

汽车安全气囊控制器测试验证平台设计与实现

杨志邦¹, 徐成¹, 周旭², 田峥¹

YANG Zhibang¹, XU Cheng¹, ZHOU Xu², TIAN Zheng¹

1. 湖南大学 计算机与通信学院, 长沙 410082

2. 嘉兴学院 数学与信息工程学院, 浙江 嘉兴 314001

1. School of Computer and Communication, Hunan University, Changsha 410082, China

2. College of Mathematics and Information Engineering, Jiaxing University, Jiaxing, Zhejiang 314001, China

YANG Zhibang, XU Cheng, ZHOU Xu, et al. Design and implementation of testing and validation platform for automotive airbag controller. *Computer Engineering and Applications*, 2011, 47(27): 65-68.

Abstract: The designing process of airbag control system requires a lot of crash data to verify the correctness of the algorithm. The real collision is too expensive and difficult to repeatedly. For these reason, a platform for testing and validation of the airbag control system is designed. Through converting collision curve and adjusting the parameters such as the timing and magnitude, a simulated acceleration sensor whose output is the same with actual collision curves is designed. Through the synchronization of multiple analog acceleration sensors and adding the fault simulation, a testing and validation platform is implemented. Compared with the existed method, the platform in this paper is scalable and easy to build, and it is flexible to satisfy the variety needs of testing requirement during the development of airbag control system.

Key words: airbag; test and validation; acceleration sensor; collision curve; synchronization

摘要: 汽车安全气囊控制器设计过程中需要大量的碰撞数据来对其进行测试验证。针对实际碰撞实验代价过高、难以重复的缺点,设计了一种面向安全气囊控制器的测试验证平台。通过对实际碰撞曲线进行转换,调整时间、幅度等参数,设计输出与碰撞曲线一致的模拟加速度传感器;对多个模拟加速度传感器进行时间同步,加入故障模拟,构成模拟测试平台。实验表明,新的平台与现有方案相比,具有构建方便、可扩展性强和灵活度高等特点,能够很好地满足汽车安全气囊控制器开发过程中的各种测试验证需求。

关键词: 安全气囊; 测试验证; 加速度传感器; 碰撞曲线; 同步

DOI: 10.3778/j.issn.1002-8331.2011.27.018 文章编号: 1002-8331(2011)27-0065-04 文献标识码: A 中图分类号: TP273

1 引言

汽车发生碰撞时,驾驶员和乘员因为惯性继续向前运动,与车内构件发生碰撞,这是车辆事故中人员受伤的最主要原因^[1]。安全气囊作为一种被动安全装置,是汽车乘员辅助保护系统(Supplemental Restraint System, SRS)的重要组成部分,已成为汽车生产的标准配置^[2]。安全气囊控制系统通过准确及时低点爆气体发生器,在短时间内产生大量的气体,人员与车体之间铺垫一个气垫,利用气体的阻尼作用来吸收惯性产生的动能,减轻人体伤害程度^[3]。如何正确控制点火是安全气囊研制的主要内容^[4]。

在安全气囊控制器的研制过程中,需要进行大量的碰撞实验,得出点火控制的最佳电气参数,对算法进行调整^[5]。然而,实际碰撞需要专门的测试环境,实验耗时和代价高昂。另外,实际碰撞测试很难模拟传感器故障等异常,从而难以验证算法对异常情况的处理效果。因此,在安全气囊开发过程中,需要寻找一种简便可行的方法来模拟汽车碰撞情况,从而快

速调整控制算法。目前常用的方法是波形发生器模拟碰撞波形。但波形发生器成本高、体积大、操作不方便,每个波形发生器所拥有的通道数有限。而目前中高档汽车上都安装了多个的碰撞传感器,采用波形发生器进行模拟会面临系统连线复杂,多个模拟信号之间不能同步等问题^[6]。

