

文章编号: 1004-4353(2015)04-0348-03

汽车电子制动踏板模拟器中 传感器的容错控制研究

李冰, 许一男*

(延边大学工学院 计算机科学与技术专业, 吉林 延吉 133002)

摘要: 根据汽车电子制动踏板模拟器的物理结构和运动特性,建立了电子制动踏板模拟器的数学模型. 针对电子制动踏板模拟器中搭载的角位移传感器和踏板力传感器,提出了一种传感器的容错控制架构模型. 软硬件仿真实验结果表明,电子制动踏板模拟器中的传感器在出现故障的状态下,电子制动踏板模拟器仍能准确地估计出传感器的输出值,使电子制动踏板模拟器仍能正常运行,提高了电子制动踏板模拟器的可靠性.

关键词: 传感器; 容错控制; 电子机械制动器; 电子制动踏板模拟器

中图分类号: TP11

文献标识码: A

A study of sensor fault-tolerant control for vehicle electronic brake pedal simulator

LI Bing, XU Yinan*

(Department of Computer Science & Technology, College of Engineering,
Yanbian University, Yanji 133002, China)

Abstract: A mathematical model of the vehicle electronic brake pedal simulator is established according to the physical structure and motion characteristics of that. A sensor fault diagnosis method is proposed for the angular displacement sensor and pedal force sensor in electronic brake pedal simulator. The SW/HW simulation results show that in a sensor failure, the fault-tolerant control architecture model estimates the sensor output value in the normal state, which makes electronic brake pedal emulator can still operate normally, so as to further improve the reliability of electronic brake pedal simulator.

Key words: Sensor; fault-tolerant control; electro-mechanical brake; electronic brake pedal simulator

随着汽车电子化进程不断加快和汽车制造技术不断成熟,基于线控技术(x-by-wire)的电子机械制动系统(Electro-mechanical Brake, EMB)逐渐成为下一代汽车制动系统的发展方向^[1-2]. 电子制动踏板模拟器是驾驶员与 EMB 执行器之间的桥梁,它能给驾驶员提供与传统制动系统类似的制动踏板感觉^[3-4]. 良好的制动踏板感觉,不仅可以提高驾车舒适性和安全性,而且是驾驶员对纯电动汽车制动系统性能主观评价的主要因素,所以电子制动踏板模拟器的性能好坏具有重要意义.

义. 电子制动踏板模拟器由踏板感觉模拟器、踏板单元传感器、踏板及支撑架等组成,如图 1 所示. 其中一旦传感器出现故障,就会无法正确地描述驾驶员的制动意图,造成整个 EMB 系统的失效,易导致交通事故;因此,电子制动踏板模拟器的传感器要具有容错控制能力^[5-6]. 为了准确地描述驾驶员的制动意图,并在电子制动踏板模拟器中的传感器出现故障时,电子制动踏板模拟器仍能正常运行,本文提出了一种基于解析重构模型的自适应容错控制方法.

收稿日期: 2015-11-13

* 通信作者: 许一男(1980—),男,副教授,研究方向为汽车电子控制、车载总线网络.

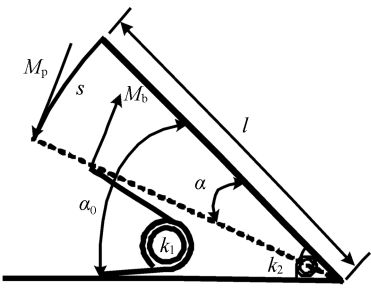


图 1 电子制动踏板模拟器的物理结构

1 电子制动踏板模拟器的数学模型

电子制动踏板模拟器中搭载的角位移传感器用于测量踏板的转角变化,压力传感器用于测量踏板力,扭转弹簧用于模拟踏板感觉,当驾驶员松开踏板时,扭转弹簧使踏板回复原位.根据电子制动踏板的运动特性,在惯性条件下其运动方程描述为:

$$J\ddot{\alpha} = M_p - [M_b - (k_2\alpha + d\dot{\alpha})], \tag{1}$$

式中 α 为踏板角位移, M_p 是踏板力矩, M_b 是踏板反向力矩, k_2 是复位弹簧系数, d 是衰减系数, J 是惯性系数. 根据方程(1),建立电子制动踏板模拟器的状态方程:

$$\begin{cases} \dot{x} = Ax + Bu, \\ y = Cx. \end{cases} \tag{2}$$

其中 $x = \begin{bmatrix} \dot{\alpha} \\ \alpha \end{bmatrix}$, $A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -k/J & -d/J \end{bmatrix}$, $B = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$, $C = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$.

