

基于神经网络的混合动力汽车驾驶意图识别方法*

王庆年 唐先智 王鹏宇 田丽媛 孙磊

(吉林大学汽车仿真与控制国家重点实验室, 长春 130025)

【摘要】 建立了基于 Takagi - Sugeno 模型的模糊神经网络。通过对模糊神经网络进行训练, 生成了驾驶意图模糊推理规则。从仿真结果可以看出运用本方法得到的模糊推理规则可以很好地识别驾驶意图, 并且基于驾驶意图识别可以有效地优化混合动力汽车的控制策略, 从而进一步提高混合动力汽车燃油经济性。

关键词: 混合动力汽车 模糊神经网络 驾驶意图识别 仿真

中图分类号: U469.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2012)08-0032-05

Driving Intention Identification Method for Hybrid Vehicles Based on Neural Network

Wang Qingnian Tang Xianzhi Wang Pengyu Tian Liyuan Sun Lei

(State Key Laboratory of Automotive Simulation and Control, Jilin University, Changchun 130025, China)

Abstract

An adaptive fuzzy neural network was built based on Takagi - Sugeno model. The inference rules were obtained by training the fuzzy neural network. The simulation result proved that the fuzzy inference rules based on Takagi - Sugeno model could infer driver intention excellently and hybrid vehicles' control strategy could be optimized based on driver intention inference, thus more hybrid vehicles' fuel consumption could be reduced.

Key words Hybrid vehicles, Fuzzy neural network, Driving intention identification, Simulation

引言

混合动力汽车与传统汽车相比具有省油、排放好的优点。但由于混合动力汽车的结构相对复杂, 给整车控制带来了一系列的问题, 其中能量管理与扭矩分配是最关键的两个问题^[1-3]。为了解决这些问题, 近年来各国学者对其进行了大量的研究。这些研究大多集中在能量管理与扭矩分配的控制算法上, 而能量管理和扭矩分配还要符合驾驶员的驾驶意图^[4-9]。目前混合动力汽车对驾驶员驱动或制动意图的识别还只是靠加速踏板开度和制动踏板开度, 仅靠踏板开度这一参数不能精确地识别驾驶意图, 在识别过程中会造成错误, 从而使能量管理与扭矩分配不符合驾驶员的意图, 导致汽车性能的下

降^[10]。

为了能够精确识别驾驶意图, 解决混合动力汽车在运行中出现的问题, 进一步提高混合动力汽车经济性, 提出一种通过多个参数运用自适应模糊神经网络识别驾驶意图的方法, 本文只论述驱动时的驾驶意图识别方法。

1 基于模糊神经网络的驾驶意图识别

1.1 驾驶意图分类及识别参数确定

首先把驾驶意图分为动力模式和经济模式, 在确定行驶模式后, 再对驾驶意图进行进一步识别, 分为紧急加速、一般加速、平缓加速、低速巡航和高速巡航 5 个意图。驾驶意图的分类如图 1 所示。

