

基于模糊控制的人-车闭环系统的操纵稳定性

李世雄^① 余 群

(中国农业大学车辆工程学院)

摘 要 采用模糊控制理论和方法,研究驾驶员-汽车-环境闭环系统的操纵稳定性。建立了驾驶员智能模型,研制出整个闭环系统的仿真软件。对几种典型工况的汽车运行进行了模拟。试验结果证明闭环系统模型合理,仿真结果正确。

关键词 汽车;操纵稳定性;闭环系统;模糊控制理论;驾驶员模型

中图分类号 U 461.6

Handling Stability of Driver-vehicle-environment Closed-loop System Based on Fuzzy-logic Control

Li Shixiong Yu Qun

(College of Vehicle Engineering, CAU)

Abstract The handling stability of the driver-vehicle-environment closed-loop system is studied by the fuzzy-logic method and the intelligent driver model is established. The simulation software for the closed-loop system is developed. The experiments on some kind of steering mode show that the model is reasonable and the simulation results are correct.

Key words automobile; handling stability; closed-loop system; fuzzy-logic control theory; driver model

许多汽车交通事故是人为原因造成的。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,将有利于减少人为失误,大大减少交通事故。对于驾驶员模型的研究正是基于此而进行的。研究驾驶员-汽车-环境闭环操纵稳定性是建立驾驶员智能控制模型的基础。在过去50多年里,人们已提出了许多描述闭环系统的模型^[1,2];但是这些模型本身仍与实际操纵过程存在一定差距,主要是因为这些模型采用的都是传统控制理论和方法,未能充分体现驾驶员的驾驶特性及其非线性。采用模糊控制理论和方法对汽车闭环操纵稳定性进行研究,更能体现人对客观世界的认识,从而更能准确地描述驾驶员的行为规律,为汽车的智能控制打下理论基础。

1 驾驶员的行为规律

通过对驾驶员驾车行为的观察和以往的研究^[2],可知驾驶员主要根据周围环境情况(道路曲线及交通状况等)和汽车自身的响应(车速、侧向加速度、横摆角速度等),通过操纵方向盘来控制汽车按预想轨迹行驶。据此可以建立如图1所示的驾驶员闭环系统控制模型。其中环境状况主要是指汽车运行前方的道路情况,这里采用几种典型的行驶工况(单移线、双移线和蛇

收稿日期:1997-11-26

①李世雄,北京清华东路17号 中国农业大学(东校区)214信箱,100083

行线)来模拟外界环境对驾驶员的输入。汽车自身的响应主要包括前进速度 v 、侧向速度 v_y 、横摆角速度 ω 、侧倾角 ψ 和侧向加速度 a_y 等。

由先前的研究^[2]可知,驾驶员是通过预瞄的方法来获得前方道路信息的,即通过判断其前视距离 l 处的道路和预期轨迹的横向偏差 Y 来决定方向盘转角 φ 。

我们的主要任务是设计一种合适的模糊控制器来描述驾驶员的行为规律,并将它放入整个汽车-驾驶员-环境闭环系统进行分析,观察所模拟的汽车驾驶是否达到预期效果,从而为汽车的智能控制提供理论和方法基础。

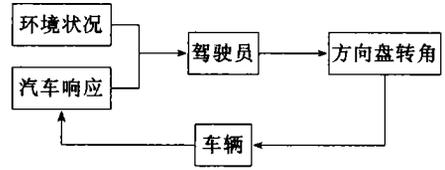


图1 驾驶员-汽车闭环系统模型

2 驾驶员模糊模型

模糊逻辑控制器提供了一种将基于专家知识的语言控制策略转变为自动控制策略的方法。模糊集合理论^[3]是设计模糊控制器的基础,它允许人们使用定量方法来表达不确定的、定性的信息^[4]。由于模糊控制器采用一种严格的方法来处理不确定信息,因此将它用于描述类似汽车驾驶这种复杂的非线性系统,是非常有效的。

