

基于驾驶意图的无级变速器目标速比确定方法^{*}

何仁¹ 马承广¹ 张涌² 夏晶晶¹ 吴海啸²

(1. 江苏大学汽车与交通工程学院, 镇江 212013; 2. 南京汽车集团公司汽车工程研究院, 南京 210028)

【摘要】 运用模糊数学理论提出一种基于驾驶意图的金属带式无级变速器(CVT)目标速比的确定方法, 不需采用传统的经过手动方式选择动力模式或经济模式的方式, 即可确定一个在动力和经济模式之间的目标速比。根据基于模糊规则的驾驶意图指数确定的目标速比进行 CVT 的速比控制, 以达到按照驾驶意图来兼顾汽车的动力性和经济性能, 从而避免了传统模式选择过程中速比突变导致传动系统的冲击、振动和发动机颤动, 且能够根据驾驶员的驾驶意图进行调整, 提高了驾驶操纵性。最后根据目标速比控制策略设计了控制器, 并通过试验验证了目标速比确定方法的适用性。

关键词: 汽车 无级变速器 目标速比 模糊数学 驾驶意图

中图分类号: U463.212 **文献标识码:** A

Method to Determine Target Speed Ratio of CVT Based on Driving Intention

He Ren¹ Ma Chengguang¹ Zhang Yong² Xia Jingjing¹ Wu Haixiao²

(1. School of Automobile and Traffic Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China

2. Automobile Engineering Research Institute, Nanjing Automobile Corporation, Nanjing 210028, China)

Abstract

The method of speed ratio of controlling of metal V-belt continuously variable transmission based on driving intention was suggested using fuzzy mathematics. According to this method, the target speed ratio between economical and drivable mode can be gotten instead of traditional manual selection. The control with the target speed ratio based on the driving intention index of fuzzy control rules can get a good economy and drivability, the bump, shake and flicker of the engine can be avoided. Finally, the controller using the target speed ratio control logic is designed and the effectiveness is validated.

Key words Automobile, Continuously variable transmissions, Target speed ratio, Fuzzy mathematics, Driving intention

引言

汽车动力性与燃油经济性是汽车最重要的基本性能。无级变速器(continuously variable transmissions, 简称 CVT)可以构成一个没有“漏洞”的理想动力供应特性场, 通过控制无级变速传动系统的传动比, 保证发动机在理想的工作线上运行, 从而提高了汽车的动力性和经济性, 改善了发动机排放^[1~2]。

在实际行驶过程中, 汽车大多数时间运行在一

个固定速比的稳定状态。为了降低燃油消耗量, 一般采用最佳经济性曲线, 然而, 采用这种策略的代价是汽车动力不足而降低了汽车动力性^[3]。目前装备 CVT 的车辆一般提供动力和经济两种模式供用户选择, 然而这种通过手动模式进行选择的方式并不能真正反映驾驶者的意图, 且在转换过程中会导致传动系统冲击、振动和发动机颤动, 降低操纵性能。

本文提出一种基于驾驶意图的 CVT 目标速比控制方法, 它不需要采用传统的手动选择动力模式

或经济模式就可确定一个在动力和经济模式之间的目标速比。通过此速比来进行 CVT 的控制, 以达到按照驾驶意图来兼顾车辆动力性和经济性, 提高驾驶操纵性。

1 CVT 目标速比的确定方法

无级变速器速比控制的目标是通过通过对发动机和变速器速比的控制, 使发动机始终在理想的工作状态下运行, 即始终沿着最佳动力性或经济性曲线工作。

图 1 为发动机在某节气门开度下的部分负荷特性曲线, 由图可知, 发动机在该节气门开度下 A 对应了发动机燃油消耗率最低的经济转速, B 对应了发动机输出功率最大的最佳动力性转速, 在整个发动机的