针对汽车安全气囊控制器开发过程中存在的难题,本文设计了一种安全气囊控制器测试验证平台。通过对不同碰撞环境进行分析,解决同步、故障模拟等问题,实现模拟加速度传感器的硬件结构;然后根据实际碰撞曲线,分析曲线特性,对其进行数据转换,调整时间、幅度等参数,在模拟加速度传感器上输出所需的碰撞信息。与已有方案相比,本系统具有如下优点:

(1)考虑了多个模拟加速度传感器之间的同步,采用多个模拟加速度传感器对汽车不同方位的碰撞信息同时进行模拟,构建了汽车碰撞过程的全方位模拟仿真环境,便于气囊控制器的开发调试。

基金项目: 国家自然科学基金(the National Natural Science Foundation of China under Grant No.60973030);核高基重大专项(No.2009ZX01038-001-08)。

作者简介: 杨志邦(1984—),男,博士生,CCF会员,主要研究领域为嵌入式系统,汽车电子;徐成(1962—),男,博士,博士生导师;周旭(1983—),女,通讯作者,助教;田峥(1983—),男,博士生。E-mail: zhouxu2006@126.com

收稿日期: 2011-01-18; **修回日期:** 2011-05-09

(2)针对传感器可能出现的故障,加入故障模拟。通过简便的操作模拟出传感器的各种小概率故障,实现异常情况下气囊控制算法的测试验证。

最后通过硬件制版对平台功能进行实际验证。结果表明,本文的测试验证平台达到了预期效果,与现有方案相比,提出的平台具有构建方便、可扩展性强、灵活度高等特点,能够更好地满足汽车安全气囊控制器开发过程中各种测试需求。

2 系统总体设计

2.1 理论背景

汽车碰撞时所表现出来的物理量为加速度绝对值的剧增。汽车安全气囊控制系统需要解决的根本问题就是对碰撞信息做出及时正确的反应^[7]。目前的汽车安全气囊控制系统多加采用速度传感器来判断汽是否发生碰撞^[8]。

加速度传感器的输出可用一条加速度曲线来表示,该曲线的横坐标为时间轴,纵坐标为对应时间的加速度值,所表示的意义就是汽车某个位置上的加速度变化趋势^[9]。加速度传感器性能对于汽车安全气囊非常重要,一般需要满足以下三个方面要求^[10]:

(1)要保证实时性,汽车工业标准要求安全气囊在正确的时间点做出正确的反应,传感器实时检测到碰撞信息是控制系统做出正确反应的前提。

(2)数据准确性,目前通常采用微电子机械系统(Micro Electro Mechanical systems, MEMS)技术来保证^[11],它是一种对微米/纳米材料进行设计加工的技术,可以将机械构件、光学系统、驱动部件、电控系统集成在一起构成一个微型系统。

(3)错误信息的及时反馈。需要传感器支持自检功能,控制系统可以方便查询传感器内部工作状态,从而及时发现可能出现的各种错误。

2.2 系统需求分析

在本文中,参考典型加速度传感器进行模拟系统设计。目前主要的加速度传感器均采用MEMS技术来实现加速度传感器的设计,带自检功能^[12]。参考真实传感器功能,所设计的安全气囊测试验证平台需要满足如下的功能性和非功能性需求:

(1)与真实加速度传感器的接口一致,连接方便。

(2)可以方便地修改所模拟的曲线以及时间、幅值等参数,实现不同类型汽车碰撞的模拟。

(3)可以模拟传感器损坏、连线错误等异常情况。

(4)需要具备同步、自检等功能。

在以上需求基础上,通过解决关键软硬件问题,加入同步触发信号和故障模拟功能,完成平台的软硬件设计和集成测试。

3 关键硬件电路设计

3.1 加速度输出电路设计

模拟加速度传感器最重要的功能就是输出加速度信息,对于加速度的输出电路设计则更为重要。本文中加速度输出信号的硬件设计方法如图1所示。

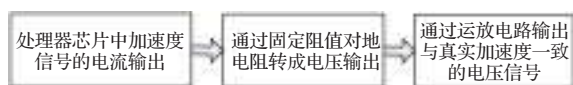


图1 加速度输出的硬件设计流程图

由于系统中数字/模拟转换器为电流工作方式,通过不同

的电流来表示不同的数值。而真实的加速度传感器使用电压来表示不同的数值。本文将电流输出连接到一个精确的电阻上,将电流转换为对应的电压值,然后通过运算放大电路,将电压放大到与真实加速度传感器一致,实现加速度信号的模拟输出。模拟加速度信号的电路设计如图2所示。