模糊控制器的最大特点是能够模拟人的操作,即能仿照人的操作过程,故称为控制领域的专家系统;但是模糊控制器与一般意义上的专家系统又有所不同。一般意义上的专家系统侧重于对专家知识的模拟,故在专家知识的获取上下功夫。这种获取知识的手段更多地借助于咨询和被咨询者的语言描述。在控制领域,熟练的操作者虽也可堪称某具体控制问题上的专家,但欲令他用语言描述其操作过程则往往会含糊不清,甚至不可能用语言表达。例如驾驶员在操纵汽车行驶过程中,何时转动方向盘,转角应是多大,完全凭眼的感觉和手足的下意识动作,极难用语言描述,这充分体现了与专家知识的本质区别,即控制上的良好操作体现了操作者的一种“技能”而不是“知识”。因此汽车驾驶员模糊控制器的设计不仅要注重专家“知识”的获取,更主要的是熟练操作者“技能”的获取。我们的目标就是希望能建立起操作者的操作模型,以便获得这种“技能”,从而对驾驶员进行准确的描述。为此,笔者进行了大量的汽车闭环操纵试验,获得了大量测试数据,以期能从中辨识出模糊模型。

试验在交通部汽车试验场进行,采用的车型是BJ2021CX5,驾驶员为清华大学汽车实验室有多年驾驶和试验经验的教师。进行了4种车速(10,15,20和25 m·s⁻¹)、3种路况(单移线、双移线和蛇形线)试验,得到21 652条记录和129 912个数据。

根据文献^[5],对汽车驾驶闭环系统可作如下描述:

$$R_i = \text{if } x_1 \text{ is } A_1^i, x_2 \text{ is } A_2^i, \dots, x_k \text{ is } A_k^i \text{ then } y_i = p_0^i + p_1^i x_1 + p_2^i x_2 + \dots + p_k^i x_k$$

其中: R_i 表示第*i*条控制规则, $i=1,2,\dots,q$; x_i 是输入变量,即语言变量; A_j^i 是语言变量值; y_i 是第*i*条规则的输出变量; p_j^i 是后件参数。

辨识过程如图2所示。其中校验准则为不偏性准则(UC),有

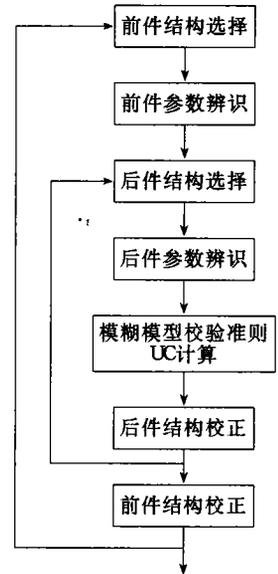


图2 模糊模型辨识步骤

$$C_U = \left[\sum_{i=1}^{n_A} (y_i^{AB} - y_i^{AA})^2 - \sum_{i=1}^{n_B} (y_i^{BA} - y_i^{BB})^2 \right]^{1/2}$$

式中： n_A 为数据子集 N_A 的数目； n_B 数据子集 N_B 的数目； y_i^{AA} 为用数据子集 N_A 所辨识的模型对于 N_A 所产生的输出； y_i^{AB} 为用数据子集 N_B 所辨识的模型对于 N_A 所产生的输出； y_i^{BA} 为用数据子集 N_A 所辨识的模型对于 N_B 所产生的输出； y_i^{BB} 为用数据子集 N_B 所辨识的模型对于 N_B 所产生的输出。

辨识结果如下：

1)前件结构如表 1 所示。

表 1 汽车模糊控制器前件部

规则	Y	ω												
R_1	LB	LB	R_{11}	LM	ZE	R_{21}	LS	RB	R_{31}	RS	LS	R_{41}	RM	RM
R_2	LB	LM	R_{12}	LM	RS	R_{22}	ZE	LB	R_{32}	RS	ZE	R_{42}	RM	RB
R_3	LB	LS	R_{13}	LM	RM	R_{23}	ZE	LM	R_{33}	RS	RS	R_{43}	RB	LB
R_4	LB	ZE	R_{14}	LM	RB	R_{24}	ZE	LS	R_{34}	RS	RM	R_{44}	RB	LM
R_5	LB	RS	R_{15}	LS	LB	R_{25}	ZE	ZE	R_{35}	RS	RB	R_{45}	RB	LS
R_6	LB	RM	R_{16}	LS	LM	R_{26}	ZE	RS	R_{36}	RM	LB	R_{46}	RB	ZE
R_7	LB	RB	R_{17}	LS	LS	R_{27}	ZE	RM	R_{37}	RM	LM	R_{47}	RB	RS
R_8	LM	LB	R_{18}	LS	ZE	R_{28}	ZE	RB	R_{38}	RM	LS	R_{48}	RB	RM
R_9	LM	LM	R_{19}	LS	RS	R_{29}	RS	LB	R_{39}	RM	ZE	R_{49}	RB	RB
R_{10}	LM	LS	R_{20}	LS	RM	R_{30}	RS	LM	R_{40}	RM	RS			

