

步研究。

## References (参考文献)

- [1] Song Ke, Li Wei, Gong Huanhuan. Ontology of motion picture ——theoretical study on apparent motion. *Film Review*, 2010, 3, P68-69 (Ch).  
宋克, 李伟, 宫欢欢 “电影本体论——‘似动现象’的理论研究”, 电影评介 2010, 3, P68-69.
- [2] Li Ming. Illusionary movement must be correctly interpreted. *Journal of Beijing Film Academy*. 2005, 5, P1-6 (Ch).  
李铭, 应当正确解释电影的似动现象, 北京电影学院学报, 2005, 5, P1-6.
- [3] Schmolesky, M. T. et al. Signal timing across the macaque visual system [J]. *Neurophysiol.* 1998, 79, P3272-3278.
- [4] Sheryl J. Nisly-Nagele, Gerald S. Wasserman. Dissociating sensory and cognitive contributions to visual persistence I. Photoreceptor response duration as a function of flash intensity, adaptation state, and candidate code. *Biological Cybernetics*. 2001, 85, P167-183.
- [5] Edward H. Adelson, Hany Farid. Filtering reveals form in temporally structured displays. *Science*, 1999, 286, P2231.
- [6] Sun Jixiang. *Image Processing*, Beijing: Science Press, 2004, P57-59 (Ch).  
孙即祥, 图像处理, 北京: 科学出版社, 2004, P57-59.
- [7] Dai Yongbai, Ni Xiaohua, Li Yuncai. 16mm Motion picture projection technique lecture (Second). *Advanced Motion Picture Technology*, 2008, 6, P55-60 (Ch).  
戴永柏, 倪晓桦, 李云才, 16mm 电影放映技术讲座 (二)”, 现代电影技术, 2008, 6, P55-60.
- [8] Joseph and Barbara Anderson. The Myth of persistence of vision revisited. *Journal of Film and Video*, 1993, 45(1), 1993.

# Sensor “Bottleneck” and a Design of Low-Cost Pressure Sensor

Zequiu WU

Laboratory administrative center, Wuyi University, Wutishan, Fujian, China.354300

Email: wzq632@163.com

**Abstract:** As the brains of the Industrial Automation Systems, the computer chips are very mature and cheaper. But the price of sensors are higher or very higher than the computer chips, make the “bottleneck” of using the automatic control technology in the low cost equipment.. we should pay attention to this matter and its development. This paper introduce a low-cost pressure sensor design approach: combined with ordinary Bourdon tube pressure gauge, Gray code disk, optical reading and digital filter technology, to design a pressure sensor, and embedded the sensor to the microcontroller system of the equipment controlling, the cost is low and it can complete the sensing task.

**Keywords:** Pressure sensor, Low-cost, Single-chip Computer, Pressure gauge, Code disk.

## 传感器“瓶颈”及一种低成本压力传感器设计

吴泽球

武夷学院实验室管理中心 武夷山 中国 354300

Email: wzq632@163.com

**摘要:** 作为工业自动控制系统“大脑”的微机芯片已经非常成熟而价廉,但传感器价格却往往大大高于微机芯片,成为自动控制在低价格设备上应用的“瓶颈”,应该重视这方面研发。一种低成本压力传感器设计途径是,结合普通弹簧管式压力表、格雷码盘、光电读码和数字滤波技术,设计了一种压力传感器,并嵌入到设备控制用的单片机系统中,成本低并能完成有关传感任务。

**关键词:** 压力传感器 低成本 单片机 压力表 码盘

### 1 传感器的成本高是自动控制技术推广的限制“瓶颈”之一

在自动化领域中采用微机控制技术是占统治地位的方法,而传感器是自动控制系统中一个十分重要的部分。现在,作为自动控制系统的“大脑”的微电脑已经非常成熟,不但功能强大,并且成本价格已经相当低,甚至低到几元钱,如单片机就是这样。理论上它可以用于各种需要自动控制和场合和设备。但实际上它基本上只能用于中高档的设备,其中的一个重要的限制因素是传感器的成本往往大大高于单片机成本,大大高于市场对相应设备的价格定位,实际上成了自动控制技术更进一步推广到低价格设备的传感器限制“瓶颈”。研发更低成本而又实用的传感器应该成为一个重要方向。