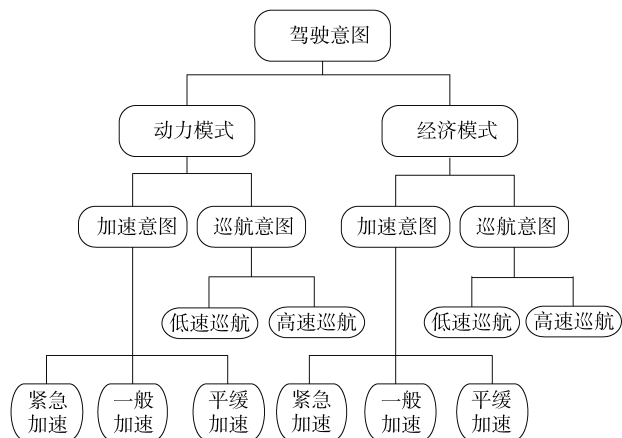


图 1 驾驶意图分类

Fig. 1 Classification of driving intention

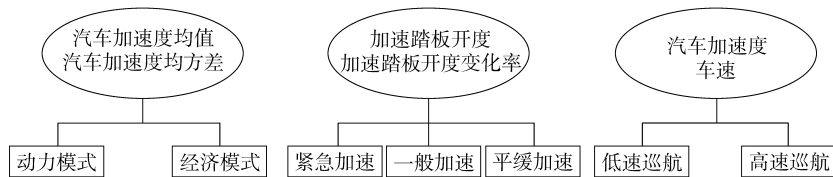


图 2 驾驶意图识别参数

Fig. 2 Parameters of driving intention identification

但仅依靠加速踏板开度还不能完全准确反映出驾驶员加速的紧急程度,因此引入加速踏板变化率并结合加速踏板开度来对加速的紧急程度进行区分。

巡航意图的识别主要靠汽车平均加速度和车速 2 个参数。汽车平均加速度用来确定巡航意图,车速则用来分辨高速巡航还是低速巡航^[10]。

1.2 紧急加速与平缓加速的识别

1.2.1 识别参数隶属函数

加速踏板开度和加速踏板开度变化率的隶属度函数如图 3 和图 4 所示。

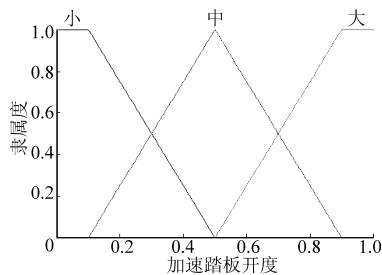


图 3 加速踏板开度的隶属度函数

Fig. 3 Membership functions of acceleration pedal travel

1.2.2 模糊神经网络

为了通过数据对神经网络进行训练,从而生成模糊推理规则,建立了如图 5 所示的基于 Takagi-Sugeno 模型的模糊神经网络。

神经网络分为 5 层:第 1 层为输入层,节点数为 2 个(即加速踏板开度和加速踏板开度变化率),这一层的节点只是将输入变量直接传递到下一层。第

各种驾驶意图的识别参数如图 2 所示。

行驶模式的识别主要靠汽车加速度均值和汽车加速度均方差 2 个参数。加速度均值一定程度上反映了驾驶员的驾驶风格,加速度均值大可能意味着驾驶员侧重动力性。但仅仅根据加速度均值来判断驾驶风格可能会产生误判断。因为加速度均值只是反映了一段时间内加速度的平均水平,不能反映出加速度的分散程度。因此引入加速度均方差联合加速度均值来判断驾驶员侧重经济性还是动力性,从而确定行驶模式。

加速紧急程度的识别主要靠加速踏板开度和加速踏板开度变化率 2 个参数。加速踏板的开度反映汽车负荷,也一定程度上反映了加速的紧急程度。

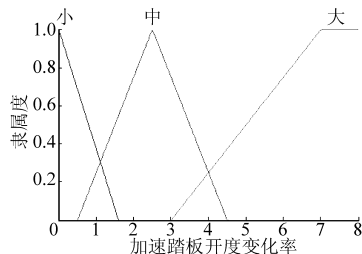


图 4 加速踏板开度变化率的隶属度函数

Fig. 4 Membership functions of acceleration pedal travel change rate

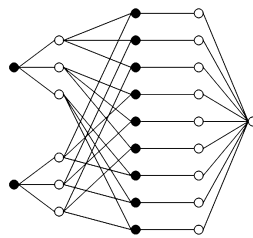


图 5 模糊神经网络结构简图

Fig. 5 Structure of fuzzy neural network

2 层为隶属函数层,6 个节点(即加速踏板开度 3 个,加速踏板开度变化率 3 个),其功能是完成输入量的模糊化。第 3 层为模糊规则层,9 个节点数,其节点数与控制规则的条数相等,完成模糊推理条件的匹配工作。第 4 层为模糊推理层,其节点数与第 3 层相同。第 5 层为输出层,节点数为 1 个,输出为驾驶意图。

1.2.3 模糊神经网络训练及推理规则

选择了 22 组某混合动力汽车实际运行中加速

踏板开度和加速踏板开度变化率的数据作为模糊神经网络的训练数据,如表1所示。同时选择了另外22组数据作为检验数据,如表2所示。

表1 训练数据

Tab.1 Training data

加速踏板开度	加速踏板开度变化率/s ⁻¹	驾驶意图
0.17	0.78	3
0.35	3.25	4
0.63	5.36	4
0.24	2.66	3
0.88	0.85	5
0.21	6.23	3
0.98	2.56	5
0.55	7.68	4
0.41	2.41	4
0.75	7.23	5
0.26	5.88	3
0.63	7.63	4
0.85	0.69	5
0.45	0.61	3
0.12	6.58	3
0.22	0.68	3
0.77	0.80	5
0.96	0.33	5
0.38	5.22	4
0.20	0.87	3
0.52	3.35	4
0.16	6.74	3