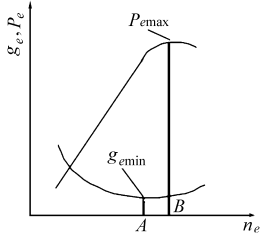


图 1 发动机部分负荷特性曲线

Fig.1 Load characteristics of engine

发动机的工作区间内, 每个节气门开度下都存在这样的工作点。由此可知, 在发动机万有特性图上可以得出发动机的最佳动力性曲线和最佳经济性曲线。

选择某款发动机的试验数据进行分析, 采用回归法通过 Matlab 编程拟合试验数据^[4], 所得该发动机燃油消耗率特性三维曲面如图 2 所示, 发动机转矩特性三维曲面如图 3 所示, 发动机燃油消耗率拟合度在 95% 以上, 误差在工程允许范围内。

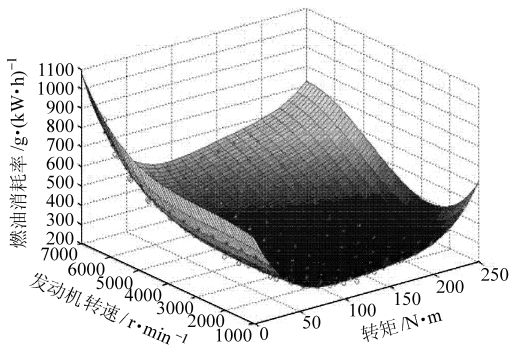


图 2 发动机燃油消耗率特性三维曲面图

Fig.2 Fuel consumption of engine

在万有特性曲线(图 2)上将各功率对应的最小燃油消耗率点连接起来, 即可寻找出发动机经济性运行曲线, 在同一张图上作图 3, 并将各节气门开度下的最大功率点连接起来即可得到发动机动力运行曲线。要想使发动机工作在所要求的工况(最佳动力性、经济性或最佳排放), 要求汽车变速器的传动比 $i_{gearbox}$ 满足

$$i_{gearbox} = \frac{0.377 r_k n_0}{v i_0} \quad (1)$$

式中 i_0 ——主传动比 r_k ——车轮半径
 n_0 ——最佳发动机转速 v ——车速

以实现汽车与发动机最佳动力性(或最佳经济性, 或最佳排放)^[5]。图 4 给出了最佳经济性情况下的目标速比图。因此, 由式(1)可知 CVT 的速比是由基于节气门开度和相应控制模式的车速值来确定的, 其根据最佳燃油经济性或最佳动力性这样的驾驶要求状态来确定^[6], 在实际车辆行驶中, 并不是稳定在某一固定模式, 而是介于这两者之间。为了解决上述问题, 引入驾驶意图指数的概念, 从而得出一个基于驾驶意图的目标速比, 能够充分体现驾驶员的驾驶意图, 而避免手动模式的转换。

