

基于神经网络的汽车—驾驶员—环境 闭环系统的操纵稳定性

倪代恒^① 余 群

(车辆工程学院)

摘 要 以三自由度汽车模型为基础,采用人工神经网络的 BP 算法,建立了基于神经网络的汽车—驾驶员—环境闭环控制系统模型,研制了闭环控制系统仿真软件,对几种典型转向工况进行了模拟。为验证系统模型及仿真结果的正确性,进行了汽车操纵稳定性试验。结果表明,闭环系统模型合理,仿真结果准确。

关键词 汽车操纵稳定性; 闭环系统; 人工神经网络; BP 算法

中图分类号 U461.6

A Neural Network for Handling Stability of Driver-Vehicle-Environment Closed-Loop System

Ni Daiheng Yu Qun

(College of Vehicle Engineering, CAU)

Abstract A Neural Network for the handling stability of driver-vehicle-environment closed-loop system is established, based on a vehicle model with three degrees of freedom; the closed-loop system simulation software is developed to simulate some kinds of steering mode. In order to verify the software, running experiments are carried out, the results of comparing experiments with computer simulation show that the closed-loop system model is reasonable and the computer simulation results are correct.

Key words handling stability of vehicle; closed-loop system; artificial neural networks; BP algorithm

对车辆操纵稳定性的研究已长达半个世纪,国内外学者提出了许多描述闭环系统的模型,其中典型的有:MacAdam 的“最优预瞄闭环控制模型”^②、郭孔暉的“预瞄最优曲率模型”和“预测-跟随系统理论”^[1]、顾希的“模糊控制模型”^[2]等;尽管如此,模型本身和实际操作过程还存在一定的差距,这主要是由于对人的控制行为的机理研究得不够深入。基于这种认识,笔者提

收稿日期:1995-04-28

①倪代恒,北京清华东路 17 号中国农业大学(东校区)43 信箱,100083

②MacAdam C C. An optimal preview control for linear systems. J of Dynamic System, Measurement and Control, 1980

出用人工神经网络理论中的BP算法建立闭环系统模型。作为人工神经网络理论在车辆操纵稳定性中的应用,目前国际上只有少数学者在研究,而国内至今还无人问津。

1 汽车整车数学力学模型

在研究汽车—驾驶员—环境闭环系统操纵稳定性时,首先需要建立汽车的整车数学力学模型。以往发表的论文中,大多采用二自由度汽车模型,它们只考虑了横摆和侧移运动;而三自由度汽车模型进一步考虑了侧倾运动,这就更能反映汽车操纵稳定性的全貌。在本文中采用三自由度汽车模型,其运动微分方程见文[2]。

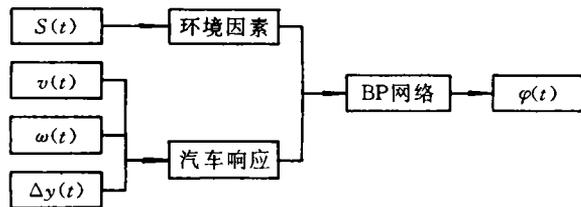
2 驾驶员智能模型

2.1 模型的建立

影响驾驶员操纵行为的因素很多:一是来自驾驶员自身的,如技术熟练程度、年龄、心理状态和习惯等;二是来自汽车响应的,如轮胎侧偏特性、横摆角速度和横向位移偏差、速度、横向加速度等;三是来自环境的,如道路曲线、前方有无障碍物及其他车辆的行驶情况等。

本文的重点是建立一个适当的驾驶员模型,以对汽车的行驶进行控制,作为研究人工神经网络在汽车操纵稳定性中应用的一次尝试,目的是为研究汽车自动驾驶问题提供理论基础和方法;所以,着眼点放在如何对汽车进行控制,而不是刻意去模仿某个驾驶员的操纵行为。在研究的初级阶段,假定存在一个“理想”驾驶员,他的操纵行为特性符合理论的输入—输出特性,即对应一定的输入,“理想”驾驶员的输出即为期望输出。由于这样的驾驶员只有1个,不存在年龄、性别、技术熟练程度等自身因素的对比,因此输入有4个:一是道路方程 $S(t)$,二是汽车速度 $v(t)$;三是横摆角速度 $\omega(t)$,四是横向位移偏差 $\Delta y(t)$;输出只有1个,即转向盘转角 $\varphi(t)$ 。驾驶员智能模型框图如图1所示。