表2 检验数据

Tab.2 Checking data

加速踏板开度	加速踏板开度变化率/s ⁻¹	驾驶意图
0.13	2.36	3
0.75	2.85	5
0.88	0.64	5
0.22	0.82	3
0.17	4.18	3
0.23	5.23	3
0.42	0.88	3
0.36	0.69	3
0.38	3.42	4
0.23	2.61	3
0.55	5.88	4
0.16	7.68	3
0.85	0.77	5
0.41	0.62	3
0.86	6.58	5
0.25	0.72	3
0.96	0.80	5
0.23	0.55	3
0.78	5.88	5
0.26	0.83	3
0.95	3.32	5
0.18	7.65	3

将以上样本数据加载到 Matlab 模糊逻辑工具箱中,对模糊神经网络进行训练。训练以后,输出的误差为 0.08,误差很小,满足要求。用检验数据对训练后的模糊神经网络进行检验,检验结果如图6所示。

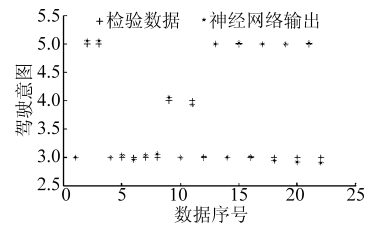


图6 模糊神经网络检验结果

Fig.6 Checking result of fuzzy neural network

从图中可以看出,输出即驾驶意图,模糊神经网络的输出值与检验数据的真实值之间差异很小。模糊神经网络的输出值与检验数据的真实值之间的微小差异不会影响对驾驶意图的识别。可见经过神经网络离线训练的模糊推理系统能够辨别驾驶员不同的加速意图。训练后得出的模糊推理规则如表3所示。

