

# 基于 SPCE061A 的高精密电子秤设计与实现

王德清, 胡晓毅, 贾宏, 解永军  
(厦门大学 通信工程系, 福建 厦门 361005)

**摘要:** 设计了一款最大测量范围为 600g, 最小测量分度为 0.01g, 精度达到六万分之一的高精密电子秤。该电子秤以凌阳 16 位单片机 SPCE061A 为核心,  $\Sigma$ - $\Delta$ ADC 为主要称重采集部件; 采用了硬件电路抗干扰和软件滤波等技术, 以保证整机的精度和稳定性; 同时该系统还为用户提供了智能、友好的用户界面和接口。

**关键词:** SPCE061A; 电子秤;  $\Sigma$ - $\Delta$ ADC; 抗干扰; 软件滤波

## The design and realization of high precision electronic scale based on SPCE061A

WANG De Qing, HU Xiao Yi, JIA Hong, XIE Yong Jun  
(Department of Communication Engineering, Xiameng University, Xiameng 361005, China)

**Abstract:** This paper proposes an electronic scale with high precision—the largest measurement range is 600 gram; the minimum equipment division is 0.01 gram. 16-bit MCU SPCE061A is adopted as the core of the design, and  $\Sigma$ - $\Delta$ ADC is the most important weighing sample component. Anti-jamming hardware circuit and software filter are used to guarantee the accuracy and stability. The system also provides an intelligent and friendly interface.

**Key words:** SPCE061A; electronic scale;  $\Sigma$ - $\Delta$ ADC; anti-jamming; software filter

电子秤(或电子衡器)是配有电子称量装置的衡器, 它在商业销售中广泛使用。国内从 20 世纪 60 年代中期开始模拟指针式电子秤的研制和生产, 经历了模拟式电子秤、数字式电子秤和微机式电子秤三个阶段。精度从 0.1%、0.05% 发展到 0.01%。根据目前市场发布的产品, 电子秤的精度可分为四级, 如表 1 所示。功能上包括各种参数的设定、自动处理及毛重、净重、皮重和累加值的显示等。为了管理和参数设置的方便, 还配有与上位计算机的串行通信接口, 如 RS-232C 等。

表 1 电子秤精度等级

等级	名称	精度
I 级	特种天平	精度 $\leq 0.001\%$
II 级	高精度天平	$0.001\% < \text{精度} \leq 0.01\%$
III 级	中精度天平	$0.01\% < \text{精度} \leq 0.1\%$
IV 级	普通秤	$0.1\% < \text{精度} \leq 1\%$

总体来说, 电子秤的发展呈现出小型化、智能化和模块化的特点。根据市场需求, 笔者以高精度、小型化和智能化为目的, 以高性能 16 位凌阳单片机 SPCE061A 为核心, 研发了一款最大称重为 600g, 最小分度为 0.01g, 称重精度为 0.0016% (六万分之一) 的工业用高精

度电子秤。该产品包含当前台式电子秤所有的功能且用户界面友好。

### 1 系统整体方案设计

电子秤的工作原理是将作用在承载器上的质量或力的大小, 通过称重传感器转换为与之成正比的电信号, 并且以模拟或数字量的形式在称重仪表上显示出来。电子秤由称重传感器、弱信号放大和滤波、高数位 A/D 转换器、MCU 和显示器组成。系统组成框图如图 1 所示。

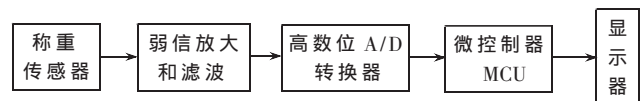


图 1 称重系统结构

本系统采用性能优异的电阻应变式桥式称重传感器, 其基本原理为所称重量引起的电阻变化可产生一个叠加在共模电压之上的差分电压。该传感器的电灵敏度为 2mV/V, 当使用 5V 激励电压时, 其满度输出电压为 10mV, 在 60 000 分刻度下, 每分刻度的输出电压为微伏级。因此微弱信号的采集是本系统设计的第一难点。另一难点则是系统的实时反应速度。由于本设计面向商用, 要求系统能够对称重物体作出快速反应, 在稳定与不稳定状态间反应灵敏, 并且判断准确。最后, 作为智能

