

文章编号:1004-2474(2016)04-0523-04

基于压电薄膜传感器的软抓取机械手研究

千承辉,刘洪立,姜 曜,李书豪,辛 毅

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院,吉林 长春 130026)

摘 要:基于压电效应和热电效应的新型薄膜传感器聚偏氟乙烯(PVDF)设计软抓取机械手,通过采集对抓取和释放过程中电荷量的变化判断抓取状态,利用模糊控制理论调控舵机实现软抓取功能。抓取质量小于1 kg,体积小于 10^{-3} m^3 的物体,平稳移动0.6 m到达指定位置,偏移误差小于3 cm;加入热觉感知功能,温度高于 $60 \text{ }^\circ\text{C}$ 时仿生机械手会自动弹开。基于压电薄膜传感器的软抓取机械手克服了传统机械手无法自主判断夹持力度的弊端,提高了仿生功能。

关键词:聚偏氟乙烯(PVDF);软抓取机械手;模糊控制;压电效应;热电效应

中图分类号:TN304;TP241.3 **文献标识码:**A

A Soft Fetching Manipulator Research Based on the Piezoelectric Thin Film Sensor

QIAN Chenghui, LIU Hongli, JIANG Yao, LI Shuhao, XIN Yi

(Jilin University College of Instrument Science and Electrical Engineering, Changchun 130026, China)

Abstract: A soft fetching manipulator is designed by using the new film sensor PVDF based on the piezoelectric effect and the thermoelectric effect. The grasping state is judged through the change of charge quantity in the process of grasping and releasing, soft fetching is achieved using the fuzzy control theory to regulate the steering gear rotate. The grasping quality is less than 1 kg and the volume is less than 10^{-3} m^3 , at the same time it can grab objects move steady 0.6 m to the specified location with the error less than 3 cm. Adding hot sense perception function, the manipulator can bounce off automatically when the temperature is higher than $60 \text{ }^\circ\text{C}$. The soft fetching manipulator based on the piezoelectric thin film sensor overcomes the disadvantages of traditional manipulator which is unable to judge the clamping force independently, and also improve the bionic function.

Key words: poly vinylidene fluoride(PVDF); soft fetching manipulator; fuzzy control; piezoelectric effect; thermoelectric effect

0 引言

随着社会的发展,机械手已应用到许多领域,代替人手完成各式各样的动作,提高了我们的生活质量。医疗方面出现了骨植入式假肢及已研究出可随步速改进阻尼的智能膝关节和具有感知功能的假手等^[1-2]。

目前设计的肌电假手通过视觉判断是否握住物体,但健康人是通过手皮表的触滑觉感受器来判断是否握好物体,视觉主要用于握取物体的部位和握取姿势的反馈判断。本设计利用了聚偏氟乙烯(PVDF)压电薄膜传感器判断触滑觉和热觉信号,可以使机械手自身判断物体的抓取状态,并可抓取

鸡蛋等易碎物体而保持其完好,良好地实现软抓取功能。另外,融入热觉感知功能,遇到高温物体,机械手会自动弹开,以免损坏机械手^[3-9]。

1 基本原理

1.1 触滑觉判断原理

触滑觉传感器的敏感材料采用有机压电材料PVDF,通过对接触和滑动的不同响应,从PVDF信号中可提取触觉和滑觉信号^[10-11]。触觉信号是物体对传感器施加作用力时产生的电荷经过电荷放大器得到的连续的电压值;而滑觉信号是物体在传感器表面发生相对滑动时产生的一个横向的切向力,从而传感器产生的电荷经放大后形成的。测试证

收稿日期:2015-08-01

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51303062);中央高校基本科研业务费专项基金资助项目(JCKY-QKJC13);吉林大学国家级大学生创新实践基金资助项目(2015650956)

作者简介:千承辉(1975-),女,吉林汪清人,高级工程师,博士,主要从事传感器与微弱信号检测的研究。E-mail:qianch@jlu.edu.cn。通信作者:辛毅(1981-),女,吉林长春人,副教授,博士,主要从事传感器与微弱信号检测的研究。E-mail:yixin@jlu.edu.cn。

明,触觉产生的信号波峰比滑觉产生的一系列信号波峰的最大值大,而热觉信号是一段阶跃信号,然后缓慢回归平稳。因此,对传感器输入到主控制器的信号进行求特征值处理,并得出结果,然后对所得结果求取方差,通过程序的预设求出各种感觉信号的阈值,最后通过与设定的触觉、滑觉阈值进行比较,就可以区分出触滑觉和热觉。

