

一种声电式滑觉传感器的实现与测试

胡燕清¹, 陈进军², 胡国清¹

(1 厦门大学 物理与机电工程学院, 福建 厦门 361005)

2 贵州大学 电气工程学院, 贵州 贵阳 550003)

摘要: 滑觉检测是机械手实现软抓取的关键环节, 提出了一种简易低成本的、以声电转换器为基础的滑觉传感器, 该传感器通过声电转换器拾取由接触与滑动产生的微振动信号, 并将其转换成电信号。具体介绍了以声电转换器为基础实现滑觉传感器的测试分析过程, 并介绍了该传感器的结构与工作原理、调理电路和信号处理。测试分析结果表明: 该传感器可提供有效的接触与滑动信号, 其研究与应用具有一定的可行性。

关键词: 滑觉传感器; 机械手; 声电转换器; 驻极体; 传声器

中图分类号: TP 241 文献标识码: A 文章编号: 1000-9787(2011)03-0128-04

Realization and tests of acoustic-electric slipping sensor

HU Yan-qing¹, CHEN Jin-jun², HU Guo-qing¹

(1. College of Physics and Electromechanical Engineering Xiamen University, Xiamen 361005, China)

2 College of Electrical Engineering Guizhou University, Guiyang 550003, China)

Abstract Slipping detection is important for manipulator grasping object reliably. A simple and low-cost slipping sensor based on acoustic-electric converter is presented. The sensor picked up the micro-vibration signal caused by touching and sliding and converted it into electric signal by acoustic-electric converter. The test and analysis of the realization processes of the sensor is described in detail. The structure, working principle, conditioning circuit and signal processing of the sensor is introduced. The result of the test and analysis demonstrates that it can provide effective touching and sliding signals and the study and application of the sensor have certain feasibility.

Key words slipping sensor; manipulator; acoustic-electric converter; electret microphone

0 引言

滑觉传感器是用来检测机械手手爪与被夹持物体之间相对滑动的装置。它是智能机械手的重要组成部分, 是机械手实现软抓取的关键因素, 它的性能好坏直接决定了机械手能否顺利完成软抓取的任务。目前常见的滑觉传感器有: 触针式滑觉传感器、滚筒式滑觉传感器、磁带式滑觉传感器、电磁式滑觉传感器、光电式滑觉传感器、压阻式滑觉传感器和压电式滑觉传感器等^[1-8], 但其结构复杂, 成本较高。本文提出了一种以声电转换器为基础的滑觉传感器, 即声电式滑觉传感器^[9]。该传感器的最大优点是结构简单、体积小、成本低。测试分析结果表明: 该传感器可有效检测到物体的接触与滑动。

1 传感器原理

声电式滑觉传感器是以声电转换器为基础, 经一定的外围结构工艺改造制作而成。其工作原理是: 当机械手手爪与被夹持物体之间产生接触和相对滑动时, 通过声电转

换器拾取由接触与滑动产生的微振动信号, 并将其转换成电信号。鉴于滑觉传感器体积小、质量轻、成本低、灵敏度高的要求, 且滑觉传感器缓慢滑动时, 由此产生的微振动信号频率很低。而驻极体传声器具有体积小、质量轻、频响宽且低频响应好、灵敏度高和成本低的特点^[10-12], 所以, 这里的声电转换器选用驻极体传声器。

2 传感器调理电路

传感器调理电路的主要功能是提取声电转换器的电信号, 并对信号进行滤波及放大, 使传感器的最终输出信号便于 CPU 的采集与处理。因此, 传感器调理电路主要包括: 传声器偏置电路、低通滤波电路及信号放大电路。

2.1 传声器偏置电路

传声器偏置电路也就是传声器基本工作电路。由于所选的声电转换器为驻极体传声器, 驻极体传声器实际上是一种电容式传声器, 其结构示意图如图 1。所谓“驻极体”, 就是一种“永久荷电体”。在驻极体的两面, “永久”存在正和负电荷。图 1 中, 驻极体的两面分别带有正、负电荷, 其