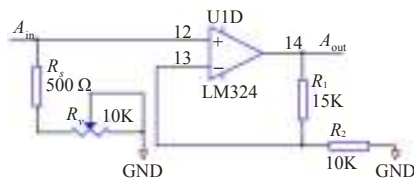


图2 模拟加速度信号电路图

图2中, A_{in} 处的最大输出电流为2 mA,本文通过固定阻值电阻 R_1 和可调电阻 R_2 构成一个精准的1 kΩ对地电阻,从而使得 A_{in} 处的最大输出电压为2 V,再通过LM324对信号进行放大,电路的电压放大倍数 M_x 由电阻 R_1 、 R_2 决定,计算方法如公式(1):

$$M_x = 1 + \frac{R_1}{R_2} \quad (1)$$

本文中 R_1 的阻值为15K, R_2 的阻值为10K,通过式(1)可得电路的放大倍数 M_x 为2.5,从而最大输出电压从2V放大到5V,与真实加速度传感器一致。如果需要改变输出电压范围,可以通过调整 R_1 和 R_2 的阻值而快速实现,满足不同加速度传感器的模拟需求。

3.2 同步与故障模拟电路设计

测试验证平台设计中的一个难点在于多个模拟加速度传感器信号之间的同步。由于汽车上需要安装多个加速度传感器,它们会对一个碰撞事件同时进行反应。而模拟传感器是独立工作的,在模拟碰撞时就需要保证不同模拟传感器之间的协同工作,需要处理多个模拟传感器之间的同步问题。

本文通过在模拟传感器上增加同步信号来实现多个传感器之间的同步。将不同模拟传感器的同步信号连接到一起,共同连接到外部安全气囊控制芯片的同步端口。这样,当气囊控制系统发出同步信号时,各模拟传感器能够同时收到该信号,开始系统计时,通过软件设计实现测试验证平台的同步。

加速度传感器是一种集机械、电子于一体的设备,在汽车上长期工作时可能会由于受潮、老化等原因出现故障,这对于安全至上的安全气囊系统是必须考虑的。现有的加速度传感器通常带有自检功能,能够及时检测出传感器失效、电路故障传感器发生的异常。但异常情况在实际测试验证中很难出现,也就无法确保气囊控制系统在异常情况能作出正确的反应。针对此问题,本文设计的模拟加速度传感器设置了故障模拟功能。通过开关电路采集外部输入的故障激励信号,处理器对该信号进行识别判断,然后模拟出所对应的传感器故障现象。

