

# 基于 PVDF 的欠驱动多指手滑触觉硬件系统

潘孝业<sup>1</sup>, 胡挺<sup>1\*</sup>, 刘凤臣<sup>2</sup>, 高大牛<sup>1</sup>

(1. 浙江理工大学机械与自动控制学院, 浙江 杭州 310018;

2. 杭州娃哈哈集团有限公司, 浙江 杭州 310009)

**摘要:** 为解决传统果蔬采摘欠驱动多指手抓取力控制精度不高的问题, 提出了一种基于聚偏二氟乙烯(PVDF)压电薄膜技术的新型欠驱动多指手滑触觉系统, 该系统由信号采集和信号处理两个模块组成; 分别设计了滑触觉传感器, 电荷放大、低通滤波、工频限波、电压放大等电路, 并进行了捏取和抓取实验。实验结果表明, 该系统能较好地控制多指手的抓取精度, 实现无损伤抓取, 且具有广阔的应用前景。

**关键词:** 欠驱动机械手; 自适应性; 触觉传感器; 聚偏二氟乙烯

中图分类号: TH122; TM13; TP242

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2012)03-0318-04

## Underactuated multi-fingered hand with tactile sensor hardware system based on PVDF

PAN Xiao-ye<sup>1</sup>, HU Ting<sup>1</sup>, LIU Feng-chen<sup>2</sup>, GAO Da-niu<sup>1</sup>

(1. Faculty of Mechanical Engineering & Automation, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China;

2. Hangzhou Wahaha Group Co. Ltd., Hangzhou 310009, China)

**Abstract:** In order to solve the inaccurate problem of a traditional fruit-vegetable harvesting underactuated multi-fingered hand grasping force, a underactuated multi-fingered hand with tactile system was presented based on polyvinylidene fluorine (PVDF) piezoelectric film technology. The system consists of signal acquisition and signal processing, there were respectively designed that tactile sensor, a charge amplifier circuit, a low pass filtering, a industrial frequency trapped wave, voltage amplifier and so on. The experimental results show that fruits and vegetables be unwounded grabbed by the underactuated multi-fingers hand, and has the wide application prospect.

**Key words:** underactuated robotic hand; self-adaptability; tactile sensor; polyvinylidene fluorine (PVDF)

## 0 引言

机器人智能作业的关键技术之一是软抓取即无损伤抓取。通常情况下, 机械手任务是抓取和操作, 控制夹持力来防止目标物体与机械手之间发生相对滑动和形变。至今为止由于其系统是非线性<sup>[1-2]</sup>, 机构方面未能突破难题。在上述研究中, 机械手与环境的交互通过传感器系统来实现无损伤抓取。

触觉传感器是接触式传感器典型的代表, 其集成接触觉和力觉传感器, 具有成本低、响应快等特性,

适合于机器人传感系统。本研究提出一种结构简单、体积小, 易集成的聚偏二氟乙烯(PVDF)压电式传感器<sup>[3]</sup>。

## 1 系统总体方案

在机器人领域里, 机械手完成精细、复杂作业任务, 应具有决策权, 自动适应环境, 稳定抓取对象。但是, 获得机器人与对象、环境相互作用时的一系列物理特征具有重要意义, 比如, 抓取对象的体积、外形、机械手与对象相互作用的摩擦系数。机械手具备触

收稿日期: 2011-09-26

作者简介: 潘孝业(1985-), 男, 浙江温州人, 主要从事机器人技术及应用方面的研究。E-mail: pan399383689@163.com

通信联系人: 胡挺, 男, 实验师。E-mail: huting@zstu.edu.cn

觉信息,并能在环境中采集相关参数,进行复杂操控任务<sup>[4-6]</sup>。系统实验装置,如图1所示。其主要由欠驱动多指手、直流无刷电机、Copley控制器、滑触觉传感系统4部分组成。