神经网络最大的特点是可以将一些不使用数学方程式表达的事物的内在规律以网络节点连接权的形式记录下来。当获得一个“理想”驾驶员的操纵行为资料后,令网络自学习,将输入—输出模式对之间的内在联系以连接权的形式记录下来,这样,这个“理想”驾驶员的操纵规律就被模拟了,此后若只给网络以某个



特定的输入(允许带有噪声),网络就会根据输入模式的特征联想起与该模式最接近的那个输入模式的输出。现各以一个神经元表示各个输入,以一个神经元表示输出,再设置一系列输入—输出比例函数,对原始数据进行转换。驾驶员神经网络的拓扑结构见图2。

2.2 驾驶员的预瞄

驾驶员在操纵汽车时总是目注前方距车 l 处的道路情况,以此来判断该如何操纵转向盘,使汽车尽可能沿预期轨道行驶。通常称 l 为前视距离, $t_l(=l/v)$ 为前视时间。在网络中,为了反

映驾驶员的预瞄作用,可在时刻 t 取时刻 $(t+1)$ 的道路情况 $S(t+1)$,则时间步长 Δt 一定时, $l(=v\Delta t)$ 随车速的增大而增大。

2.3 实例学习

为了验证所建立的驾驶员模型是否能完成预先设想的功能,通过几组数据对驾驶员神经网络进行实例学习。其中,汽车作单移线运动时,网络有 2 个隐含层,分别含 20, 3 个单元;双移线时,2 个隐含层分别含 20, 10 个单元;蛇行线时,2 个隐含层分别含 20, 20 个单元。图 3 给出了部分学习曲线(图中实线为期望输出,虚线为网络学习结果)。可以看出,网络能够再现驾驶员的操纵过程,而且这种网络具有较好的抗噪声能力。

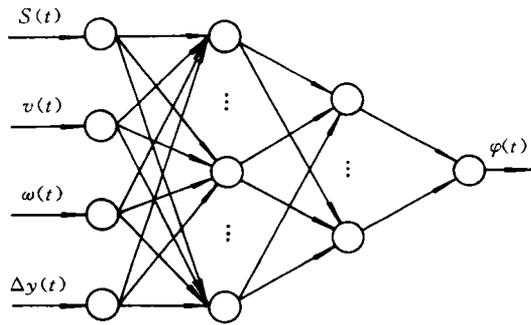


图 2 驾驶员神经网络的拓扑结构

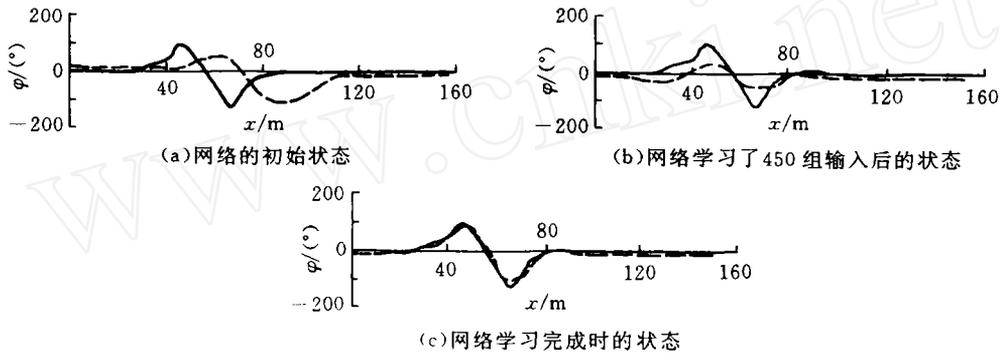


图 3 单移线学习曲线 (x 为位移, φ 为方向盘转角)

3 闭环系统综合模型及计算模拟

综合前面的工作,建立起闭环系统的综合模型,如图 4 所示。

对于一定的道路条件,驾驶员对汽车系统输入转向盘转角 $\varphi(t)$,三自由度汽车模型输出横向加速度 $\ddot{y}(t)$ 和横摆角速度 $\omega(t)$ 。横向加速度经 2 次积分得横向位移 $y(t)$ 。 $\omega(t)$, $y(t)$, 道路方程 $S(t)$ 和汽车速度 $v(t)$ 又作为系统对驾驶员的输入, $y(t)$ 和 $S(t)$ 经过比较得到横向位移偏差 $\Delta y(t)$, 它和 $\omega(t)$ 就是驾驶员模型的反馈输入。

