

基于模糊控制的坡道起步系统设计

吴 浩

(安徽安凯汽车股份有限公司, 合肥 230051)

摘 要:坡道起步辅助功能是重要的智能驾驶辅助功能之一。本文基于模糊控制设计一种坡道起步系统,创建合适的模糊控制模型,寻找最佳的驻车释放时机,以解决手动挡车辆坡道起步时的机械磨损及溜坡问题,并得到测试验证。

关键词:辅助驾驶;坡道起步;模糊控制;手动挡

中图分类号:U462

文献标志码:A

文章编号:1006-3331(2024)03-0031-04

Design of Ramp Start System Based on Fuzzy Control

WU Hao

(Anhui Ankai Automobile Co., Ltd., Hefei 230051, China)

Abstract: The ramp start assistance function is one of the important intelligent driving assistance functions. This paper designs a ramp start system based on fuzzy control, creates a suitable fuzzy control model, and searches for the best time to release parking to solve the problems of mechanical wear and ramp sliding manual vehicles during the ramp starting, which is verified by test.

Key words: assisted driving; ramp start; fuzzy control; manual transmission

传统车辆在坡道起步过程中需要驾驶员有熟练的油门、离合器和刹车配合技术,确保车辆不后溜^[1]。驾驶员在面临不同的坡度、不同的载重时,更需要小心操作,精准把握离合器状态和油门踏板之间的配合^[2]。在起步过程中,过高的转速、长时间的半联动还会减少离合器的寿命^[3]。

国内外针对坡道起步辅助功能进行了大量研究。文献[4]中设计了基于逻辑门限控制的商用车坡道辅助快速起步控制算法,文献[5]中研究了EPB电控驻车制动系统的坡道起步辅助控制功能,完成了仿真验证,但在整车驱动力计算时过度依赖离合器传感器。本文针对手动变速器车辆,设计一种基于模糊控制的坡道起步系统,通过设计合理的模糊控制器,计算整车驱动力。在整车起步时,驾驶员可按自身的习惯控制离合器、变速器挡位和油门,系统会针对手动变速器车辆的特点,自动寻找合适的驻车释放点,从而高效、安全地完成坡道起步动作。

1 系统结构及原理

该坡道起步系统结构示意图如图1所示,在传统气压式行车制动系统基础上加装控制模块、HAS电磁阀^[6]和惯导装置。控制模块通过CAN网络与整车通讯,获取整车状态及驾驶操作信息,例如发动机、挡位、车速、踏板值等,控制模块执行相关算法并发出控制HAS电磁阀的指令;HAS电磁阀接收控制指令,控制关闭或打开气管路,从而控制车轮的制动力;惯导装置根据加速度计计算整车所在路面的坡度大小,提供给控制模块作为计算整车阻力的依据。

当驾驶员挂挡或踩下油门踏板时,起步系统识别驾驶员具有坡道起步意识,并根据整车VCU和惯导装置传输的信息,计算整车的阻力和驱动力。驾驶员只需正常操作离合器和油门踏板,起步系统会持续监控整车驱动力矩与阻力关系,当驱动力大于整车阻力时控制电磁阀解除制动力,保证整车平稳起步不溜车。

收稿日期:2024-01-09。

第一作者:吴 浩(1989—),男,工程师;主要从事辅助驾驶功能研究工作。E-mail:2947324347@qq.com。

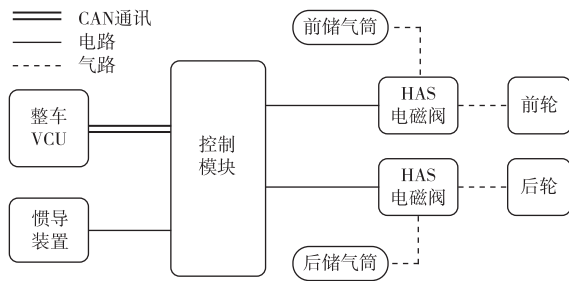


图1 系统结构示意图

2 坡道受力分析

车辆在角度为 θ 的坡道起步时,受到的阻力包括滚动阻力 F_r 、坡度阻力 F_i 、加速度阻力 F_j 。

$$F_r = Gf \cdot \cos \theta, F_i = G \cdot \sin \theta, F_j = \delta m \cdot dv/dt$$

