

MSC1210 在微位移传感器系统的应用*

■ 中国科学院合肥智能机械研究所 沈春山 孙旺强 吴仲城 葛运建

摘要

将中科院合肥智能所机器人传感器实验室的多维力传感器技术与 TI 公司新推出的 MSC1210 单片机相结合,可实现机器人对微小位移的高分辨率检测。文章首先简要介绍微位移传感器结构特点,然后结合实际使用情况较为详细地说明 MSC1210 的多路输入复用器、PGA、滤波器等新特性,在此基础上构建微位移检测的硬件平台。同时,为传感系统设计智能人机交互接口,帮助用户根据实际需要方便选择诸如采样率、滤波器型号等相关参数,以求达到满意的应用效果。

关键词 多维力传感器 MSC1210 微位移检测

引言

微操作已在许多应用领域得到了应用,特别是在纳米级的定位系统中,要求传感器能检测出微小的力和位移的信息^[1]。目前用于微位移检测的原理较多,如光学式、磁和电感式、电容式和压电式等^[2,3],但这些大多不便于用于机器人对微小的多维力和位移信息的获取。为了将技术成熟的多维力传感器用于微力和微位移信息获取,中科院合肥智能所机器人传感器实验室在改造多维力传感器结构参数的同时,充分利用德州仪器(TI)的 MSC1210 单片机的许多新特性,如其自带的 8 路 24 位高精度 Σ - Δ A/D 转换器、可编程增益放大(PGA)和滤波器等,实现了对力和位移的高精度测量。本文主要从微型机的应用角度展开探讨,希望能为提高传感器的集成化程度、分辨率、稳定性和人机交互能力作出一点贡献。

1 多维力传感器特点与 MSC1210 简介

微位移传感器结构主要借鉴实验室的机器人六维腕力传感器结构特点,在设计中同样采用双 E 型膜片结构^[4]。首先用改进的二维力传感器来检测作用于物体上的 X 和 Y 两维上的力信息,再将其换算成平面的位移信息。同时,它在机器人六维力传感器基础上改变了相关的结构参数,如量程和

灵敏度等,以便实现对微小的力和位移信息的获取。

美国德州仪器公司(Texas Instruments)新推出了一种功能很强的带 24 位 A/D 转换器的微处理器 MSC1210^[5]。MSC1210 具有一些增强特性,特别适合测量高精度温度、压力传感器等输出的微弱信号。MSC1210 主要包括增强型 8052 微控制器核心、闪存、高性能模拟功能和高性能外设。增强型 8052 微控制器核心包括双数据指示器,执行指令的速度比标准 8052 核心快 3 倍。这种 MIPS 功能使用户能够根据特殊需求优化速度、功率及噪声。图 1 是 MSC1210 ADC 的方框图。

高精度微位移传感器电路模块的核心是 MSC1210 单片机。它完成微弱信号的多路切换、信号缓冲、PGA 编程放大、24 位 Σ - Δ A/D 转换、数字滤波、数据处理、信号校准以及 UART 通信等功能^[6]。以下结合微位移传感器的

