

基于目标跟踪的IPMC测控系统设计

范敏^{a,b},于敏^a,李宏凯^a,尹国校^a

(南京航空航天大学 a. 仿生结构与材料防护研究所; b. 航天学院,江苏 南京 210016)

摘要:针对IPMC驱动和性能测试的需求,设计了一种IPMC测控系统。控制系统以STM32F103RET6为主控芯片,可输出双极性大电流的正弦波、方波和组合波形,并且输出信号的幅值、频率和占空比可调;位移检测系统基于LabVIEW的MeanShift目标跟踪算法,可对IPMC末端进行目标跟踪,并实时显示其在两个方向上的位移。利用该测控系统进行IPMC性能测试实验,验证了其可行性。

关键词:离子聚合物金属复合材料;控制电路;目标跟踪;LabVIEW

中图分类号:TP391 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5276(2020)03-0159-03

Design of Control and Test System of IPMC Based on Target Tracking

FAN Min^{a,b}, YU Min^a, LI Hongkai^a, YIN Guoxiao^a

(a. Institute of Bio-inspired Structure and Surface Engineering and

b. College of Astronautics, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: To meet the requirements of actuating IPMC and the performance test, an control and test system for IPMC is designed. In the control system, STM32F103RET6 is used as main control chip, which can be used to output bipolar large current waveforms, such as sine wave, square wave and the combination of waves. The amplitude, frequency and duty ratio of output signal can be adjusted. In the displacement test system, MeanShift target tracking algorithm based on LabVIEW, can be used to track the target of the end of IPMC and do the real-time display of the displacement in both directions. This system is used to test the performance of IPMC and verify its feasibility.

Keywords: IPMC; control circuit; target tracking; LabVIEW

0 引言

离子聚合物金属复合材料(ionic polymer metal composite, IPMC)是一种离子型电致动材料,通过在Nafion膜上下表面镀上致密的金属(如Pt、Au)电极层制备而成。IPMC在较低的驱动电压作用下会产生较大的弯曲变形,可用作驱动器^[1]。作为一种新型的智能驱动器,IPMC具有驱动电压低、输出位移大、质量轻、无噪声、柔韧性好等优点^[2],在航空航天、仿生机器人、医学领域的应用越来越广泛。美国NASA^[3]利用IPMC驱动航天器内相机镜头的除尘装置;FENG等^[4]采用柱状IPMC精确驱动光纤,以用于显微眼外科手术;CHEONG等^[5]提出一种无线激活的IPMC,可用在药物输送装置上;YEOM等^[6]研制了一种基于弯曲IPMC的仿生水母机器人。

IPMC的驱动信号一般为正弦波或方波,信号幅值为1V~3V。在性能测试时常用末端位移来衡量IPMC变形量的大小,为避免检测时影响IPMC的运动,常采用非接触方式实现位移检测。本文针对上述IPMC在测试和应用时的需求,设计了一种IPMC测控系统,该系统可以实现驱动IPMC运动和实时显示IPMC弯曲变形位移的功能。

1 测控系统总体设计

测控系统可分为控制系统和位移检测系统,分别用来实现IPMC控制信号发生及IPMC末端位移实时检测两大功能。从组成上讲,测控系统包括硬件和软件两部分。硬件部分由IPMC控制电路板、工业相机(德国BASLER acA1300-200uc USB3.0相机)和PC机组成,软件部分主要包括上位机程序。检测过程中,上位机与控制电路板间通过串口进行通信,利用上位机程序控制电路板产生指定信号并施加给IPMC,驱动IPMC运动,同时对IPMC末端进行目标跟踪,实现IPMC位移的实时检测。测控系统整体如图1所示。

2 控制系统设计

2.1 总体方案

IPMC的驱动信号一般为方波或正弦波,电压幅值<5V,通常为1V~3V,频率为0.1Hz~2Hz,电流为10mA~

基金项目:国家自然科学基金航天联合基金项目(U1637101);国家自然科学基金青年项目(51605220)

