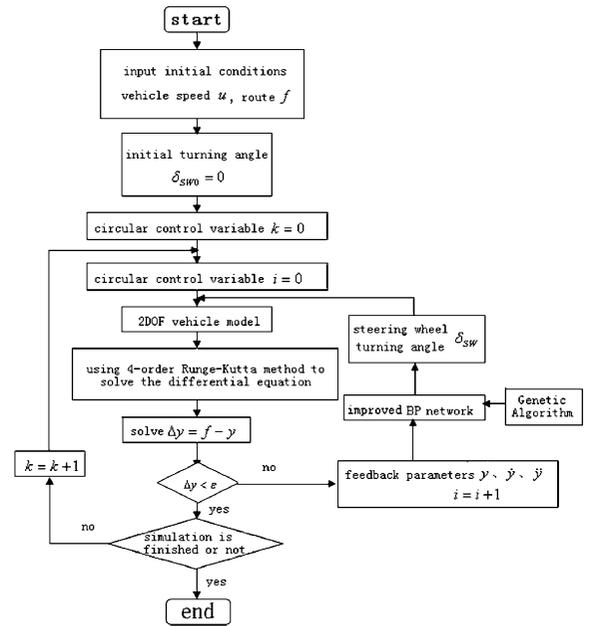


图 5 驾驶员—汽车闭环系统仿真框图

Fig. 5 Simulation block diagram of driver-vehicle closed-loop system

图 6 为单移线路径下,本文建立的两层前馈神经网络驾驶员模型仿真结果和得到广泛认可的预瞄最优曲率驾驶员模型^[3]仿真结果比较,实线两层前馈神经网络驾驶员模型,虚线为预瞄最优曲率驾驶员模型.图 7 为双移线下两者的仿真结果比较.对曲线进行对比分析和误差计算,得出汽车的侧向位移曲线,侧向速度、加速度曲线和方向盘转

角曲线的相对误差均在 5% 以下,在误差允许范围内,从而说明本文建立的两层前馈神经网络驾驶员模型是合理的,而且具有以下几个优点:1) 通过合理简化,与以往的“预瞄跟随”驾驶员模型相比更加简单、有效;2) 采用人工神经网络从而能够允许人一车一路闭环系统高度非线性化,不再拘泥于几个简单参数的表达,可通过学习不断实现自我完善;3) 可通过调整网络的拓扑结构,实现驾驶员、汽车特性因素的改变.

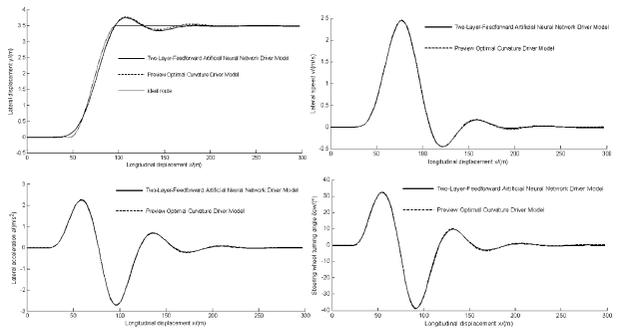


图 6 单移线仿真结果比较

Fig. 6 Comparison of single lane simulation results

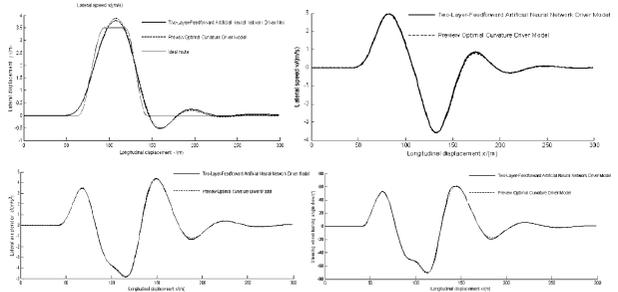


图 7 双移线仿真结果比较

Fig. 7 Comparison of double lane simulation results

6 结束语

本文基于汽车操纵动力学,结合 BP 学习方法和遗传算法建立了两层前馈神经网络驾驶员模型,并与已得到广泛认可的“预瞄最优曲率”驾驶员模型进行仿真试验比较,证明该模型及其各种简化假设是合理的,模拟的结果准确有效,因此可作为进一步研究人一车一路闭环系统特性的依据.