4 关键软件技术设计

4.1 软件设计流程

本文设计的模拟加速度传感器采用单片机作为处理器芯片,其软件设计过程遵循单片机的设计流程。与通用的单片机设计的不同在于,本文设计的模拟速度传感器需要进行加

速度曲线模拟, 其设计过程又包含了曲线数据转换等操作。

软件设计中的关键操作就是根据控制逻辑对各类数据进行判断处理, 从而实现系统的特定功能。软件设计流程如图3所示。

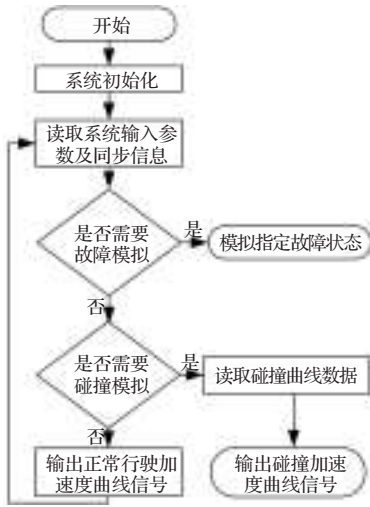


图3 软件设计的数据流程图

4.2 加速度曲线模拟设计

模拟加速度传感器最重要的是对加速度曲线的模拟, 这也是软件设计的重点之一。在实际碰撞过程中, 加速度的值通常位于 10 g 到 100 g 之间 (g 为重力加速度), 汽车上通常采用的加速度传感器量程为 50 g 到 100 g。实际传感器的加速度信号是通过电压来表示的, 不同量程的加速度传感器, 其加速度与电压的对应关系是不同的。模拟传感器的输出电压 V_{out} 与加速度 a 之间的对应关系如公式(2)所示:

$$V_{out} = \frac{V_s}{2} - (Sensitivity \times \frac{V_s}{V_c} \times a) \quad (2)$$

其中 V_s 为供电电压, 单位为 V; $Sensitivity$ 为加速度灵敏度, 单位为 mV/g, 不同类型传感器的灵敏度不同; V_c 为系统标准输入电压, 通常情况下供电电压 V_s 很难和 V_c 保持完全一致; a 为输入的加速度, 单位为 g。

本文所采用的是电流型 DAC, 不同的数值是通过不同的电流来表示的。电流与所代表的数值之间的关系如公式(3)所示:

$$I_{out} = \frac{N_{in}}{N_{max}} \times I_{max} \quad (3)$$

公式(3)中, N_{in} 为 DAC 所要表示的数字量, 通过修改此变量来输出不同的电流; N_{max} 为 DAC 能表示的最大数目, 本文采用的是 10 位的 DAC, 则 N_{max} 为 1 024, I_{max} 为电流型 DAC 输出的最大电流, 在本文中为 2 mA。

已经在前面的硬件设计上实现了电流型 DAC 到电压型 DAC 的转换, 其转换关系如公式(4)所示:

$$V_{out} = (I_{out} \times R) \times M_x \quad (4)$$

其中 R 为设置的电阻阻值, 在本文中为 1 k Ω , M_x 为放大倍数, 本文中为 2.5。

根据公式(2)~(4), 可以得出真实加速度值 a 与程序中所对应的输入变量 N_{in} 之间的关系, 如公式(4)所示:

$$N_{in} = \frac{\frac{V_s}{2} - (Sensitivity \times \frac{V_s}{V_c} \times a)}{I_{max} \times R \times M_x} \times N_{max} \quad (5)$$

根据公式(5), 对于每个真实的加速度值 a , 根据真实传感器参数对程序进行设定, 就可以计算出所对应的 DAC 输入值 N_{in} , 经过硬件电路处理就可以得到与真实传感器一致的加速度信号输出。

5 系统验证

从正确性和有效性两个方面对本文系统进行模拟验证。

5.1 正确性分析

为了验证系统的正确性, 本文对模拟加速度传感器进行了制版调试。采集某次实际碰撞实验中汽车左前、右前、左侧、右侧 4 个位置的碰撞曲线, 运用公式(5)分别对其加速度值进行转换。将转换后的数据输入到模拟加速度传感器, 用示波器捕获其模拟输出。实际碰撞曲线与示波器所捕获的模拟加速度曲线对比效果如图4所示。

在图4中, (a)~(d)对应了左前、右前、左侧、右侧 4 个位置的实际碰撞曲线, (e)~(h)为示波器所捕获的模拟加速度传感器所产生的模拟输出。通过图片的对比可以发现, 本文设计的模拟加速度传感器能够准确地模拟各类实际碰撞曲线, 从而证明了系统的正确性。