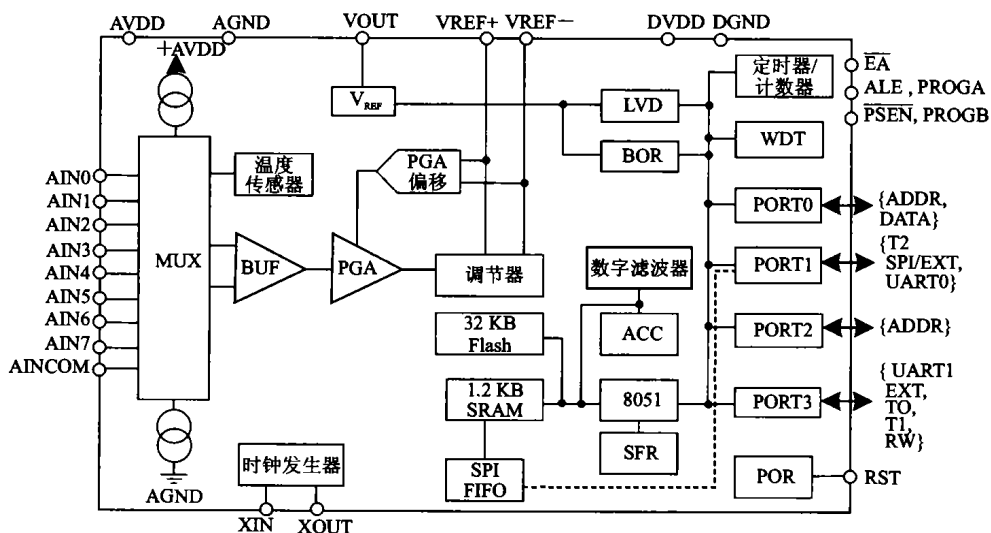


图 1 MSC1210 ADC 方框图

* 国家自然科学基金项目。资助号: 60343006, 60375027。

使用作简要介绍。

MSC1210 输入复用器比一般 ADC 灵活,它的每个输入引脚均可针对特定的测量而配置成正输入或负输入。与启动 ADC 部件通常定义输入对相比, MSC1210 可把一个引脚定义为负输入,把另一个定义为正输入,使设计方便自由。微位移传感器一组桥路输出分别接 MSC1210 ADC 的 AIN0 与 AIN1,作为一路差分输入;另一组桥路输出分别接 MSC1210 ADC 的 AIN2 与 AIN3,作为第二路差分输入。ADMUX 寄存器初始化赋值为: ADMUX = 0x01。

按照 TI 公司的 MSC1210 的数据说明,输入缓冲器可降低 ADC 测量中偏移的可能性。只要输入信号的特征允许,就应该采用它。惟一不采用输入缓冲器的情况是,其中一个模拟输入上的最大电压低于正轨电压高于 1.5 V。不带缓冲器时, MSC1210 的输入阻抗是 5 M Ω /PGA。启用缓冲器时,该阻抗一般为 10 G Ω 。输入电压范围缩小,同时模拟电源电流升高。在不是上述“惟一”的情况下,实验中并没有使用缓冲,而是清零 ADC 控制寄存器 (ADCON0.3) 中的 BUF 位,即关闭缓冲,取得的效果却较为理想,传感器的零点输出偏差变化较小。

可编程增益放大器 (PGA) 的增益可设置为 1、2、4、8、16、32、64 或 128。利用 PGA 可大大提高 ADC 的有效分辨率。当然增益设置要合理,否则噪声也随之放大了。实验中微位移传感器的增益设置为 64 (准确地说,应该是 MSC1210 ADC 的 PGA 的增益)。

MSC1210 数字滤波器有快速建立、sinc² 或 sinc³ 三种,还有一个自动模式。在输入信道或 PGA 改变后,自动模式可把 sinc 滤波器修改到最佳的可用选项。在切换到新的信道后,它可把快速建立滤波器用于下两次转换,其中的第一次转换应被抛弃。然后,使用 sinc²、随后使用 sinc³ 滤波器来提高噪声性能。这种操作可以同时融合 sinc³ 滤波器的低噪声优势和快速恢复时间滤波器的快速响应。数字滤波器中的 sinc 是数字滤波器中 FIR 滤波器的一种,常用在 Δ - Σ 的 ADC。当输入信道突然变化时,输出需要一定时间来正确表示新的输入。所需要的时间取决于所采用的滤波器的类型。sinc² 通常代表需要 2 个周期的数据输出时间, sinc³ 代表需要 3 个周期的数据输出时间,其他需要 1 个周期的数据输出时间。通俗地说,若采用 sinc³ 滤波器,则当输入信道改变后,最先采样输出的 3 个数据不能使用,应该抛弃;只有第 4 个输出数据是可使用的。这一点至关重要。

MSC1210 既可以采用内部参考电压,也可以采用外部参考电压。参考电压的开机配置是内部 2.5 V。通过 ADCON0 寄存器可以选择参考电压。实验中启用了内部参考电压,通过设置 ADCON0.4 (VREFH) 选择为 1.25 V。

需要注意的是,启用内部 V_{REF} 并不会消除外部连接需要。REFOUT 引脚必须仍连接到 VREF+, 而 VREF- 必须仍连接到 AGND, 以便内部 V_{REF} 能够正常操作。由于篇幅限制, MSC1210 ADC 的其他功能在此不作介绍。

2 传感器的硬件组成

由于 MSC1210 ADC 的高度集成化,硬件系统构成很简洁。图 2 是微位移传感器的部分效果图。应变电阻片通过特殊的工艺,并且按照特定的方向被粘贴到 E 型膜片的表面上,连接组成两组自动解耦的惠斯通全桥电路,作为原始的力信息的模拟输出。小巧的电路板被放置于圆形的孔径之中。