化、便携式的电子称重仪器,友好的用户界面和低功耗设计也是必需的。

根据上述技术难点的分析和系统指标要求,选取凌阳 16 位单片机 SPCE061A 为核心控制器件。SPCE061A 最高工作频率可以达到 49.512MHz, 内置 2KB 静态内存, 32KB Flash, 32 个通用 I/O 口。由于采集到的微弱信号极易受到干扰, 受干扰的信号必须进行数字滤波才能使系统性能得到提升。SPCE061A 的 16 位字长和大存储容量为数字滤波提供了有力的支持; 数字信号处理速度和系统的快速反应依赖于主控制器的工作频率, SPCE061A 单片机 49.512MHz 的工作频率能够很好地满足要求; 32 个通用 I/O 口和各种外设资源使系统在扩展按键、LCD 显示、实时时钟 RTC、存储器 EEPROM 和上位机接口上提供了便利。

根据指标要求, 电子秤的称重计数分辨率为 60 000, 要确保外部计数精度, 通常内部分辨率必须高于外部分辨率一个数量级, 因此内部计数必须精确到 600 000, 这需要 20bit 的 ADC 才能满足此要求。系统的 A/D 转换器选取 24 位  $\Sigma-\Delta$  ADC 芯片 CS5460A。CS5460A 包含两个  $\Sigma-\Delta$  模-数转换器 (ADC) 和一个串行接口的高度集成  $\Sigma-\Delta$  模-数转换器, 两个通道都包含可编程增益放大器和片内高速滤波器, 共模抑制比大于 80dB。高位数和高共模抑制比可保证微弱信号的数字采集准确。

系统硬件框图如图 2 所示。与上位机的通信可以根据需求选配 USB 接口或 RS232 接口。

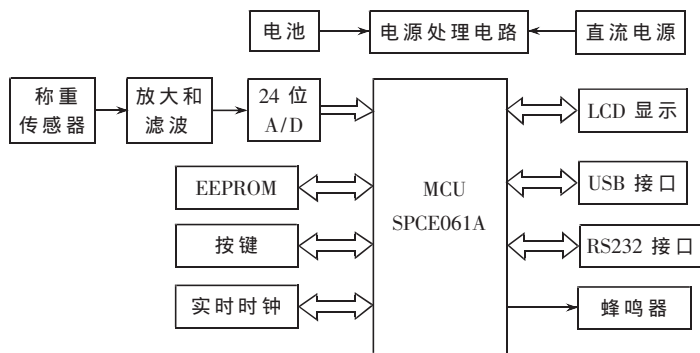


图 2 系统硬件框图

在软件设计上, 系统主要完成用户功能的响应、称重数据的采集与处理、软件滤波、数据校正和称重显示等功能。用户通过按键录入、软件查询的方法得到键值后, 根据键值完成相应的功能; 为了保证用户界面的简捷, 采用组合键录入。根据用户需求, 称重数据可以为毛重、净重或采样值。系统软件流程图如图 3 所示。

## 2 硬件抗干扰设计

### 2.1 前置放大和滤波

称重传感器的输出为微弱的低频差分信号, 其电压幅度为微伏级。虽然 A/D 内部自带有 50 倍增益放大器, 但还不足以将信号放大到与 A/D 参考电压相匹配

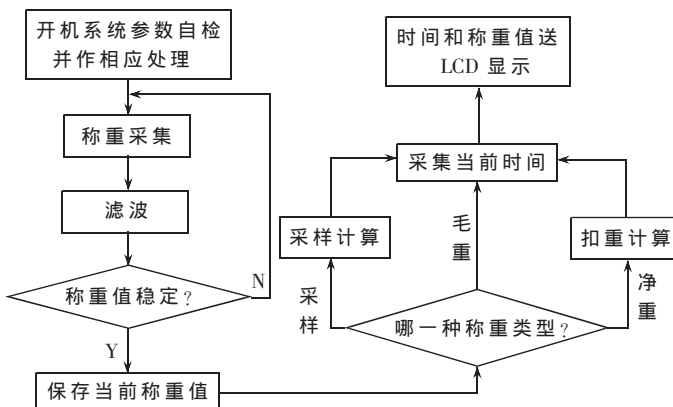


图 3 系统软件流程图

的程度, 所以必须加一级前置放大器来提高放大倍数。前置放大采用差分放大输入, 这既提高了输入阻抗, 又能有效抑制共模噪声。但是如果两臂的信号出现不平衡, 则采集到的数据将会产生基线漂移。为此, 采用两路 RC 低通滤波电路对两臂信号同时进行滤波, 两臂之间采用共模滤波电容滤波。其原理电路如图 4 所示。

