

车辆机械式离合器的模糊控制技术*

申水文 张建武

(上海交通大学汽车工程研究所·上海, 200030)

摘要: 车辆电控离合器的起步控制是一个多影响因素、多控制目标、需与发动机协调,且存在本质非线性的复杂控制问题. 本文采用模糊控制技术,较好地解决了模型复杂的综合控制. 实验结果表明,本文设计的模糊控制器能够解决车辆起步控制问题.

关键词: 自动离合器; 模糊控制; 专家控制

1 引言

车辆起步时离合器的控制受外界工况条件、驾驶员操纵意图、车辆运行状态等的影响,存在着起步平顺性、延长离合器使用寿命,起步操纵灵活性等不同的控制目标,起步时间极短(最长也不过几秒),需要与发动机控制配合才能实现良好的性能. 在很短的时间内,要完成对外界和车辆状态辨识,配合发动机实现驾驶员的起步意图,根据经典的控制理论设计的控制器难于胜任. 因此本文综合了模糊控制、专家控制、分级智能控制的特点,研究模糊逻辑技术在汽车起步控制过程中的应用.

2 离合器控制规则

根据文献[1]分析,并参考文献[2],确定离合器控制参数为: $\beta, \dot{\beta}, \omega_e, \omega_c, t, i_g, x_c, v$, 其中, x_c : 离合器控制缸行程, ω_e : 发动机转速, ω_c : 离合器从动片转速, β : 加速踏板信号, t : 时间, v : 车速, i_g : 档位. 总结的主要模糊控制规则如下:

- 1) 结合前,根据 β 用模糊推理方法将发动机转速提升到希望转速 ω_{es} , β 越大, ω_{es} 越高.
- 2) 在结合过程中,如司机加大油门,则加快离合器结合速度,反之亦然,如司机快速松开油门,则迅速分离离合器.
- 3) 如果 $\Delta\omega_{ec}$ (离合器主从动片转速差) 很大,表明使主从动片同步需较长时间,所以其接合速度不应太大,当 $\Delta\omega_{ec}$ 减小时,增大接合速度,如果离合器接近同步,则迅速结合离合器.
- 4) 在结合过程中,如果发动机转速下降,则可能要熄火,当 ω_e 降到一定程度,就降低接合速度,同时增加油门开度.
- 5) 随滑磨时间增加,应加快接合速度以避免离合器过热,当滑磨时间超过一定值时,迅速接合离合器(在爬行控制模式则迅速分离离合器).
- 6) 发动机油门随驾驶员调整加速踏板深度而实时调整.
- 7) 由于爬行控制特殊性,主要以车速为主调整离合器结合速度,如汽车速度增加,分离一点离合器,如速度减小,结合一点离合器,若滑磨时间过长,迅速分离离合器.

3 车辆起步专家模糊控制

每条专家规则即为一个PID控制器,有关车辆起步离合器PID控制参看文献[1]. 本文综合了Aström^[3]的专家控制思想和Saridis^[4]的分级智能控制思想. 其控制结构如图1所示,每条专家规则是一个模糊推理器. 本文主要讨论上层专家模糊控制器.

* 国家自然科学基金(59375181)和福特-中国研究与发展基金(09415522, 09415526)资助项目.
本文于1997年1月14日收到. 1997年9月22日收到修改稿.

3.1 司机意图识别器

根据 β 和 i_g 可识别司机起步意图, 如果采用二档起步, 则道路条件很好, 应快速平稳起步; 如果一档起步, 则根据 β 大小判断司机意图. β 的大小分为七档, {非常小, 小, 较小, 中等, 较大, 大, 非常大}, 用 {VS, S, LS, M, LB, B, VB} 表示. 其隶属函数曲线见图 2. 其推理规则为:

If $\beta = \text{VS}$ or $\beta = \text{S}$, Then 爬行起步;
 If $\beta = \text{LS}$ or $\beta = \text{M}$, or $\beta = \text{LB}$ Then 平稳起步;
 If $\beta = \text{B}$ or $\beta = \text{VB}$, Then 急起步;

3.2 ω_{es} 推理模块

根据 β 和 i_g 可以确定发动机初始目标转速 ω_{es} . ω_{es} 也分七档, 用 {VS, S, LS, M, LB, B, VB} 表示, 其隶属函数曲线见图 3, β 推理规则见表 1. 为便于计算, 进行归一化处理:

$$\bar{\omega}_{es} = \frac{\omega_{es} - \omega_{idle}}{\omega_{emax} - \omega_{idle}}. \quad (1)$$

ω_{emax} : 发动机最高转速; ω_{idle} : 发动机怠速转速.