5.2 有效性分析

为了进一步证明本文系统的有效性, 采用 4 个模拟加速度传感器, 将其与安全气囊控制系统相连进行汽车模拟碰撞测试, 4 个模拟加速度传感器分别用于模拟汽车上左前、右前、左侧、右侧 4 个位置的真实加速度传感器。系统连接方式如图5(a)所示。编写上位机程序对各个模拟输出进行检测, 捕获到的四路模拟碰撞输出如图5(b)所示。图5(a)上方为 4 个分散的模拟加速度传感器, 分别代表安装在汽车 4 个特定位置上的真实传感器, 构成一个测试验证平台, 然后与位于左下的气囊控制系统相连。气囊控制系统通过 CAN 总线将系统的内部运行状况进行输出, 从而通过上位机的监控程序可以实现对各路模拟输出的监控。为了达到更好的模拟效果, 模拟加速度传感器与真实的加速度传感器一致, 统一由气囊控制系统供电。气囊控制系统启动后, 对各个传感器进行检测, 各模拟传感器根据自检规则做出相应的反馈, 表明其工作正常。在系统运行过程时, 启动模拟碰撞事件, 各模拟传感器首先通过同步信号实现系统之间的同步, 然后同时输出不同方位的模拟碰撞曲线。从图5(b)可以看出, 四路模拟碰撞曲线同时产生, 其中红色为左前模拟曲线输出, 粉色为右前模拟曲线输出, 白色为左侧模拟曲线输出, 蓝色为右侧模拟曲线输出。通过与图5中曲线对比分析可以得出, 测试验证平台能够很好地协同工作, 各个模拟传感器工作正常, 能够正确地模拟汽车碰撞情况, 达到了预期效果。

6 结论

汽车安全气囊控制器开发过程中, 实车碰撞成本过高, 而且很难检测算法对于传感器异常等特殊情况的处理。针对此问题, 本文对气囊控制器开发过程中所需的碰撞环境进行分析研究, 从硬件、软件的选型及开发着手, 设计了一种用于安全气囊控制器开发的测试验证平台。平台可以根据不同需

