

## Design of a Multi-Sensor Robotic Gripper

HUANG Ji-wei, HUANG Wei-yi, WANG Ai-min, JIANG Hong-ming

(Dept. 22, Southeast University, Nanjing 210096, China)

**Abstract:** This paper proposes a design of a robotic gripper with force, touch and position information. The design and its realization of force sensors, touch sensors and position sensor are discussed and also the design of gripper's mechanism structure and control system introduced.

**Key words:** robot; gripper; sensor; control

## 多感知机器人夹持器设计

黄继伟, 黄惟一, 王爱民, 蒋洪明

(东南大学仪器科学与工程系, 南京 210096)

**摘要:**介绍了一种具有力觉、触觉和位置信息的机器人夹持器设计。讨论了力觉传感器、触觉传感器和位置传感器的设计与实现,概述了夹持器的机械结构及其控制系统设计。

**关键词:**机器人;夹持器;传感器;控制

**中图分类号:**TP24; TP212

**文献标识码:**A

**文章编号:**1004-1699(2003)04-0397-04

在临场感遥操作机器人系统中,主机器人应具有感知从机器人所处环境的能力。就机器人夹持器部分而言,系统应能感知从机器人夹持器与环境相互作用的力觉和触觉,还要了解夹持器手指所处的位置。这样主手才能对从手进行基本的控制,实现临场感遥操作。基于此作者结合国家 863 项目设计了具有力觉、触觉及位置传感器的机器人夹持器。其中包括了机械结构设计、传感器设计、测量电路设计、控制系统设计及软件设计。机械结构示意图如图 1 所示。

### 1 夹持器硬件设计

#### 1.1 力觉传感器

本夹持器力觉传感器采用贴在手指指根部分的

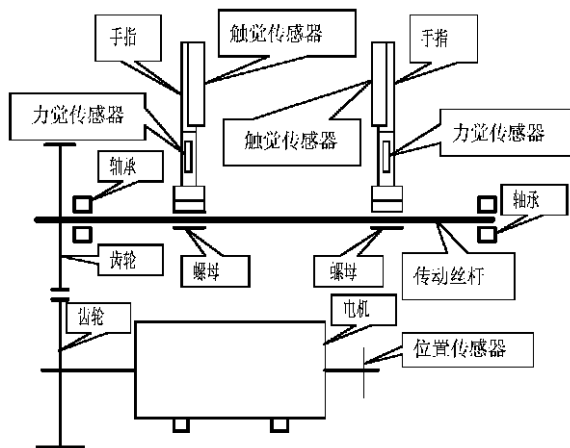


图 1 夹持器机械结构示意图

电阻应变式力传感器。考虑到手指抓取物体时,由于受力位置的不同,产生的力信号随之改变。因此

收稿日期:2003-06-13

基金项目:国家"863"计划项目资助(2001AA423140)。

作者简介:黄继伟(1976-),男,硕士研究生,主要研究信号检测与智能系统,jervish@163.com;

黄惟一(1933-),男,教授,博士生导师,从事测试理论及其应用,HHwy@seu.edu.cn。

这里采用剪切式力传感器,即将电阻应变敏感元件安装在弹性元件上剪应变最大处的主应变方向。如图 2(a) 示,在 A 点弯矩为零,剪应变最大。把电阻应变片粘贴在该处,丝栅与中性层成 45° 方向,即最大正应变方向,可以有效的消除抓取位置的影响。但实际应变片是无法完全粘贴在 A 点,必然受到弯曲应力的影响。图 2(b) 示出了在手指两侧组成桥路的四片应变片的粘贴方法。

于是有总应变:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{\text{总}} &= \varepsilon_1 - \varepsilon_2 - \varepsilon_3 + \varepsilon_4 = (\varepsilon_{Q_1} - \varepsilon_{M_1}) - (-\varepsilon_{Q_2} + \varepsilon_{M_2}) - \\ &\quad (-\varepsilon_{Q_3} - \varepsilon_{M_3}) + (\varepsilon_{Q_4} + \varepsilon_{M_4}) = 4\varepsilon_Q \end{aligned}$$

其中:

$\varepsilon_Q$  是各片应变片受到的剪切应变,  $\varepsilon_M$  是各片应变片受到的弯曲应变。上式表明这种粘贴方法消除了弯曲应变的影响,提高了传感器的灵敏度。

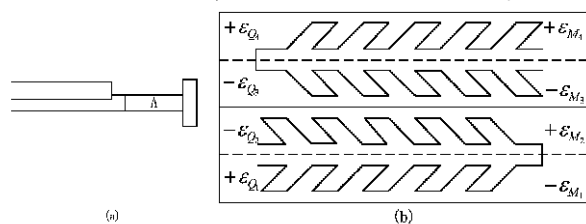


图 2 力觉传感器设计

由应变片桥路输出的电压信号在毫伏级的水平上,十分微弱。无法直接供给计算机数据采集系统处理;同时微弱模拟信号在传输过程中,容易受到干扰,引起信号失真。为此,引入前置放大电路及精密稳压电源作为力信号采集电路。分别由仪用放大器 AD620 与 MAX603 DC-DC 变换器及 MAX660 电压逆变器来实现。经前置放大电路放大后的力信号,由 AD574 进行 A/D 转换。考虑到有左右两个手指,共两路信号,用模拟开关 4051 与 LF398 采样器分别采集两路信号。

### 1.2 触觉传感器

为具有初步判断规则形状物体的能力,本夹持器增加了接触面的触点,每个手指分别设计了 4×4 个触觉点阵。单个触觉传感器结构如图 3 所示:

传感器主要由支持保护部分和导体部分组成。支持保护部分由保护层和支持板组成,传感器最上层是柔性保护层,为增加灵敏度,在保护层下放置一个柔性接触点。在保护层和电路板中设有支持板,保证导电橡胶处于指定位置。导体部分由一块印刷电路板、4×4 个各相异性硅橡胶(ACS)、4×4 个各相

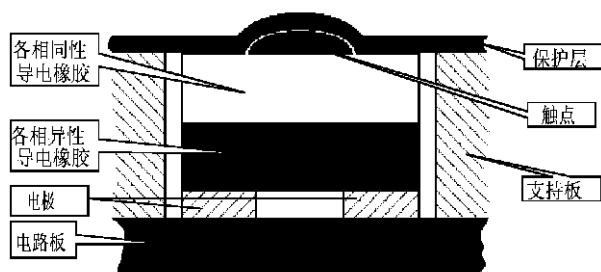


图 3 触觉传感器设计

同性硅橡胶三种导体组成。印刷电路板上分布有 4×4 对镀金电极,它们都和 ACS 的导电方向垂直。三种导体按各相同性 ACS,各相异性 ACS,镀金电极顺序层叠装配,这样就形成 4×4 阵列的触觉传感器。当 ACS 上受到一定的压力时,其阻值将减小,通过检测电极电压的变化,即可得到手指与物体的接触情况。

触觉信号转换通过 LM393 电压比较器完成,转换电路原理如图 4 示:

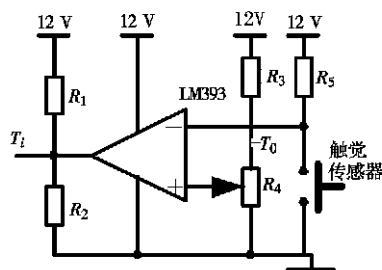


图 4 触觉信号转换电路

LM393 输出极为集电极开路三极管。当输出极截止时,适当选择  $R_1$  和  $R_2$ , 输出端 T 电压通过  $R_1$  和  $R_2$  分压可以获得与 TTL 兼容的高电平,当输出极导通接地时,输出端 T 电压为 TTL 兼容的低电平。调节电位器,可以调节触觉传感器的灵敏度。

### 1.3 位置传感器

夹持器的位置传感器由安装在电机转轴的码盘、发光二极管与受光三极管组成。如图 5(a) 示,受光三极管是由内部具有两个上下排列的受光二极管组成。码盘安装在发光二极管和受光三极管之间,电机启动后带动码盘转动,如图 5(b) 示依次扫描三极管 LED1 和 LED2,经过电路转换产生两个具有固定相位差的电信号。正向运动时信号 1 超前信号 2,反向运动时,信号 2 超前信号 1。故安装在电机上的增量式码盘电路输出的波形信号可以反映手指的位置、速度、转向。