1.2 电荷放大器原理

电荷放大器事实上是负反馈放大器,但考虑实际因素,电荷放大器等效电路图如图1所示。

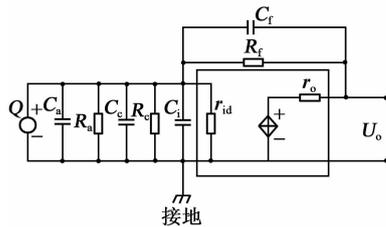


图1 电荷放大器实际等效电路图

设 C_c 、 R_c 为连接电缆的分布电容和绝缘电阻, C_i 为运算放大器的输入电容, r_{id} 、 r_o 分别为运算放大器的差分输入电阻和输出电阻,放大器的等效输入电阻和电容分别为

$$(R_a // R_c // r_{id}) \gg R_f / (1 + A) \quad (1)$$

式中: R_a 为传感器自身等效电阻; R_f 为反馈电阻; A 为放大系数; $//$ 为电阻并联。

$$C = C_a + C_c + C_i + (1 + A)C_f \quad (2)$$

式中: C_a 为传感器自身等效电容; C_f 为反馈电容。

将电阻转换成电导来计算,设压电传感器的供电角频率为 ω ,忽略 r_o ,实际电荷放大器的输出电压为

$$U_o = -A \cdot U_i = -A \frac{Q}{C} \cdot \frac{1}{(1/j\omega GC) + 1} = -AQ \frac{1}{j\omega G + C} \quad (3)$$

式中: U_i 为输入电压; Q 为输入电荷量; G 为电导值。

$$(1 + A)C_f \gg C_a + C_c + C_i \quad (4)$$

若满足式(1)、(4),那么有 $R \approx R_f / (1 + A)$ 即 $G \approx (1 + A)G_f$ (G_f 为反馈电导)及 $C \approx (1 + A)C_f$,代入式(3)可近似为

$$U_o \approx -AQ \frac{1}{1 + j\omega(1 + A)G_f + (1 + A)C_f} \quad (5)$$

所以,电荷放大器的输出与压电元件自身电容和电缆线长无关,输出电压只取决于输入电荷 Q 及 C_f 、 R_f 。当工作频率足够高时, $G_f \ll \omega C_f$,故 G_f 也可略去,则有^[12]

$$U_o \approx -AQ \frac{1}{(1 + A)C_f} \approx -\frac{Q}{C_f} \quad (6)$$

2 总体设计

2.1 系统设计框图

系统由信号采集、信号处理、处理器反馈控制,舵机执行机构和人机交互界面等组成,如图2所示。

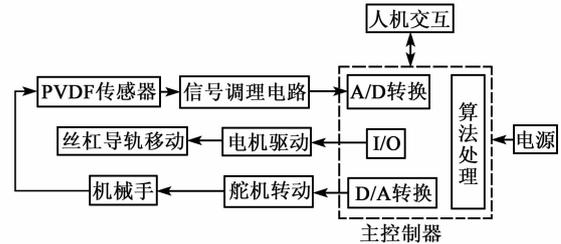


图2 系统框图

由图2可知,通过信号调理电路将PVDF采集到信号进行处理,通过A/D转换送到处理器进行算法分析,通过舵机调控机械手实现抓取功能,再利用步进电机使抓取物体的平稳移动。

2.2 机械手设计

机械手所有支架配件均采用厚为3 mm的铝板,具有良好的稳定性,手的张合通过舵机控制,配备MG996金属舵机,使输出更稳定,工作电压为3.0~7.2 V,转向关节处均采用进口杯式轴承,不仅可以使转向更灵活,且还可以使舵机的转向在同一圆心。如图3所示,机械手固定在水平导轨上,在机械手内侧贴有PVDF压电薄膜传感器,用于感应触滑觉和热觉信号,机械手的张合通过机械手上装有的舵机来实现,通过步进电机控制可以使机械手上、下和左、右移动,由此可以抓取物体从一处平稳地移动到另一处。其中,丝杠导轨长度可根据实际情况改变,以满足不同场合的要求。

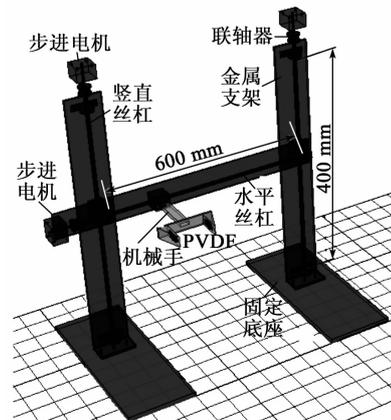


图3 二维丝杠导轨结构图

2.3 信号调理主要电路

由于PVDF压电薄膜传感器释放电荷信号,因此,在信号处理过程中首先应经过电荷放大器作为

前置放大电路, PVDF 具有输出高阻抗的特点, 根据阻抗匹配原则, 在电荷放大电路一级选择 $10\text{ M}\Omega$ 的大阻值电阻, 以提高信号的准确性。另外加入一级反相放大电路, 对信号进行放大处理, 使单片机可以捕获进而对信号系统进行反馈控制。由于人体动作频率普遍低于 100 Hz , 因此, 设计 100 Hz 低通巴特沃兹有源滤波器, 去掉干扰信号。最后连接 50 Hz 工频陷落电路, 采用双 T 型带阻滤波器, 去掉工频干扰, 信号调理电路图如图 4 所示。