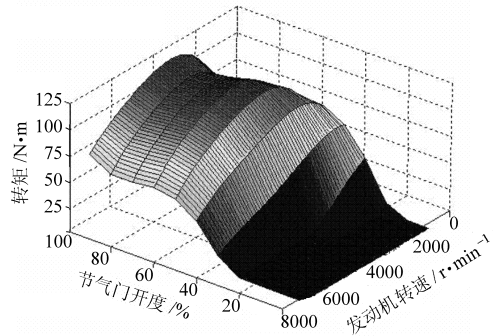


图 3 发动机转矩特性三维曲面图

Fig.3 Steady output torque of engine

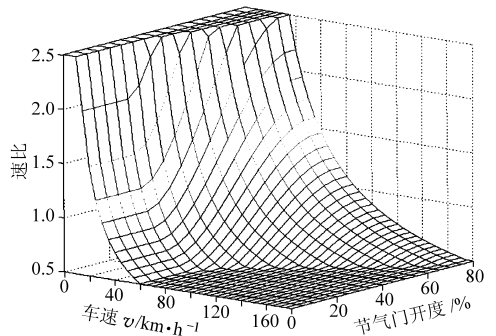


图 4 经济模式下目标速比曲线

Fig.4 Target transmission ratio for optimum economy

目标速比表示为

$$i_m = k(i_d - i_e) + i_e \quad (0 \leq k \leq 1) \quad (2)$$

式中 k ——驾驶意图指数

i_e ——经济模式速比

i_d ——动力模式速比

i_m ——在 i_e 和 i_d 之间的目标速比

从式(2)可知, 该公式的关键在于确定驾驶意图指数 k 。在实际驾驶中, 通过节气门开度以及开度变化率、车辆的车速变化率反映驾驶意图, 节气门开度变化率较大的时候一般是要求动力性能高于经济性, 而稳定行驶时, 驾驶者更注重经济性。但考虑到车辆整体的滞后性, 即节气门变化率的反应不能及时反映在车速上, 节气门开度稳定到一定值后车辆

仍然处于加速状态,这时要通过车速变化率的情况来反映驾驶意图,故而引入车速变化率作为另外一个参考量。但是由于节气门开度变化率和车速变化率对于 k 值并没有确切的数学关系,故引入模糊理论。基于以上基本原理,通过足够多的试验,制定合理的模糊规则,以反映驾驶员意图的车速变化率和节气门开度变化率为输入变量,通过模糊推理,得出驾驶意图指数的基准值。

驾驶意图指数可以表示为

$$k = f\left(\frac{d\theta}{dt}, \frac{dv}{dt}\right) \quad (3)$$

式中 θ ——节气门开度

2 基于模糊控制规则的驾驶意图指数

制定模糊控制规则时需要大量的试验进行参数的调整。模糊驾驶模型的输入为节气门开度变化率 $\dot{\theta}$ 、速度变化率(加速度) \dot{v} ,输出值为驾驶意图指数。根据驾驶经验及参考标定工程师的意见,将节气门开度变化率大于 $25\%/s$ 时为急加速临界值,论域为 $[0, 50]$,单位为 $\%/s$;车速变化率论域为 $[-10, 10]$,单位为 m/s^2 。而对于减速情况,在常规减速状况控制方式回归为经济模式控制,即指数 k 为零,对于急减速的情况一般涉及到制动的问题,在控制策略中作为一种单独的工况进行考虑,涉及到制动信号的辨识问题,本文主要考虑油门控制问题,对于急减速工况不予考虑。

在整个论域范围内定义输入输出模糊变量的模糊子集: $\{PL, PM, PS, Z, NS, NM, NL\}$, 分别代表正大、正中、正小、零、负小、负中、负大。根据驾驶员经验及标定工程师建议制定以下规则:

$$\text{if } \dot{\theta} = PL \text{ and } \dot{v} = PL \text{ then } k = PL$$

$$\text{if } \dot{\theta} = NL \text{ and } \dot{v} = PL \text{ then } k = PM$$

⋮

得到若干代表驾驶意图指数规则的条件语句

$$\begin{aligned} \text{if } \dot{\theta} = A_i \text{ and } \dot{v} = B_j \text{ then } U = C_{ij} \\ (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n) \end{aligned} \quad (4)$$

其中 A_i, B_j, C_{ij} 分别是定义在论域 X, Y, Z 上的模糊集。取

$$\dot{\theta} = \frac{d\theta}{dt} = A \quad (5)$$

$$\dot{v} = \frac{dv}{dt} = a = B \quad (6)$$

$$U = k \quad (7)$$

式中 a ——汽车加速度

为了推理上的方便,将区间 $[\alpha, \beta]$ 内的节气门开度变化率 $\dot{\theta}$ 或加速度 \dot{v} 转换到区间 $[-b, b]$ 之间,其转换式为

$$Y = \frac{12}{\beta - \alpha} \left(X - \frac{\alpha + \beta}{2} \right) \quad (8)$$