表3 加速意图推理规则

Tab.3 Inference rules of accelerating intention

踏板开度 变化率	踏板开度		
	小	中	大
小	缓	缓	中
中	缓	中	急
大	缓	中	急

对巡航意图和经济、动力模式的识别方法与此方法基本相同,因此所作叙述较简略些。

1.3 巡航意图的识别

巡航意图的识别是指对汽车加速度进行监测,当一段时间内($t > 30$ s),汽车平均加速度很小,则汽车自动进入巡航状态。根据车速则可区分出低速巡航和高速巡航。

实验证明汽车在巡航时,平均加速度一般在 $-0.1 \sim 0.1$ m/s²。也就是说正负不会超过0.1。加速度均值和车速的隶属函数如图7和图8所示。

模糊推理规则如表4所示。

表4 巡航意图推理规则

Tab.4 Inference rules of cruise intention

车速	加速度均值		
	负	零	正
小	正常行驶	低速巡航	正常行驶
大	正常行驶	高速巡航	正常行驶

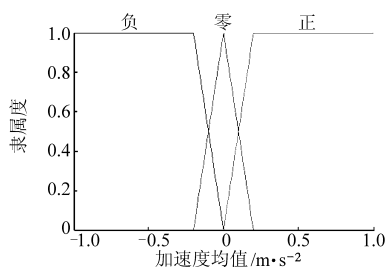


图 7 加速度均值的隶属函数

Fig. 7 Membership functions of acceleration mean value

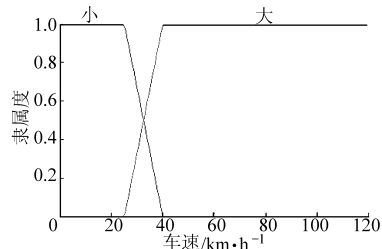


图 8 车速的隶属函数

Fig. 8 Membership functions of vehicle velocity

1.4 经济模式和动力模式的识别

对经济、动力模式的识别主要靠汽车加速度均值和汽车加速度均方差两个参数完成。加速度均值和加速度均方差的隶属函数如图 9 和图 10 所示。

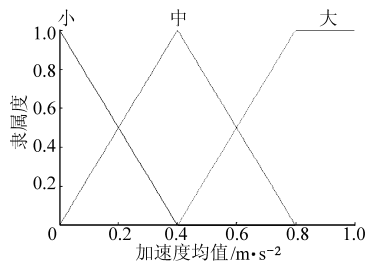


图 9 加速度均值的隶属函数

Fig. 9 Membership functions of acceleration mean value

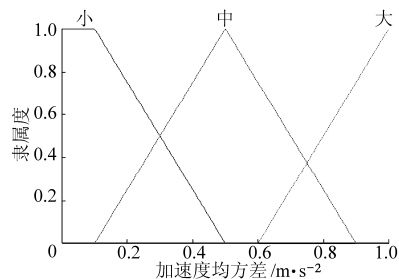


图 10 加速度均方差的隶属函数

Fig. 10 Membership functions of acceleration mean square deviation

得到模糊推理规则方法与 1.2 节的方法相同,这里就不做过多叙述,模糊推理规则如表 5 所示。

2 基于驾驶意图识别的混合动力汽车控制策略仿真

对驾驶员意图进行识别的目的是能够更精确地确定驾驶员对扭矩的需求,从而优化混合动力汽车的控制策略。为了验证通过数据训练后的驾驶意图

识别系统的可靠性及驾驶意图识别对整车控制策略优化的帮助,本节以某混联混合动力汽车为基础对没有驾驶意图识别和有驾驶意图识别的控制策略进行了仿真对比。某混合动力汽车构型如图 11 所示。

表 5 经济和动力意图推理规则

Tab. 5 Inference rules of economic and dynamic intention

加速度均值	加速度均方差		
	小	中	大
小	经济模式	经济模式	经济模式
中	经济模式	经济模式	动力模式
大	动力模式	动力模式	动力模式

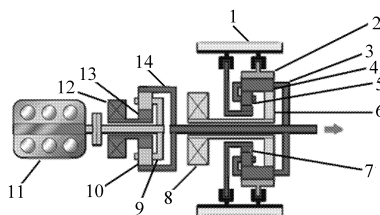


图 11 某混合动力汽车的构型

Fig. 11 Configuration of hybrid vehicle

1. 车架 2. 后排齿圈 3. 后排行星架 4. 长行星轮 5. 短行星轮 6. 后排第二太阳轮 7. 后排第一太阳轮 8. 后电动机 9. 前排行星架 10. 前排行星轮 11. 发动机 12. 前电动机 13. 前排太阳轮 14. 前排齿圈

在正向仿真软件 CRUISE 中建立整车模型并进行仿真。CRUISE 中建立整车模型如图 12 所示。

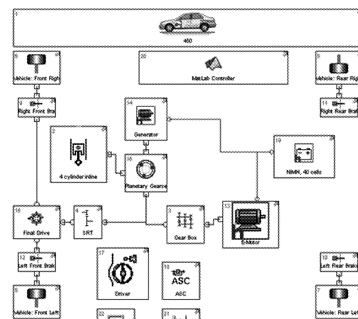


图 12 CRUISE 中建立的整车模型

Fig. 12 Hybrid vehicle model built in CRUISE

燃油经济性仿真对比结果如表 6 所示。

表 6 不同工况仿真结果对比

Tab. 6 Contrast of simulation results

工况	驾驶意图识别	驾驶意图识别	节油/%
	前综合油耗	后综合油耗	
	/L·(100 km) ⁻¹		
NEDC	6.10	5.80	4.9
BEIJING	4.70	4.50	4.3
CHINAURBAN	4.53	4.50	1.0
EUDC	7.00	6.76	3.4
UDC	4.60	4.50	2.2
平均	5.39	5.21	3.3

传统车和混合动力车的平均每百公里油耗对比如表7所示。从仿真对比结果可以看出运用自适应神经网络得到的模糊推理系统可以很好地识别驾驶意图,并对混合动力汽车控制策略的优化,进一步降低油耗起到很好的帮助。

表7 不同车型仿真结果对比

Tab.7 Contrast of simulation results

车型	百公里油耗	
	/L·(100 km) ⁻¹	节油/%
传统车	8.10	
没有驾驶意图识别的混合动力车	5.39	33
有驾驶意图识别的混合动力车	5.21	35

3 结论

(1) 通过对模糊神经网络的训练,来生成模糊推理系统的推理规则,从而对驾驶意图进行识别。本方法不再只依靠专家或操作人员的经验和知识来设计模糊推理系统,而是采取基于数据的建模方法,即模糊推理系统是通过已知数据学习得到的。