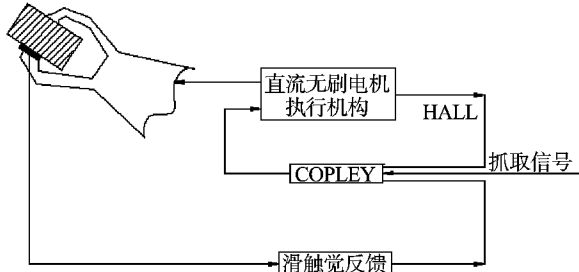


图1 欠驱动手控制方案

## 2 机械本体—欠驱动多指手

理想机械手设计应具备以下特点:①简化机器人整体系统的组装;②提高整体系统的可靠性和稳定性;③降低整体系统应用成本<sup>[7-9]</sup>。

本研究应用欠驱动多指手作为机器人与外界环境交互的夹持器。欠驱动多指手是由3只手指、手掌、手指旋转机构、驱动系统等构成,如图2所示。手指(1)通过耦合连杆(4)与丝杠(6)联接,手指旋转机构(5)能够改变手指方位。包括手指位置旋转自由度在内,该多指手共有11个自由度。3个手指呈120°均匀分布在手掌上,一只手指固定,其他二指可自由旋转并且辅助前面一指完成各种抓取任务。每个手指的三指节之间集成欠驱动机构,均由包络抓取机构和精确捏取机构组成。包络抓取机构(3)采用两套串联的四连杆机构,并且与移动板(7)耦合,驱动三手指的张开和合拢;精确捏取机构(2)采用两套串联的平行四边形连杆机构,用于保持手指末端的姿态。通过手指旋转机构实现包络抓取与精确捏取两种不同抓取方式之间的转换。手指之间应用欠驱动的目的是简化系统机

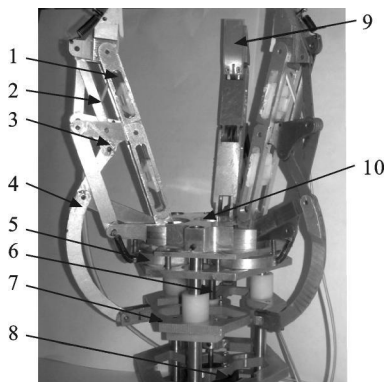


图2 欠驱动手多指手结构

1—手指;2—精确捏取机构;3—包络抓取机构;4—耦合连杆;5—手指旋转机构;6—丝杠;7—移动板;8—直流无刷电机;9—滑触觉传感器;10—手掌

构,本研究采用直流无刷电机(8)驱动三手指运动。

本研究在欠驱动多指手末端指节安装传感器(9),做成30 mm×12 mm的平面,并且在传感器与手指之间加上一层绝缘橡胶表皮保护层,以免造成对传感器的损坏。

## 3 滑触觉传感器设计

滑触觉传感器设计由滑触觉传感器、电荷转换、低通滤波、工频陷波、输出放大、Copley控制器组成,如图3所示。

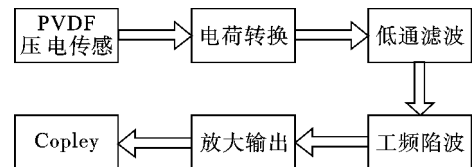


图3 硬件组成图框

### 3.1 PVDF压电传感器

本研究研制出集触觉和滑觉与一体的复合传感器,传感器采用高分子压电材料PVDF作为敏感元件,具有信号无明显滞后现象,频率响应范围广,灵敏度比一般压电材料高等特征。

压电是电介质与力学性质的耦合,沿一定方向在PVDF压电膜表面施加力而使之变形,其内部产生极化现象,同时它的两个表面上产生等量异号电荷;当外力去掉后,恢复不带电状态。在压电弹性变形范围内,电荷密度与作用力之间的关系是线性的,可用以下方程式表达:

$$\frac{Q}{A_3} = d_{33}\sigma_3 = d_{33}\left(\frac{F}{A_3}\right) \quad (1)$$

$$Q = d_{33}F \quad (2)$$

式中: $A_3$ —压电薄膜表面积, $d_{33}$ —其厚度方向上的压电应力常数, $\sigma_3$ —薄膜承受的应力。

PVDF压电传感器由PVDF薄膜和铜片用空心小铆钉铆接而成,引出正负电极,PVDF压电传感器用绝缘橡胶表皮封装,如图4所示。

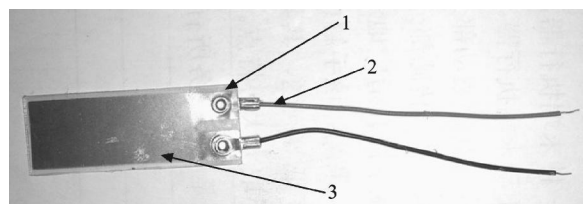


图4 PVDF压电传感器

1—绝缘橡胶表皮保护层;2—铜片;3—PVDF薄膜

### 3.2 调理放大电路

新型触觉传感器在机器人末端执行器实现无损

抓取具有重要意义,但是传感器输出微弱信号和内部高阻抗等因素,因此设计PVDF压电传感器前置放大处理电路应满足以下条件:①将微弱电荷信号转化为电压信号;②将传感器的高阻抗输出变换为低阻抗输出;③将电压信号进行放大<sup>[10]</sup>。调理放大器电路主要由电荷转换电路、低通滤波电路、工频陷波电路、放大输出电路组成。

### 3.2.1 电荷转换

PVDF压电传感器具有压电效应,故可以把传感器等效成静电荷发生器或一种特殊的电容器。压电传感器测试中,电荷放大器是一种必不可少的信号处理电路,这部分的作用是将压电传感器的输出电荷信号 $Q$ 转换成电压信号 $U$ ,同时与PVDF传感器阻抗相匹配,实现阻抗变换,如图5所示。电荷转换电路为第1级,由AD544L电荷电压转换运算放大器、反馈电容 $C_1$ 和反馈电阻 $R_1$ 组成。本研究假设PVDF压电应变常数 $21 \times 10^{-12} \text{ C/N}$ ,以及 $R_1$ 负载电阻为无穷大,加单位力于传感器,经采集的信息传递给电荷转化电路,计算出 $V_{01}$ 点理论电压:

$$V_{01} = -\frac{Q}{C} = -\frac{21 \times 10^{-12} \text{ C/N} \times 1 \text{ N}}{1000 \times 10^{-12} \text{ F}} = -0.021 \text{ V} \quad (3)$$

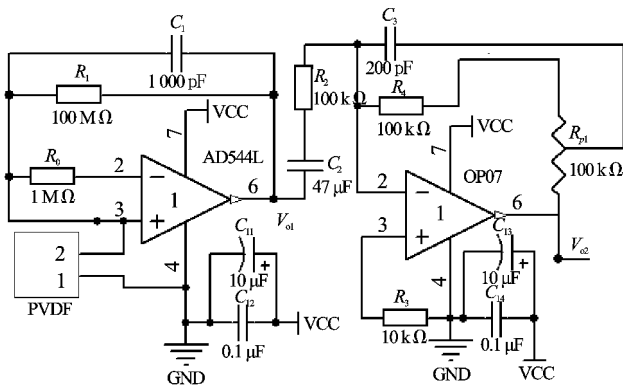


图 5 电荷转换

根据式(3)得,通过调整反馈电容大小实现AD544L运放输出灵敏度值的改变,权衡以下因素:噪声、下限频率、漂移和泄漏现象,本研究选择了比较合适的反馈电容 $C_1$ 值。反馈电容和反馈电阻共同决定电荷放大器的下限频率:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi CR} = \frac{1}{2\pi \times 10^8 \times 1000 \times 10^{-12}} = 1.6 \text{ Hz} \quad (4)$$

第3级的电压放大电路主要由一个最基本的负反馈反相放大器OP07构成,其增益为:

$$A_1 = \frac{V_{02}}{V_{01}} = \frac{R_4 + R_{p1}}{R_2} \quad (5)$$

$R_{p1}$ 是最大阻值为100 kΩ的可调电阻,其闭环增益 $A = -1 \sim -2$ ,因此,放大电路输出的电压信号放大倍数是可以通过改变 $R_{p1}$ 的阻值来调节,以便提供不同的增

