

基于压力传感器的机器人手爪柔性抓取系统研究

吴浩 王鹏 薛智元 史建平 吴彭涛

安徽大学电气工程与自动化学院 安徽省合肥市 230000

摘要: 在当今的社会, 智能机器人相关技术的研究早已成为了热门的研究领域。机器手爪作为机器人的重要执行机构, 经常被用于抓取、搬运和装配等任务当中。为了实现物品的无损坏抓取, 本文针对基于电阻式薄膜压力传感器的机器人手爪柔性抓取技术进行了研究, 此系统使用STC89C51作为主控芯片, 用压力传感器将手爪的压力数据进行收集, 并设计了电压转换、ADC、数码管显示等模块电路, 编写了系统控制程序。经过多次实验, 此机器人手爪实现了不同质量、材质物体的可靠柔性抓取。

关键词: 柔性抓取; STC89C51; 压力传感器

Research on the flexible system of robotic gripper based on pressure sensor

Hao Wu, Peng Wang, Xue Zhiyuan, Shi Jianping, Wu Pengtao

School of Electrical Engineering and Automation, Anhui University, Hefei, Anhui Province, 230000

Abstract: In today's society, the research on related technologies of intelligent robots has already become a hot research field. As a vital actuator of robots, robotic grippers are often used in tasks such as grasping, handling and assembling. To achieve non-destructive grasping of objects, this paper studies the flexible technology of a robotic gripper based on a resistive film pressure sensor. The system uses STC89C51 as DSP and collects the pressure data of the gripper with the pressure sensor. It also designs the modular circuit of Voltage Converter, ADC, and LED display and writes the system control program. After many experiments, this robotic gripper realizes reliable and flexible grasping of objects of different quality and materials.

Keywords: flexible grip; STC89C51; pressure sensor

一、概述

智能机器人带有各种不同功能的传感器, 能够通过传感器进行各种的信息收集, 系统主控将收集到的信息进行整合处理以做出相应的调整和动作, 从而能够很好地适应环境的变化, 因而有着很好的自适应能力、学习

能力以及自洽能力^[1]。

机器人手爪作为重要的执行机构, 担负不同物体的抓取、搬运和装配等任务。为了实现重物的抓取, 手爪的夹持力不能太小, 否则会使物体掉落; 而面对易碎物品, 夹持力太大又会造成物品的损坏。因此, 机器人手

本设计的研究工作得到国家级大学生创新创业训练计划项目“基于电阻式薄膜压力传感器的机器人柔性抓取技术研究”(202110357115)的资助。

作者简介:

吴浩: 2001.1.18, 汉, 安徽省合肥市, 本科, 学生, 研究方向: 电气工程及其自动化, 邮箱: 1758776979@qq.com;

薛智元: 2001.3.20, 汉, 江苏省泰州市, 本科, 学生, 研究方向: 电气工程及其自动化, 邮箱: 976478361@qq.com;

王鹏: 2001.3.4, 汉, 安徽省池州市, 本科, 学生, 研究方向: 自动化控制研究, 邮箱 3497024988@qq.com;

吴彭涛: 2000.10.12, 汉, 安徽省阜阳市, 本科, 学生, 研究方向: 机械设计制造及其自动化, 邮箱: wupengtao_2019@qq.com ;

史建平: 2001.04.29, 汉族, 安徽安庆市, 本科, 学生, 研究方向: 电气工程及其自动化, 邮箱: 2422797296@qq.com。

爪的柔性抓取是值得研究的问题。

目前,针对机器人手爪的柔性抓取比较典型的有:以含有小颗粒物质的球形橡胶薄膜作为执行末端的气动柔性机械手^[2];将聚合物材料应用于柔性手爪的电话性聚合物(electroactive polymer, EAP)^[3]夹持;以及通过温度改变形状的形变记忆合金(shape memory alloy, SMA)^[4]抓取等方案。国内的柔性手爪研究前期受限于制备的成型技术而停滞不前,随着3D打印技术的出现,柔性执行器的制作则变的简单许多。虽然有不少优秀的研究成果,但是参与研究人员仅仅局限于高校。2005年,浙江工业大学研制的一种新型气动执行器FPA,由橡胶管与弹簧组成。FPA动作原理是高压气体充入FPA中,刚性弹簧限制FPA的径向变形,使其仅可以轴向膨胀。2016年,北京航空航天大学的文力等研制的一种四指可变长度的柔性手爪。该柔性手爪由硅胶材料制作而成,控制简单,可以进行向内向外两种抓取方式,并且柔性手指长度能够根据尺寸不同的抓取对象改变。

本文采用一种基于电阻式薄膜压力传感器的机器人手爪柔性抓取方案,能够针对不同质量的物体智能选取合适的压力进行有效抓取,系统结构简单,使用方便,系统性价比高,有广泛的应用前景。

