

DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.06.005

混合动力汽车电子换挡手柄控制信号可靠性设计*

汪东坪¹ 李舜韶¹ 魏民祥¹ 于海生²

(1. 南京航空航天大学能源与动力学院, 南京 210016; 2. 上海华普汽车有限公司, 上海 201501)

【摘要】 基于混合动力汽车电子换挡手柄的结构和信号控制逻辑,通过信号故障处理和策略冗余算法,设计了电子换挡手柄信号的可靠性控制方法,通过建立 Simulink 控制模型,并采用快速控制原型的方式对换挡手柄信号控制进行仿真测试,验证控制的可靠性。测试结果表明该控制方法满足了混合动力汽车的换挡需求,并保证了换挡手柄信号控制的可靠性及车辆行驶安全。

关键词: 混合动力汽车 电子换挡 手柄 可靠性设计

中图分类号: U463.212; U469.79 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2012)06-0025-05

Design of Control Signal Reliability for Hybrid Vehicle Electronic Shift Handle

Wang Dongping¹ Li Shunming¹ Wei Minxiang¹ Yu Haisheng²

(1. College of Energy and Power Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China

2. Shanghai Maple Automobile Co., Ltd., Shanghai 201501, China)

Abstract

In order to meet the control reliability requirement of hybrid vehicle electronic shift handle signal, based on analyzing the structure and signal control logic of the handle, the reliable control method was designed by signal processing and strategy redundancy algorithm. Through the establishment of the system control model with Simulink and the usage of rapid control prototyping approach with MotoTron, the control method of the shift handle signal was tested to verify its reliability. Test results showed that the control method could meet the shifting demand for hybrid vehicle, and the control reliability of the shift handle signal and traffic safety could be ensured.

Key words Hybrid vehicle, Electronic shift, Handle, Reliability design

引言

混联式混合动力汽车通过动力合成装置将来自发动机和电动机的动力进行合成以驱动整车运行^[1-2],该动力合成装置可作为混合动力汽车的变速器,常采用多行星排耦合的形式^[3],通过调节行星排各元件的转速,使其像无级变速器一样工作。因结构和工作原理的不同,应用于传统汽车变速器上的机械式换挡机构已经无法匹配和满足混合动力汽车变速器的机械结构和工作特性,而采用电子换挡机构可以解决这个问题。

电子换挡机构不同于机械式换挡机构,其对变

速器的控制采用信号识别、传输和发送指令的模式,与混合动力汽车变速器之间没有直接的机械连接。混合动力汽车通过电控单元 ECU 采集当前电子换挡机构传感器发送的挡位位置电压模拟信号,经分析计算后,判断其挡位状态,并根据各挡位下汽车的行驶状态发送指令控制和改变变速器的运行模式。

由于电子换挡机构采用信号传输而非机械连接的工作模式,在对其操作过程中,为控制和保证其挡位状态,防止发生挡位识别错误、信号传输错误、挡位状态与当前汽车行驶工况不符等故障,需要对电子换挡机构的工作特性和信号控制逻辑进行研究,保证其换挡的可靠性和准确性。电子换挡机构已经

收稿日期: 2011-09-07 修回日期: 2011-09-16

* 国家高技术研究发展计划(863计划)资助项目(2008AA11A125)和江苏省普通高校研究生科研创新计划资助项目(CXLX11_0181)

作者简介: 汪东坪, 博士生, 主要从事混合动力汽车系统控制技术研究, E-mail: wdpcrazy@163.com

在丰田汽车公司的多款混合动力汽车上得到了成熟的应用,但在其他汽车制造商的应用还未得到普及,国内外对其信号控制逻辑以及可靠性控制设计方法也少有研究。本文基于电子换挡机构的结构和工作原理,设计其信号的控制逻辑及可靠性控制方法,并通过建模仿真^[4-5]和快速控制原型^[6-7]技术对该控制逻辑和可靠性控制方法进行验证。