式中: G 为车辆重力; f 为滚动阻力系数; δ 为汽车旋转变质量转换系数; m 为车辆质量; dv/dt 为车辆起步加速度。

则车辆坡道起步行驶需要克服的阻力 F_N 为:

$$F_N = F_r + F_i + F_j$$

另外,整车的驱动力来源于发动机,发动机输出扭矩,通过与离合器结合,将驱动扭矩经过传动系统传输至车轮^[7]。假设离合器输出的扭矩为 F_c ,则传递到车轮上的驱动力 F_d 为:

$$F_d = F_c \cdot \eta \cdot i_g \cdot i_0 \cdot r_d$$

式中: η 为传动效率; i_g 为变速器传动比; i_0 为主减速比; r_d 为轮胎半径。

坡道起步过程中驱动力是逐渐增加的,而阻力基本不变,驱动力与阻力相等的特定时刻是坡道起步控制的关键点^[8]。因此,实现汽车坡道过程自动控制需要具备3个条件:获取汽车当前的驱动力、能够识别当前的坡道起步阻力、可自动释放驻车^[9]。

3 模糊控制设计

模糊控制是建立在人类经验基础上的一种控制算法,是总结熟练操作人员的实践经验,并以通用语言表达出来,形成一种定性的、不精确的控制规则,用模糊集理论将其量化转化为模糊控制算法,从而形成模糊控制理论^[10]。

3.1 模糊控制原理

由于手动变速器车辆在操作过程中离合器始终在驾驶员脚下,离合器的输出扭矩实际上由驾驶员控

制,驾驶员掌握了离合器半联动的状态,从而控制了整车的驱动力。在无离合器开度信号的情况下,控制系统需要计算出离合器结合后输出的扭矩值 F_c ,以实现坡道起步的动作。

模糊控制依据离合器两端转速差、油门踏板值、发动机扭矩来判断离合器的接合状态,进一步计算离合传递扭矩值^[11]。整车在坡道起步时,离合器经历了空行程过程、滑磨过程和同步接合过程三个阶段^[12]。

1) 在空行程过程中,离合器分离,发动机扭矩被中断,发动机输出怠速扭矩以维持发动机转速保持在怠速点,此时踩下油门踏板,发动机扭矩增加,发动机转速快速上升,离合器从动盘的转速为0,转速差快速增加。

2) 滑磨阶段时,离合器部分结合,发动机扭矩随着离合器结合的程度增加,发动机转速随着离合器结合的程度降低,转速比靠近起步转速点。此时踩下油门踏板,离合器滑磨程度增加,发动机扭矩增加,发动机转速增加,转速差增加。

3) 同步结合阶段,离合器完全结合,发动机与变速器接近刚性连接,扭矩传递至变速器。此时踩下油门,发动机扭矩增加,发动机转速跟随车速联动,转速差为0。

起步过程中,控制系统需把控滑磨过程中驱动力与阻力的关系,在合适的时机释放驻车。释放过早会造成整车溜车,释放过晚会有拖拽感。根据离合器结合过程中发动机输出的特点,结合驾驶员的操作经验,设计如图2所示的控制系统原理框图。