一、系统设计

1. 系统组成

系统采用STC89C51单片机为控制核心,以IMS-S40A型电阻式薄膜压力传感器来进行夹取物体时的压力大小的获取,线性电压转换模块将压力传感器的电阻值数据转换为合适的电压模拟量输出,通过ADC模块XPT2046转换为十二位的数字量输送至STC89C51中进行处理,STC89C51输出控制信号通过电机驱动模块控制直流减速电机为手爪提供夹持动力,并用4位数码管实时显示压力值。系统结构如图1所示:



图1 系统结构设计图

2. 硬件设计

根据设计任务以及方案的要求,系统硬件主要包括了单片机主控模块,压力传感器模块,电压转换模块,ADC转换模块,机械手抓取模块,压力显示模块和驱动模块一共七个主要的模块。

(1) 单片机主控模块

系统的控制芯片STC89C51是高性能8位微处理器,具有低功耗高性能的有点。其内部是4KB掩膜ROM,128B的片内RAM,26个字节特殊功能寄存器,4个8位并行I/O接口,2个16位定时器/计数器,5个中断源,可编程为两个优先级。设计使用40引脚、双列直插的PID封装类别,方便焊接与拆卸。将芯片与12Mhz晶振、22pF电容、电阻及复位开关共同组成单片机最小系统。使用此系统进行来自压力传感器转换后的电压数据的处理,以及对各个模块进行驱动。

(2) 机械手爪

考虑到机械手爪快速响应和稳定性要求,采用的是图2所示的机械手爪,该手爪由两个减速直流电机控制其开闭,两个电机是进行并联运行,由一路电压信号控制电机驱动模块,当直流电机驱动模块给出合适的PWM波后,手爪可以以定速夹取和分开。手爪的开爪部分放入了压力传感器,为了增加夹取物体的稳定性并使压力传感器受力均匀,在压力传感器与抓手部分加入橡胶垫,压力传感器与所夹物体之间加入了硬质的海绵。在手爪夹紧过程中,当压力传感器所检测到的压力达到所设定的阈值时,电机停止运行不再增加压力。

(3) 压力传感器模块

压力传感器在当今工业实践中是必不可少的基本元件,被广泛应用在各种工业和生活的自控环境中,包括水利、水电、智能建筑、生产自控、航空航天、石化、电力、船舶、管道等行业,本系统采用艾动薄膜电子的IMS032-S40A型压力传感器,它是一种电阻式柔性薄膜传感器,能够对表面形状均匀分布的物体进行压力测量。系统中,将该压力传感器安装于机器人手爪与被夹物体的接触面,如图2所示。

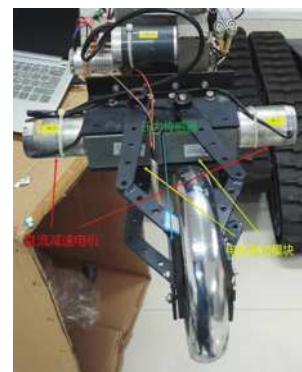


图2 机械手爪

当手爪的夹持力调整改变时,相对应的作用于薄膜压力传感器表面的压力也就会随之发生变化,传感器输出的电导值也会发生线性的变化:施加的压力增加,电

导值增加。压力传感器的输出端口相当于一个阻值随压力变化的等效电阻。图3是压力值和电导值的大小对应关系，由图可知电导和压力值近似呈正比。

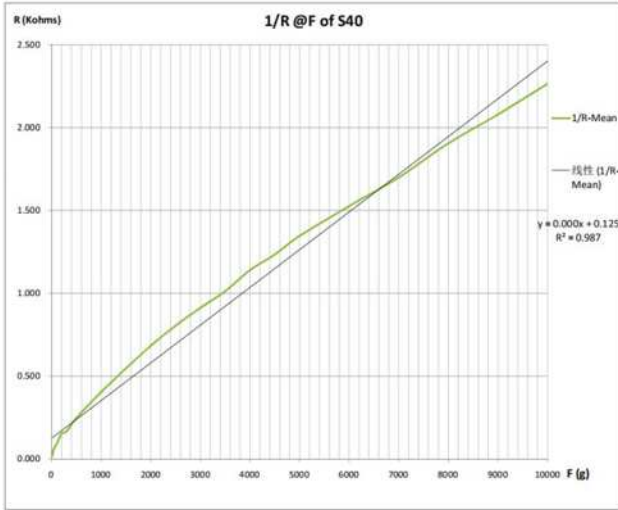


图3 电导与压力的大小关系

(4) 电压转换模块

压力传感器输出的是阻值信号，需要将其转换为相应可被识别的模拟信号进行检测，系统使用的是RP-S40-ST型线性电压转换模块，如图4所示，图中 R_s 是压力传感器的输出等效电阻，与定值电阻串联形成分压，运算放大器将定值电阻上面分到的电压输出。由分析可知：压力越大，压力传感器输出电导越大， R_s 越小， V_{out} 越大，则实现了将压力转换为正比的电压输出。