第一作者简介:范敏(1993—),女,江苏东台人,硕士研究生,研究方向为IPMC智能驱动器应用。

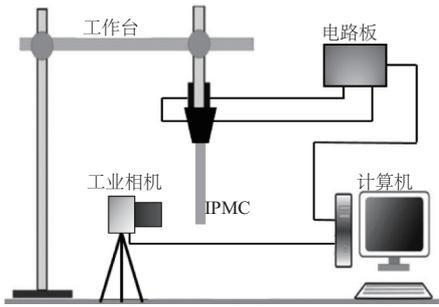


图1 测控系统示意图

150 mA^[7]。基于上述驱动信号的需求,设计了 IPMC 控制系统。该控制系统由 STM32F103RET6 单片机控制模块、D/A 数模转换模块、差分放大模块、按键模块、LED 指示灯模块和串口通信模块等组成,其原理框图如图 2 所示。

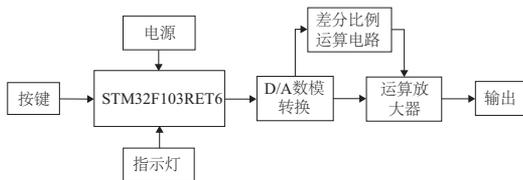


图2 系统原理框图

为了同时分别控制多片 IPMC 运动,控制系统可产生 4 通道独立的模拟信号。系统使用 STM32F103RET6 单片机作为主控芯片,利用单片机内部 2 个通道的 DAC 和数模转换芯片 MAX518 的 2 个输出通道共产生 4 通道的模拟信号,再经过由 OPA551 组成的差分比例运算电路将单极性信号转换为双极性信号,并将输出电流放大至 200 mA,通过程序改变输出信号的波形、频率和幅值,产生可用于控制 IPMC 运动的信号。

2.2 硬件设计

1) D/A 模块

以 MAX518 的一个通道为例,对 D/A 模块进行介绍。MAX518 是双通道轨至轨输出的 2 线串行 8 位 DAC,采用 I2C 总线与 STM32F103RET6 进行通信,其连接电路如图 3 所示。向 MAX518 发送一个 0~255 的数据量,则 MAX518 的输出电压为:

$$V = V_{\text{REF}} \times \frac{n}{255} \quad (1)$$

式中: n 为输入的数字量; V_{REF} 为 MAX518 的参考电压,为 5 V。

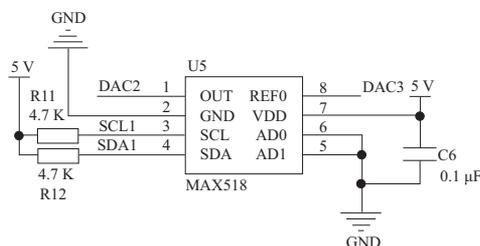


图3 MAX518 的连接电路

2) 运算放大模块

为了实现 IPMC 双向摆动,需给 IPMC 施加双极性信号,并且 IPMC 需要较大的驱动电流,所以使用大电流输出的运放 OPA551 来构成差分比例运算电路。OPA551 是一种高电压(60 V)、大电流(200 mA)、低成本的运算放大器,非常适合负载驱动,内部具有过温和电流过载保护,保证了电路的可靠性。

差分比例运算电路的连接示意图如图 4 所示。

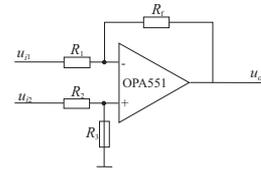


图4 差分比例运算电路示意图

由集成运放的“虚短”和“虚断”特性可知,集成运放的输出电压 u_o 与同相输入端电压 u_{i2} 和反相输入端电压 u_{i1} 的关系为:

$$u_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) \frac{R_3}{R_2 + R_3} u_{i2} - \frac{R_f}{R_1} u_{i1} \quad (2)$$

在实际应用时,取 $R_1 = R_2 = 10 \text{ k}\Omega$ 和 $R_f = R_3 = 20 \text{ k}\Omega$ 时,则该差分放大电路的输出信号为:

$$u_o = \frac{R_f}{R_1} (u_{i2} - u_{i1}) = 2(u_{i2} - u_{i1}) \quad (3)$$

由式(3)可知,当 u_{i2} 输入单极性正弦波信号的电压范围为 0~3 V、 u_{i1} 输入电压为 1.5 V 时,该差分放大电路输出的双极性正弦波信号的电压范围为 -3 V~3 V,实现了将单极性信号转换为双极性信号。