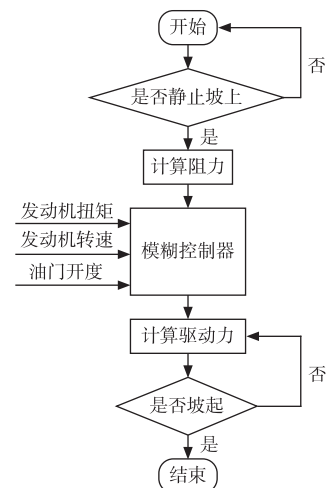


图2 模糊控制系统原理框图

控制系统可从商用车 J1939CAN 通讯协议中获得发动机实际输出扭矩值、发动机转速、油门开度等数据,并将上述数据作为模糊控制器的输入量,将离合器输出扭矩作为模糊控制器的输出量。

3.2 模糊控制过程

分别将模糊控制器的输入量及其变化率模糊化,发动机与离合器的转速差变化率 Δ_{spd} 的模糊语言变量划分为{很小 spd_{VS} ,小 spd_{S} ,中等 spd_{M} ,大 spd_{B} ,很大 spd_{VB} },发动机扭矩变化率 Δ_{tq} 的模糊语言变量划分为{很小 tq_{VS} ,小 tq_{S} ,中等 tq_{M} ,大 tq_{B} ,很大 tq_{VB} },离合器结合度直接反映为离合输出扭矩 T ,其模糊语言变量划分为{小 T_{S} ,中等 T_{M} ,大 T_{B} }。并建立以下模糊规则:

if $\Delta_{\text{spd}} = \text{spd}_{\text{VS}} \& \Delta_{\text{tq}} = \text{tq}_{\text{VB}}, F_c = T_{\text{B}};$

if $\Delta_{\text{spd}} = \text{spd}_{\text{S}} \& \Delta_{\text{tq}} = \text{tq}_{\text{B}}, F_c = T_{\text{M}};$

if $\Delta_{\text{spd}} = \text{spd}_{\text{M}} \& \Delta_{\text{tq}} = \text{tq}_{\text{M}}, F_c = T_{\text{M}};$

if $\Delta_{\text{spd}} = \text{spd}_{\text{B}} \& \Delta_{\text{tq}} = \text{tq}_{\text{S}}, F_c = T_{\text{M}};$

if $\Delta_{\text{spd}} = \text{spd}_{\text{VB}} \& \Delta_{\text{tq}} = \text{tq}_{\text{VS}}, F_c = T_{\text{S}};$

当转速差 Δ_{spd} 变化率越大且发动机扭矩变化率 Δ_{tq} 越小,离合器结合就越浅,离合器处于空行程阶段,输出扭矩 T 越小;当转速差 Δ_{spd} 变化率越小且发动机扭矩变化率 Δ_{tq} 越大,离合器结合就越深,离合器处于滑磨阶段,输出扭矩 T 越大;当转速差变化率 Δ_{spd} 为 0,离合器完全结合,输出扭矩 T 最大。

3.3 搭建系统仿真模型

本文采用 Matlab 的 Simulink 搭建模糊控制系统仿真模型,Simulink 模型库中包含 Fuzzy Logic Controller 控制器模块,模型搭建步骤如下:在 Simulink 中打开新模型,添加 Fuzzy Logic Controller 模块;在 Fuzzy Logic Controller 模块中添加输入和输出变量,并定义它们的范围和模糊集;在 Fuzzy Logic Controller 模块中添加模糊规则,用于根据输入变量的模糊值计算输出变量的模糊值;在模型中添加输入和输出信号,并连接输入和输出信号与模型信号,以便将输入信号传递给模糊控制模块。最终搭建如图 3 所示的仿真模型架构。