中正电荷通过场效应管的输入电阻 R_i 加到振膜上, 使传声器头加上了极化电压。当有声波输入时, 声波带动振膜 (内部电容的一个极板) 振动, 因此, 电容两端的电压随之改变, 即传声器输出声频电信号。为了进行阻抗变换, 驻极体传声器内一般都装入一个场效应管 (FET)。

驻极体传声器正常工作必须满足一定的偏置条件, 如图 1 所示, 传声器的 2 个输出端为内部场效应管的漏极 D 和源极 S 其中, 漏极 D 为信号输出, 源极 S 接地, 通过一负载电阻器 R_L 在两端施加一个偏置电压, 这个偏置电压实际上就是保证内部场效应管始终处于放大状态。驻极体传声器的工作电路与元件参数如图 2 所示。

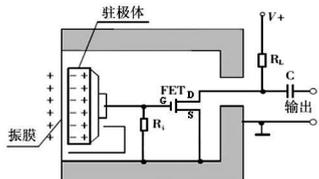


图 1 驻极体传声器示意图

Fig 1 Schematic diagram of electret microphone

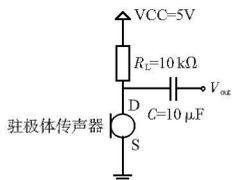


图 2 驻极体传声器工作电路

Fig 2 Working circuit of electret microphone

2.2 低通滤波电路

由于传感器滑动信号频率较低, 为了滤除外界噪声干扰, 在传声器工作电路的输出端加一低通滤波电路^[13], 电路与元件参数如图 3 所示, 该低通滤波器为二阶巴特沃斯低通滤波器, 截止频率为

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}} \approx 1592 \text{ Hz}$$

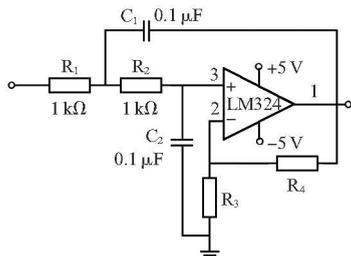


图 3 低通滤波电路

Fig 3 Low-pass filtering circuit

2.3 信号放大电路

由于改造后传声器的缓慢接触信号为 0.04~0.05V, 缓慢滑动信号最大输出幅值可达 0.2V, 信号较小, 因此, 须进行信号放大。传感器信号放大电路如图 4 所示, 放大电路中采用高性能低噪声运算放大器 NE5532A, 设置放大倍数为 $K = R_2 / R_1 = 16$ 。

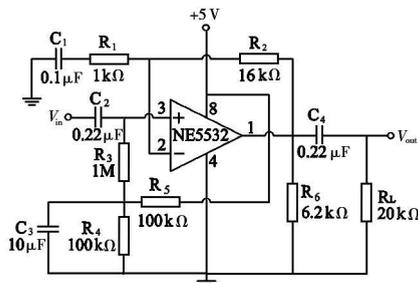


图 4 信号放大电路

Fig 4 Signal amplification circuit

3 传感器实现与测试

3.1 传声器触滑动测试

1) 接触测试

传感器接触信号的输出大小与接触物体的速度有关, 测试所得的波形如图 5 图 6 所示。由图可知, 缓慢接触时, 接触信号微弱, 与干扰信号相差不大, 难以区分与识别; 而快速接触时, 接触信号可达至 0.8V。

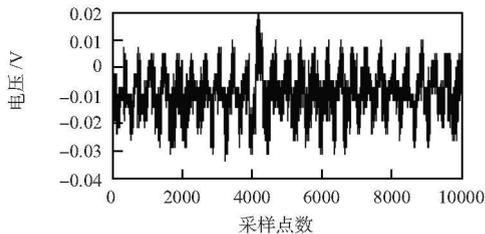


图 5 缓慢接触信号

Fig 5 Slow touch signal

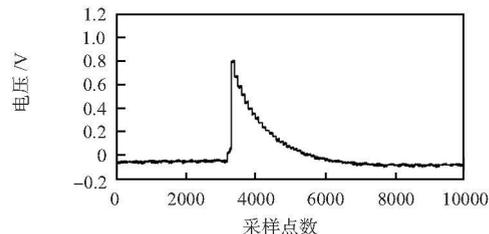


图 6 快速接触信号

Fig 6 Fast touch signal

2) 滑动测试

传感器滑动信号的输出大小与滑动时传感器与物体之间的压力、摩擦系数以及滑动速度有关, 而传感器与物体之间的压力和摩擦系数可归结为滑动摩擦力, 因此, 传感器滑动信号的输出大小与滑动摩擦力和滑动速度有关。滑动信号的频率取决于滑动速度。现保持一定物体摩擦系数不变, 施加大小压力, 从而得到大小摩擦力。摩擦力小和摩擦力大缓慢滑动和快速滑动的测试波形如图 7~图 10。

