

商用车车道偏离预警系统的模糊控制设计

梁钰明,张香平,郭庆光,马强,郭晓宇

潍柴动力股份有限公司,山东 潍坊 261061

摘要:为提高商用车车道偏离预警(lane departure warning,LDW)系统的有效性和合理性,根据商用车的质量、结构、控制等特点,选取车辆质量和纵向速度2个变量设计商用车LDW决策处理系统;基于模糊控制理论对车辆横越车道时间进行优化,采用MATLAB软件开展仿真测试,并进行实车验证。结果表明:优化后的LDW决策处理系统可以根据当前车辆状态提前进行车辆偏离预警,而且不频繁报警,具有较好的实用性。

关键词:商用车;车道偏离预警;模糊控制;纵向速度;载质量

中图分类号:U461.91

文献标志码:A

文章编号:1673-6397(2023)01-0046-05

引用格式:梁钰明,张香平,郭庆光,等.商用车车道偏离预警系统的模糊控制设计[J].内燃机与动力装置,2023,40(1):46-50.

LIANG Yuming, ZHANG Xiangping, GUO Qingguang, et al. Design of commercial vehicle lane departure warning based on fuzzy control[J]. Internal Combustion Engine & Powerplant, 2023,40(1):46-50.

0 引言

商用车经常长时间高速行驶,司机容易疲劳驾驶,导致车辆偏离车道,与相邻车道内的车辆发生碰撞,发生道路安全事故。车道偏离预警(lane departure warning,LDW)系统是指车辆在高速工况下,通过检测前方车道线获取车辆当前的相对位置,计算和判断车辆是否偏离预警线,如果车轮越过车辆偏离预警线,系统通过声音、光、触觉信号传递给驾驶员进行报警,提醒驾驶员注意前方道路^[1-2]。LDW系统能够降低交通事故发生率,提高行驶安全性^[3-6]。

随着LDW系统在商用车上的应用越来越多,其功能的有效性、合理性问题逐渐显现。常规的LDW系统基于车辆横越车道线时间(time to line crossing,TTLC)进行决策处理,但计算越界时间仅考虑距离和速度2个因素,缺少其他潜在的影响因素,比如车辆纵向速度、车辆质量、执行器响应时间等。商用车满载时质量是空载时质量的8倍甚至更多,车辆质量暴增直接影响车辆的横向控制性能,从而影响车辆预警线的选择。本文将间接影响商用车横向控制的车辆质量和车辆纵向速度模糊化,建立模糊控制系统,对商用车TTLC算法的输出时间结果进行优化。

1 LDW系统功能与决策处理系统

1.1 LDW系统功能

LDW系统主要通过安装在车辆前挡风玻璃处的摄像头获取车道线和车辆位置信息,将信息传输给LDW处理器,LDW处理器根据输入的信息进行决策处理,规划车辆的偏离预警线;如果车辆此时位置到达车辆偏离预警线,LDW处理器输出预警信号。预警信号可以通过报警声音、指示灯、座位震动等方式

收稿日期:2022-02-11

基金项目:十四五国家重点研发计划项目(SQ2021YFB2500012)

第一作者简介:梁钰明(1997—),男,山东潍坊人,工学学士,助理工程师,主要研究方向为车辆辅助驾驶系统,E-mail:liangyuming@weichai.com。

输出,LDW 系统结构示意图如图 1 所示。

1.2 LDW 决策处理系统

在商用车上安装 LDW 系统是为了降低车辆发生偏离导致的交通事故,选取车辆偏离预警线至关重要。目前,普遍使用的方法是通过车辆特定部位与车道边界之间的横向距离和车辆横向偏离速度计算车辆压线时间^[7]

$$t_{TILC} = d/v, \quad (1)$$

式中: d 为车辆特定部位与车道边界之间的横向距离, m ; v 为车辆偏离时的横向速度, m/s 。

当 t_{TILC} 小于设定时间时,提供报警信号,提示驾驶员注意车辆的行驶方向。TILC 示意如图 2 所示^[8]。

系统根据车辆压线时间选取偏离预警线,通常设置 t_{TILC} 为固定值^[9],没有考虑驾驶场景变化导致的影响,在使用过程中导致驾驶场景切换后出现误报警、延迟报警等现象,增加了驾驶的不舒适性和危险性,所以本文中主要研究如何提升 t_{TILC} 的准确性。