1 换挡信号控制逻辑

1.1 挡位结构

图1所示为电子换挡手柄位置示意图,有5个挡位,分别是:原始挡O挡、空挡N挡、前进挡D挡、带发动机倒拖前进挡DB挡以及倒车挡R挡。换挡手柄的初始位置处于O挡,当拨动换挡手柄至除O挡外任意挡位后,手柄都会自动回到O挡位置。电子换挡手柄对动力系统没有直接的机械作用,其拥有4路传感器信号,混合动力电控单元ECU通过采集和分析各路传感器信号,判断其挡位状态,从而控制动力总成系统对外输出相应的扭矩模式。

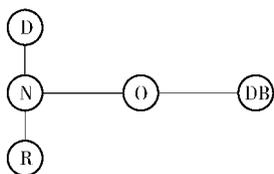


图1 电子换挡手柄位置示意图

Fig.1 Handle position of electronic shift

此外,混合动力汽车还有由驻车控制按钮输入的驻车挡Park挡。在整车允许驻车的状态下,通过按下驻车按钮向电控单元发送驻车请求,系统控制机械驻车机构锁止变速器输出轴,整车进入驻车状态。

1.2 换挡手柄输出信号控制逻辑

电子换挡手柄有2个传感器共4路电压模拟信

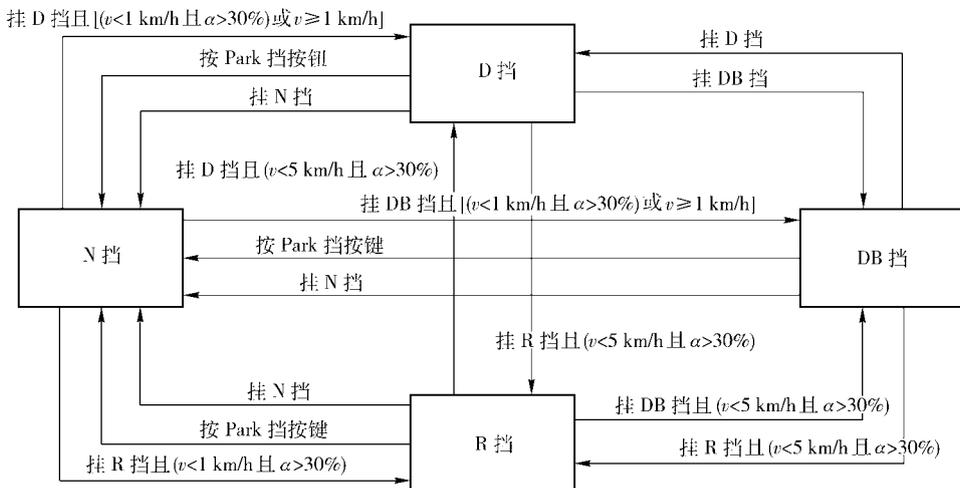


图2 换挡信号控制逻辑

Fig.2 Control logic of shift signal

号,其中传感器X的2路信号 x_1 和 x_2 相等,传感器Y的2路信号 y_1 和 y_2 相等。在各路信号都没有故障的情况下,设定传感器X的输出信号 $x = x_1$,传感器Y的输出信号 $y = y_1$,根据 x 和 y 信号值不同,通过手柄位置判断函数 $P = f(x, y)$,判断当前手柄位置。手柄位置判断如表1所示。

表1 手柄位置判断

Tab.1 Judgment of handle position

条件/V	信号状态				
$0.5 \leq x \leq 0.9$	F	T	T	F	F
$2.1 \leq x \leq 2.5$	T	F	F	F	T
$3.8 \leq x \leq 4.2$	F	F	F	T	F
$2.8 \leq y \leq 3.2$	T	T	F	T	F
$3.7 \leq y \leq 4.1$	F	F	T	F	T
P	1	2	3	4	0
手柄位置	N挡	D挡	DB挡	R挡	O挡

表1中,信号状态T表示信号满足设定条件,F表示信号不满足设定条件;对应手柄位置判断函数 P 值0为O挡,1为N挡,2为D挡,3为DB挡,4为R挡。

换挡信号控制逻辑应能满足驾驶员正常的换挡需求,简化换挡操作过程,降低和消除因误操作而对驻车机构和行驶系造成的损坏。换挡信号控制逻辑如图2所示,图中 v 表示车速, α 表示刹车踏板开度。