由上述滑动测试可知, 摩擦力大和摩擦力小快速滑动的情况下, 滑动信号效果较好, 但在摩擦力小缓慢滑动的情况下, 滑动信号微弱不易识别。现对传声器进行如下的改造。

3.2 传声器改造与触滑动测试

传声器的结构工艺改造如图 11 所示^[9], 基座将传声器

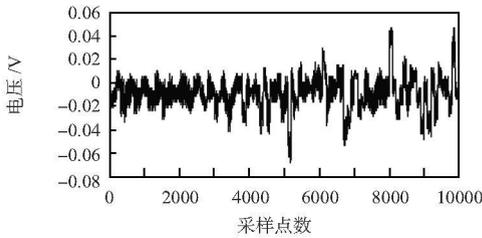


图 7 摩擦力小缓慢滑动信号

Fig 7 Slow slide signal on small friction

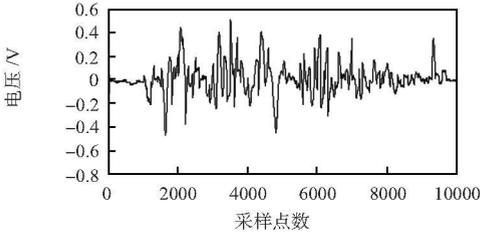


图 8 摩擦力小快速滑动信号

Fig 8 Fast slide signal on small friction

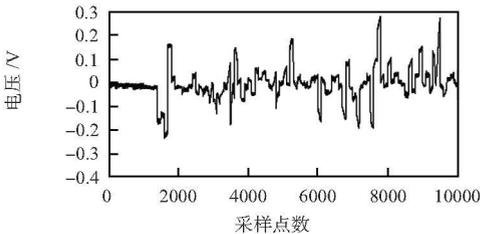


图 9 摩擦力大缓慢滑动信号

Fig 9 Slow slide signal on big friction

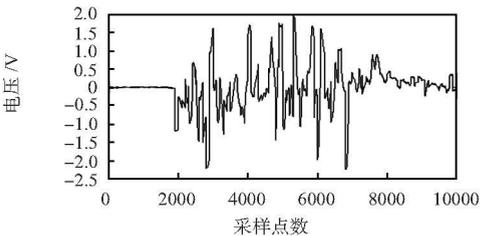


图 10 摩擦力大快速滑动信号

Fig 10 Fast slide signal on big friction

紧固其内,并与振动薄一起将传声器密封,形成一密封腔。基座上上部左右两边为挡板,当传感器与物体接触摩擦时,负责保护传声器不受损坏。振动膜上有一层橡胶膜,当传感器与物体接触摩擦时,通过橡胶膜增大摩擦力,带动振动膜振动,由此,在密封腔形成一振动声波,振动声波有效被传声器拾取并转换成电信号。同时传声器由基座和振动膜密封,外界噪声受到一定的隔离。

对改造后的传声器进行缓慢接触和摩擦力小缓慢滑动的测试,波形如图 12、图 13 所示。

由上述测试可知,改造后传感器的缓慢接触信号明显比改造前的要好,输出幅值虽然不高只有 0.04~0.05V,但与干扰信号有明显的区分。同时改造后传感器的摩擦力小缓慢滑动信号也比改造前的要好,最大输出幅值可达 0.2V。由于改造后传感器的缓慢接触信号和缓慢滑动信号依然较小,