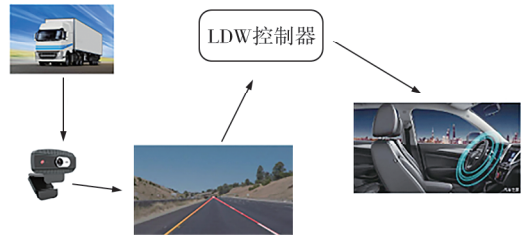


图 1 LDW 系统结构示意图

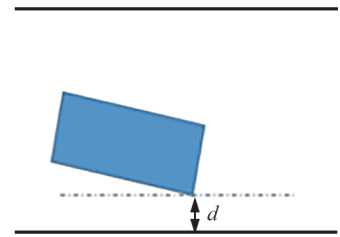


图 2 TILC 示意图

2 基于模糊控制的商用车 TILC 优化

式(1)中通过车辆横向距离和偏离速度计算得到的 t_{TILC} 仅为理论上的偏离时间,商用车和普通车辆不同,商用车有空载和满载 2 种特殊情况。空载时,商用车质量只有 3~6 t,满载质量达到 30 t 甚至更大。质量增加,轮胎气压和地面的摩擦力增加,转向阻力增大。

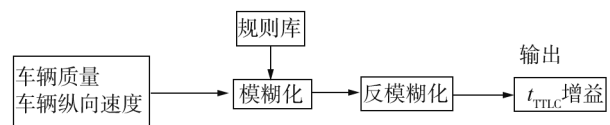
由于商用车自身带有转向保护装置,当车速越快,转向机受到保护,抑制转向,从而使车在高速行驶时尽量以直线行驶,当车辆在高速行驶时偏离车道进行回正,需要额外克服转向保护机制带来的阻碍,延长了回正时间。

上述因素导致的时间差较小,但影响可能较大。本文将上述因素通过模糊控制算法计算 t_{TILC} 的时间差,再与传统的 t_{TILC} 相加,既降低计算时间,提高决策效率,又能保证车道偏离预警系统的准确性和驾驶舒适性。

2.1 模糊输入输出

根据模糊理论,模糊控制器的维数越高,控制精度越高,但维数过高导致计算过于复杂,效率低,大大降低了控制器的实用性。综合考虑各种因素,本文中二维模糊控制器,在运算速度合理的前提下尽可能提高控制精度。

根据以上分析,影响 t_{TILC} 的因素是车辆质量 m 、车辆纵向速度 v_L ,因此选择 m 和 v_L 为输入变量,输出变量为车辆在 t_{TILC} 上增加的时间差 Δ_t 。该模糊控制逻辑如图 3 所示。



2.2 模糊控制规则

实际驾驶过程中,商用车的载货量不同、车速不同,模糊控制器参数不同,一般选取参数 $m = 3 \sim 30 \text{ t}$, $v_L = 30 \sim 180 \text{ km/h}$ 。综合考虑车辆质量和车速的取值范围及影响,设置 $\Delta_t = 0 \sim 1.2 \text{ s}$ 。将输入变量的模糊子集各分为 3 个集合:较小影响 I_S 、一般影响 I_M 、较大影响 I_L ;将输出变量的模糊子集分为 5 个集合:很少时间 O_{VS} 、较少时间 O_S 、一般时间 O_M 、较长时间 O_L 、很长时间 O_{VL} 。根据模糊控制理论,隶属度函数有三角变化、梯度变化、双 S 形、高斯型和联合高斯型等^[10-11],为计算方便,控制运算速度,提高计算效率,对各个变量选择三角形隶属度函数进行处理。