车辆上电后系统默认进入空挡位;在车辆起步时,踩踏刹车踏板超过30%的开度,通过操作换挡手柄就可以使系统从空挡进入任意动力挡位;在车辆向前行驶过程中,N挡、D挡和DB挡三者之间可以任意互换;前进挡D挡和DB挡与倒车挡R挡之间禁止直接互换,必须在车速 v 小于5 km/h且刹车

踏板开度 α 超过 30% 时才能够相互切换,以防止车辆动力总成受到车辆运动惯性的冲击;此外,车辆在任何情况下,只需通过操作换挡手柄挂空挡,就可以使系统从动力挡位进入空挡。

驻车挡 Park 挡作为辅助挡位,通过驻车机构锁止变速器输出轴以保证车辆的静止状态。在车辆上电后,为防止驻车机构对动力系统和行驶系统的损坏,必须先按下 Park 挡按钮,取消驻车机构对输出轴的锁止作用,才能有效操作换挡手柄从空挡进入动力挡位,否则系统将一直保持空挡,没有动力输出;车辆在中高速行驶过程中,不会响应 Park 挡按钮信号,系统将保持当前运行状态,只有当车速 v 小于 5 km/h 时,按下 Park 挡按钮,系统才会从当前动力挡位进入空挡,动力中断,车辆滑行,直至车速 v 小于 1 km/h 时,系统控制驻车机构锁止输

出轴,车辆进入驻车状态;车辆在 5 km/h 以下 Park 挡滑行期间,操作换挡手柄进入当前整车状态允许的动力挡位,都将取消 Park 挡信号,车辆重新获得动力。

2 可靠性控制设计

2.1 信号故障处理

为了确保电子换挡手柄传感器信号传输和识别的可靠性,防止因信号故障导致换挡系统无法正常工作,需对 4 路信号的状态进行检测,通过 4 路信号状态组合函数 $C = f(x_1, x_2, y_1, y_2)$,对故障状态进行分类,并作相应处理。传感器信号状态判断如表 2 所示,表中根据各挡位下对应的信号值设定各路信号的判断条件,若满足设定条件则认定该信号正确,不满足则认定信号错误。

表 2 传感器信号状态判断
Tab. 2 Judgment of sensor signal status

条件/V	信号状态															
$(0.5 \leq x_1 \leq 0.9)$ 或 $(2.1 \leq x_1 \leq 2.5)$ 或 $(3.8 \leq x_1 \leq 4.2)$	F	T	F	T	F	T	F	T	F	T	F	T	F	T	F	T
$(0.5 \leq x_2 \leq 0.9)$ 或 $(2.1 \leq x_2 \leq 2.5)$ 或 $(3.8 \leq x_2 \leq 4.2)$	F	F	T	T	F	F	T	T	F	F	T	T	F	F	T	T
$(2.8 \leq y_1 \leq 3.2)$ 或 $(3.7 \leq y_1 \leq 4.1)$	F	F	F	F	T	T	T	T	F	F	F	F	T	T	T	T
$(2.8 \leq y_2 \leq 3.2)$ 或 $(3.7 \leq y_2 \leq 4.1)$	F	F	F	F	F	F	F	F	T	T	T	T	T	T	T	T
C	1	1	1	1	1	2	2	2	1	2	2	2	1	2	2	0
事件	C1	C1	C1	C1	C1	C2	C2	C2	C1	C2	C2	C2	C1	C2	C2	C0

表中,若传感器 X 中的 2 路信号同时出现错误或者传感器 Y 中的 2 路信号同时出现错误,则输出 4 路信号状态组合函数 $C = 1$;若传感器 X 只有 1 路信号出现错误或者传感器 Y 只有 1 路信号出现错误,则输出 $C = 2$;若 4 路信号都正确,则输出 $C = 0$ 。事件表示 4 路信号状态的组合,对应信号状态组合函数 C 值 1 为事件 C1,2 为事件 C2,0 为事件 C0,其中事件 C1、C2 包含信号故障状态,事件 C0 中的 4 路信号都满足设定条件。

通过对传感器信号状态的判断和组合得到的不同故障状态,需要采用其相应的信号处理方法,对信号故障的分类处理如图 3 所示,图中 T_0 和 T_2 分别表示连续输出事件 C0 和 C2 的系统执行周期数。