IPMC 控制电路板实物如图 5 所示,电路板总体尺寸为 96 mm×67 mm。



图5 电路板实物

2.3 软件设计

1) 波形的产生

波形的输出是利用单片机向 D/A 转换器的输入端发送一系列有规律的数据量,经过 D/A 转换后得到相应的输出波形。以正弦波为例,正弦信号的电压值时刻都在变化,单片机须在一定的时间间隔下不断地向 D/A 发送数据量。利用 MATLAB 编程,将正弦曲线按相同的时间间隔取点,形成正弦波表,将表内数据存储后,按固定的时间间隔发送给 D/A 转换器,即可输出相应的正弦波信号。

2) 频率变化的实现

改变输出信号的频率可以改变 IPMC 往复摆动的速度和位移。输出信号的频率由定时器中断来控制,定时器

的输入时钟频率设置为 $f_{clk} = 72 \text{ MHz}$ 。通过计算可得输出正弦波的频率 f_{sin} 和定时器自动重装值 TIM_Period 、定时器时钟分频 $TIM_Prescaler$ 以及 1 个周期的正弦波点数 $point$ 的关系为:

$$f_{sin} = \frac{f_{clk}}{(TIM_Period+1)(TIM_Prescaler+1) \times point} \quad (4)$$

3) 幅值变化的实现

改变输出信号的幅值可以改变 IPMC 摆动的位移。通过改变向 D/A 发送的波形数据量的值来调节运算放大器 OPA551 的输入电压 u_{i1} 和 u_{i2} , 即可改变控制系统输出信号的幅值。IPMC 的控制电压通常为 5V 以下, 控制系统的输出电压可以满足要求。

3 基于目标跟踪的实时位移检测系统

3.1 位移检测原理

位移实时检测是利用工业相机对 IPMC 运动过程进行高速连续采样, 对 IPMC 末端进行目标跟踪, 得到其实时位移。目标跟踪可采用均值漂移 (MeanShift) 算法实现^[8]。该算法以目标的颜色直方图为特征, 通过多次迭代均值向量使跟踪结果逐渐收敛到目标实际位置, 能够实现视频流中目标的快速跟踪, 并且对目标的变形、旋转及光照变化具有一定鲁棒性, 能够很好地实现本系统所需功能。

通过对系统功能进行分析, 位移检测软件系统应包括以下模块:

- 1) 串口通信模块。用于实现上位机与控制板间的数据传输。
- 2) 视觉采集模块。用于控制工业相机对运动中的 IPMC 进行高速连续采样并获取图像。
- 3) 目标跟踪模块。用于实现对 IPMC 末端的跟踪, 获取 IPMC 末端实时位移变化。
- 4) 数据可视化及保存模块。用于显示并保存位移检测结果。

3.2 重要模块的实现

软件系统在 LabVIEW 环境下实现。针对本系统需求, 系统中各模块分别编写为独立的虚拟仪器 (VI), 各模块功能可通过调用内置函数实现。

视觉采集模块需调用工业相机对 IPMC 进行连续拍摄, 该功能通过 IMAQ Vision 模块实现。为方便测试结束后对 IPMC 运动过程进行回顾, 采集到的图像可生成视频文件并保存到本地硬盘, 程序框图如图 6 所示。

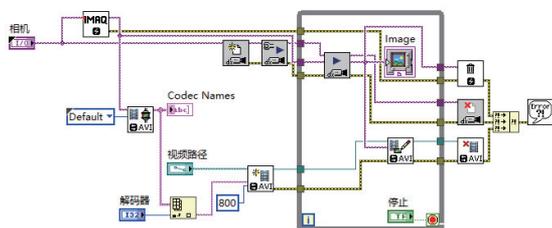


图 6 视觉采集模块程序框图

目标跟踪模块同样通过调用 IMAQ Vision 模块中相应函数实现, 在跟踪前需对跟踪目标进行框选, 目标跟踪过程中可实时获取并显示目标的位置, 程序框图如图 7 所示。