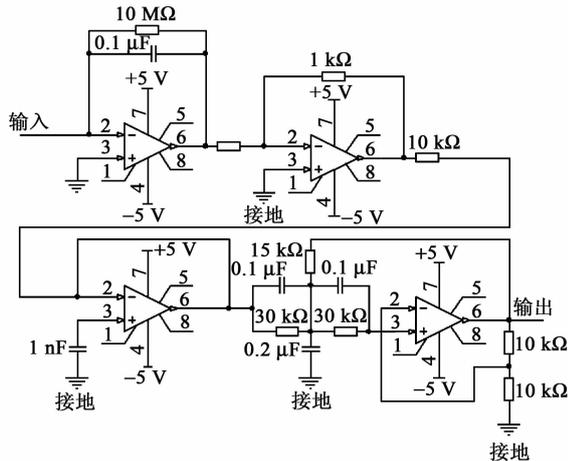


图 4 信号调理电路原理图

3 软件设计

通过传感器输出电压值无法准确判断物体的相对滑动情况, 又因被抓物体的随机性大, 控制模型的设计难度很大。因此, 模拟人的大脑思维方式设计模糊控制软抓取策略。

通过主控制器对信号进行判断, 分析出不同感觉信号, 分别采取相应的措施来控制舵机进而调控机械手实现软抓取, 整体过程的流程图如图 5 所示。

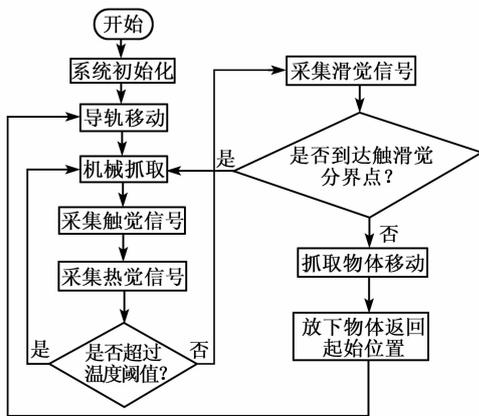


图 5 系统整体流程图

4 测试结果及分析

室温下, 将质量约为 60 g 的鸡蛋和盛有水(质量约为 50 g)的纸杯作为测量对象(见图 6,7), 测试机械手软抓取特性。经过实验得出机械手可以平稳抓起纸杯和鸡蛋, 且纸杯不发生形变, 鸡蛋不发生破碎。

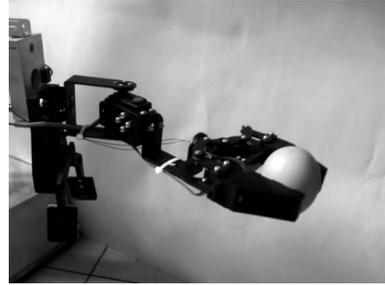


图 6 抓取鸡蛋实物图

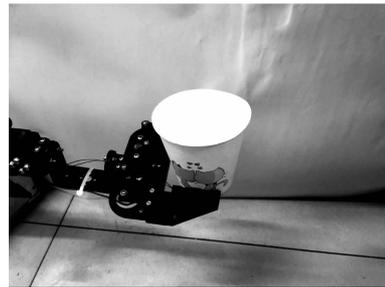


图 7 抓取纸杯实物图

经过对压电薄膜传感器采集的数据进行分析, 判断机械手夹持力度大小, 使其达到不使物体滑落的最小压力。由图 6、7 可知, 该机械手可以安全抓握硬度较小的物体且不发生损坏, 实现了软抓取功能。

将烧至 $40\sim 70\text{ }^\circ\text{C}$ 的热水倒入纸杯中, 启动机械手去接近纸杯, 测量热觉感知功能。经实验, 当温度接近或高于 $60\text{ }^\circ\text{C}$ 时机械手在距离纸杯约 5 mm 处时会迅速弹开, 实现了热觉感知功能。

5 结束语

利用 PVDF 压电薄膜传感器将压电效应和热电效应产生的电荷量通过电荷放大器等信号调理电路转换成电压信号, 采用 Cortex-M3 内核的 32 位 ARM 微控制器 (STM32F103 系列) 做主控制器。利用 12 位 A/D 转换器将信号调理电路产生的模拟信号转换成数字信号, 再通过模糊控制理论, 形成闭环负反馈控制系统。基于压电薄膜传感器的软抓取机械手能安全抓取鸡蛋等脆性较低物体不发生脱落且不至于使其破碎, 抓取质量可达 1 kg , 平稳移动至指定位置偏移误差可小于 3 cm , 接近温度高于