说明：1)Y, ω 分别为横向偏差和横摆角速度。

2)LB,LM,LS,ZE,RS,RM,RB 分别表示语言变量左大、左中、左小、零、右小、右中、右大。

2)前件参数如图 3 所示。其中 μ_y 和 μ_ω 为隶属函数。

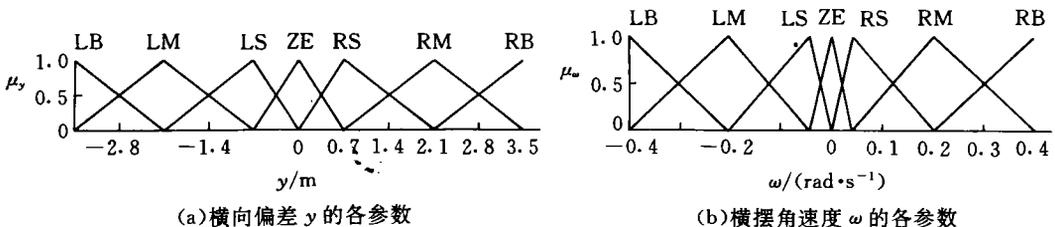


图 3 前件模糊量与参数

3)后件结构辨识结果如下：

$$\varphi_i = p_0^i Y + p_1^i \omega + p_2^i$$

式中： φ_i 为方向盘转角，(°)， $i=1, 2, \dots, 49$ ；

p_j 为后件参数， $j=0, 1, 2$ ；

Y 为横向偏差，m；

ω 为横摆角速度， $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

4)后件参数辨识结果如表 2 所示。

表 2 汽车模糊控制器的后件部

规则	P_0	P_1	P_2	规则	P_0	P_1	P_2
R_1	-3.646 670	168.737 6	-79.998 00	R_{26}	-34.650 500	232.995 2	14.243 45
R_2	-6.407 830	-178.673 0	-8.626 84	R_{27}	7.428 925	155.940 1	20.419 25
R_3	-0.649 900	-256.339 0	-4.280 21	R_{28}	-3.507 690	316.570 1	-2.251 59
R_4	-2.499 780	-155.087 0	-9.200 37	R_{29}	5.398 605	115.805 7	74.898 07
R_5	-0.649 900	256.338 6	-4.280 21	R_{30}	3.917 820	-170.148 0	15.681 53
R_6	-6.407 830	178.673 2	-8.626 84	R_{31}	4.075 589	-322.889 0	4.756 11
R_7	-3.646 650	-168.738 0	-79.998 00	R_{32}	0.944 363	184.956 9	-1.150 82
R_8	-5.782 770	181.990 7	-88.555 00	R_{33}	4.075 589	322.889 3	-4.756 12
R_9	-7.706 130	-242.424 0	15.887 40	R_{34}	3.917 820	170.147 5	15.681 53
R_{10}	1.476 708	-261.670 0	-8.526 09	R_{35}	5.398 605	-115.806 0	74.898 07
R_{11}	-1.937 320	-484.706 0	3.506 73	R_{36}	5.782 774	181.990 7	88.554 99
R_{12}	1.476 708	-261.670 0	-8.526 09	R_{37}	7.706 134	-242.424 0	-15.887 40
R_{13}	-7.706 130	242.423 5	15.887 40	R_{38}	-1.476 710	-261.670 0	8.526 08
R_{14}	-5.782 770	-181.991 0	-88.555 00	R_{39}	1.937 318	484.706 4	-3.506 73
R_{15}	-5.398 610	115.805 7	-74.898 10	R_{40}	-1.476 710	261.669 6	8.526 08
R_{16}	-3.917 820	-170.148 0	-15.681 50	R_{41}	7.706 134	242.423 5	-15.887 40
R_{17}	-4.075 590	-322.889 0	4.756 11	R_{42}	5.782 774	-181.991 0	88.554 99
R_{18}	-0.944 360	-184.957 0	1.150 82	R_{43}	3.646 647	168.737 6	79.998 03
R_{19}	-4.075 590	322.889 3	-4.756 12	R_{44}	6.407 827	-178.673 0	8.626 84
R_{20}	-3.917 820	170.147 5	-15.681 50	R_{45}	0.649 903	-256.339 0	4.280 20
R_{21}	-5.398 610	-115.806 0	-74.898 10	R_{46}	2.499 777	155.087 4	-9.200 37
R_{22}	3.507 685	-316.570 0	2.251 59	R_{47}	0.649 903	256.338 6	4.280 20
R_{23}	-7.408 930	-155.940 0	-20.419 30	R_{48}	6.407 827	178.673 2	8.626 84
R_{24}	34.650 490	-232.995 0	-14.243 50	R_{49}	3.646 647	-168.738 0	79.998 03
R_{25}	-4.023 330	-14.956 4	0.364 14				