益。加单位力于传感器, $V_{02}$ 点输出最大电压为0.042 V。其中 $R_4 + R_{p1}$ 值不能太大,否则会产生较大的噪声及漂移等干扰。

### 3.2.2 滤波电路

由于欠驱动多指手进行抓取动作触发传感器产生触觉、滑动信号,其频率一般在0~100 Hz之间。

第3级由LM358运算放大器和RC元件可以构成双T形有源陷波器,如图6所示,双T形电路形式上对称,由3个电阻和3个电容组成,其参数为 $R_5 = R_6 = 2R_7$ , $R_4 = R_5 = 0.5R_6$ ,陷波频率为50 Hz。

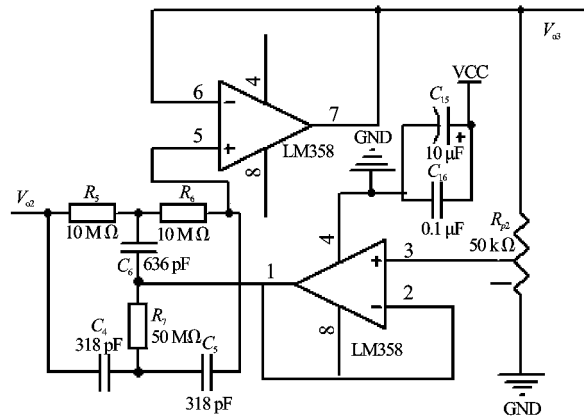


图 6 工频陷波

第4级为2阶低通滤波电路,如图7所示,其参数设计必须满足: $R_8 = R_9$ , $C_7 = C_8$ 。由基尔霍夫定律回路原理得:

$$\frac{V_{04}}{V_{03}} = \frac{K}{(j\omega)^2 R_8 R_9 C_7 C_8 + j\omega (R_8 C_8 + R_9 C_8) + 1} \quad (6)$$

根据式(6)可以得到低通滤波器截止频率:

$$f_1 = \frac{1}{2\pi \sqrt{R_8 R_9 C_7 C_8}} = \frac{1}{2\pi R_8 C_7} = 79.6 \text{ Hz}$$

经过滤波电路的信号放大了4倍。

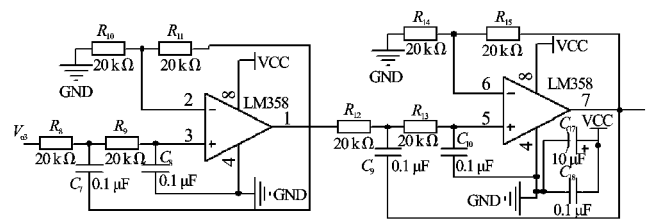


图 7 2 阶低通滤波

### 3.2.3 放大兼输出

放大输出如图8所示,增益为:

$$A_2 = \frac{R_{17}}{R_{16}} = 5 \quad (7)$$

整个前置对传感器信号放大了40倍,为了有效去除噪声,需要用屏蔽线来传输信号,这样明显降低了

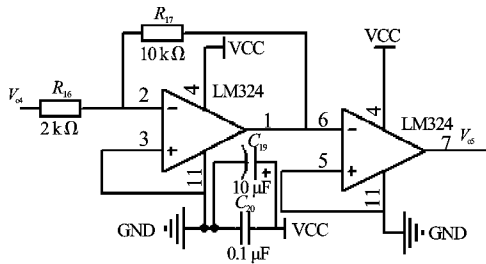


图8 放大输出

传输信号的损耗,同时避免了外部无效信号的干扰。

本研究根据上述硬件进行了测试,当物体接触滑触觉传感器后,PVDF触觉传感器发出阶跃信号,如图9所示,若物体与传感器之间有相对滑动,PVDF触觉传感器会产生交变电压信号,如图10所示。