表 1 油门踏板推理规则

β	VS	S	LS	M	LB	B	VB
ω_{es}	VS	S	S	LS	LB or M	B or VB	

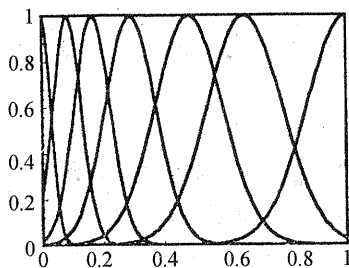


图 2 油门踏板隶属函数曲线

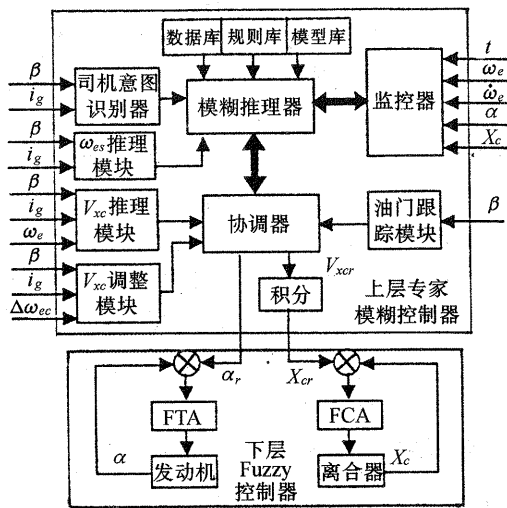


图 1 车辆起步模糊控制器

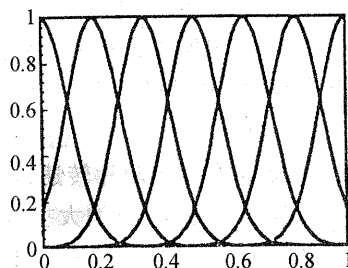


图 3 发动机转速隶属函数曲线

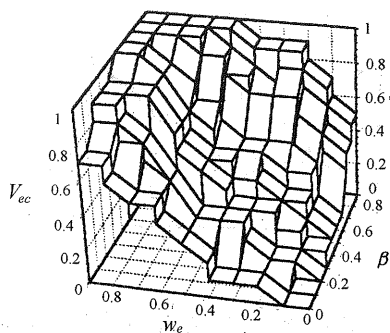
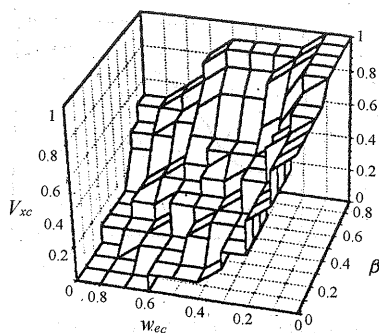
3.3 V_{xc} 推理模块与调整模块

V_{xc} 反映驾驶员意图, 因此主要由 β 决定, 同时要考虑 i_g 的影响, 其归一化推理空间图见图 4(专家规则 2)). 在离合器结合过程, 为了减小滑磨功和冲击度, 需要实时调节离合器的结合速度(专家规则 2), 3)), V_{xc} 调整模块主要依据 $\Delta\omega_{ec}$ 和 β 进行调整, 其归一化推理结果见图 5.

3.4 监控器与协调器

监控器主要监视发动机和离合器的状态(专家规则 4), 5)), 一旦发现离合器结合时间过长, 或发动机驱动力不足即将造成发动机熄火时, 通知协调器改变离合器和油门的控制状态, 而协调器则根据监控器信息, 协调发动机与离合器的控制过程. 设 $T_{emax|\alpha} = f(\alpha)$ 为对应于油门开度 α 发动机的最大输出扭矩, $T_c = f(X_c)$ 为离合器传递扭矩, 则

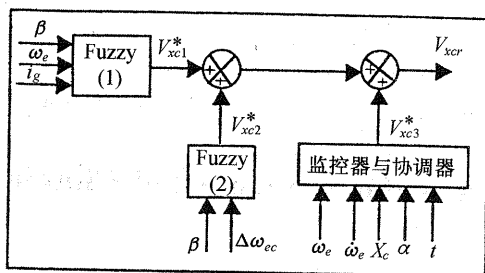
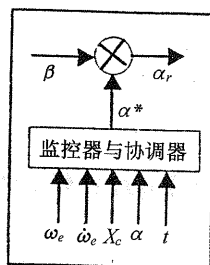
$$T_e^D = T_c - \lambda \frac{d\omega_e}{dt}, \quad (2)$$

图4 V_{xc} 推理结果空间图图5 V_{xc} 调节模块推理结果图

$$D = T_{emax|\alpha}^D - T_c. \quad (3)$$

其中, λ : 发动机扭矩动态补偿系数, T_e^D : 发动机动态输出扭矩。

如果 $D < 0$, 表明以目前油门结合离合器, 发动机扭矩储备不足, 因此需增加油门开度, 监控器相当于特征状态辨识器, 协调器则相当于变结构 Fuzzy 控制器, V_{xc} 调节过程见图 6, 图中 Fuzzy(1) 只在离合器开始结合时起作用, 其余部分则在整个控制过程中起作用。 α 调节过程见图 7。

图6 V_{xc} 调节过程示意图图7 α 调节过程示意图

4 实验结果分析

图 8, 9 是分别采用 PID 控制器和专家模糊控制器的实验曲线。图中, 1: 发动机转速曲线; 2: 离合器从动片转速曲线;