60 °C 物体时机械手也可以迅速弹开,实现了软抓取功能,可广泛用于医疗、信息服务及科研等领域,给人们带来更多方便。

参考文献:

- [1] 金德闻,王人成. 人工智能假肢[J]. 中国临床康复, 2002,5(20):2994-2995.
JIN Dewen, WANG Rencheng. Artificial intelligent prosthesis[J]. Chinese Journal of Clinical Rehabilitation, 2002,5(20):2994-2995.
- [2] 李天博,陈玲,陈坤华,等. 基于 MSP430 的肌电假手系统设计[J]. 传感器与微系统,2012,31(4):75-78.
LI Tianbo, CHEN Ling, CHEN Kunhua, et al. Design of myoelectric controled prosthetic hand system based on MSP430[J]. Transducer and Microsystem Technologies, 2012,31(4):75-78.
- [3] 姜明文,王人成,罗志增,等. 具有触滑觉功能的肌电假手[J]. 清华大学学报(自然科学版),2004,44(8):1051-1053.
JIANG Mingwen, WANG Rencheng, LUO Zhizeng, et al. Myoelectric prosthetic hand with tactile and slip feedback fuctions[J]. Journal of Tsinghua University (Sci & Tech), 2004,44(8):1051-1053.
- [4] 刘旭,武澎,吕延军. 一种柔性 PVDF 压电薄膜传感器的制备方案[J]. 仪表技术与传感器,2016(1):4-6.
LIU Xu, WU Peng, LYU Yanjun. Preparation solutions of flexible PVDF piezoelectric film sensor[J]. Instrument Technique and Sensor, 2016(1):4-6.
- [5] 韩亚丽,祁兵,于建铭,等. 面向助力膝关节的弹性驱动器研制与实验研究[J]. 机器人,2014,36(6):668-675.
HAN YaLi, QI Bing, YU Jianming, et al. Development and experimental study of elastic actuator for a power-assisted knee exoskeleton [J]. Robot, 2014, 36 (6): 668-675.
- [6] 陈卫东,董艳茹,陈颖. 一种新型触滑觉传感器的试验研究[J]. 压电与声光,2010,32(4):571-574.
CHEN Weidong, DONG Yanru, CHEN Ying. Experiment and research of a new tactile and slip sensor[J]. Piezoelectrics & Acoustooptics, 2010,32(4):571-574.
- [7] 罗志增,王人成. 仿生假手触滑觉研究[J]. 传感技术学报,2003(3):233-237.
LUO Zhizeng, WANG Rencheng. Study of tactile sensor in bionical artificial hand [J]. Journal of Sensor Technology, 2003(3):233-237.
- [8] 魏承,赵阳,王洪柳. 基于滑膜控制的空间机器人软硬性抓取[J]. 机械工程学报,2011,47(1):43-54.
WEI Cheng, ZHAO Yang, WANG Hongliu. et al. Space robot soft-hard grasping based on sliding mode control[J]. Journal of Machinical Engineering, 2011, 47(1):43-54.
- [9] 向婷,陈进军. 基于新型压阻触滑觉传感器软抓取机械手的研究[J]. 制造业自动化,2013,35(6):69-71.
XIANG Ting, CHEN Jinjun. Soft grabbing manipulator research based on a new piezoresistive sensor [J]. Manufacturing Automation, 2013,35(6):69-71.
- [10] 辛毅,田红英,蒋琪,等. 基于 LabVIEW 的 PVDF 压电薄膜触滑觉识别系统[J]. 压电与声光,2015,37(5):793-801.
XIN Yi, TIAN Hongying, JIANG Qi, et al. Tactile-slip sense recognition system made of PVDF film based on LabVIEW [J]. Piezoelectrics & Acoustooptics, 2015, 37(5):793-801.
- [11] 辛毅,杨庆雨,郑浩田. PVDF 触滑觉传感器结构及其调理电路设计[J]. 压电与声光,2014,36(1):76-84.
XIN Yi, YANG Qingyu, ZHENG Haotian. Study of tactile & slip sensor on structure and signal conditioning circuit design based on PVDF pizelectric film [J]. Piezoelectrics & Acoustooptics, 2014,36(1):76-84.
- [12] 邓维礼,秦岚,刘俊,等. 基于 Multisim 的准静态电荷放大器仿真分析[J]. 国外电子测量技术,2009,28(4):25-35.
DENG Weili, QIN Lan, LIU Jun, et al. Simulation analysis of a quasi-static charge amplifier based on multisim [J]. Foreign Electronic Measurement Technology, 2009,28(4):25-35.