速度变化率所对应的模糊集 $B_1 \sim B_7$ 可以按照表 1 取值。

表 1 速度变化率 \dot{v} 的赋值表

Tab.1 Value assignment of percentage speed variation \dot{v}

	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
PL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.4	0.8	1.0
PM	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.7	1.0	0.7	0.2
PS	0	0	0	0	0	0	0	0.9	1.0	0.7	0.2	0	0
Z	0	0	0	0	0	0.5	1.0	0.5	0	0	0	0	0
NS	0	0	0.2	0.7	1.0	0.9	0	0	0	0	0	0	0
NM	0.2	0.7	1.0	0.7	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0
NL	1.0	0.8	0.4	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

通过选定隶属函数可以把精确的变量模糊化^[7],不同的隶属函数对控制的效果有着很大影响。由于钟形隶属函数可以使控制器具有更快的响应和更好的稳定性,因此选择钟形隶属函数,如图 5。

同理,可以将节气门开度变化率 $\dot{\theta}$ 和驾驶意图指数分为若干档,得出其赋值表。将式(4)条件语句归纳为一个模糊关系 R :

$$R = \bigcup_j A_i \times B_j \times C_{ij} \quad (9)$$

而 $\mu_R(x, y, z) = \bigvee \mu_{A_i}(x) \wedge \mu_{B_j}(y) \wedge \mu_{C_{ij}}(z) (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n), \forall x \in X, \forall y \in Y, \forall z \in Z$ 。则根据模糊推理合成法则^[8],输出的驾驶模型指数应为模糊集 U

$$U = (A \times B) \cdot R \quad (x \in X, y \in Y) \quad (10)$$

$$\mu_U(z) = \bigvee \mu_R(x, y, z) \wedge \mu_A(x) \wedge \mu_B(y)$$

然后再根据取隶属函数最大的原则进行解模糊,即可得到相应的模型指数。为了简化控制器模

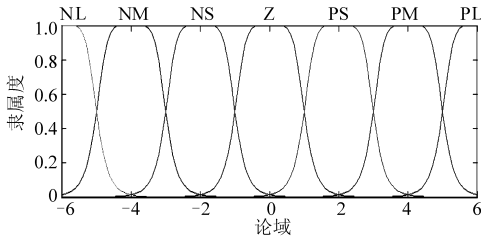


图 5 隶属函数

Fig. 5 Membership function

拟计算,可以根据驾驶经验预先给出驾驶模型决策表,这样当输入量节气门开度变化率 $\dot{\theta}$ 或加速度 \dot{v} 已知时,可以用查表法求得相应的模型指数,然后转换为确切的控制量。图 6 给出了基于驾驶模型的目标速比下的控制算法框图。

3 试验结果分析

在实车路试中,使用上述控制策略下的某一驾驶模型,分别以急踩油门急加速、缓踩油门缓加速和稳定车速行驶 3 种情况进行试验,数据采用 Dewetool 进行采集,采样频率为 10 000 Hz,节气门

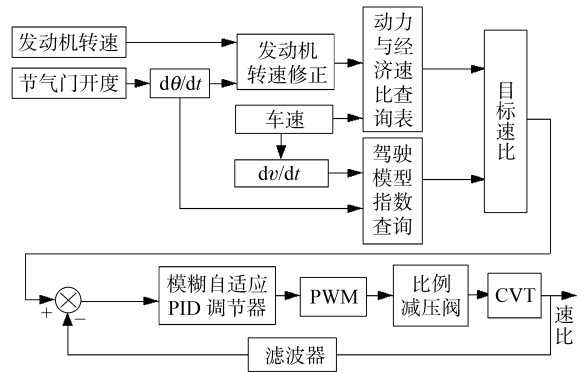


图 6 控制算法框图

Fig. 6 Block diagram of speed ratio control

信号为电压信号,周期为 8.2 ms,无级变速器的从动锥轮转速信号为 PWM 信号(可以转化为车速),周期为 0.1 s,因数据采集仪器及驾驶员操作的局限性,只能通过多次试验取相似节气门开度变化率情况下,针对传统经济模式目标速比控制策略和本文提出的控制策略的试验结果进行趋势对比,试验结果如图 7 所示,图 7 为在采得的信号散点图上所作的趋势线。稳定行驶时节气门开度变化率与车速变