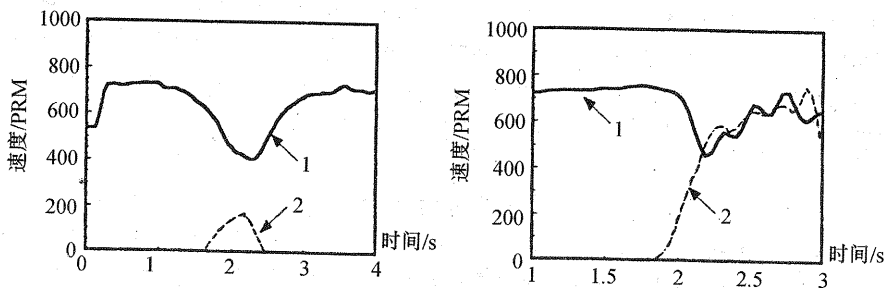


图8 实验曲线

在小油门负荷比较大的起步控制中, PID 控制器不能很好协调发动机与离合器的控制关系, 导致起步失败, 专家 Fuzzy 控制器能够很好地协调发动机与离合器的控制关系, 因此起步成功, 表明专家 Fuzzy 控制具有容错性, 但起步过程中车辆冲击度比较大 (参看图 8)。

在中油门起步控制中, 专家 Fuzzy 控制器能够在离合器结合过程中恰当地协调离合器和发动机配合关系, 使得在离合器结合过程中发动机转速不高, 转速变化平稳, 离合器从动片转速差较小, 所以, 滑磨功和冲击度都比较小, 控制效果比 PID 的控制效果要好。如图 9 所示

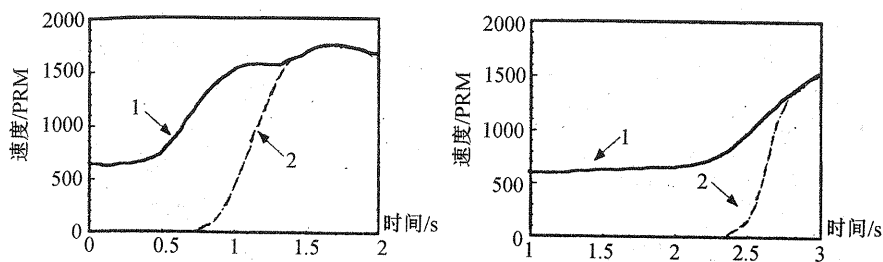


图9 实验曲线

中油门控制实验曲线,综合 Fuzzy 控制器产生的发动机转速波动量(离合器结合过程最大发动机转速与最小发动机转速差值)为 PID 控制器的 75%,产生的滑磨功为 PID 控制的 62%,离合器结合过程中冲击度为 PID 控制的 81%。

参 考 文 献

- 1 申水文. AMT 控制技术应用研究:[博士学位论文]. 长春:吉林工业大学,1996
- 2 Tanaka, H. and Wada, H.. Fuzzy Control of Clutch Engagement for Automated Manual Transmission. JSAE9307399, 1993
- 3 Astrom, K. J., et al.. Expert control. Automatica, 1986, 22(3): 277—286
- 4 Saridis, G. N.. Intelligent robotic control. IEEE Trans. Automat. Contr., 1983, AC-28(5): 547—557
- 5 Shen Shuiwen and Wu Guangqiang, et al.. The Stability Analysis for The Fuzzy Control of the Clutch. SAE972773, 1997

The Fuzzy Control for Vehicle Automated Clutches

SHEN Shuiwen and ZHANG Jianwu

(Institute of Automotive Engineering, Shanghai Jiaotong University • Shanghai, 200030, PRC)

Abstract: The control of vehicle automated clutches is somehow complicated with non-linearities and uncertainties associated to multi-influence factors and control objectives. Also, design of the controller needs consideration of control matching between the clutch and the engine. A fuzzy control is proposed in this paper, which is integrated with expert control, fuzzy control and hierarchical control. By comparison with vehicle test results, the present fuzzy controller is verified to apply for complex controls of vehicle startups.

Key words: automatic clutch; fuzzy control; expert control

本文作者简介

申水文 1967 年生. 先后在 1990 年、1993 年、1996 年于吉林工业大学获学士、硕士和博士学位, 现在上海交通大学从事博士后研究工作. 主要研究方向为: 智能控制技术(包括模糊控制, 神经网络和学习控制), 计算机网络技术在车辆和交通系统中的应用. 目前在国内外已发表与汽车电子技术相关的学术论文 20 余篇.

张建武 1954 年生. 1984 年获上海交通大学博士学位. 德国洪堡基金会研究员, 美国机械工程师学会会员. 现任上海交通大学教授, 博士生导师和汽车工程研究所所长. 主要研究领域: 薄壁结构, 非线性理论, 摄动技术, 非线性振动及控制, 有限元数值分析和汽车系统动力学. 目前在国内外已发表学术论文 50 余篇.