

文章编号:1000-582X(2006)04-0005-04

汽车方向控制驾驶员模型*

李兴泉,贺岩松,徐中明,张志飞

(重庆大学机械工程学院,重庆 400030)

摘要:建立合适的汽车方向控制驾驶员模型是人-车-路闭环系统最重要的环节之一。目前在传递函数、最优控制的基础上建立了补偿模型、预瞄补偿跟踪模型、预瞄最优曲率跟随模型等,但由于驾驶员驾驶特性的非线性、时变性等特征,上述模型很难模拟驾驶员实际操纵行为。考虑到驾驶员的操纵特性,运用智能控制理论,基于模糊控制、神经网络及这两者的结合,建立相应的驾驶员模型可以更加接近驾驶员实际的驾驶行为。

关键词:驾驶员模型;模糊控制;神经网络;模糊-神经网络

中图分类号:U460

文献标识码:A

随着汽车保有量的增加,交通事故频繁发生,交通安全日趋受到关注。而绝大多数事故又与驾驶员操纵有关^[1],若能采用先进的控制技术取代人对车辆的部分或全部控制,将有利于减少交通事故的发生,驾驶员模型的研究正是基于此而进行的^[2]。汽车的操纵稳定性和驾驶员的行为特性是影响汽车主动安全性的主要因素,随着对汽车操纵稳定性研究的不断深入,人们发现单纯研究汽车本身输入与输出之间的关系很难对汽车的操纵稳定性进行全面的评价与合理的设计,而采用系统论把汽车作为人-车-路闭环系统的被控环节,分析整个系统的特性,已经被理论和实践证明是可行和有效的,这就是汽车操纵稳定性研究的闭环方法^[3-4]。其控制系统如图1所示。

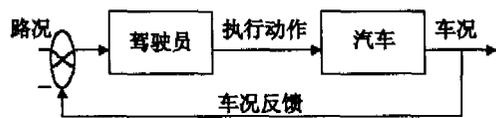


图1 人-车-路系统图

另一方面,为了改善交通安全性、灵活性、高效性,智能交通(ITS)越来越受到交通部门及汽车工业的普遍关注。智能车辆(IV)是其中一个重要的方面,它包括环境感知、信息处理及控制等关键技术^[5]。这就需要建立合适的驾驶员模型,及时、准确地处理路况和车况的感知信息,并准确地传给车辆控制机构输出,实现

自动驾驶。驾驶员模型还用于汽车的某些性能测试中^[6],它能消除人的主观驾驶因素,测试更可靠、准确,具有可重复性,能消除驾驶员疲劳等造成的影响,且便于计算机仿真。

1 传统的驾驶员模型

驾驶员模型是个复杂的控制系统,它包括速度控制^[7]、避撞控制^[8]和转向控制等方面,还包括在这些单独的控制系统之间建立多代理环境的通用模型^[9],使各控制系统能通过此通用模型的数据传输、处理实现相互间的协调控制。

方向控制是驾驶员模型研究的核心。自上世纪中期以来,人们基于各种控制理论先后提出了几种控制模型:补偿控制模型、最优控制模型、模糊控制模型、神经网络控制模型及模糊-神经网络控制模型等。R. A. Hess等人提出了基于传统控制理论的驾驶员补偿控制模型^[10],这个模型充分考虑了驾驶员对不同转向频率的反应,对其动态特性进行补偿,建立一个由高频和低频两部分组成的人-车-路闭环稳定的鲁棒控制系统。

文献[11]提出了人机系统最优预见补偿跟踪控制模型,认为人具有‘先看’的能力,把人脑产生的最优控制量经肌肉环节操纵延迟作为控制器的输入。其

* 收稿日期:2005-11-15

基金项目:重庆市自然科学基金资助项目(8672)

作者简介:李兴泉(1981-),男,贵州黔西人,重庆大学硕士研究生,主要从事车辆动力学及控制方向的研究。

评价指标既包含驾驶员的体力特征的控制输入加权也包含精力消耗的控制输入速率信号加权,并构造观测器对系统进行全状态估计从而实现最优反馈.郭孔辉院士于1982年提出了预瞄—跟随系统理论^[12],认为驾驶员的决策分为预瞄阶段和补偿跟随阶段,若 f 为输入, y 为输出, $P(s)$ 是预瞄环节, $F(s)$ 是跟踪环节,则理想的跟随控制系统是从 f 到 y 的传递函数之积为1,即 $P(s) \times F(s) = 1$.