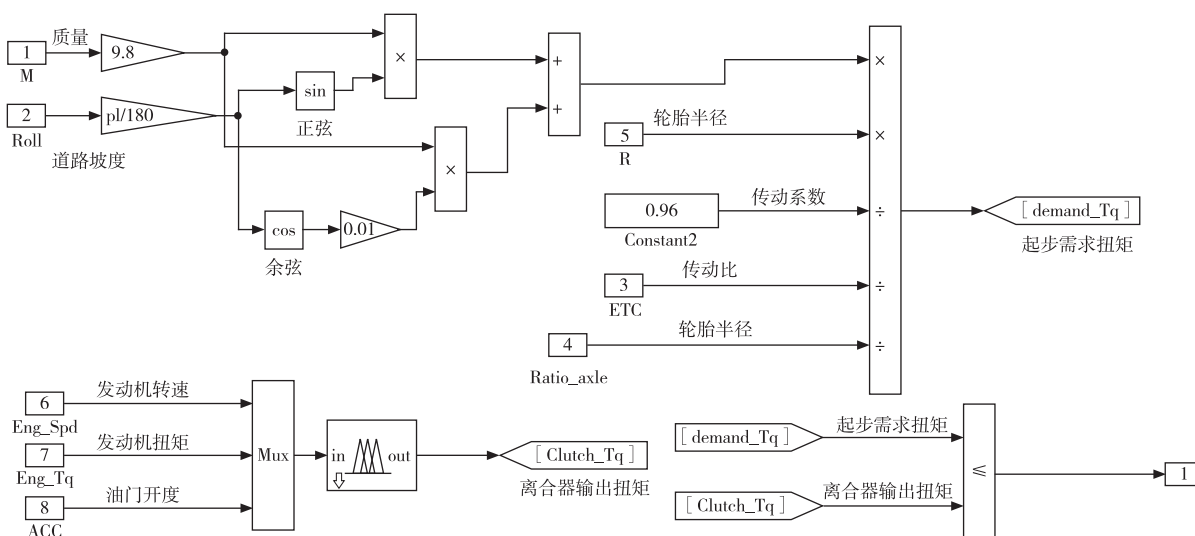


图3 模糊控制系统仿真模型架构

4 实车测试

本文选用国内手动变速器客车,外形尺寸 8 990 mm×2 530 mm×3 425 mm,整备质量 9 300 kg,总质量 12 900 kg,轴距 4 300 mm,整车加载 2 000 kg,玉柴发动机,怠速点 600 r/min。分别在平路上、坡度为 8% 坡道、坡度为 15% 坡道上进行起步测试。同时,为测试不同的驾驶方式是否会影响系统坡起功能,驾驶员

按不同操作进行起步。测试结果如下:

1) 平路上的起步测试结果如图 4 所示。此路况起步驾驶员的操作方式为怠速起步,即踩下离合器踏板挂挡,缓慢松开离合器,未踩下油门踏板。在 1 687 s 时,随着离合器结合,发动机转速由怠速点降至 584 r/min、发动机扭矩输出增至 143 N·m,驻车制动自动释放。怠速起步平稳,无拖拽感。

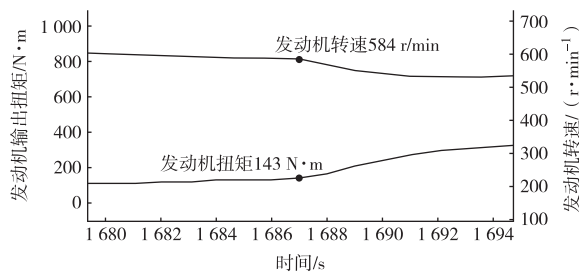


图4 平路测试结果

2) 将整车停置在 8% 的坡道上,即道路坡度角度为 4.7° ,其起步的测试结果如图 5 所示。此路况起步驾驶员的操作方式为:踩下离合器挂挡后,先踩下油门踏板,再逐步松开离合器踏板。随着油门踏板踩下,发动机转速提高,但离合器结合程度较低,在 174 s 时,油门开度达到 40.4%,发动机扭矩输出 220 N·m,发动机转速 1 876 r/min,系统在此时自动释放驻车制动,坡道起步平顺,未发生溜坡。