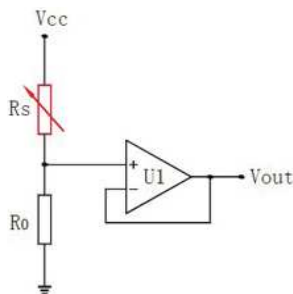


图4 电阻到电压转换电路

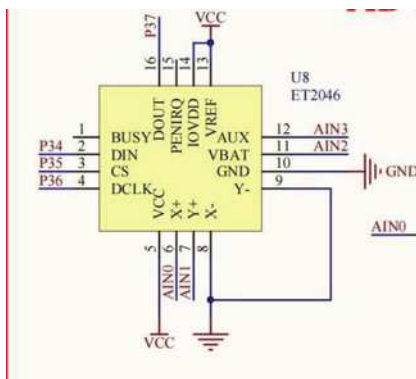


图5 ADC-XTP2046

(5) ADC转换模块

系统采用ADC转换器XPT2046进行AD转换，这是一款逐步逼近型A/D转换器，具有125Hz的转换速率以及12位分辨率，包含有采样/保持、串口数据输出、模数转换功能等等。XPT2046可以单电源供电，电源电压范围在2.7V~5.5V，芯片支持四位的模拟量的输入。

ADC转换模块如图5所示，DIN为串行数据输入口，CS为片选信号低电平时芯片工作，DCLK为时钟信号输入，AIN0-AIN3为信号输入口，DOUT是串行数据输出口。在DCLK上升沿读入数据进行信号口的选择，在DCLK下降沿读出数据。在开始时进行数据的读取电压信号从AIN3口输入，经过一段时间的延迟等待转换完成，经过转换后的十二位二进制数据经过十二个周期下降沿从DOUT口串行输出进入主控单片机，经过单片机内部处理进行下一步动作。

(6) 显示模块

使用4位7段数码管显示4位压力数据，如图6所示。数码管采用的是共阴极数码管，74LS139为1个2线-4线译码器，由单片机输出片选信号进行动态显示。

单片机读取来自输入通道AIN3的串行十二位的、正比于压力的电压数字量，AD值的取值范围为0~4096，其中0对应于电压0V，4096对应于电压5V。中间的电压数值可以对应相应的十二位二进制的数值，此对应看作是一一对应的关系。

通过公式(1)将数字量转化成电压值。

$$adc_vol = \frac{5 \times adc_value}{4096} \quad (1)$$

式中 adc_vol 是电压值， adc_value 是AD转换后的数字电压值。

由上述分析可知，电压值与压力值是线性关系：压力最小值与电压最小值相对应，压力最大值与电压最大值相对应。在程序中通过一个map函数将电压值与压力值一一对应起来，函数如式(2)所示。

$$m = \frac{2000 - 500}{1.08 - 0.39} \cdot (u_0 - 0.39) + 500 = 2173.91u_0 - 374.83 \quad (2)$$

数码管接线如图6所示，数码管显示的是手爪承受的压力值。

(7) 驱动模块

机械手爪采用2个直流电机来控制机械手的运行，电机转速连续可调。电机驱动芯片为L298N，其内部包含四个通道逻辑驱动电路，输入电压可达46V，输出电

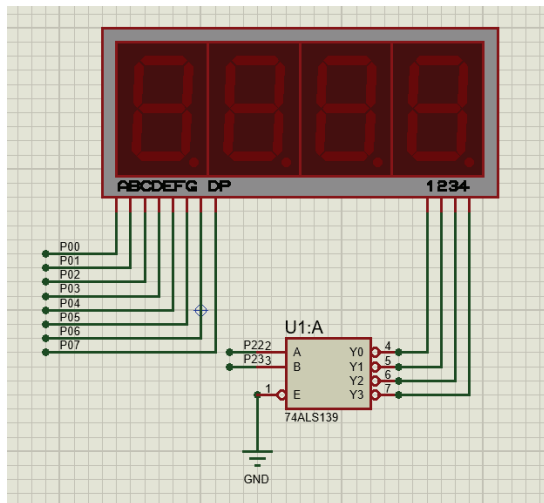


图6 显示模块电路

流可达2.5A。此模块可以同时驱动两路电机完成独立的工作。本系统用STC89C51单片机的3个IO连接L298N的IN1、IN2和ENA1。其中ENA1为电机使能端通过对输出的PWM调节控制1#和2#电机速度。IN1、IN2控制1#电机的正反转、刹车、制动。L298N的逻辑功能表如表1所示。