图 2 传感器部分效果

图 3 为实验系统的电路结构示意图。实验系统主要由传感器本体(输出原始的模拟信号)、MSC1210 核心、串口通信电路和 PC 机组

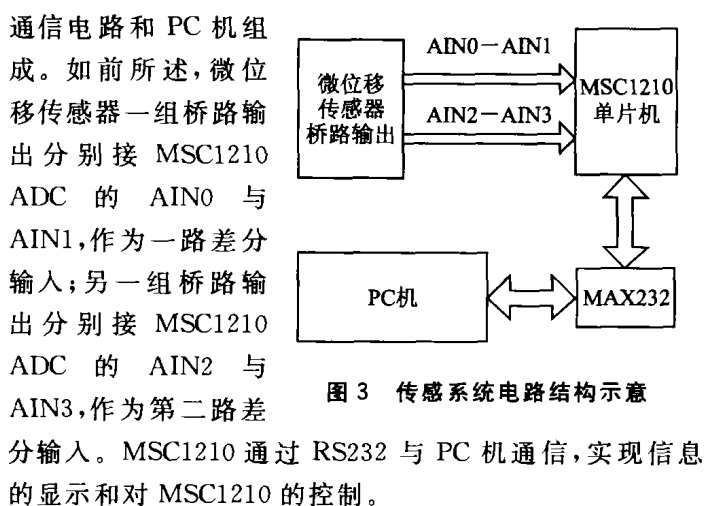


图 3 传感系统电路结构示意图

3 MSC1210 数据采集系统的软件设计

对 MSC1210 ADC 的各个控制字的设置将会极大地影响传感器的最终分辨率和稳定性。例如,输入缓冲器使用与否、可编程放大器增益的选择、调制器时钟速度选择(决定模拟采样率以及滤波器型号的选择)等,这些参数的设定都不是一次完成的,有些要经过反复的组合、尝试,最

终得到满意的结果。为了避免每次修改程序后必须重新下载到 Flash 程序存储器中, MSC1210 在工作之前的 ADC 的初始化工作由 PC 机完全控制。首先, PC 机将各种必要的控制信息通过串口传给 MSC1210, MSC1210 根据这些信息来进行 ADC 的初始化工作。具体地说就是, PC 机向 MSC1210 发送 6 个字节, 这 6 个字节中包含了滤波器型号、ACLK、ADCON2 和 ADCON3 寄存器中的抽样值、修改模拟输入信道后的延时值、必须抛弃的数据输出周期数和可编程放大器的增益。然后, MSC1210 启动 ADC 的初始化工作。进入正常工作状态后, 如果发现当前数据输出周期数已大于预先设置的必须抛弃的数据输出周期数, MSC1210 就认为这个输出数据及其以后的输出数据都是有效的了, 但它并不立刻将数据发送给 PC 机, 而是要马上修改模拟输入通道, 然后再使前一输入通道的输出是无效的, 紧接着进入下一个数据输出周期。MSC1210 的工作流程可简单用图 4 表示。

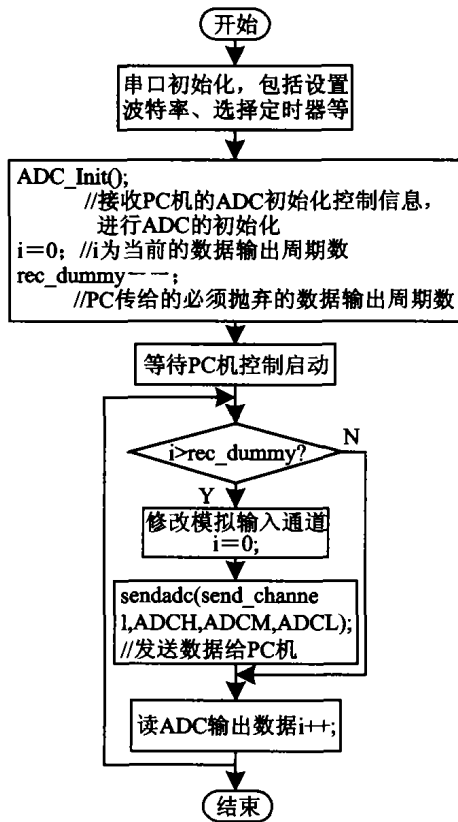


图 4 MSC1210 工作流程

PC 机除对 MSC1210 ADC 的初始化控制外, 主要负责将 MSC1210 通过 RS232 串口发送上来的数据用可视化的图形实时地显示于窗口适当位置。每次 MSC1210 向 PC 机发送 4 个字节。这 4 个字节是如下定义的: 第 1 个字节表示传感器的通道号, 0 表示 AIN0 与 AIN1 差分输入, 即 X 维的信息; 1 表示 AIN2 与 AIN3 差分输入, 即 Y 维的信息。后三个字节是输出数据的 24 位二进制表示,