算法中定义商用车质量 m 的子集隶属度函数为:

$$S(m) = \begin{cases} 1-2\{m\}/25, \{m\} < 12.5 \\ 0, m \geq 12.5 \end{cases}, \tag{2}$$

$$M(m) = \begin{cases} 2\{m\}/25-1, 12.5 < \{m\} \leq 25 \\ -2\{m\}/25+3, 25 < \{m\} \leq 37.5 \\ 0, \{m\} \leq 12.5 \text{ 或 } \{m\} > 37.5 \end{cases}, \tag{3}$$

$$L(m) = \begin{cases} 0, \{m\} < 37.5 \\ 2\{m\}/25-3, \{m\} \geq 37.5 \end{cases}, \tag{4}$$

式中: $\{m\}$ 为以单位 t 表示的量 m 的数值。

算法中定义商用车纵向速度 v_L 的子集隶属度函数为:

$$S(v_L) = \begin{cases} 1-\{v_L\}/45, \{v_L\} < 45 \\ 0, \{v_L\} \geq 45 \end{cases}, \tag{5}$$

$$M(v_L) = \begin{cases} \{v_L\}/45-1, 45 < \{v_L\} \leq 90 \\ 3-\{v_L\}/45, 90 < \{v_L\} \leq 135 \\ 0, \{v_L\} \leq 45 \text{ 或 } \{v_L\} > 135 \end{cases}, \tag{6}$$

$$L(v_L) = \begin{cases} 0, \{v_L\} < 135 \\ \{v_L\}/45-3, \{v_L\} \geq 135 \end{cases}, \tag{7}$$

式中: $\{v_L\}$ 为以单位 km/h 表示的量 v_L 的数值。

根据商用车质量 m 、车辆纵向速度 v_L 建立在 t_{TTLc} 上增加的时间差 Δ_i 的模糊规则表,2 个输入变量所有子集的任意组合都会有对应的 Δ_i ,模糊规则表如表 1 所示。

表 1 模糊规则表

时间补偿等级	少 S	中 M	长 L	None	时间补偿等级	少 S	中 M	长 L	None
少 S	VS	S	M	VS	长 L	M	L	VL	L
中 M	S	M	L	S	None	VS	S	M	

建立模糊规则库,共有车辆质量和车速 2 个参数,每个参数有 3 个模糊子集和一个空集 None,2 个空集不会产生模糊规则,所以模糊规则共有 15 条。

3 TTLc 模糊控制仿真与测试

3.1 仿真

根据建立的规则,利用 MATLAB 中的 fuzzy 模糊控制工具箱进行模糊仿真, TTLc 增加的 Δ_i 系统仿真界面如图 4 所示。由图 4 可知,模糊控制器输入的参数为车辆质量 m 、车辆纵向速度 v_L ,通过模糊控制器 TTLc_Change 中的模糊规则对其进行处理,得到输出的 TTLc 增加的时间差 Δ_i 。

以 λ 表征不同子集在全集中的重要程度, $\lambda=0\sim 1$, $\lambda=0$ 表示无影响, $\lambda=1$ 表示全影响。商用车质量 m 和车辆纵向速度 v_L 的模糊输入如图 5、6 所示。