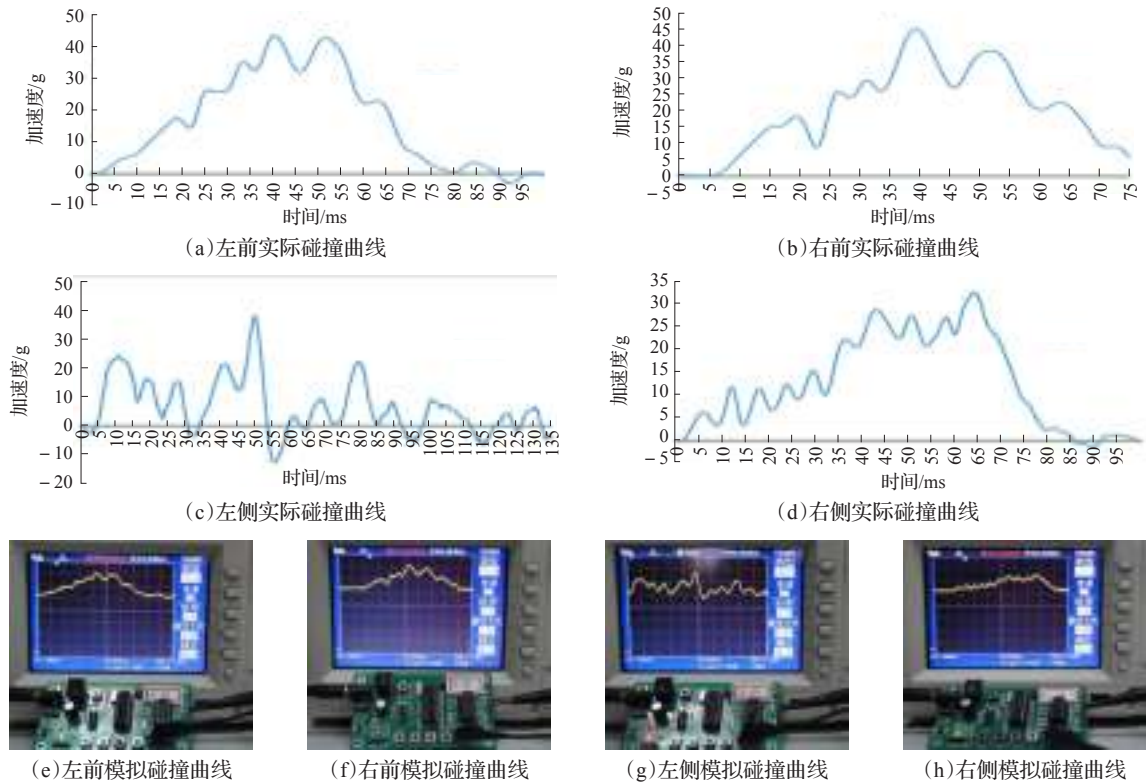


图4 实际碰撞曲线与模拟加速度曲线对比

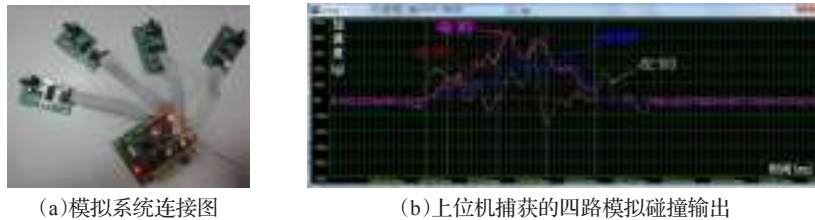


图5 模拟系统应用测试效果图

求,模拟出各种汽车碰撞环境,便于安全气囊控制器的测试开发。通过实际测试表明,本文开发的测试验证平台达到了预期效果,可以灵活方便地满足汽车安全气囊控制器开发过程中对于各种碰撞环境的模拟需求。

参考文献:

- [1] 杨济匡,吴亚军,张斌.汽车侧面碰撞中头胸部安全气囊的优化研究[J].湖南大学学报:自然科学版,2010(1):23-28.
- [2] Mon Yijen. Airbag controller designed by adaptive-network-based fuzzy inference system[J]. Fuzzy Sets and Systems, 2007, 158(24): 2706-2714.
- [3] 钟志华,张维刚,曹立波,等.汽车碰撞安全技术[M].北京:机械工业出版社,2003.
- [4] 何文,钟志华.汽车安全气囊工作性能仿真实验验证技术研究[J].机械工程学报,2002,38(4):126-129.
- [5] Lin C H. Modeling and simulation of van for side impact sensing tests[C]//Proceedings the 20th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, Lyon, France, 2007: 8-21.
- [6] Lee S, Hong S A. Shape and tether study of mid-mounted passenger airbag cushion using design of experiment[C]//TNO Automotive Safety Solutions, Proceeding of 9th International MADYMO User's Meeting, Como, Italy, 2002: 1-5.
- [7] 郑维,张金换,黄世霖.双向加速度合成气囊控制算法及其抗路面干扰特性[J].清华大学学报,2003,43(2):250-253.
- [8] Erjavec J. Automotive technology: a systems approach[M]. New York: Delmar Cengage Learning Press, 2005.
- [9] Akiko A, Takayuki S, Shinji F, et al. Aggressively reducing structure of large vehicles inside vehicle-to-vehicle crash, 2005-01-1355[R]. SAE Paper, 2005.
- [10] Biehl M, DeJiu C, Törngren M. Integrating safety analysis into the model-based development toolchain of automotive embedded systems[J]. ACM SIGPLAN Notices, 2010, 45(4): 125-132.
- [11] 谢勇君,史铁林,刘世元. MEMS结构离面微运动测试系统设计与实现[J].计算机工程与应用,2010,46(7):66-68.
- [12] 周云山,钟勇.汽车电子控制技术[M].北京:机械工业出版社,2004.