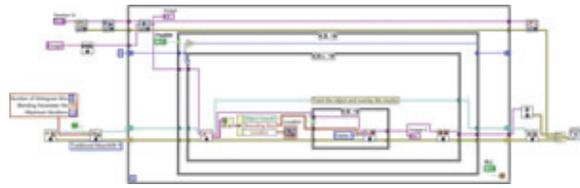


图 7 目标跟踪模块程序框图

人机交互界面如图 8 所示。图 8(a) 为运行过程界面, 用于输入程序运行中必需的参数、选择跟踪目标和显示目标的实时位移。测试结束后按下停止按钮, 程序自动跳转到图 8(b) 所示的数据显示界面, 用于显示控制电路板输出波形、IPMC 末端摆动轨迹及其在 x, y 方向位移变化。

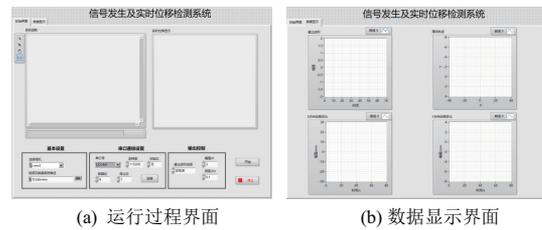


图 8 人机交互界面

4 IPMC 性能测试

实验所用 IPMC 大小为 $25 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$, 厚度为 0.4 mm , 由于其厚度很小, 直接对末端进行目标跟踪容易丢失目标, 因此在 IPMC 末端粘贴 $2 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$ 的方形红色胶带作为标志物, 标志物的中心对准 IPMC 的末端。

测试前框选标志物作为跟踪目标, 在输出控制窗口中选择输出波形为幅值 3V、频率 0.1 Hz 的正弦波, 单击开始按钮, 控制电路板输出信号驱使 IPMC 运动, 同时系统对标志物进行跟踪, 以其中心初始位置作为坐标原点, 水平向右为 x 轴正方向, 竖直向下为 y 轴正方向, 分别计算其在 x, y 方向的位移。测试结束后结果可在数据显示界面进行查看, 图 9 为测试过程中 1 个周期内 IPMC 的部分实时位移截图, 图中数字分别为 x, y 方向的位移。图 10 为自动保存的测试结果图像。

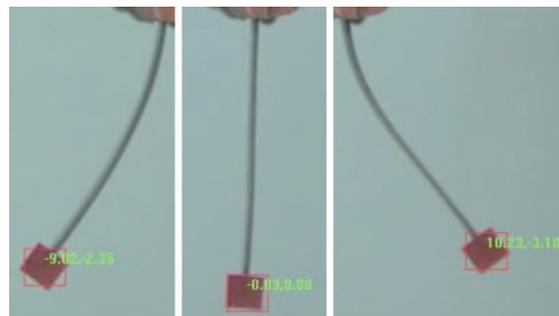


图 9 IPMC 实时位移显示

(下转第 191 页)

4.4 仪器测试

将设计的控制器应用在实验室 PTR-TOF-MS 仪器上,设定好参数后,将丙酮样品放置在进样口,能够获得稳定的质谱图,如图 11 所示,结果表明控制器能够满足 PTR-TOF-MS 使用要求。

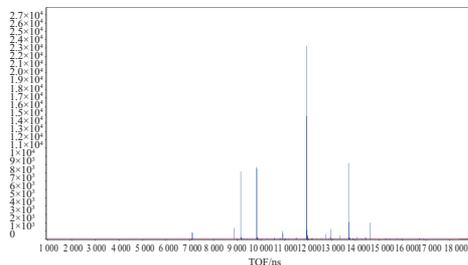


图 11 TR-TOF-MS 质谱图

5 结语

本文基于 STM32 微控制器和嵌入式实时操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{III}$ 完成了 PTR-TOF-MS 控制器的设计,并应用于实验室研制的质谱仪器上,实现了对仪器的集中控制,达到了仪器对控制系统的设计要求,为仪器后续的改进奠定了基础,并对同类仪器的研制工作具有一定参考价值。

参考文献:

- [1] YUAN X, ZHAI L, WEI G, et al. Development of an ion guide device in orthogonal acceleration time-of-flight mass spectrometer coupled with laser resonance ionization source [J]. International Journal of Mass Spectrometry, 2018, 434:52-59.
- [2] 詹雪芳,段忆翔. 质子转移反应质谱用于痕量挥发性有机化合物的在线分析[J]. 分析化学, 2011(10): 1611-1618.
- [3] MÜLLER M, MIKOVINY T, WISTHALER A. Detector aging induced mass discrimination and non-linearity effects in PTR-TOF-MS[J]. International Journal of Mass Spectrometry. 2014, 365/366:93-97.
- [4] JORDAN A, HAIDACHER S, HANEL G, et al. A high resolution and high sensitivity proton-transfer-reaction time-of-flight mass spectrometer (PTR-TOF-MS) [J]. International Journal of Mass Spectrometry. 2009, 286(2):122-128.
- [5] 李金金. 基于 STM32F407 的牵引机控制器的设计[D]. 沈阳:沈阳工业大学, 2018.
- [6] 谢希仁. 计算机网络[M]. 第 7 版. 北京:电子工业出版社, 2017.
- [7] 拉伯罗斯. 嵌入式实时操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{III}$ [M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2014.
- [8] 庄捷辉,王高杰. 模糊 PID 在核酸提取工作站温控系统中的应用[J]. 仪表技术, 2019(1):24-27.

收稿日期:2019-01-28

(上接第 161 页)

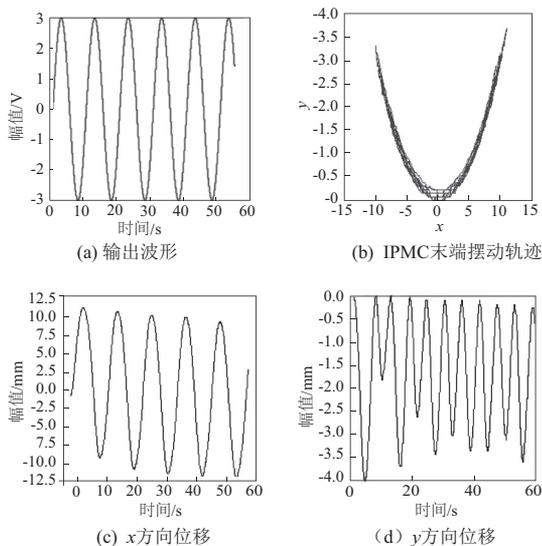


图 10 测试结果图

5 结语

基于智能材料 IPMC 驱动和测试的需求,本文设计了一种基于目标跟踪的 IPMC 测控系统。该系统可产生驱动 IPMC 运动的大电流模拟信号,并且实时显示 IPMC 末端的位移,实验数据、图像和视频可自动保存。利用该系统进行 IPMC 性能测试实验,实验表明,该系统可以很好地驱动 IPMC 并显示记录其位移,验证了其可行性。

参考文献:

- [1] SHAHINPOOR M, KIM K J. Ionic polymer-metal composites: I. fundamentals [J]. Smart Materials and Structures, 2001, 10(4):819-833.
- [2] TIWARI R, KIM K J. Disc-shaped ionic polymer metal composites for use in mechano-electrical applications[J]. Smart Materials & Structures, 2010, 19(6):7.
- [3] BARCOHEN Y, LEARY S P, YAVROUIAN A, et al. Challenges to the application of IPMC as actuators of planetary mechanisms[C]// Spies International Symposium on Smart Structures & Materials, 2000.
- [4] FENG G H, TSAI J W. Micromachined optical fiber enclosed 4-electrode IPMC actuator with multidirectional control ability for biomedical application[J]. Biomedical Microdevices, 2011, 13(1):169-177.
- [5] CHEONG H R, NGUYEN N T, KHAW M K, et al. Wirelessly activated device with an integrated ionic polymer metal composite (IPMC) cantilever valve for targeted drug delivery[J]. Lab on A Chip, 2018, 18(20):3207-3215.
- [6] YEOM S W, OH I K. A biomimetic jellyfish robot based on ionic polymer metal composite actuators [J]. Smart Materials and Structures, 2009, 18(8):10.
- [7] 宋林林,于敏,何青松,等. IPMC 电学性能的实验研究[J]. 机械制造与自动化, 2012, 41(6):130-132.
- [8] 高文,朱明,贺柏根,等. 目标跟踪技术综述[J]. 中国光学, 2014, 7(3):365-375.

收稿日期:2019-02-15