在此基础上建立了驾驶员预瞄最优曲率模型和预瞄最优加速度模型^[13],该模型假设驾驶员方向控制的策略可分为这样2个阶段:首先根据前方所看到的道路信息和当前汽车的行驶状况,按照汽车的行驶轨迹与预瞄轨迹误差最小的原则,决定最优的行驶轨迹曲率或横向加速度;然后考虑驾驶员及汽车的特性,作出一个最优的方向盘转角输入,使行驶轨迹曲率或横向加速度尽量与预期目标一致.后来,郭院士课题组又在此基础上引入驾驶员动态决策汽车预期行驶轨迹建立相应的驾驶员模型^[14].

上述这些驾驶员模型都是建立在传统控制理论基础上的,其结构简单,基本上能反映驾驶员特性.但实际的驾驶员是个复杂的非线性时变动态系统,很难对其建立精确的数学模型,运用传统控制方法来建立的驾驶员模型存在很大的局限性,无法达到满意的动态效果.随着模糊控制、神经网络等智能控制理论研究的不断深入和应用的不断推广,这些控制理论也逐渐被用于建立驾驶员模型.

2 模糊控制驾驶员模型

模糊控制是以模糊集合论、模糊语言变量及模糊逻辑推理为基础的一种计算机数字控制,它属于非线性智能控制的范畴,是智能控制系统的一个重要分支.其优点在于:不需知道被控对象精确的数学模型;鲁棒性强,适于解决过程控制中的非线性、强耦合、时变、滞后等问题;采用“语言型”控制,易于形成知识库^[15].根据模糊控制这些特点,人们对车辆的速度控制^[7]、自动巡航控制^[16]、避障控制^[8,17]等建立了相应的控制模型.对方向控制驾驶员模型,以汽车的实际行驶侧向位移与预期轨迹侧向位移的偏差 E 及偏差变化率 EC 为输入变量,以方向盘转角 U 为输出变量.其结构如图2所示.

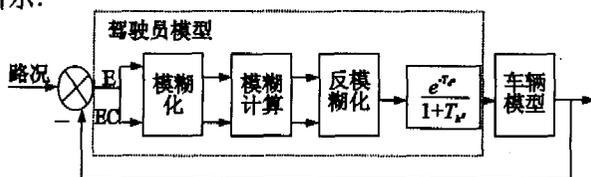


图2 模糊控制的驾驶员模型框图

此驾驶员模型主要由偏差 E 及偏差变化率 EC 的模糊化、模糊算法及反模糊化3部分组成.把测量数(精确值)转化为模糊数(模糊值)的过程称为模糊化,即把物理量的精确值转化为语言变量值.在模糊算法和反模糊化过程中,采用Mamdani型算法:if E and EC then U,根据经验或专家知识建立相应的规则库.

时间滞后是驾驶员模型中的重要组成部分,Allen, R. W对驾驶员的观测时间、处理信息时间、反应时间等进行了详细的分析,并研究了老年人的时间滞后和年轻人的时间滞后的差异^[18].文献[10]也对时间滞后有详细的论述,特别对操纵频率较高时肢体肌肉和神经系统的时间延迟进行了补偿.

在上面驾驶员模型中, $e^{-T_d s} / (1 + T_h s)$ 为时间滞后环节.其中, T_d, T_h 是时间常数, $e^{-T_d s}$ 是驾驶员的反应、处理时间滞后, $1 / (1 + T_h s)$ 在控制系统中是一个惯性环节,这里代表车辆的惯性时间滞后.

上述驾驶员模型是模糊控制最简单的形式,对精确度要求不太高时可通过适当调整控制规则来满足控制要求.实际上,人们为了提高其精度、改善其稳定性、加快反应时间等,提出了一系列的改进措施,包括模糊-PID复合控制、模糊数在线插值、自适应模糊控制等方法^[19],以及后面将要讲到的模糊—神经网络控制等.

3 神经网络驾驶员模型

神经网络由多个神经元按一定的方式连接而成,能模拟人脑神经系统的运作方式,使机器具有象人脑那样的自学习能力.神经网络强大的自学习和非线性映射能力使其在智能控制系统中得到广泛应用.通过神经网络在线或离线训练,让预先所建立的模型对所收集的信息进行学习,训练出相应的控制器网络^[20].

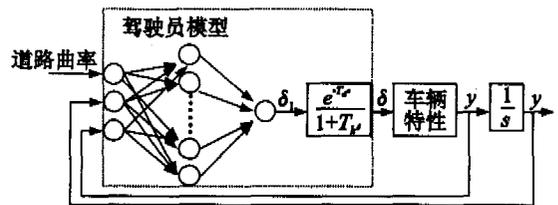


图4 神经网络驾驶员模型图

丰田汽车研究中心的神经网络驾驶员模型采用三层前馈式结构^[21],如图4所示.3个输入分别为道路信息、汽车侧向速度、侧向位移,输出为方向盘的转角,对隐层和输出层采用sigmoid式激活函数

$$f = 2 / (1 + \exp(-x)) - 1,$$

式中, x 是对应神经元的输入.