参 考 文 献

1 Stefan Neusser, et al. Neuron control for lateral vehicle guidance. *IEEE Micro*, 1993, 1(13): 57 ~ 66

- 2 C C Macadam and Gergory E Johnson. Application of elementary neural networks and preview sensors for representing driver steering control behavior. *Vehicle System Dynamics*, 1996, 25: 3 ~ 30
- 3 郭孔辉, 潘峰, 马凤军. 预瞄优化神经网络驾驶员模型. 机械工程学报, 2003, 39(1): 26 ~ 28 (Guo Konghui, Pan Feng, Ma Fengju. Preview optimized artificial neural network driver model. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 2003, 39(1): 26 ~ 28 (in Chinese))
- 4 穆阿华, 周绍磊, 刘青志等. 利用遗传算法改进 BP 学习算法. 计算机仿真, 2005, 22(2): 150 ~ 151 (Mu Ahua, Zhou Shaolei, Liu Zhiqing. Using genetic algorithm to improve BP training algorithm. *Computer Simulation*, 2005, 22(2): 150 ~ 151 (in Chinese))
- 5 朱海峰, 李伟, 张林. 基于 BP 神经网络整定的 PID 控制. 动力学与控制学报, 2005, 3(4): 93 ~ 96 (Zhu Haifeng, Li Wei, Zhang Lin. PID control based on BP neural network adjusting. *Journal of Dynamics and Control*, 2005, 3(4): 93 ~ 96 (in Chinese))
- 6 吴杰, 赵又群, 吴珂. 基于逆问题求解的汽车操纵性能分析. 中国机械工程, 2006, 17(4): 435 ~ 439 (Wu Jie, Zhao Youqun, Wu Ke. Analysis of lane - change vehicle maneuverability based on solution of inverse problems. *China Mechanical Engineering*, 2006, 17(4): 435 ~ 439 (in Chinese))
- 7 方开泰, 马长兴. 正交与均匀试验设计. 北京: 科学出版社, 2001 (Fang Kaitai, Ma Changxing. Orthogonal and uniform experimental design. Beijing: Science Publishing House, 2001 (in Chinese))
- 8 赵又群, 王立公, 何小明等. 四轮转向汽车运动稳定性分析. 中国机械工程, 2003, 14(14): 1246 ~ 1248 (Zhao Youqun, Wang Ligong, He Xiaoming. Motion stability analysis of 4WS vehicle. *China Mechanical Engineering*, 2003, 14(14): 1246 ~ 1248 (in Chinese))

THE ARTIFICIAL NEURAL NETWORK DRIVER MODEL BASED ON VEHICLE HANDLING DYNAMICS*

Xu Jin Zhao Youqun Ruan Miqing

(Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract As a crucial link of the driver-vehicle-road closed-loop system, the driver model plays an important role in the simulation of vehicle close-loop system and the evaluation of vehicle active safety. Based on the Vehicle Handling Dynamics, the Preview-Follow theory and the Artificial Neural Network, this paper established a directional control driver model—Two-Layer-Feedforward Artificial Neural Network Driver Model and the driver-vehicle closed-loop system model. Using the close-loop system model, single and double lane change simulations were performed. The results show good agreement with the ideal data. It indicates that this driver model is reasonable enough to simulate the driver's behavior property and provide a feasible way to the further investigation of the driver-vehicle-road closed-loop system.

Key words driver model, vehicle handling dynamics, neural network, simulation analysis