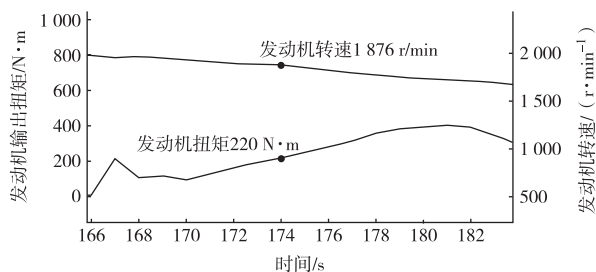


图5 8%坡道测试结果

3) 将整车停置在 15% 的坡道上,即道路坡度角度为 8.3° ,其测试结果如图 6 所示。此路况起步驾驶员的操作方式为:踩下离合器挂挡后,先逐步松开离合器踏板,再轻点油门,在 937 s 时,油门开度为 20%,相对第 2) 种路况,虽然油门开度仅有其一半,但因离合器结合程度较高,发动机输出扭矩更大,达 297 N·m,发动机的转速 1 302 r/min,系统在此时自动释放驻车制动,坡道起步平顺,未发生溜坡。

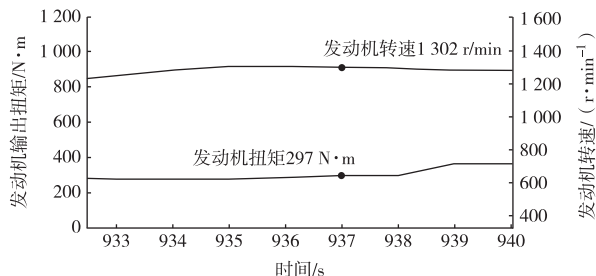


图6 15%坡道测试结果

5 结束语

本文设计的基于模糊控制坡道起步控制系统,可适应驾驶员的不同操作方式,根据发动机转速、扭矩输出状态,自动释放电子驻车,既能避免车辆输出扭矩过大而驻车未释放对机械部分带来的磨损,也能确保车辆不会在驻车释放后出现溜坡现象,提高了车辆坡道起步时的安全性和舒适性。

参考文献:

- [1] 李伟光,刘建华,董海平,等.整体式汽车斜坡起步辅助系统气动控制阀的设计[J].机床与液压,2010,38(12):40-42.
- [2] 黄志春,王肇宇,韩永成,等.商用车起步能力的客观测量方法研究[J].汽车零部件,2016(3):64-68.
- [3] 杨阳,何涛.驾驶员驾驶习惯对离合器寿命的影响[J].河南科技,2018(20):63-64.
- [4] 杨凡,顾杰,黄凡,等.商用车气压电子驻车系统坡道辅助控制方法[J].液压与气动,2021,45(8):145-153.
- [5] 孙延.EPB电控驻车制动系统坡道辅助起步控制策略研究[C]//湖南大学汽车车身先进设计制造国家重点实验室. Infats Proceedings of the 14th International Forum of Automotive Traffic Safety,2017:171-180.
- [6] 张庆渴,王洪亮,谷文豪.中/重型车辆坡道起步辅助系统气动控制电磁阀的设计与研究[J].液压与气动,2016(11):15-19.
- [7] 姚为民.汽车构造:第7版[M].北京:人民交通出版社,2021:11-12.
- [8] 李轩,王鑫,何发尧.AMT坡道起步辅助控制策略[J].汽车实用技术,2022,47(15):33-36.
- [9] 王洪亮,苑庆泽,钟焕祥,等.基于EPB的汽车坡道起步自动控制技术[J].北京理工大学学报,2014,34(4):344-348.
- [10] 张铭均.智能控制技术[M].哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2008:26-28.
- [11] 杨昭,李天闯.某插电式混合动力公交客车离合器接合控制策略分析[J].汽车实用技术,2023,48(17):119-123.
- [12] 李荣.基于模糊控制理论的CVT起步过程仿真分析[J].内燃机与配件,2023(7):17-19.