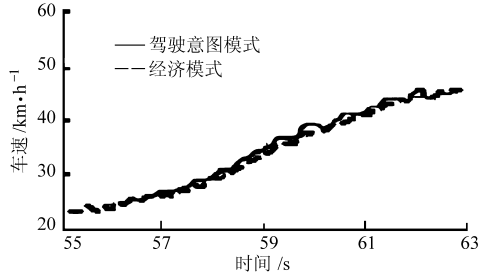
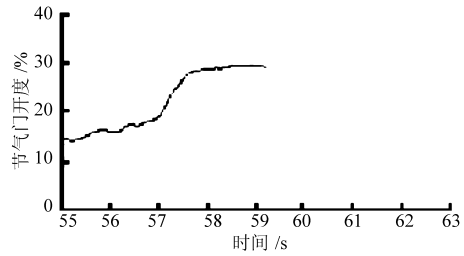
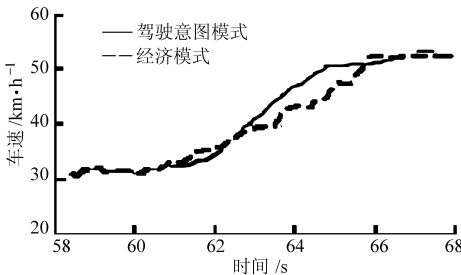
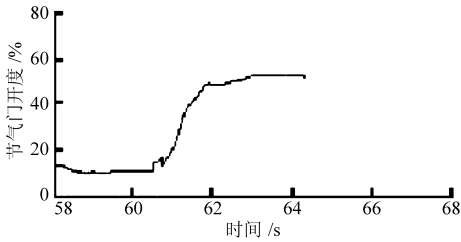


图 7 急加速和缓加速情况试验数据对比

Fig. 7 Experiment results with different driving intention

(a) 急踩油门急加速 (b) 缓踩油门缓加速

化率均为零,模型指数为零,目标速比与经济模式相同,此工况下没有给出相应的对比图。

从图 7a 中可以看出,节气门开度为 15% ~ 50%,节气门开度变化率约为 35% /s,为急加速,车速从 30 km/h 加速到 50 km/h,原经济模式用了约 5 s 时间,而基于驾驶意图模式用了 4 s 多时间,实现了在急加速时动力性能高、加速时间短的目的;另外从驾驶感觉来分析,此驾驶意图下急加速时的控制方式避免纯动力模式下的“推背感”,改善了驾驶舒适性。图 7b 中,节气门开度为 15% ~ 30%,节气门

开度变化率约为 7% /s,为缓加速,车速从 25 km/h 加速到 45 km/h,原经济模式和基于驾驶意图模式用了约 7 s 时间,加速动力性能类似,区别不大,保证了其平稳驾驶时要求经济性的意图。试验结果表明,基于驾驶意图的目标速比确定方法是可行且有效的。

4 结论

(1) 以驾驶意图为基础的无级变速器目标速比

(下转第 44 页)

2005, 21 (12):52~55.

Ma Donghao, Wang Quanjiu, Guo Tailong. Estimation of Horton equation parameters and filed-averaged roughness coefficient by surface irrigation advance [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2005, 21(12):52~55. (in Chinese)

11 Alazba A A. Design procedure for border irrigation [J]. Irrig. Sci., 1997, 18(1):33~43.

12 Sepaskhah A R, Afshar Chamanabad H. Determination of infiltration rate for every-other furrow irrigation [J]. Biosystems Engineering, 2002, 82(4):479~484.