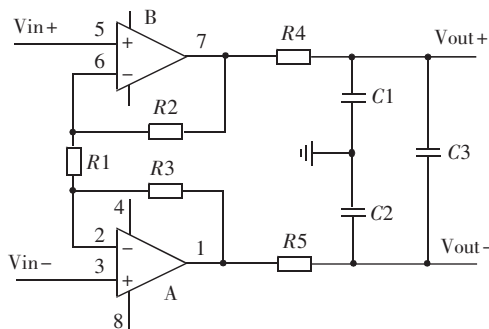


图 4 前置放大和滤波

### 2.2 电源电路抗干扰处理

由于系统对整机的测量精度要求较高, 因此具有抗干扰的电源电路是系统设计的重点之一。系统通过稳压模块将各个电源分开, 并分离接地, 保证来自不同电路的地电流之间没有交叉耦合, 任何一个电路的地电位只受这个电路的地电流和它的地线自身阻抗的影响, 各个地最后回流到系统铺设的地上。

## 3 软件抗干扰设计

### 3.1 称重校正

由于温差、冲击力、浮尘等因素的影响, 传感器承受载荷与其输出电压之间并非成线性关系, 这就造成称量的线性度发生较大的变化; 另外由于 ADC 的线性度不够理想, 使小称量和大称量区间的线性斜率不一样。这两种情况都会使称量线性度发生变化, 造成某些点的称量误差较大。采用分段校准称重值和分段计算称重值, 可大大减小称重值的相对误差。

本系统使用了两种校正方法: 线性校正和单点校正。线性校正取零点 A、三分之一量程 B、三分之二量程 C 和满量程 D 为基点得到三条线段 BA、CB 和 DC, 使得

每段的称量线性度比只有一条线段时要好。单点校正是在线性校正的基础上作小偏移补偿,取零点和系统规定的量程某一点,假设稳定时的零点值为  $A$ ,选取量程中的某一点如 200g,在放置标准砝码 200g 时测得的称重值为  $m$ ,此时求得比率值为  $rate=200/m$ ,称重计算时用此  $rate$  值来修正称量值。

### 3.2 软件滤波

软件滤波包含两部分:数据噪声的滤波及两种称重状态(稳定和不稳定)的判断。因为称重数据在相当长的时间内是稳定不变的,而引起数据变化的干扰信号则变化频繁。软件滤波的作用就是设法把两者区分开,只取平稳的数据作为有效数据进行显示。用于电子秤慢变数据的滤波方法很多,系统综合采用了权值滤波、均值滤波、中值滤波和极值滤波等软件滤波方法。首先采用极值滤波将系统因为干扰而产生的极点去除,然后用中值滤波法进行平均,在称重状态判断的过程中使用不同的权值,对数据进行权值滤波。这样就得到了最后要显示的数据。

称重状态判断要处理三个问题:(1)是否有重量变化;(2)若无重量变化,显示值保持稳定,保证不受噪声干扰;(3)若有重量变化,系统要及时反应并显示出来。传统电子秤的处理方法是取一定量的数据求均值,规定一个求均值的次数,当次数到达时,对这些均值再作平均,如果在设定的范围内,则认为是稳定的测量值,反之则为不稳定测量值,还需要再取更多的数据进行相似的处理之后才能知道是否稳定。这种方法适用于均值的范围集中在  $1/3 \sim 2/3$  最小感量的时候,若最小感量的值降低,则此方法就无法保证称重值的稳定显示。本系统解决办法是将测量值转化为实际显示的称重值,如果称重值没有变化,则认为没有变化;如果称重值有变化但没有超出  $3/2$  个最小感量,还是认为称重值没有变化;如果超出了,则要进行一系列的比较才能确定是否有新的重量加入。经实际测试验证,此方法有效地避免了称重显示值的来回跳动。

## 4 系统测试结果

### 4.1 称重数据测试

本系统性能的提高关键在于采用了硬件抗干扰处理和软件滤波处理。图 5、图 6、图 7 分别描述了未经过任何处理、只经过硬件处理和同时经过硬件与软件处理的称重数据波形。每幅图上的粗线代表了数据变化的趋势,即基线。从图 5 可看出,未经过硬件抗干扰处理的波形基线会漂移;图 6 中,经过硬件处理后,基线的漂移消失,但局部仍然会有数据的波动;图 7 中再经过软件滤波处理,数据变化更趋平缓,基线基本不变,有利于得到比较稳定的数据。