是 MSC1210 ADC 的转换结果。当 PC 机处理进程检测到输入缓冲区满 4 个字节后, 读取缓冲区的数据, 同时清空输入缓冲区。根据第 1 个字节识别通道后, 将数据转换为电压值后显示到相应位置(单位: mV), 并且在窗口中开辟两块图形显示区域, 分别实时显示 X 轴和 Y 轴的信号变化情况。为了更好地观测到信号的微小变化, 进程提供了图形的放大显示功能。为了方便, 放大倍数可选为 12.5 倍和 125 倍。图 5 为 PC 机与 MSC1210 的交互界面。

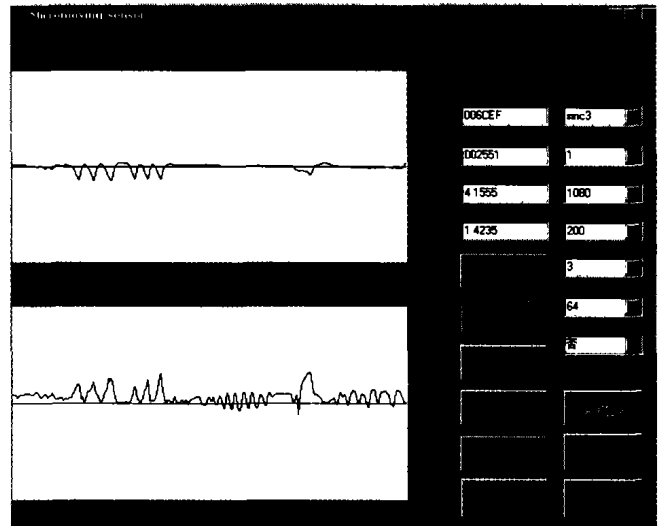


图 5 微位移传感器在工作时的数据输出

4 实验结果

经过反复试验, 结合实际的要求, 最终把微位移传感器的数据输出率定位在 10 Hz, 分辨率高达 15 位, 具有很高的稳定性, 取得了良好效果。相关参数选择如下: MSC1210 的滤波器型号为 sinc³, ACLK 为 1, ADCON2 和 ADCON3 寄存器中的抽样值设为 1080, 将模拟输入缓冲关闭, 模拟输入通道改变后抛弃 3 个数据输出周期, 采用偏移和增益内部自校正。图 5 就是微位移传感器在工作时的数据输出的图形显示, 两条曲线分别表示其在 X 轴和 Y 轴上的受力情况。根据力信息可以方便地计算出位移信息。

此次在中科院合肥智能所机器人传感器实验室多维力传感器技术的基础上, 利用 MSC1210 的优势研制成功的微位移传感器, 具有体积小、分辨率高、稳定性能好等优点。MSC1210 单片机是完整的 SoC 系统, 是功能强大的数据采集芯片, 可以广泛应用于仪器仪表、测控和导航等领域。

参考文献

- 熊幸果, 陆德仁. 微力微位移的天平测试方法. 传感技术学报, 1997(6)
- 洪跃, 金士良. 新型微位移电容式传感器的研制. 上海大学学报, 1995(12)

$$R_L = \frac{l}{P} R_S = \frac{a_1 + a_2}{b_1 + b_2} \sqrt{\frac{\pi f_0 \mu_0}{\sigma}} = 0.420\ 08\ \Omega$$