(2) 从仿真结果可以看出运用本方法得到的模糊推理系统可以很好地识别驾驶意图,并且基于驾驶意图识别的控制策略可以进一步降低油耗,因此运用此驾驶意图识别方法可以有效地优化混合动力汽车的控制策略,从而进一步提高混合动力汽车燃油经济性。

参 考 文 献

- 1 钱立军, 裘著永, 赵韩. 基于模糊神经网络的混合动力汽车控制策略仿真[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(5): 1384~1387.
Qian Lijun, Xi Zhuoyong, Zhao Han. Simulation of hybrid electric vehicle control strategy based on fuzzy neural network[J]. Journal of System Simulation, 2006, 18(5): 1384~1387. (in Chinese)
- 2 王保华, 王伟明, 张建武, 等. 并联混合动力汽车控制策略比较研究[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(2): 401~404.
Wang Baohua, Wang Weiming, Zhang Jianwu, et al. Comparison research of different control strategies on parallel hybrid electric vehicle[J]. Journal of System Simulation, 2006, 18(2): 401~404. (in Chinese)
- 3 姚明亮, 秦大同, 胡明辉, 等. 基于模糊逻辑控制策略的混合动力汽车仿真研究[J]. 汽车工程, 2007, 29(11): 934~941.
Yao Mingliang, Qin Datong, Hu Minghui, et al. A study on the simulation of hybrid electric vehicle based on fuzzy logic control strategy[J]. Automotive Engineering, 2007, 29(11): 934~941. (in Chinese)
- 4 王庆年, 孙树韬, 冀尔聪, 等. 混合动力汽车电机最优工作曲线确定与应用[J]. 农业机械学报, 2008, 39(1): 11~14.
Wang Qingnian, Sun Shutao, Ji Ercong, et al. Motor optimal operation line's establishment and application of HEV[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(1): 11~14. (in Chinese)
- 5 Won J S, Langari R. Fuzzy torque distribution control for a parallel hybrid vehicle[J]. Expert Systems, 2002, 19(1): 4~10.
- 6 王伟, 王庆年, 初亮, 等. 混合动力汽车驱动电机性能评价体系研究[J]. 农业机械学报, 2011, 42(8): 20~25.
Wang Wei, Wang Qingnian, Chu Liang, et al. Evaluation regime of traction motor for hybrid electric vehicle[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(8): 20~25. (in Chinese)
- 7 Jeon S I, Jo S T, Park Y I, et al. Multimode driving control of a parallel hybrid electric vehicle using driving pattern recognition[J]. ASME Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, 2002, 124(1): 141~149.
- 8 Won J S, Langari R. Fuzzy torque distribution control for a parallel hybrid vehicle[J]. Expert System, 2002, 19(1): 4~10.
- 9 Johnson V H, Wipke K B, Ransen D J. HEV control strategy for real-time optimization of fuel economy and emissions[C]. SAE Paper 2001-01-1543, 2001.
- 10 王庆年, 唐先智, 王鹏宇, 等. 基于驾驶意图识别的混合动力汽车控制策略[J]. 吉林大学学报: 工学版, 2012, 42(4): 789~795.

(上接第31页)

- 11 孙逢春, 何洪文. 混合动力车辆的归类方法研究[J]. 北京理工大学学报, 2002, 22(1): 40~44.
Sun Fengchun, He Hongwen. A study on the method of classification of hybrid vehicles[J]. Journal of Beijing Institute of Technology, 2002, 22(1): 40~44. (in Chinese)
- 12 万佳. 混合动力电动汽车总成参数匹配与控制策略研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2008.
Wan Jia. Study on assembly parameter marching and control strategy for hybrid electric vehicle[D]. Nanchang: Nanchang University, 2008. (in Chinese)
- 13 李振磊. 混合动力电动汽车的动力系统设计与仿真[D]. 长沙: 湖南大学, 2007.
Li Zhenlei. The design and simulation on the power system of hybrid electric vehicle[D]. Changsha: Hunan University, 2007. (in Chinese)
- 14 曾小华, 王庆年, 王伟华. 混合动力汽车混合度设计方法研究[J]. 农业机械学报, 2006, 37(12): 8~12.
Zeng Xiaohua, Wang Qingnian, Wang Weihua. Study on design method for DOH of HEV[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(12): 8~12. (in Chinese)