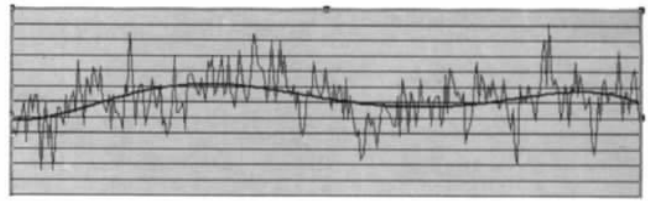


图 5 未经过硬件和软件滤波

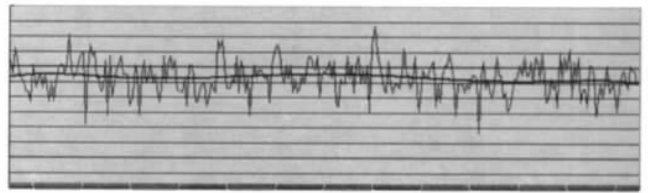


图 6 经过硬件滤波

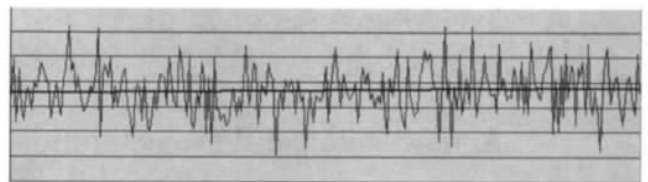


图 7 经过硬件和软件滤波

### 4.2 整机性能测试

表 2 和表 3 分别对整机做线性测试和重复性测试。线性测试的步骤是在零点情况下,每次都是 100g 向上叠加。从测试结果看,系统性能符合用户要求。

表 2 线性测试

测试砝码/g	一	二	三	四	五	六	七
100	100	99.99	99.98	100	99.99	99.97	99.99
200	199.97	199.98	199.97	199.98	199.97	199.97	199.97
300	299.99	300	300	300.01	299.98	299.98	299.99
400	400.01	400.02	400.02	400	400	400.01	400.01
500	500.04	500.04	500.03	500.03	500.03	500.04	500.04
600	600.03	600.03	600.03	600.01	600.02	600.01	600.04

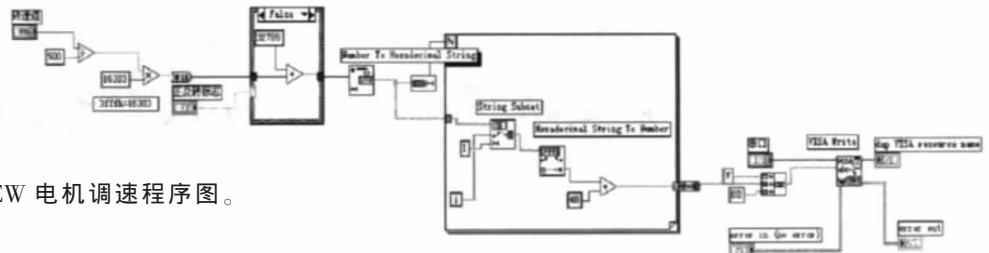
表 3 重复性测试

次数	一	二	三	四	五
零点情况下,放 200g	199.99	200	199.99	199.99	199.99
在 200g 基础上,加 200g	400.02	400.02	400.02	400.02	400.02
对应以上操作取下 200g	200	200	200	199.99	200
500g 基础上加 100g	600.02	600.02	600.03	600.03	600.02
对应以上操作取下 100g	500.04	500.04	500.04	500.04	500.05
零点下放 600g	600.02	600.01	600.02	600.01	600.02

本文介绍了以高性能 16 位单片机为控制核心的高精度电子秤的设计方法。采用硬件抗干扰和软件滤波等技术得到了系统性能的提升。测试结果表明,该产品具有较优异的线性度和重复性,性能指标达到了预期的效

(下转第 89 页)

后将得到的值转换成十六进制,提取每一位数据与 30H 相“与”,得到一个新的数组,再把该数组转换成字符串,前面加上字符“V”后面加上空格字符向串口



发送即可。如图 4 所示为 LabVIEW 电机调速程序图。

### 4.2.3 测试数据分析模块

程序可以根据标准曲线与测试曲线的吻合程度进行判断并显示其结果。在该界面中,用户还可以对该组数据的某个点的值进行重新测试,将实测曲线在不同的标准下进行分析而得出结论。同时可以将某组数据进行删除、保存等操作。