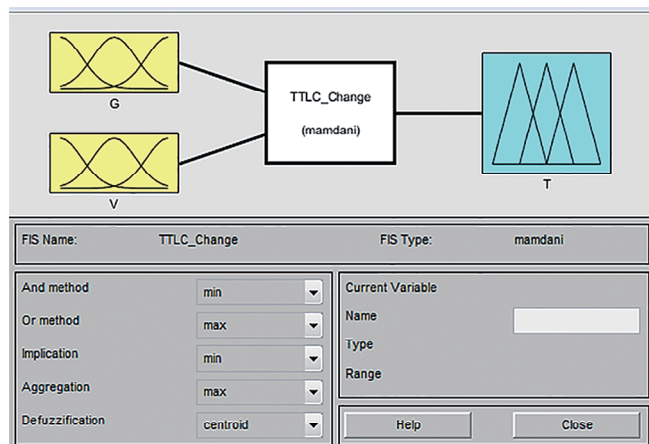


图 4 系统仿真界面

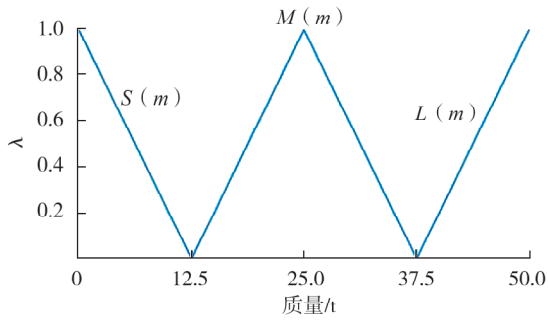


图 5 车辆质量 m 模糊参数图

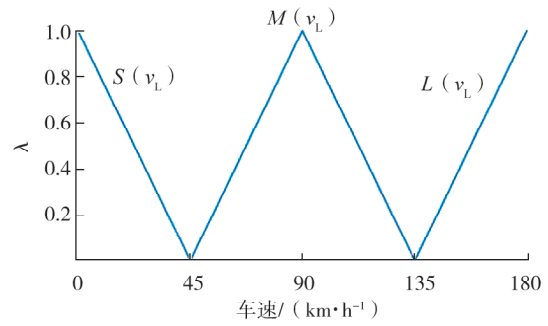


图 6 车辆纵向速度 v_L 模糊参数图

按照上文分析,输出的时间差 Δ_t 的模糊子集被分为 5 个集合:很少时间 O_{VS} 、较少时间 O_S 、一般时间 O_M 、较长时间 O_L 、很长时间 O_{VL} ,利用三角形隶属度函数对 Δ_t 的模糊子集进行模糊化处理,输出 Δ_t 的模糊参数图如图 7 所示。建立模糊处理器后,将模糊控制器的输出与输入之间的关系进行图像化解析,输入与输出之间的三维关系如图 8 所示。

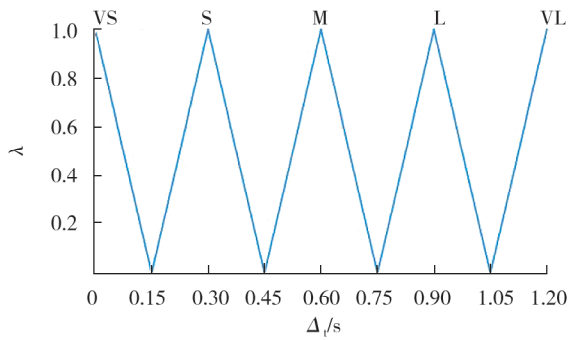


图 7 输出 Δ_t 的模糊参数图

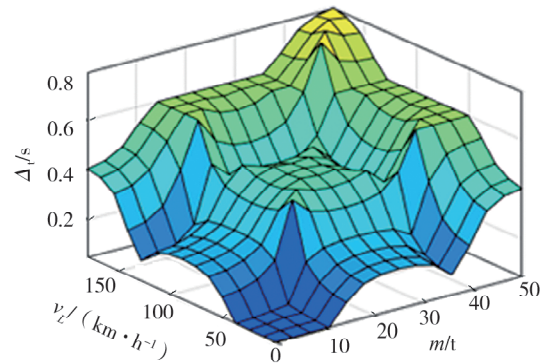


图 8 输入与输出三维输入输出关系图

对输入的参数进行仿真试验,选取试验中部分数据进行仿真分析,试验结果如表 2 示。

表 2 仿真试验结果

m/t	$v_L/(km \cdot h^{-1})$	Δ_t/s	m/t	$v_L/(km \cdot h^{-1})$	Δ_t/s
7	30	0.057 1	15	80	0.383 0
8	50	0.157 0	25	30	0.246 0
15	50	0.410 0	40	130	0.600 0
20	40	0.273 0	20	120	0.419 0
5	80	0.221 0	25	130	0.595 0

由表 2 可知:设计的模糊控制系统可以根据车辆质量和车辆纵向速度得到 Δ_t ; Δ_t 总体呈现随纵向速度和载质量增大而增加。

3.2 实车测试

司机驾驶载质量为 15 t 的车辆在封闭道路内以 50 km/h 的速度行驶,使车辆向右车道线偏离,当出现车道偏离预警提示时,正常转动方向盘使车辆回到车道线内,读取传感器测得的车辆到车道线距离和经历的时间,如图 9 所示。