对于事件 C1,由于 2 个传感器中至少有 1 个传

感器的 2 路信号都出现错误,因此无法根据当前传感器信号判断手柄位置。该故障状态下,系统保持当前挡位,若 C1 连续输出超过 10 个执行周期,为保证行车安全,设定 $x = y = 0$,同时系统进入空挡,动力中断,且一直保持空挡直至重新挂挡。如图 3 所示,故障状态在由事件 C1 进入 C0 或 C2 运行时,需同时满足状态组合函数 $C = 0$ 或 2 且事件 C0 或 C2 连续输出超过 10 个执行周期,才可以进入相应故障状态进行手柄位置判断。

对于事件 C2,由于传感器 X 和传感器 Y 都最多只有 1 路信号出现错误,因此可以通过各传感器中正确的信号判断手柄位置。该故障状态下,首先判断传感器 X,若 x_1 正确则 $x = x_1$,否则 $x = x_2$,再以同样的方法判断传感器 Y,并通过手柄位置判断函数 $P = f(x, y)$,判断当前的手柄位置。

事件 C0 中由于传感器 4 路信号都正确,因此设定 $x = x_1, y = y_1$,并判断当前手柄位置。如图 3 所示,该事件下,只要出现 4 路信号状态组合 $C = 1$ 或 2,系统即进入相应的故障状态。

2.2 策略冗余

经故障处理后的信号在传输给电控单元 ECU

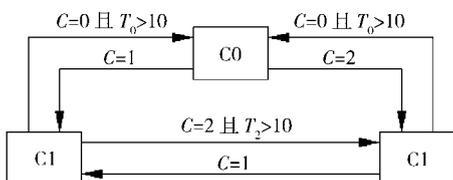


图 3 信号故障处理

Fig. 3 Signal fault handling

进行挡位状态判断的过程中仍有可能出现异常,从而导致系统对挡位的错误判断,因此需要通过系统控制策略进一步对该故障做冗余处理。手柄位置判断的冗余处理如表3所示,传感器信号 x 和 y 只要有一个出现错误,经手柄位置判断函数 $P=f(x,y)$ 计算输出 $P=1$,系统即进入空挡,整车动力中断。

表3 手柄位置判断冗余

Tab.3 Redundancy judgment of handle position

条件/V	信号状态					
$0.5 \leq x \leq 0.9$	T	F	F	F	F	F
$2.1 \leq x \leq 2.5$	F	T	F	F	F	F
$3.8 \leq x \leq 4.2$	F	F	T	F	F	F
$2.8 \leq y \leq 3.2$	F	F	F	T	F	F
$3.7 \leq y \leq 4.1$	F	F	F	F	T	F
P	1	1	1	1	1	1
手柄位置	N挡	N挡	N挡	N挡	N挡	N挡

此外,在车辆行驶过程中,为防止跳挡导致传动系统受损,影响行车安全,设定操作手柄换挡需在目标挡位停留0.5 s以上,方能进入目标挡位。若停留时间小于0.1 s,则认定该情况为跳挡,并保持当前挡位不变;若停留时间在0.1~0.5 s之间,则认定该情况为换挡过快,为配合驾驶员换挡意图并保证行车安全,设定该情况下系统进入空挡,整车动力中断,直至重新换挡且有效停留时间超过0.5 s。

3 仿真测试

3.1 控制系统

图4所示为通过Simulink建立的电子换挡手柄信号控制模型^[8]。图中Signal_Input为信号输入模块,包括刹车踏板开度信号 α 、车速信号 v 和驻车挡信号Park,以及4路传感器信号 x_1 、 x_2 、 y_1 和 y_2 ;Signal_Processing为信号故障处理模块,输入4路传感器信号,经故障处理后输出信号 x 和 y ;Handle_Position为手柄位置判断模块,输入经故障处理后的传感器信号 x 和 y ,经手柄位置判断函数及策略冗余算法输出当前手柄位置 P ;Control_Logic为换挡

信号控制逻辑模块,通过该模块最终输出挡位状态 S 。在Matlab环境下,采用MotoTron快速控制原型开发工具^[9-10],将图4所示的控制模型编译成代码,并刷写进ECU中,构成快速控制原型测试系统,通过该系统对换挡手柄信号的可靠性控制方法进行仿真测试^[11]。