3 闭环系统综合模拟及模糊模型验证

综合前面的工作,建立图 4 所示汽车-驾驶员-环境闭环系统综合模型。

在一定道路和车速条件下,模糊控制器根据输入的初始横摆角速度 ω 和横向偏差 Y ,经过模糊推理得到方向盘转角 φ ,汽车模型通过得到的方向盘转角 φ 输出下一时刻的横摆角速度 ω 和横向偏差 Y ,这样循环往复,即可得到汽车各时刻的运行参数。

仿真框图略。

图 5 是利用模糊控制器代替驾驶员对汽车进行操作的结果。结果表明,每次的操作结果均不同,但汽车都能按设定的道路行驶。

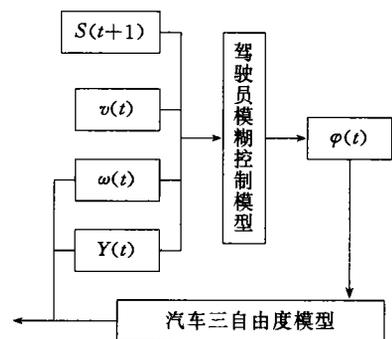


图 4 人-车闭环系统综合模型

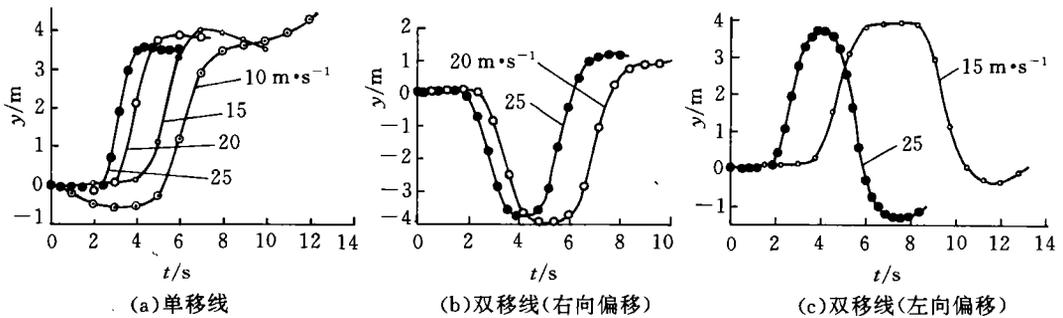


图5 汽车单移线和双移线行驶模拟曲线

4 结 论

基于模糊控制理论对汽车-驾驶员-环境闭环操纵稳定性研究的模拟试验结果表明,模型设计合理,模拟结果与试验结果一致。这为汽车的智能控制提供了依据。

参 考 文 献

- 1 MacAdam C C. Application of an optimal preview control for simulation of closed-loop automobile driving. *IEEE Trans on Systems, Man and Cybernetics*, 1981, 11(6): 393~399
- 2 郭孔辉. 汽车操纵动力学. 长春: 吉林科学出版社, 1991. 499~588
- 3 Zadeh L A. Information control. *Fuzzy Sets*, 1965, 8(3): 338~353
- 4 Tong R M. A control engineering review of fuzzy systems. *Automatica*, 1977, 13: 559~569
- 5 Tomohiro Takagi, Michio Sagano. Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control. *IEEE Trans on Systems, Man and Cybernetics*, 1985, 15(1): 116~132