我们在研制一种环保用的回收设备中就遇到了这种问题。该项目中需要使用压力传感器,如果使用现成的市售产品,因传感器价格高,会使回收设备的价格过高,使用成本高于回收到的物质的价值,产品将不会被市场接受,不符合项目要求。这迫使我们考虑寻找更低成本的途径。最后选择了低价位而被广泛使用的普通压力表作为传感元件,结合单片机的数据处理功能,探索了低成本压力传感器设计制作<sup>[1]</sup>。下面对此作一概述。

### 2 一种低成本压力传感器设计

弹簧管式压力表是一类使用十分广泛的压力表,它价格低,结构简单,适用于各种流动工质的压强的测量,对恶劣工作环境的适应能力较强。被广泛用于各种工业设备,特别在低成本的设备中。它利用弹簧管在压强的作用下的形变得到压力变化信号,通过

资助信息: 福建南平市科技计划项目《小型制冷剂回收机研制》(项目编号 N2006Z01-4) 资助

机械传动推动指针就可将压力指示出来。显然，如果能够将这种压力变化信号转变成电信号输出，就可以为自动控制系统的单片机所利用了。

将形变变为电信号的方法有不少。如在形变体上贴应变电阻就是一法，市售的压力传感器多用此法。但这是一种很专业的技术，虽然传感器精度高，但成本也高，其产品价格远远高于单片机。为降低成本，我们试验了一些用压力表改制的方法。

其中一个为电刷法，将一个环形的电位器电阻片装在弹簧管压力表的表盘上，用弹簧管压力表指针驱动电位器的可动触点。这样就可以从电位器的可动触点的电位得到压力表相应的读数了。如图 1 所示：

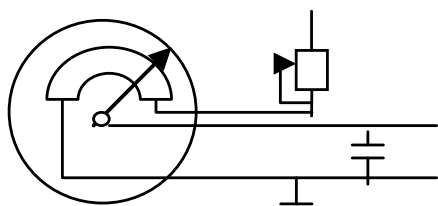


Figure 1. Electronics brush method  
图 1 电刷法简图

由于 A/D 转换器的输入电阻很高，可以认为不吸收电流，电位器可以采用高阻的，要求线性要好，转动阻力要小。接一个小电容用以减小指针滑动时输出电压可能出现的跳动。调节 R2 可以使电压输出在合适幅度。

这种结构虽然成本不高，但因一般压力表驱动指针的力矩很小，这个力矩不足以克服摩擦力矩，不能有效地驱动电位器的可动触点，所以会带来比较大的误差。经多方调研和实验研究，发现目前对这个问题以低成本解决几乎不可能，只可以改善。所以此法只在某些场合可以应用，并不具广泛实用性。

如果采用无接触的光电读数的方法，就不会有摩擦力的影响，不会因摩擦力影响压力表指示机构的动作而产生额外的误差了。光电读数的方法也有多种，我们选用了成本较低的用码盘来读出压力表示值的方法。方法原理是：将若干分度的码盘装在压力表的指针轴上，每一分度用黑白二色不同组合表示一个二进制码，另用感光元件固定装在压力表的表面上，用以读出码盘上的读数。当压力表的指针轴转动时，推动码盘转动到某一位置，这个位置上的二进制码就会被感光元件读出来。这个码被送到单片机中处理，就可以读出压力表的读数了。如图 2 所示：

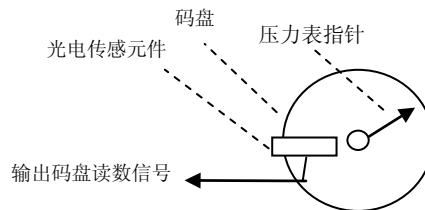


Figure 2. Read pressure expression value with the coded disk  
图 2 用码盘读出压力表示值

图 3 是一个五位的码盘，白色表示 0，黑色表示 1，有 28 个分度。各分格上的二进制码可用光敏管读出。

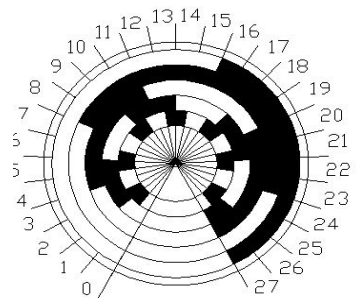


Figure 3 Code disk.  
图 3 码盘

以上是原理，还需要解决一系列问题才能在实际应用中使用。下面谈谈一些主要问题的处理。

编码位数的选择。设备选用的压力表的量程是 0~1.2 MPa 的，每 0.1MPa 分一个大格，每大格又可以分为十个小格，这样一个有 120 个小格，如果用 7 位二进制码，就可以有 128 个二进制数，满足读出 120 个小格的要求。这也接近人眼读数的精度了，可以满足该设备的需要。所以就选用了 7 位格雷码。按七位制作相应的码盘和软硬件。