本系统采用了虚拟仪器测试技术,以 VI 为开发平台进行开发设计。硬件上,系统采用计算机和单片机实现了加速度传感器性能的测试;软件上,NI LabVIEW 的选用使系统的设计过程趋于简便。该系统的关键在于数据通信的实现上,即计算机串口的 RS-232 数据与采样系统的射频数据的转换,在软件编写过程中充分考虑了数据通信过程中的容错性处理。目前系统采用计算机的串口接收的数据,其波特率为 9600b/s,而射频模块的传送波特率高达 1Mb/s,要提高整个系统的通信速率,可以采用计算机的 USB 口进行数据的采集。

### 参考文献

[1] 张晋宾,周四维.现代传感器技术发展的必要性及其动

图 4 LabVIEW 电机调速程序

态[J].世界仪表与自动化,2005,(9):37-38

- [2] 王文燕,张冰蔚. LabVIEW 中远程数据采集的实现[J].工业控制计算机,2006,19(9):8-9.
- [3] 刘笃仁.PIC 软硬件系统设计[M].北京:电子工业出版社,2005:27-267.
- [4] 卞春江,张天宏,邓志伟,等.面向旋转构件的高速无线数据采集系统[J].传感器技术,2004,(11):53-55.
- [5] Nordic VLSI ASA.nRF2401 single chip 2.4GHz radio transceiver[M].USA: Nordic Corporation,2003:1-37.
- [6] 王博,李迅,马宏绪.基于 nRF2401 的无线数据传输系统.电子工程师,2004,(8):17-20.
- [7] 侯国屏,王坤,叶齐鑫.LabVIEW7.1 编程与虚拟仪器设计[M].北京:清华大学出版社,2004.

(收稿日期:2007-11-26)

(上接第 85 页)

果;该产品还具有用户界面友好、操作简单等特点。产品性能处于市场领先地位。

### 参考文献

- [1] 罗亚非.凌阳 16 位单片机应用基础[M].北京:北京航空航天大学出版社,2005.
- [2] 王培清.电子系统中噪声的抑制与衰减技术[M].北京:电子工业出版社,2003.

- [3] 张中平.Σ-Δ 模数转换器的原理及应用[J].电子器件,2003,(12):414-417.
- [4] 赵广平.电子称重技术现状及发展趋势[J].仪表技术与传感器,2007,(7):76-77.
- [5] 王亚平.电子秤的抗干扰技术[J].仪器仪表与应用,2006,(3):83-85.
- [6] 张海霞.新型便携式电子秤设计[J].计量技术,2005,(9):6-9.

(收稿日期:2007-11-16)

### 行业聚焦

### Focus on Industry

## NI 发布 USB 总线的数字化仪和数字万用表 提升便携式测量的性能

美国国家仪器有限公司 NI 近日发布 USB-5132/5133 数字化仪和 USB-4065 6 $\frac{1}{2}$  位数字万用表(DMM)。其小巧轻便,加之总线供电和即插即用的特性使之成为便携式、台式和 OEM 应用的理想选择。此外,该系列产品附带 NI LabVIEW SignalExpress LE 交互式测量软件,让用户无需编程,即可快速地进行数据采集、分析和显示。

USB-5132/5133 数字化仪的采样率分别可达 50MS/s 和 100MS/s,并具有两个 8 位分辨率的同步采集通道。这两款数字化仪的输入电压范围为 40mV~40V,分为 10 档,且具有可编程直流偏置,每个通道均有 4 MB 板载内存,可用于所需采集数据量较大的应用场合。USB-4065 数字万用表设置分辨率为 6 $\frac{1}{2}$  位时,每秒可采样 10 次,在低分辨率时最高可以达到每秒 3000 次采样。USB-4065 带±300V 电压隔离,可以测量高达 3A 的电流,且可以选用 2 线制或 4 线制测量电阻,因此,该设备可以应对一切传统 6 $\frac{1}{2}$  位数字万用表所能完成的测试功能。

该系列产品都包含自己的软前面板(操作软件),界面亲切友好,便于快速启动并运行。对于数据记录应用,工程师很方便就可以将这两款产品同 LabVIEW SignalExpress 测量软件连接起来。直观易用的软件和总线供电的架构使得该系产品进一步提高了便携式测量仪器的易用性和性能。欢迎访问 ni.com/china/mi。(NI 公司供稿)