13 Khatri K L, Smith R J. Real-time prediction of soil infiltration characteristics for the management of furrow irrigation [J]. Irrig. Sci., 2006, 25(1):33~43.

14 Yu F X, Singh V P. Analytical model for border irrigation [J]. Journal of Irrig. and Drain. Eng., 1989, 8(1):982~999.

15 刘作新,李哲,孙中和,等.田间曼宁糙率系数的推求[J].灌溉排水,1998,17(3):5~9.

Liu Zuoxin, Li Zhe, Sun Zhonghe, et al. Determination of Manning's roughness coefficient[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 1998, 17(3):5~9. (in Chinese)

16 Fok Y S, Bishop A A. Analysis of water advances in surface irrigation [J]. Irrig. and Drain. Div. ASCE., 1965, 91(1):99~117.

17 周振民,刘月.畦田灌溉水流演进计算简化模型研究[J].灌溉排水,2005,24(2):23~26.

Zhou Zhenmin, Liu Yue. Simplified water advance calculation model for border irrigation[J]. Irrigation and Drainage, 2005,24(2):23~26. (in Chinese)

18 王维汉,缴锡云,彭世彰,等.畦灌土壤入渗参数估算的线性回归[J].水利学报,2007,38(4):468~472.

Wang Weihang, Jiao Xiyun, Peng Shizhang, et al. Linear regression approach for estimating soil infiltration parameters of border irrigation[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2007, 38(4):468~472. (in Chinese)

(上接第19页)

的确定方法,避免了传统手动方式选择动力模式和经济模式的弊端,且充分考虑到了驾驶员的意图,兼顾了动力性和经济性,提高了驾驶操纵性。

(2) 运用模糊数学的方法根据驾驶意图来调整

驾驶模型指数,从而修正无级变速器的目标速比,为无级变速器目标速比控制策略的制定提供了依据。

(3) 通过试验验证了无级变速器目标速比确定方法的适用性,为无级变速器的目标速比控制提供了参考依据。

参 考 文 献

1 何仁,刘星荣,何泽民.汽车动力传动系最优匹配的研究和发展[J].江苏理工大学学报:自然科学版,1997,18(1):37~41.

He Ren, Liu Xingrong, He Zemin. Research and development on matching optimization of automobile power train system [J]. Journal of Jiangsu University of Science and Technology: Natural Science, 1997, 18(1):37~41. (in Chinese)

2 Steven Ashley. Is CVT the car transmission of the future? [J]. Mechanical Engineering, 1994, 11(1):19~24.

3 Bonsen B, Steinbuch M, Veenhuizen P A. CVT ratio control strategy optimization[J]. Proceedings of IEEE Conference on Vehicle Power and Propulsion (VPPC'05), 2005:227~231.

4 陈桂明,张明照,戚红雨.应用MATLAB建模与仿真[M].北京:科学出版社,2001.

5 周云山,裘熙定,王红岩,等.汽车无级变速传动(CVT)建模与仿真[J].汽车工程,1998,20(5):285~289.

Zhou Yunshan, Qiu Xiding, Wang Hongyan, et al. The modeling and simulation for CVT[J]. Automotive Engineering, 1998, 20(5):285~289. (in Chinese)

6 王红岩,秦大同,舒红.无级变速汽车驾驶模拟器的模糊控制器设计[J].中国公路学报,2001,14(1):109~114.

Wang Hongyan, Qin Datong, Shu Hong. Design for fuzzy controller of driving simulator of automobile with CVT system [J]. China Journal of Highway and Transport, 2001, 14(1):109~114. (in Chinese)

7 何仁.汽车动力性燃料经济性模拟计算方法及应用[M].北京:机械工业出版社,1996.

8 王彩华,宋连天.模糊论方法学[M].北京:建筑工业出版社,1988.