光电读数元件数据输出与微机的连接。读七位的格雷码，光电读数元件数据输出也应该是七位码，由于一般的单片机的 I/O 口都有 8 位或更多，所以光电读数元件数据输出可以与单片机的 I/O 口进行并行连接。I/O 口的另一位可以用作其它用。

硬件连接好后，还需要编制程序才能正确工作完成压力转感的任务。软件工作的程序应该如下所示：

读数 → 送存储，供有关程序使用

但是设备的实际工况比较复杂，工作现场有各种干扰如振动、电磁脉冲等，这些可能会造成读数的错误，在码盘相邻的两个读数的边界上，读数也很可能会有错误。对这些问题，可以利用一些技术来消除。

码盘相邻两个读数边界容易出现读数错误，产生错码。为了减少这种读数错误，选用格雷码编码就可以有效地消除。这是因为格雷码相邻两个数的二进制码只有一位有差别，在格雷码编码的码盘两数边界上容易做到只在这一位上的二进制码产生变化，一般不会出现其它的数。

可利用微电脑的数据处理能力进行数字滤波，滤除掉干扰信号。工业现场一般常用的数字滤波方法有多种，如中值滤波法、一阶滞后滤波法、算术平均值法等<sup>[2]</sup>，这些方法各适用于不同的干扰，可按设备的工作环境及设备特性选用，也可两种方法同用。本项目据设备工作和被测气压、振动、测量精度要求等情况选用了算术平均值滤波法和限幅滤波法。

算术平均值法是寻找一个采样的平均值作为本次采样的平均值，使该值与本次各采样值间的误差的平方和最小，即

$$E = \min \left[ \sum_{i=1}^N e_i^2 \right] = \min \left[ \sum_{i=1}^N (\bar{Y} - X_i)^2 \right]$$

由一元函数求极值原理得

$$\bar{Y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i$$

式中：Y---n 次采样值的算术平均值；

X<sub>i</sub>---第 i 次采样值；

N---采样次数。

算术平均值法适用于对信号的平滑处理，算术平均值法对信号的平滑处理取决于 N。当 N 值较大时，平滑度高，但灵敏度低，当 N 值较小时，平滑度低，但灵敏度高。选取适当的 N 值，使得少用计算时间，又达到最好的效果。

按单片机硬件运算过程的特点（如用移位来进行除法）选择适当的 N 值，也可以减少计算时间。

限幅滤波法适用于当有大的随机干扰或采样器不稳定，使得采样数据偏离实际值太远时使用。处理方法是：当采样值 |Y| ≥ A（A 为限幅值），则可取 Y=A 或 Y=-A，使数据更接近实际情况。

据我们的实验，用以上方法可以较好地解决我们设备研制面临的干扰问题，得到的结果能满足设备和测控系统工作的测量要求。

这样，传感器数字处理软件的结构如图 4 所示：

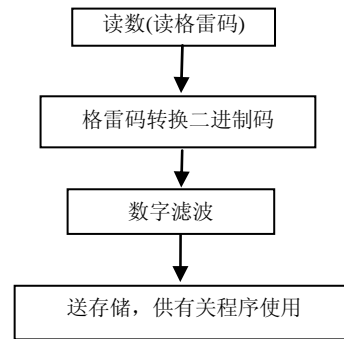


Figure 4 Software Structure

图 4 软件结构

这个处理软件需要微机来运行。但是一般情况并不需要另外增加微机硬件，因它可以嵌入到设备原有的一套单片机系统中去。所以以上的压力表传感器实际上只是在压力表上增加了码盘和光电读数电路，其它的部分如 I/O 口、单片机电路等都可以与设备原有的单片机系统共用。这样成本就不会高。下面是一种将上述软件嵌入到设备单片机自动控制系统中去的方法：