3.2 测试及结果分析

图5~7为仿真测试的输入信号,其中图5为传感器X信号,图6为传感器Y信号,图7为刹车踏板开度 α 、车速 v 和驻车挡信号;图8为仿真测试的输出信号,包括手柄位置 P 和挡位状态 S 。

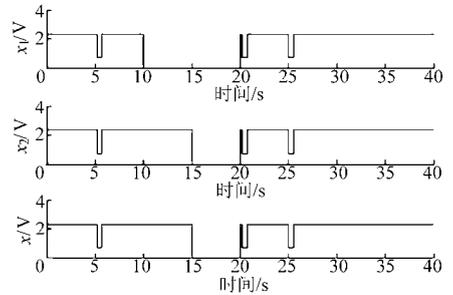


图5 传感器X信号

Fig.5 Signal of sensor X

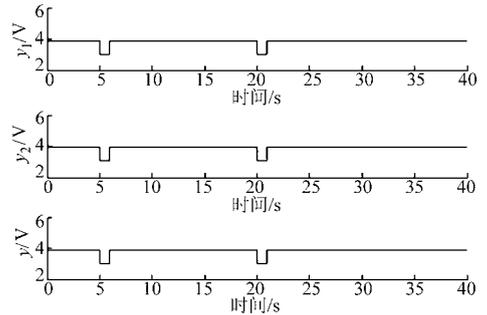


图6 传感器Y信号

Fig.6 Signal of sensor Y

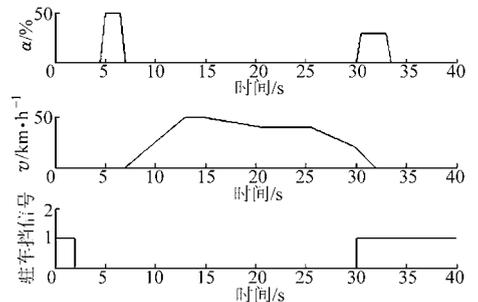


图7 刹车踏板开度、车速及驻车挡信号

Fig.7 Signal of brake pedal opening, speed and parking

设定仿真时间为40 s,系统执行周期为50 ms。开始阶段,车辆处于驻车状态,系统默认为空挡,按下Park挡按钮,系统打开驻车锁止机构,允许车辆起步;第5秒开始,踩踏刹车踏板至50%开度,同时操作换挡手柄经空挡位置进入D挡位置,停留0.6 s后再经空挡位置回到原始挡位,系统由空挡进入前

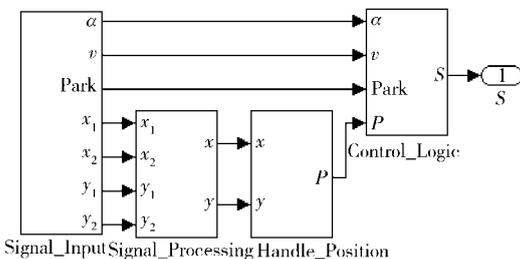


图4 电子换挡手柄信号控制模型

Fig.4 Control model of electronic shift handle signal

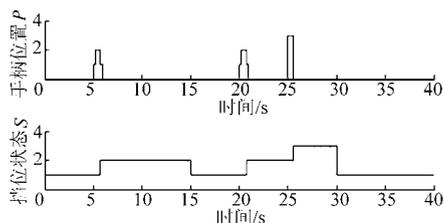


图8 手柄位置及档位状态

Fig. 8 Signal of handle position and shift status

进挡 D 挡, 松开刹车踏板, 车辆起步, 车速缓慢增加; 在第 10 ~ 15 秒之间, 检测到 $x_1 = 0$, 信号错误, 而其他 3 路信号正常, 系统触发事件 C2, 令 $x = x_2$, 经计算后保持 D 挡状态; 在第 15 ~ 20 秒之间, 检测到传感器 X 的 2 路信号都为 0, 触发事件 C1, 且 C1 连续输出超过 10 个执行周期, 为保证行车安全, 令 $x = y = 0$, 系统由 D 挡进入空挡, 车辆滑行降速; 第 20 秒开始, 重新操作换挡手柄至 D 挡位置, 检测 4 路传感器信号正常, 车辆进入 D 挡运行状态; 第 25 秒开