根据电子制动踏板模拟器的物理结构,建立踏板力矩和踏板力之间的关系表达式:

$$M_p = F_p l, \tag{3}$$

式中 F 为踏板力, l 为踏板长度.

2 基于解析重构模型的容错控制架构模型

当故障检测器检测出传感器的故障之后,需要隔离故障传感器,并建立故障传感器的重构模型.故障传感器的输出信号可以利用电子制动踏板模拟器的数学模型和无故障传感器的信号值来估计.由于电子制动踏板模拟器的移位过程较短,对踏板角速度和角加速度的影响小,因此在描述踏板力与踏板角位移的关系时可以忽略踏板角速度和角加速度.根据式(1),可以建立角位移传感

器的重构模型(式(4))和踏板力传感器的重构模型(式(5)):

$$\hat{\alpha}_1 = \frac{-M_p + M_b}{k_2}, \tag{4}$$

$$\hat{M}_{p1} = M_b - k_2\alpha. \tag{5}$$

本文通过电子制动踏板模拟器的角位移传感器和踏板力传感器的重构模型来建立容错控制架构,如图 2 所示.

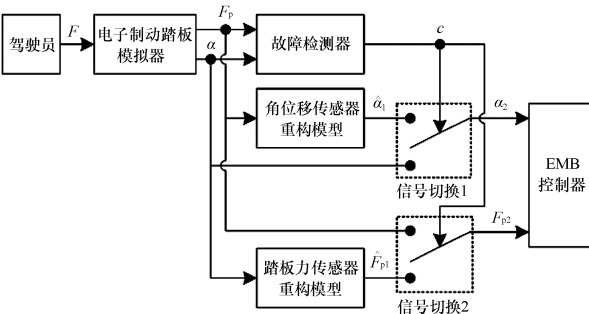


图 2 电子制动踏板模拟器的容错控制架构模型

图 2 中,电子制动踏板模拟器接收驾驶员的踏板力 F 之后,输出踏板力传感器信号 F_p 和角位移传感器信号 α . 踏板力传感器信号 F_p 同时输入到故障检测器和角位移传感器的重构模型,角位移传感器信号 α 同时输入到故障检测器和踏板力传感器的重构模型.即通过故障检测器来检测两种传感器的故障,即通过角位移传感器的重构模型来估计出故障角位移传感器的输出值 $\hat{\alpha}_1$,通过踏板力传感器的重构模型来估计出故障踏板力传感器的输出值 \hat{F}_{p1} . 信号切换模块的输入信号为电子制动踏板模拟器中传感器的实际值和传感器重构模型的估计值,由控制信号 c 来控制.当角位移传感器无故障时,信号切换模块 1 的输出信号为实际传感器的信号,即 $\alpha_2 = \alpha$;当角位移传感器出现故障时, $\alpha_2 = \hat{\alpha}_1$. 当踏板力传感器无故障时,信号切换模块 2 的输出信号为实际传感器的信号,即 $F_{p2} = F_p$;当踏板力传感器出现故障时, $F_{p2} = \hat{F}_{p1}$. 按此方式,最终把相应传感器的输出值发送给 EMB 控制器.

3 仿真实验

为验证本文所提出的容错控制方法的可靠性,利用商用的电子制动踏板模拟器来实现硬件在环实验,如图 3 所示.在电子自动踏板模拟器上

输入的踏板角位移和踏板力的传感器信号各通过放大器放大信号后进行 A/D 转换,从而获得 2 种传感器的数字信号. 为了实现基于硬件系统的集成控制目标,本研究利用 ARM 处理器和 FPGA 来实现故障诊断模块和容错控制模块. 上述 2 种传感器的数字信号各输入到故障诊断单元和容错控制单元,其最终的信号通过 D/A 转换之后输出到示波器.