表1 L298N逻辑功能表

IN1	IN2	ENA	OUT1、OUT2输出
0	0	×	刹车
1	1	×	悬空
1	0	PWM	正转调速
0	1	PWM	反转调速
1	0	1	全速正转
0	1	1	全速反转

二、系统软件设计

首先通过单片机控制两个并联直流电机使得机器手爪能够夹紧物体，在手爪收缩的动态变化中，通过安装在机器手爪上的薄膜压力传感器，将手爪所受到的压力实时传输给单片机。当其所受到的力达到所预先设定的阈值时，手爪就立即停止，抓取过程结束。抓取过程实时显示压力值的大小。程序流程如图7所示：

三、系统实验

1. 压力传感器实验

首先对压力传感器进行校准，用于电压值与压力值之间的转换。经过实验测得500g压力时电压为0.39V，在2kg压力时电压为1.08V，由此可以得出式(2)的转换公式。

为了实现柔性抓取物体的目标，首先应该获取夹持不同物体下传感器输出的电压值，用此值作为后期压力阈值设置的依据。

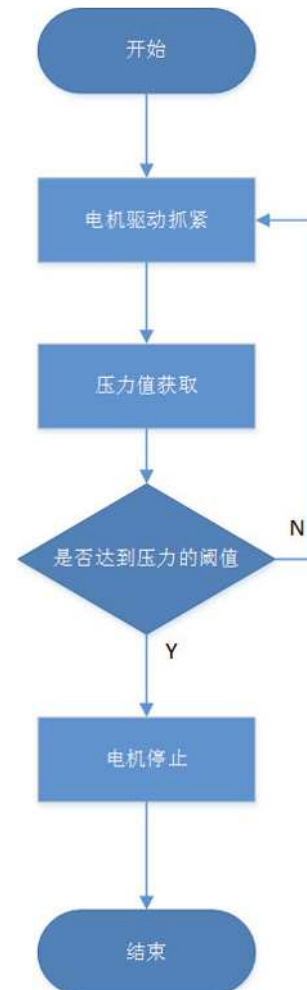


图7 程序流程

本设计设计了重物(不同重量)和易碎物品(玻璃瓶)三组实验，数据如表2所示。

表2 实验数据表

实验类别	压力传感器输出电压	物品状态
重物 M=500g	0.64	紧夹持
	0.45	夹持
	0.38	掉落
重物 M=2Kg	0.86	紧夹持
	1.28	夹持
	1.42	掉落
易碎品(玻璃杯)	0.28	松夹持
	0.38	夹持
	3.42	破碎

由实验可知，对于易碎物品，可以将图5中的阈值则设置为0.38v；重物为500g时，阈值设置为0.45V；重物为2kg时，阈值可设为1.28v；其他重量的重物，可以由线性插值得出阈值为：

$$\frac{1.28 - 0.45}{2000 - 500} \cdot (m - 500) + 0.45;$$

2. 柔性抓取实验

为了进一步验证系统功能，将图1的系统连接后进行调试，实物如图8所示。左图抓取的是玻璃瓶，右图抓取的是重量为2kg的砝码。图中数码管显示的是压力值。



图8 抓取实物图

实验结果表明，无论是重物还是易碎物品，手爪均可以实现可靠抓取且不损坏，数码管也正确显示了相应的压力值，表明系统达到了设计要求。

四、结论

本设计基于电阻式薄膜压力传感器进行手爪压力数据的获取，通过51单片机接收手爪上所受力的大小，通过与预设阈值的比较，实现物品的柔性抓取。而本次研

究的项目，在一些简单但过于乏味或者危险的搬运工作中，都可以通过使用机器人手抓来提高生产效率，同时对于易碎品可以设置合理的阈值进行抓取。本实验证明了系统的可靠性。本设计的研究可以为机器人手爪的智能化应用提供基础。

参考文献：

- [1]王公博.工业机器人重新定义工厂[J].互联网经济, 2019 (z1): 21-31.
- [2]Brown E, Rodenberg N, Amend J, et al. Universal robotic gripper based on the jamming of granular material [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2010, 107 (44): 18809- 18814
- [3]Li T F, Keplinger C, Baumgartner R, et al. Giant voltageinduced deformation in dielectric elastomers near the verge of snap-through instability[J]. Journal of the Mechanics and Physics of Solids, 2013, 61(2): 611-628
- [4]Cho K J, Koh J S, Kim S, et al. Review of manufacturing processes for soft biomimetic robots[J]. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, 2009, 10(3): 171-181.