如果预先给定在某种输入下的期望输

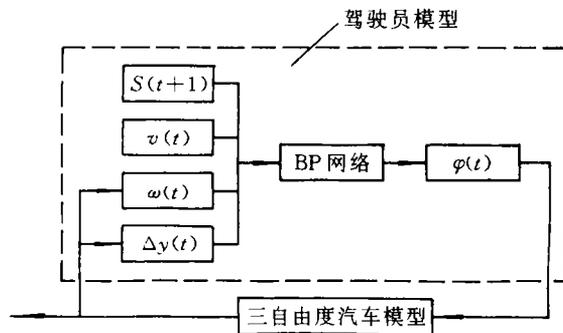


图 4 闭环系统综合模型

出,即“钳制”住驾驶员模型的输入和输出,让神经网络自行学习该输入—输出模式对之间的内在联系,则经大量的学习之后,驾驶员的控制规律就被存储在网络的连接权上;如果此时给驾驶员以一定的输入(允许有一定程度的噪声),神经网络就会根据已有的经验,联想起与之最接近的那个输出——转向盘转角 $\varphi(t)$ 。这就是在某一时刻下闭环系统的控制过程。这样,各个时刻的闭环系统控制过程的总和就构成了闭环系统在汽车进行某一行驶过程的总的控制过程。

闭环系统仿真软件由整车响应模块和驾驶员响应模块组成。其中,驾驶员模块的输出作为整车模块的输入,整车模块的输出又反馈给驾驶员模块。该软件用 Turbo C 语言编制,可以在 IBM 微机及其兼容机(286 以上)上运行,所有曲线均可由绘图软件 GRAPHER 绘出。仿真软件的框图如图 5 所示。

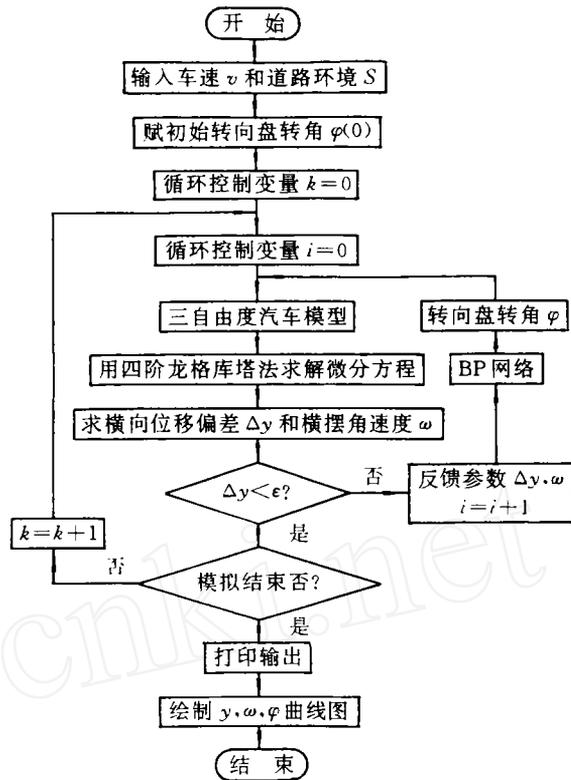


图 5 操纵稳定性仿真软件结构框图

4 闭环控制系统操纵稳定性试验与模拟结果对比分析

为验证所建立的闭环系统模型及计算机模拟的正确性,作了闭环操纵稳定性试验。试验在北京沙河机场进行,车型是 BJ121。

需要测试的参数为转向盘转角 $\varphi/^\circ$,横摆角速度 $\omega/\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$ 和汽车速度 $v/\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$;试验中测试的工况为单移线、双移线和蛇行线 3 种。这里给出部分试验结果和模拟曲线的对比图,如图 6 所示。在横向位移图中,实线为拟合曲线,虚线为试验结果。

对曲线进行对比分析和误差计算,得出汽车的轨迹曲线、横摆角速度曲线、横向加速度曲线和转向盘转角曲线的相对误差均在 8% 以下,在误差允许的范围。这表明本文中所建立的闭环系统模型是合理的,它有几个独特的优点:1)本模型允许汽车整车模型和驾驶员模型高度非线性化,这就使将来用更精确的汽车整车模型和高度非线性化的驾驶员模型成为可能。这样,驾驶员模型就不再像以往那样,仅能用几个简单模型参数来表达,而是可以通过对知识、经验的学习,不断完善自己,以实现最优控制。2)网络的学习一旦完成,就可以以很高的反应速度对某种特定的工况进行实时智能控制。3)从网络的拓扑结构上可以看到,可调参数的增加,相应于网络输入层结点的改变,这样,影响汽车操纵稳定性的各种因素,尤其是人和环境因素的变化,可以通过改变网络的拓扑结构而方便地得到实现。