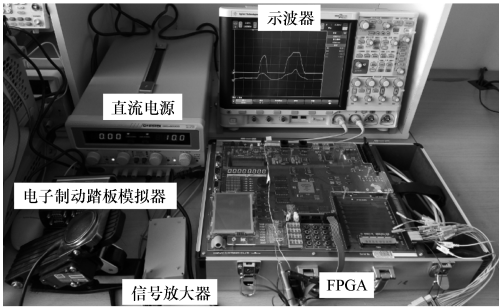


图 3 硬件在环实验环境

图 4 为踏板角位移传感器的硬件仿真结果图,其中:(a)为踏板力传感器的实际输出值,该传感器正常运行;(b)为踏板角位移传感器的实际输出值,在 0 到 3.1 s 之间该传感器正常运行,在 3.1 s 时刻该传感器出现了故障,因此该时刻输出信号为零;(c)为踏板角位移传感器的容错控制输出值,该信号在 3.1 s 时刻检测出故障之后能较准确地估计出踏板角位移传感器的输出信号.

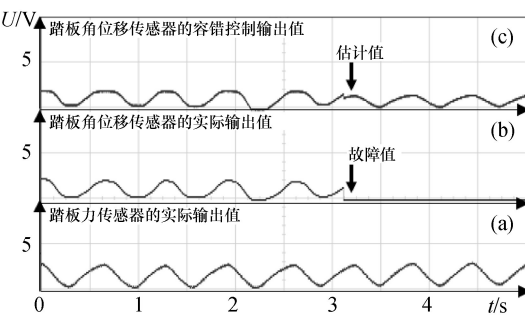


图 4 踏板角位移传感器的硬件仿真结果图

图 5 为踏板力传感器的硬件仿真结果图,其中:(a)为踏板角位移传感器的实际输出值,该传感器正常运行;(b)为踏板力传感器的实际输出值,在 0 到 3.1 s 之间该传感器正常运行,在 3.1 s 时刻该传感器出现了故障,因此该时刻输出信号为零;(c)为踏板力传感器的容错控制输出值,该信号在 3.1 s 时刻检测出故障之后能比较准确地

估计出踏板力传感器的输出信号.

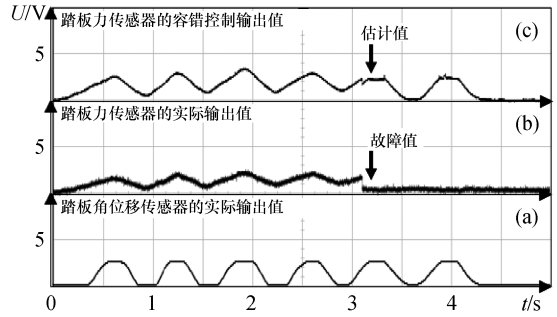


图 5 踏板力传感器的硬件仿真结果图

4 结论

本文建立了一种电子制动踏板模拟器的数学模型,并建立了一种基于解析重构模型的传感器自适应容错架构模型. 当检测到传感器存在故障时,信号切换到故障传感器的重构模型,在硬件在环实验环境下能准确地估计出传感器正常工作状态时的信号. 本文的研究结果提高了电子制动踏板模拟器的主动安全性和可靠性,但本文研究的电子制动踏板模拟器的数学模型方案在非线性和非线性状态下建立数学模型有待进一步研究.

参考文献:

[1] 张冬明. 新能源汽车推广应用相关政策及趋势分析[J]. 汽车工业研究, 2015(1):19-23.

[2] 张晨曦,文福拴,薛禹胜,等. 电动汽车发展的社会效益综合分析[J]. 华北电力大学学报, 2014,41(3): 55-63.

[3] Dardanelli A, Alli G, Savaresi S. Modeling and control of an electro-mechanical Brake-by-wire actuator for a sport motorbike[C]//5th IFAC Symposium on Mechatronic Systems. Marriott Boston Cambridge, United States of America. International Federation of Automatic Control, 2010:524-531.

[4] Choe B D, Hwang W H, Huh K S. Modeling of EMB (Electro Mechanical Brake) to emulate gearbox fault and control[J]. Transactions of the Korean Society of Automotive Engineers, 2012,20(6):33-38.

[5] Li C Y, Xu Y N. Research of fault detection and diagnosis for EMB sensors system based on particle filter[J]. International Journal of Modeling and Optimization, 2014,4(4):342-345.

[6] Foo G H B, Zhang X, Vilathgamuwa D M. A sensor fault detection and isolation method in interior permanent-magnet synchronous motor drives based on an extended Kalman filter[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2013,60(8):3485-3495.