由图 9 可知:大约在第 5.1 秒时车辆穿越车道线,在第 6.1 秒左右车辆回正到车道线内,回正耗时 1 s;车辆 LDW 预警系统在第 4.4 秒左右开始报警,到车辆回到车道线内耗时 1.7 s;第 4.4 秒时车辆与车

道的横向距离为 0.027 6 m;回正过程中超出车道线最长为 0.024 6 m;考虑到司机的反应时间和回正车辆所需时间,根据表 2 可知,应增加的时间差为 0.410 0 s;如果控制器提前 0.410 0 s 警示,即车辆与车道的横向距离为 0.045 2 m 时提示,回正过程几乎不会超过车道线,有效提高车辆行驶过程中的安全性。

仿真和试验结果表明,在车辆横越车道线时间加入适当补偿时间,可以使车辆偏离车道线的时间和距离减小,进一步提高驾驶的安全性。

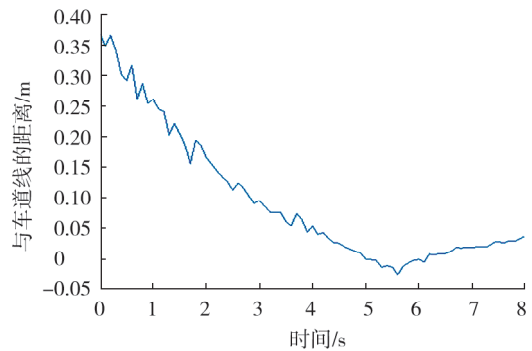


图9 传感器数据曲线图

4 结语

通过模糊控制原理,对车辆横越车道线时间进行改进,增加受车辆质量和车辆纵向速度影响的时间,通过 MATLAB 软件对输入、输出参数进行模糊化处理,建立了模糊规则库,并通过模糊控制计算所需要的时间差,并进行了试验验证。

1) 在车辆横越车道线时间加入适当的时间差,可以减小车辆偏离车道线的时间和距离,提高驾驶安全性。

2) 该系统能够满足对商用车不同工况的个性化处理,提高了报警的有效性和实用性。

3) 本文中仅考虑到对车道偏离系统影响较大的车速和载质量 2 个因素,对其他因素并未处理。今后将探讨能否建立更加精准的模糊处理规则,验证其他因素对 LDW 系统的影响,进一步提高 LDW 的精确性和稳定性。

参考文献:

- [1] 刘源. 面向辅助驾驶的车道检测和偏离预警方法研究[D]. 天津:天津科技大学,2019.
- [2] 刘伟. 单目视觉下车道偏离预警系统中的关键技术研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2014.
- [3] 丁显豪. 商用半挂车车道保持控制策略开发与验证[D]. 长春:吉林大学,2020.
- [4] 李福俊,顾敏明. 车道线实时检测与偏离预警系统设计与研究[J]. 光电子·激光,2018,29(3):298-304.
- [5] 初建圳. 车道偏离预警算法研究[J]. 汽车实用技术,2020(5):35-37.
- [6] 孙德鑫. 车道偏离预警系统的研究[J]. 时代汽车,2018(10):44-45.
- [7] 赵维伟,耿瑞东,陈曦. 一种商用车车道偏离预警系统报警方案优化设计[J]. 汽车零部件,2017(3):22-24.
- [8] 吴成伟,冯嘉欣,王华,等. 基于车道偏离阈值提高 LKAS 性能研究[J]. 时代汽车,2021(23):4-6.
- [9] 郑欢欢,张雅琼,白鱼秀. 车道偏离预警系统关键技术设计[J]. 传感器与微系统,2019(11):111-113.
- [10] 苗水变,杨方宜,万华森. 车道偏离预警模糊控制算法研究[J]. 华东交通大学学报,2013,30(3):76-81.
- [11] 董娜. 交通系统的非线性分析、控制及系统实现[D]. 西安:西北工业大学,2015.

Design of commercial vehicle lane departure warning based on fuzzy control

LIANG Yuming, ZHANG Xiangping, GUO Qingguang,
MA Qiang, GUO Xiaoyu

Weichai Power Co., Ltd., Weifang 261061, China

Abstract: To improve the effectiveness and reasonableness of the lane departure warning (LDW) system for

(下转第 58 页)