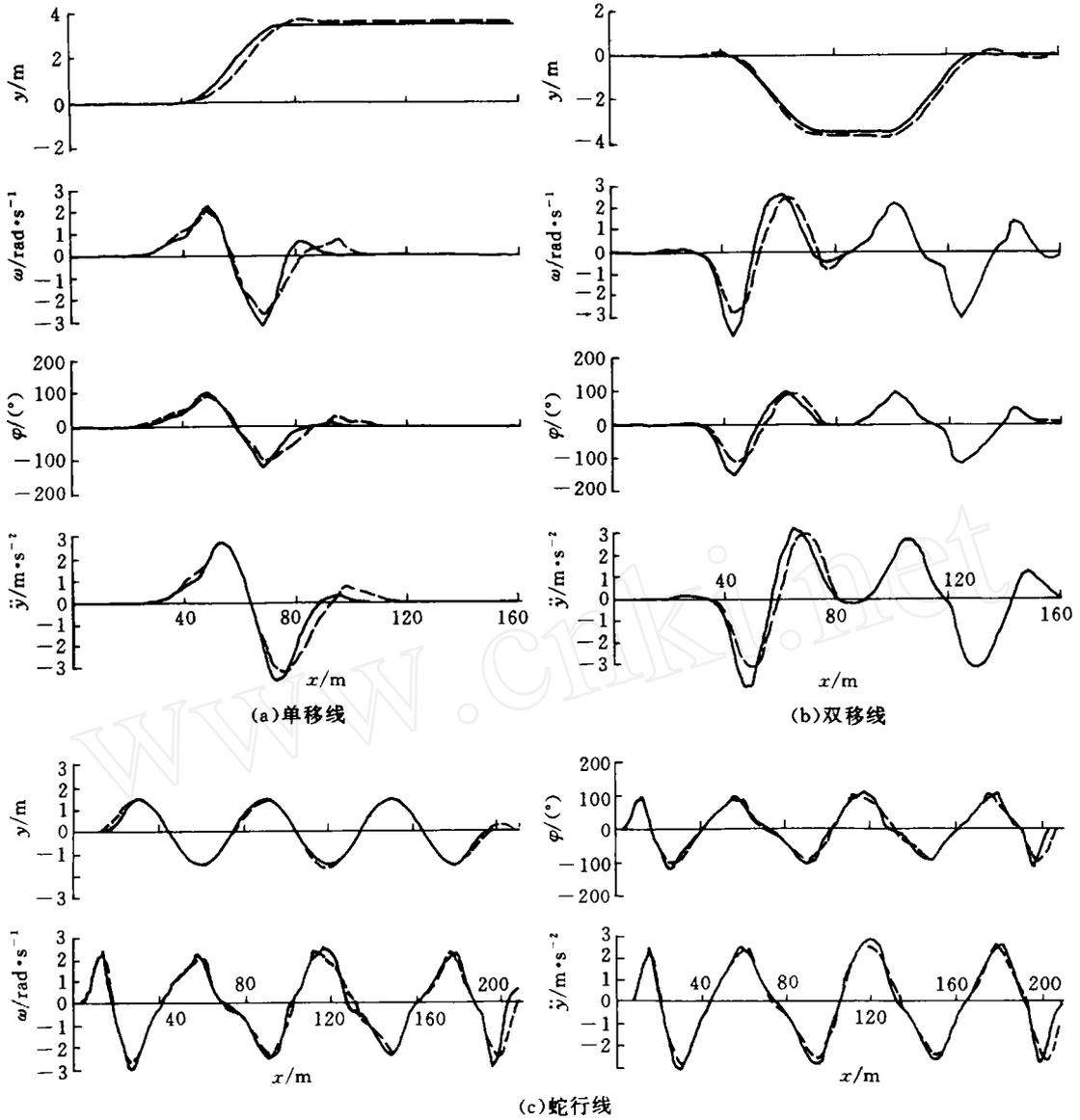


图 6 试验曲线与模拟曲线的对比

5 结束语

基于神经网络的驾驶员—汽车—环境闭环系统综合模型与以往所建立的各种模型相比,有着独特的优越性。经过试验验证,模型及各种假设是合理的,模拟结果准确。

参 考 文 献

- 1 郭孔辉. 驾驶员—汽车闭环系统操纵运动的预瞄最优曲率模型. 汽车工程, 1984(3): 1~16
- 2 顾 希. 驾驶员—汽车—环境闭环系统操纵稳定性研究中的模糊控制方法: [学位论文]. 北京: 北京农业工程大学, 1993