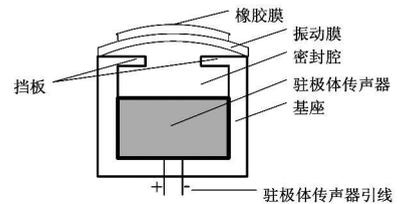


图 11 传感器的结构工艺改造

Fig 11 Structure schematic of sensor

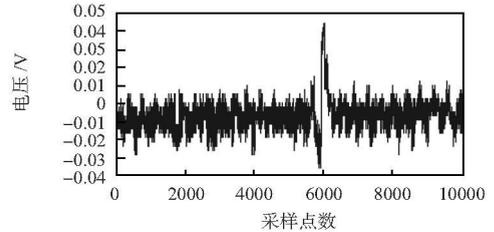


图 12 改造后缓慢接触信号

Fig 12 Slow touch signal after improvement

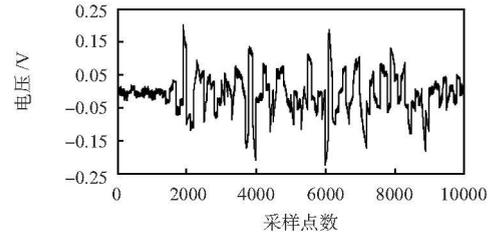


图 13 改造后摩擦力小缓慢滑动信号

Fig 13 Slow slide signal on small friction after improvement

现再对其进行信号放大,放大电路如图 4 所示,放大后的缓慢接触信号和缓慢滑动信号如图 14、图 15 所示。

4 信号处理

由于硬件低通滤波效果不够理想,现采用小波消噪处理方法^[14],对传感器经调理电路的输出信号进行消噪处理。小波消噪的处理方法一般有 3 种: 1) 强制消噪处理,该方法把小波分解结构中的高频系数全部变为 0 即把高频部分全部滤除,然后再对信号进行重构处理。2) 默认阈值消噪处理,该方法利用 $Ddenomp$ 函数产生信号的默认阈值,然后利用 $Wdenomp$ 函数进行消噪处理。3) 给定软(或硬)阈值消噪处理,在实际的消噪处理过程中,阈值往往可以通过经验公式获得,而且,这种阈值比默认阈值更具有可信度。在进行阈值量化处理中可用 $Wthresh$ 函数进行。这里采用软阈值消噪处理方法,对传感器的缓慢接触信号和缓慢滑动信号进行消噪处理,消噪后的波形如图 16、图 17 所示。

5 结论

本文介绍了一种简易低成本的声电式滑觉传感器,该传感器可提供有效的接触与滑动信号。传感器为滤除高频干扰可通过硬件低通滤波和小波消噪,而对于与触觉信号频率相当的低频干扰却无法滤除,解决方法为选用抗干扰能力强的单指向消噪型声电转换器,或者采用绝声性能好且抗电磁干扰能力强的材料制作该传感器,同时在具体特定的应用环境中,可通过取得特定干扰信号的特征(频