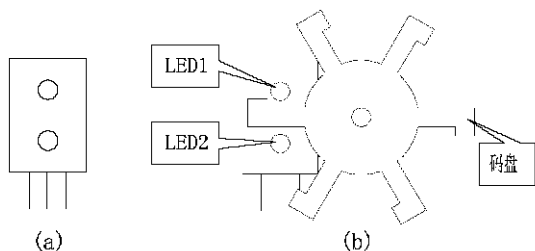


图5 位置传感器设计

两路信号经过施密特触发器转换后可输出两个具有固定相位差的脉冲信号(如图6所示)。因此,采用双通道单稳态触发器 74HC221 可以完成脉冲边沿的检测,当电机正向运行时用 74HC221 检测信号 1 的下降沿,用其与信号 2 相与得正计数脉冲;当电机反向运行时检测信号 2 的下降沿,同样与信号 1 相与后得逆信号。再通过计数器计数即可得到位置信息。

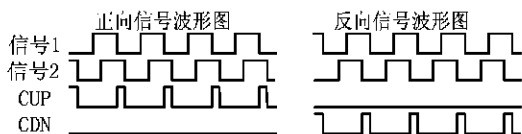


图6 码盘信号波形及计数脉冲图

#### 1.4 夹持器控制系统设计

实现对夹持器的控制,控制系统硬件部分包括上述的力觉信号放大电路、力觉信号采集电路、触觉信号转换电路、位置信号采集电路等,还包括了触觉信号采集电路、电机控制电路等。其中又可分为数字部分和模拟部分。数字部分可以用一片 CPLD 实现,这两部分都集成在一块 ISA 扩展卡上。本夹持器每个手指各设计了 16 个触觉点阵,每个触点所涉及的电路是相同的,如果分别设计,这就造成了简单重复,电路复杂。又考虑到位置信息是由安装在电机上的增量式码盘输出的信号经处理后得到的,所需的计数总量达 65 000 多个,所以需一个 16 bit 的计数器,这给设计带来了难度。其实这些工作均可由一片 CPLD 芯片完成,简化电路设计,提高效率。模拟部分则包括了 A/D 转换电路、触觉信号电平转换电路、电机驱动电路等。图 7 表示了其结构。

##### 1.4.1 PWM 信号逻辑设计

采用电枢控制的直流电动机具有良好的特性,本夹持器采用的是基于脉宽调制型(PWM)放大器电枢电压控制法。PWM 信号需要调节的两个参数为:频率和占空比。设计用一个可设定计数值的分频器及一个可编程单脉冲输出触发器来实现。时钟信号

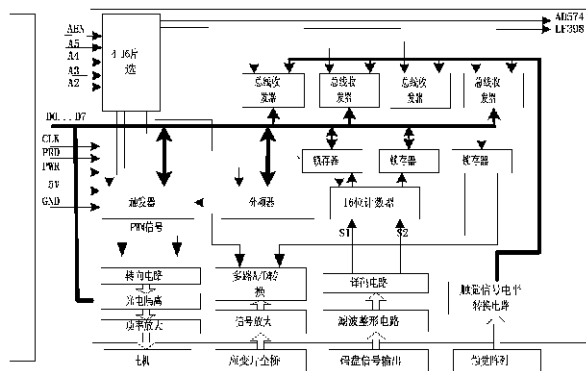


图7 控制系统结构原理图

为计算机时钟信号 CLOCK。工作时设定数值  $D_1$  给分频器,把 CLOCK 信号分频为 PWM 信号的频率,产生的脉冲信号作为触发器的触发信号。在触发信号到来前,触发器输出低电平,到来后触发器输出高电平,并维持  $D_2$  个时钟周期,  $D_2$  由计算机编程设定。所以通过设定  $D_1$  和  $D_2$  ( $D_2 < D_1$ ) 可以控制 PWM 信号的频率和占空比。图 8 示出了用 MAX+plus II 设计的 PWM 信号仿真时序图。