在网络训练中采用误差逆向传播(BP)算法.其中,反馈误差为:

$$\Delta w = \varepsilon \frac{do}{dw} \sigma^b,$$

式中, Δw 是神经网络的权值改变量, ε 是学习效率, o 是输出, σ^b 是误差反馈信号。

郭孔辉院士课题组把神经网络与预瞄跟踪理论结合起来, 也建立了相应的预瞄神经网络驾驶员模型^[22]。结构如图 5 所示。此驾驶员模型的输入分别是驾驶员预瞄前方道路点的轨迹 $F(x(t))$ 和车辆的状态反馈: 侧向位移 y 、侧向速度 y_2 和侧向加速度 y_1 , 驾驶员模型的输出是方向盘转 δ 角, 最后转换为车辆的侧向位移 $Y(x(t))$ 输出。

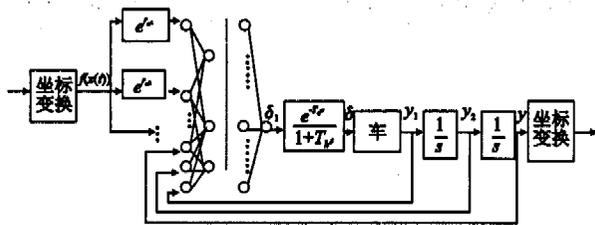


图 5 预瞄神经网络驾驶员模型图

4 模糊-神经网络驾驶员模型

模糊控制通过实际操纵经验的总结建立模糊集合、隶属函数和模糊规则控制系统, 但不具有自学习性; 神经网络具有强大的自学习能力, 但不能表达模糊语言, 相当于一种黑箱操作, 缺少透明度。模糊-神经网络充分利用两种控制方法的互补性, 是一个集语言计算、逻辑推理、分布式处理和非线性为一身的控制系统^[23-24]。图 6 为五层全网络化模糊-神经网络驾驶员模型^[5]。

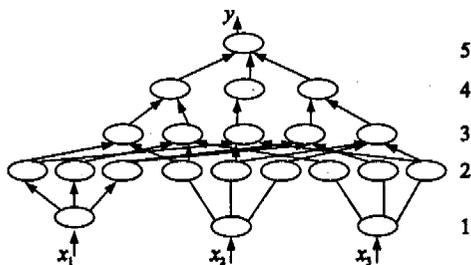


图 6 模糊-神经网络驾驶员模型图

此模型的输入输出层分别为 1 层和 5 层, 代表非模糊变量 $X = (X_1, X_2, X_3)$ 和 y 。输入变量 x 经输入层 1 到达 2 层后被转变成了模糊变量上相应的隶属函数, 即被模糊化了。在隶属函数的选取中笔者采用了梯形隶属函数法; 第 3 层是规则基础层, 或称为规则前件; 第 4 层是结果层, 或称为规则后件^[15], 这两层合起来即相当于模糊控制中的模糊推理, 形成规则库。其原则为: if A and B then C。第 5 层是反模糊化层, 采用加权平均法。

模糊-神经网络充分利用了模糊推理的结构原

理, 但在具体的模糊化、模糊推理及反模糊化的过程中, 却采用的是神经网络自学习的思想来确定每个步骤的权系数, 消除了一般模糊控制中模糊规则建立时专家经验不足和精度不够的局限。

5 结束语

基于传统控制理论建立了相应的方向控制驾驶员模型, 这些模型基本上反映了驾驶员的特性; 根据驾驶员的非线性时变等特征, 并结合模糊控制、神经网络的优点及它们的互补性, 建立了更加符合实际操纵行为的模糊控制、神经网络及模糊-神经网络驾驶员模型, 取得了一定的研究成果。考虑到驾驶员的复杂性, 需对其进一步研究以确定更精确的反映时间等重要参数; 并且驾驶行为除了方向控制外, 还包括驱动、制动及换挡等多种操纵动作, 这又加大了驾驶员建模的难度, 建立更加完善的、精确的、更符合实际的驾驶员模型, 有赖于各种控制理论, 特别是模糊控制、神经网络等的发展和驾驶员行为特性的进一步研究。

参考文献:

- [1] MOHAMED A, ESSAM R A. Modeling Traffic Accident Occurrence and Involvement[J]. Accident Analysis and Prevention, 2000, 32:633-642.
- [2] 李世雄, 余群. 基于模糊控制的人-车闭环系统的操纵稳定性[J]. 中国农业大学学报, 1998, (3):108-112.
- [3] 马凤军. 驾驶员模型参数和车辆结构参数的辨识及其对闭环系统性能影响的研究[D]. 吉林: 吉林大学, 2002.
- [4] HISAOKA Y J, MASAOKI Y, AKIO O. Closed-loop Analysis of Vehicle Behavior During Braking in A Turn[J]. JSAE Review, 1999, 20:537-542.
- [5] MICHEL P C Q, MARY T. Fuzzylot A Novel Self-organizing Fuzzy-neural Rule-based Pilot System for Automated Vehicles[J]. Neural Networks, 2001, (14):1 099-1 112.
- [6] CHEWUN H, TSON W S. Fuzzy Control Strategy Design for An Autopilot on Automobile Chassis Dynamometer Test Stands[J]. Mechatronics, 1996, (6):537-555.
- [7] HYUN M K, JULIE D, BART K. Fuzzy Throttle and Brake Control for Platoons of Smart Cars[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1996, (84):209-234.
- [8] DING H, LI H X. Fuzzy Avoidance Control Strategy for Redundant Manipulators[J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence 1999, (12):513-521.
- [9] CHARLES A B, RUBEN G R. A Multi-agent Architecture for A Driver Model for Autonomous Road Vehicles [A]. IEEE; Montreal [C]. Quebec, Canada, 1995.
- [10] HESS R A, MODJTAHEZADEH A. A Control Theoretic Model of Driver Steering Behavior [J]. Control Systems

- Magazine, 1990, 8:3-8.
- [11] 于黎明,王占林. 人机系统最优预见补偿跟踪控制研究[J]. 自动化学报, 2001, 27(3):421-423.
- [12] 程颖. 基于误差分析法的驾驶员模型及其在 ADAMS 中的应用[D]. 吉林: 吉林大学, 2002.
- [13] 高振海,郭也辉,管欣. 驾驶员最优预瞄加速度模型的研究[D]. 吉林: 吉林大学, 2000.
- [14] 高振海,管欣,郭孔辉. 驾驶员方向控制模型及在汽车智能驾驶研究中的应用[J]. 中国公路学报, 2000, 3(13): 106-109.
- [15] 李士勇. 模糊控制·神经控制和智能控制论[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2003.
- [16] MIKIO M. Fuzzy Drive Expert System for An Automobile[J]. Information Sciences, 1995, (4):29-48.
- [17] CHIAHAN L, LINGLING W. Intelligent Collision Avoidance by Fuzzy Logic Control[J]. Robotics and Autonomous Systems, 1997, (20):61-83.
- [18] BINGYONG W, MASATO A, YOSHIO K. Influence of Driver's Reaction Time and Gain on Driver vehicle System Performance with Rear Wheel Steering Control Systems: Part of A Study on Vehicle Control Suitable for the Aged Driver[J]. JSAE Review, 2002, 23:75-82.
- [19] 章卫国,杨向思. 模糊控制理论与应用[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 1999.
- [20] LIN Y, TANG P, ZHANG W J. Artificial Neural Network Modeling of Driver Handling Behavior in A Driver-vehicle-environment System [J]. Inderscience Enterprises Ltd, 2005, (15):12-15.
- [21] HIROSHI O. Analysis and Modeling of Human Driving Behaviors Using Adaptive cruise control [J]. Applied Soft Computing, 2001, (1):237-243.
- [22] 潘峰,郭孔辉. 人-车闭环系统驾驶员神经网络综合优化建模[D]. 吉林: 吉林大学, 2001.
- [23] 蔡自兴,陈海燕,魏世勇. 智能控制工程研究的进展[J]. 控制工程, 2003, (10):1-5.
- [24] CHINGYU T, PAUL P W, DEENIS R B. An Application on Intelligent Control Using Neural Network and Fuzzy Logic [J]. Neurocomputing, 1996, (12):345-363.

Driver Model of Steering Direction Control for Automobiles

LI Xing-quan, HE Yan-song, XU Zhong-ming, ZHANG Zhi-fei

(College of Mechanical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: Creating a suitable driver model is one of the most important parts in the closed-loop system of driver-vehicle-road. Several kinds of driver models have been created based on the traditional control theories such as transfer function, optimization control and the compensation control. But owing to the driver's characteristics of nonlinear and time-variable, it's difficult for those proposed driver models to mimic drivers' action. While accounting for the inherent manual control characteristics and limitations of the mankind, the intelligent control methods have been applied in creating driver models based on the fuzzy control, neural networks control and fuzzy-neural networks control theory.

Key words: driver model; fuzzy control; neural networks; fuzzy-neural networks

(编辑 张小强)