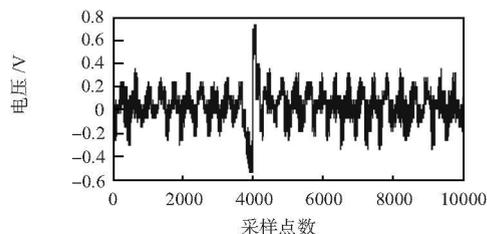


图 14 放大后的缓慢接触信号

Fig 14 Slow touch signal after amplification

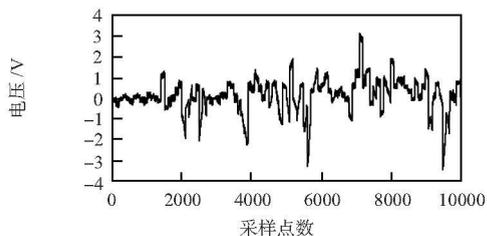


图 15 放大后的缓慢滑动信号

Fig 15 Slow slide signal after amplification

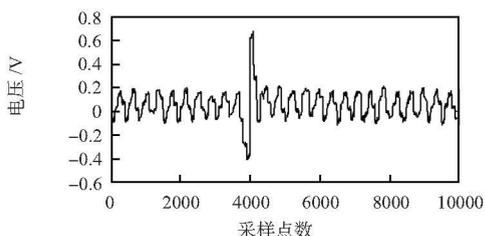


图 16 消噪后的缓慢接触信号

Fig 16 Slow touch signal after wavelet denoising

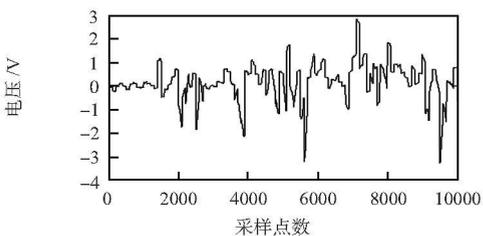


图 17 消噪后的缓慢滑动信号

Fig 17 Slow slide signal after wavelet denoising

率、幅度等), 以及干扰信号与有效信号的区别, 有针对性地采用相应的硬件或软件方法来处理。

参考文献:

- [1] 高国伟. 机器人用滑觉传感器 [J]. 测控技术, 1990(1): 36-38
- [2] 谭定忠, 张立勋, 王立权, 等. 一种光电式机器人滑觉传感器的研究 [J]. 半导体光电, 2000 21(1): 66-68
- [3] 张立勋, 李立勇, 陆海军, 等. 一种机器人光电式滑觉传感器的研究 [J]. 光电工程, 2000 27(2): 48-51.
- [4] 罗志增, 张启忠, 叶明. 压阻阵列触滑觉复合传感器 [J]. 机器人, 2001, 23(2): 166-170
- [5] 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.
- [6] Choi B. Development of anthropomorphic robot hand with tactile sensor SKKU hand II[C]// Proceedings of the 2006 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems Beijing China 2006: 3779-3784.
- [7] Tanaka Y, Tanaka M, Chonan S Development of a sensor system for measuring tactile sensation[C]// IEEE Sensors 2006 EXCO, Daegu Korea 2006: 554-557.
- [8] Goeger D, Ecker N, Woem H. Tactile sensor and algorithm to detect slip in robot grasping processes[C]// Proceedings of the 2008 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics Bangkok Thailand 2009: 1480-1485.
- [9] 胡燕清. 滑觉机械手嵌入式控制系统的设计 [D]. 贵阳: 贵州大学, 2009: 6.
- [10] 陈新. 驻极体电容话筒的原理及应用 [J]. 医学视听教, 1995, 4(9): 236-245
- [11] 何巧, 刘群生, 张向晖, 等. 低频脉冲声传声器的设计 [J]. 电声技术, 2002(9): 47-49.
- [12] 杨鑫峰, 彭科, 徐柏龄. 驻极体单指向性传声器研究 [J]. 电声技术, 2005(8): 24-27.
- [13] 张国雄. 测控电路 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [14] 胡昌华, 李国华, 周涛, 等. 基于 Matlab 6.x 的系统分析与设计——小波分析 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2004.

作者简介:

胡燕清 (1981-), 男, 江西宁都人, 博士研究生, 研究方向为传感器技术。

(上接第 127 页)

- [3] 黄桂平, 李广云, 王保丰, 等. 单目视觉测量技术研究 [J]. 计量学报, 2004 25(4): 314-317
- [4] Liu Dong Xi L in Monocular vision based study on moving object detection and tracking [C]// 2010 4th International Conference on New Trends in Information Science and Service Science (NISS), Korea 2010: 692-695
- [5] 胡钢. 基于单目视觉的运动目标检测与跟踪算法研究 [D]. 南京: 南京理工大学, 2008
- [6] Liverani A, Leali F, Pellicciari M. Realtime 3D features reconstruction through monocular vision [J]. International Journal on Interactive Design and Manufacturing 2010 4: 103-112

- [7] Saxena A, Sun M, Ng A Y. Make 3D: Learning 3D scene structure from a single still image [J]. Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2009 5: 824-840
- [8] 邱茂林, 马颂德, 李毅. 计算机视觉中摄像机定标综述 [J]. 自动化学报, 2000, 26(1): 43-55
- [9] Tsai R Y. A versatile camera calibration technique for high-accuracy 3D machine vision metrology using off-the-shelf TV cameras and lenses [J]. Journal of Robotics and Automation, 1987 3: 323-344

作者简介:

敬泽 (1985-), 男, 四川梓潼人, 硕士, 从事机器视觉测量、图像处理与识别技术的研究工作。