单片机系统用中断的方法进行工作，将上面的软件放在中断函数中，设定一定时间（如 10 ms）中断一次，每次中断时就执行读压力传感器数据、转换、滤波和送存储的任务，得到传感结果。

硬件结构框图如图 5 所示：

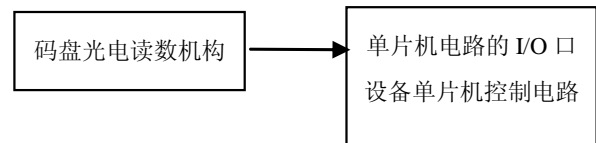


Figure 5 hardware architecture diagram

图 5 硬件结构框图

### 3 结果分析和讨论

成本：由软硬件结构可见，硬件和软件对成本增加很小，符合低成本的要求。

误差分析：

理论上，这样得到的压力传感器读数精度为压力表最大读数的 120 分之一，即最大读数的 1/120 = 0.83%，绝对值为 0.01 MPa；经数字电路处理也可能引入一点误差；读数也会有所滞后但不明显；但是不会有人眼产生的读数误差；考虑这些传感系统的误差后，得到的压力传感器的误差比压力表的原有误差（一般工作用压力表约为 4%）要增加 ±0.85% 或更多

些,与4%相比不大。实验结果与分析基本相符。在许多低端设备上增加这点误差并不影响使用。

传感器的非线性、稳定性、温度范围等性能则取决于弹簧管压力表的性能,本设计产生的影响不大。如果压力表刻度线性不好,制作码盘时分度则应考虑相应刻度的非线性。

这种设计的缺点方面,主要是使用七位码,需要七个光敏管,光电管有一定大小,排列有一定长度,这使得码盘直径较大,整个传感器体积还嫌大些;另一个是码盘的转动惯量比指针大,如果被测压力变化比较急剧、抖动大、波动幅度较大的话就不太适用。改进这些问题可以增大本设计的适用范围。在缩小体积方面,已有人提出了一种改变光敏管排列的方法<sup>[3]</sup>,请参见有关文献。

综合起来看,上面的设计利用了低成本而广泛使用的弹簧管式压力表,增加少量硬件和软件,成本很少,测量性能基本上取决于弹簧管压力表性能。虽然测量精度比原压力表有一点降低,但能够适用于一般设备上,解决了一般压力传感器成本远高于单片机成本的问题。这种方法还可以用于其它仪表。这个设计为单片机自动控制技术推广应用于低价位设备上提供了一个途径。

#### 4 结论

传感器的成本高是自动控制技术推广应用到低价设备的一个传感器限制“瓶颈”,研发低成本的传感

器应该是一个重要方向。本文在这方向进行了探索,用普通压力表作为压感元件,与格雷码码盘和光电读数技术结合,设计了一种低成本压力传感器,并与微机控制系统相结合,利用单片机对读出的压力数据进行数字滤波处理,使之达到被控制设备的有关测量要求。数据处理部分可嵌入到相应设备的单片机自动控制系统中,增加相应的软件,即可完成压力传感任务,所用的硬件、软件成本很少,达到了低成本的目的。这可作为低价位压力传感器的一个设计途径。

#### 致 谢

感谢福建省南平市政府、武夷学院对本项目研究的支持。

#### References (参考文献)

- [1] Wu ZeQiu, Design of a Measuring and Controlling System of Miniature Refrigerant Retrieving Machine [D], Guangxi Normal University, Guei Lin China (Master's degree paper) 2009.  
吴泽球,小型制冷剂回收机测控系统的设计 [D],桂林:广西师范大学(硕士学位论文)2009.
- [2] Lu Xuehong, Research on Nonmetal Film Product Line Computer Measuring and Controlling System [D], Lanzhou University of Technology, Lanzhou China, (Master's degree paper) 2006.  
卢雪红 非金属薄膜生产线计算机测控系统研究 [D] 兰州:兰州理工大学(中国知网硕士学位论文)2006: 33.
- [3] Song Wen-jie, LIU Bo-feng, Et al., Improvment of Wind Direction Coder od Wind Sensor, Shan Dong Science, Vol.18 No.5 Dec. 2005.  
文杰,刘伯峰,等人,风传感器风向编码器的改进 山东科 2005年12月 第18卷 第5期: 34-36