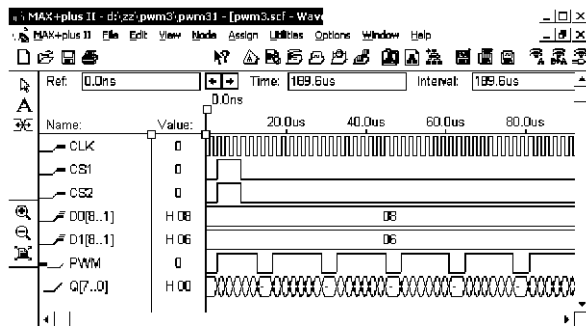


图8 PWM 信号时序图

##### 1.4.2 正逆计数器逻辑设计

夹持器有夹紧与松开两种状态。启动电机后,将手指移到初始状态。此时设定计数器计数值为 0 000。夹紧状态,计数器为加法,松开状态,计数器为减法,由此判断手指所处的位置。所以,计数器必须有正计数和逆计数两种状态,正逆信号有外部电路产生。16 bit 计数器在 CPLD 中,用 AHDL 语言来实现。图 9 示出了用 MAX+plus II 设计的 16 bit 计数器仿真时序图。

由于计数值总随着夹持器手指位置的改变而改变,而计算机在读取计数数据时要求数据有一个稳定时间,另数据总线为 8 bit,需要有两个 8 bit 数据锁存器锁存计数器计数值。通过片选信号分别读取高 8 bit 与低 8 bit。

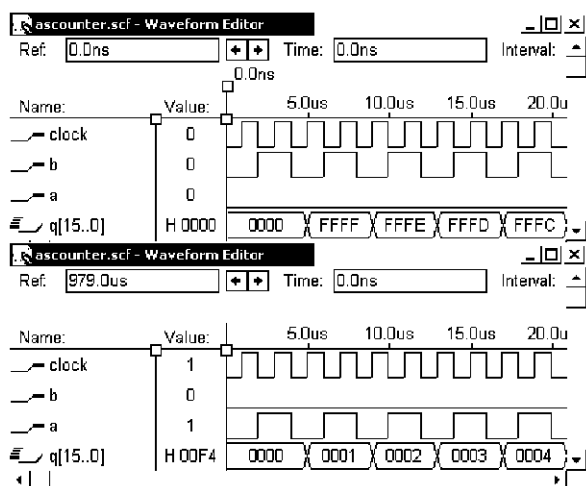


图9 16 bit 计数器时序图

### 1.4.3 触觉信号融合与转换逻辑设计

设计4个总线收发器,通过片选信号依次选通,计算机读入后,经程序处理便能判断手指与物体接触情况了。

## 2 夹持器控制系统的软件设计

要完成对夹持器的控制,程序设计需要包括系统初始化、控制算法设计、电机驱动设计、触觉信号采集、力觉信号采集、位置信息采集等。系统初始化包括电机复位、计数器清零、保存力觉信号零点、选取控制算法及算法系数设定等。控制电机转速是根据所选算法,逐渐逼近被抓取物体,这既要结合力觉信号又要结合触觉信息,保证有效抓取,又不把物体

夹坏。程序设计采用面向对象的C++,设计了一个Gripper类,生成一个Gripper类的对象Finger。定义Gripper类的私有成员:各I/O口的临时数据,控制算法的系数及临时变量;公有成员:左右手指触觉信息、手指所处位置信息、指定位置信息、移动指令、控制算法、速度指令、初始化指令等。对使用者来说,只要用几个简单的变量和函数。如:初始化函数Finger.Initialize()、力信号采集函数Finger.GetForce(double &LeftForce, double &RightForce)、位置信息采集函数Finger.GetPosition(double &ActualPosition)、触觉信号采集函数Finger.GetTouch(LeftTouch, RightTouch)、移动函数Finger.Move(RequirePosition, RequireSpeed)等。

## 3 结 论

本机器人夹持器为远程操作机器人的智能控制技术及其手控制器研究课题的一部分。夹持器被安装在motoman SV3X工业机器人上,而相应的软硬件都挂在远端从机器人的下位工控机上。实际使用良好,可以完成夹持多种规则形状物体的操作任务,达到了设计要求。

### 参考文献:

- [1] 马云飞,王爱民,蒋洪明等.多感知能力新型夹持器控制器设计[J].测控技术,2002,21(2):25-27.