始, 操作换挡手柄至 DB 挡位置, 系统由 D 挡进入带发动机倒拖的 DB 挡, 车辆减速运行; 第 30 秒开始, 按下 Park 挡按钮, 系统进入空挡, 动力中断, 同时踩踏刹车踏板, 车辆减速直至静止, 系统控制驻车机构锁止输出轴, 车辆进入驻车状态。

4 结论

(1) 该控制方法可以满足驾驶员正常的换挡需求, 防止因换挡误操作导致车辆行驶状态的改变及动力系统和行驶系的冲击和损坏, 保证换挡平顺。

(2) 采用分类方法处理信号故障, 可以简化处理方法, 防止因信号故障导致换挡系统无法正常工作, 保证换挡信号控制的可靠性。

(3) 经故障处理的信号通过策略冗余算法可防止因信号传输和识别异常导致系统对挡位的错误判断和跳挡的出现, 保证换挡可靠性及车辆行驶安全。

参 考 文 献

- Xiong Weiwei, Zhang Yong, Yin Chengliang. Optimal energy management for a series-parallel hybrid electric bus[J]. Energy Conversion & Management, 2009, 50(7): 1730 ~ 1737.
- 张华, 周荣. 混联式混合动力汽车控制策略开发与仿真研究[J]. 汽车技术, 2007(8): 27 ~ 29.
Zhang Hua, Zhou Rong. Development of control strategy and simulation research for series-parallel HEV[J]. Automobile Technology, 2007(8): 27 ~ 29. (in Chinese)
- Yang H, Kim B, Park Y, et al. Analysis of planetary gear hybrid powertrain system part 2: output split system[J]. International Journal of Automotive Technology, 2009, 10(3): 381 ~ 390.
- 王庆年, 刘志茹, 王伟华, 等. 混合动力汽车正向建模与仿真[J]. 汽车工程, 2005, 27(4): 392 ~ 394, 398.
Wang Qingnian, Liu Zhiru, Wang Weihua, et al. Modeling and simulation of hybrid electric vehicles[J]. Automotive Engineering, 2005, 27(4): 392 ~ 394, 398. (in Chinese)
- 张金乐, 马彪, 张英锋, 等. 双离合自动变速器换挡特性与控制仿真[J]. 农业机械学报, 2010, 41(5): 6 ~ 11.
Zhang Jinle, Ma Biao, Zhang Yingfeng, et al. Shift dynamics and control of dual clutch transmissions[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(5): 6 ~ 11. (in Chinese)
- 王斌, 刘昭度, 王仁广, 等. 汽车电子节气门模糊控制器快速控制原型设计[J]. 农业机械学报, 2007, 38(11): 9 ~ 11, 16.
Wang Bin, Liu Zhaodu, Wang Renguang, et al. Design of rapid control prototyping for automotive electronic throttle fuzzy controller[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(11): 9 ~ 11, 16. (in Chinese)
- 孙文凯, 郭永斌, 蒋元广. 基于模糊逻辑的混合动力汽车节气门快速控制原型[J]. 小型内燃机与摩托车, 2009, 38(4): 45 ~ 48.
- Gao D W, Mi C, Emadi A. Modeling and simulation of electric and hybrid vehicles[J]. Proceedings of the IEEE, 2007, 95(4): 729 ~ 745.
- 章健勇, 吕世亮, 陈林, 等. 基于快速原型系统的汽油机控制策略开发[J]. 车用发动机, 2011(2): 25 ~ 28.
- 陆文昌, 高海宇, 孟鑫, 等. 基于 MotoTron 平台的 ETC 控制系统设计与试验研究[J]. 内燃机工程, 2010, 31(6): 59 ~ 64.
Lu Wenchang, Gao Haiyu, Meng Xin, et al. Rapid prototyping and validation for ETC system based on MotoTron development platform[J]. Chinese Internal Combustion Engine Engineering, 2010, 31(6): 59 ~ 64. (in Chinese)
- Grepl R, Lee B. Modeling, parameter estimation and nonlinear control of automotive electronic throttle using a rapid-control prototyping technique [J]. International Journal of Automotive Technology, 2010, 11(4): 601 ~ 610.