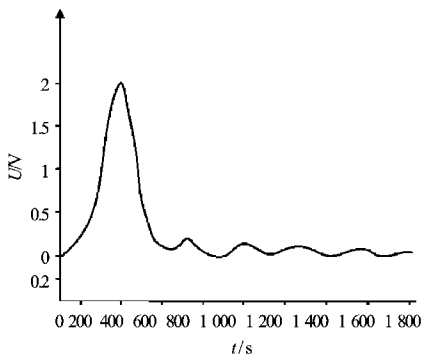


图9 触觉信号

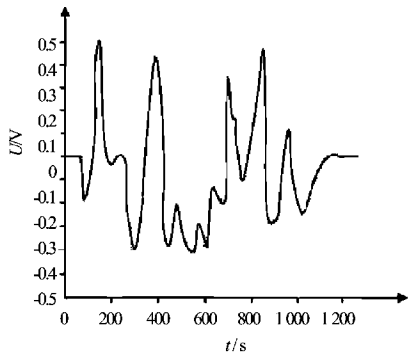


图10 滑觉信号

### 4 实验与分析

欠驱动多指手对苹果进行精确捏取和包络抓取,如图11和图12所示。由实验可知,机械振动、交流电源的工频和电磁波高频信号干扰、调理电路放大倍数等对PVDF触滑觉传感器信号采集造成影响,导致机械手误操作,因此必须对实验装置进行接地以提高系统的抗干扰能力以及提高电机与丝杆同轴精度,实现无伤抓取。

### 5 结束语

本研究介绍了PVDF压电传感器原理和硬件的实现,并在试验平台上进行了果蔬抓取实验。欠驱动多



图11 精确捏取

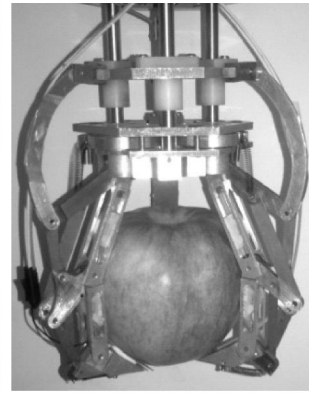


图12 包络抓取

指手滑触觉系统具有结构简单、实现方便,可靠性高等优点,且具有较好的实用价值,并为进一步研究及实现果蔬采摘机器人全自动化打下基础。

### 参考文献(References):

- [1] OTTAVIANO E,TOTI M,CECCARELLI M. Grasp Force Control in Two-finger Grippers with Pneumatic Actuation [C]//IEEE International Conference on Robotics and Automation,2000:1976-1981.
- [2] BICCHI A,KUMAR V. Robotic Grasping and Contact:A Review [C]//IEEE International Conference on Robotics and Automation,2000:348-353.
- [3] YUJI J,SONODA C. A PVDF Tactile Sensor for Static Contact Force and Contact Temperature [C]//IEEE Sensors,2006:738-741.
- [4] SOLIMAN A M,ZAKI A M. A Robotic Gripper Based on Advanced System Set-up and Fuzzy Control Algorithm [C]// IEEE International Conference on Robotics and Automation Logistics,2009:1-6.
- [5] ZAKI A M,SOLIMAN A M. Design and Implementation of Efficient Intelligent Robotic Gripper [C]//Proceedings of the 2010 International Conference on Modelling,Identification and Control,2010:710-716.
- [6] CHOI B,LEE S. Development of Anthropomorphic Robot Hand with Tactile Sensor :SKKU Hand II [C]//IEEE International Conference on Robotics and Systems,2006:3779-3784.
- [7] BROWN R G,BROST R C. A 3-d Modular Gripper Design Tool [C]//IEEE International Conference on Robotics and Automation Proceedings,1997:2332-2339.
- [8] MONKMAN G J,HESS S,STEINMANN R,et al. Robot Grippers [M]. Wiley-VCH,2007.
- [9] MARTELL S J W,GINI G. Robotic hands:design review and proposal of new design process [J]. **Engineering and Technology**,2007(20):85-90.
- [10] 高长银,赵辉,马龙梅,等. 电荷放大器对石英传感器动态特性的影响 [J]. 压电与声光,2006(6):654-656.

[编辑:张翔]