$$R_X = \frac{2\pi f_0 (L_A + L_1)}{Q} - R_R - R_L = 7.812\ 22\ \Omega$$

天线的传输效率为

$$\eta = \frac{R_R}{R_R + R_L + R_X} = 0.035\ 96(-14.4\ \text{dB})$$

系统的理想通信距离大约为

$$D = \frac{\lambda}{4\pi \sqrt{\frac{S}{\eta^2 P_{RF}}}} = 884\ \text{m}$$

(4) PCB 布局和电源设计

在无线设备中,合理的 PCB 设计对于获得好的 RF 性能是必需的。本系统中,电路板使用至少两层板来设计。nRF401 的直流供电必须在电源(VDD)引脚尽可能近的地方采用高性能的 RF 电容去耦。如果一个小电容再并上一个较大的电容(2.2 μF)效果会更好。nRF401 的电源必须经过很好的滤波,同时与数字电路供电分离。在 PCB 的设计中避免长的电源走线,所有射频部分元件的地线、电源线、电源去耦电容必须离 nRF401 尽可能近,而且元件的地线要尽可能近地通过过孔连接到地线覆铜面。所有开关数字信号和控制信号都不能经过 PLL 环路滤波器元件和 VCO 电感附近。注意,数字地与模拟地应一点相连,两者之间采用电容、磁珠(电感)PI 型滤波;同时,应考虑晶体布线,晶体与 MSP43F122 引脚尽量靠近,用地线把时钟区隔离起来,晶体外壳接地并固定。条件允许的情况下,也可在晶体的输出端接一只 PulseCore 的抑制电磁干扰的器件,提高系统的电磁兼容性能。中心计费管理器与无线终端设备的硬件电路设计相似。

4 软件设计

中心计费管理器与无线终端设备之间采用一对多点的通信方式。中心计费管理器先发送地址包,后发送数据包。无线终端设备接收地址包后与设备地址进行比较,若相同则获得通信链路的控制权,可与中心计费管理器进

行数据交换。中心计费管理器以轮询的方式实现与不同无线终端设备的通信。

在软件设计上应考虑纠错,数据的发送不用长包,而应采用短包方式(每次小于 20 字节),中间加延时以及前导码,来保证起始位的可靠。

通信协议方面也要仔细考虑。通信协议重要的一点就是,能够识别噪声和有效数据。噪声是以随机字节出现的,没有明显的规律。通过测试和试验,发现 0xFF 后跟 0x00 在噪声中不容易发生,传输协议应该在有效数据包前加前导码 0xFF 后跟 0x00。发送协议的开始应该加任意内容的字节(因为第一个字节的数据在发送时易失真),然后是 0xFF 后跟一个 0x00;接收协议规定,接收以 0xFF 后跟一个 0x00 开始的数据包为有效数据。

中心计费管理器提供了故障处理功能。正常情况下,有两台中心计费管理器同时运行:一台处于运行模式,另一台处于备份模式。正常运行时,处于运行模式的管理器在查询、控制无线终端设备的过程中,定时将计费数据传送给处于备份模式的管理器。当备份管理器在一定时间内接收不到运行管理器的数据时,将自动切换为运行模式并产生声光报警信息,提示操作员及时处理。

结 语

本系统以单片 UHF 无线收发集成电路为核心,结构简洁,稳定可靠。同时采用了 MSP430 系列超低功耗微控制器,软件设计方面也充分考虑了节能处理方法,降低了系统的功耗,使用大容量镍氢电池可实现系统的便携功能,使用时间长。目前系统在酒吧应用稳定,以后将应用到酒店的点菜系统。

参考文献

- 1 周建,任红艳,王彦斌. MSP430 的低功耗特性在蓝牙产品中的应用. 电子技术应用,2003,12(13)
- 2 Nordic VLSI ASA. 433MHz Single Chip RF Transceiver nRF401. DataSheet

(收稿日期:2005-02-23)

- 3 Sawada R, Higurashi E. Integrated micro-displacement sensor that can be incorporated into mini 3 - dimensional actuator stage. Broadband Optical Networks and Technologies: An Emerging Reality/Optical MEMS/Smart Pixels/Organic Optics and Optoelectronics. 1998 IEEE/LEOS Summer Topical Meetings
- 4 吴仲城. 多维力传感器设计及信号分析方法研究: [博士论文]. 北京:中国科学院等离子体物理研究所,2001

- 5 Texas Instruments. MSC1210 User's Guide. 2002 - 12
- 6 胡永建,王晓梅. 基于 MSC1210 的多路高精度温度采集系统模块. 电子技术应用,2003(7)
- 7 Texas Instruments. MSC1210 DataSheet. 2002 - 03

沈春山,硕士研究生,主要研究方向为机器人传感器。葛运建,研究员、博导,主要研究方向为机器人和机器人传感器、虚拟现实技术,信息获取和处理,数据库及知识发掘和应用。

(收稿日期:2005-01-11)