

基于 MSP430 单片机的 便携式数字倾角仪的研制

张 伟,梁华为,杨新钢,杨先军

(中国科学院合肥智能机械研究所 传感中心,安徽 合肥 230031)

摘要:介绍了一种基于 MSP430 系列单片机和 ADXL203 加速度传感器的数字式倾角仪,它不仅可以实现水平度检测,而且可以测量 $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$ 范围内的任意倾角,分辨率可达 0.1° 。此外,由于该倾角仪输出为数字结果,因此它也可以与其他的数字设备结合起来,组合成一个功能更加强大的仪器。该数字倾角仪可广泛应用于建筑、机械、道路、桥梁、石油、煤矿和地质勘探等各种需要测量重力参考系下倾角的场合。

关键词:MSP430F133 单片机;力敏传感器;ADXL203 加速度计;角度测量

中图分类号:TH712 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-0682(2006)02-0070-03

Developing a portable digital inclinometer based on MSP430 MCU

ZHANG Wei, LIANG Hua-wei, YANG Xin-gang, YANG Xian-jun

(Institute of Intelligent Machines under Chinese Academy of Science, Anhui Hefei 230031, China)

Abstract: This paper presents a new style digital inclinometer which is developed on the basis of the MSP430F133 MCU and the ADXL203 dual axis accelerometer. This inclinometer not only can test levelness, but also can measure any angle between 0° and 360° with an accuracy of 0.1° . In addition, its output is a digital result, which makes it possible to integrate itself with other digital devices to form a more functional unit. This inclinometer can be widely used in any construction site, oil field, coal-mine or geologic survey and so on where it will provide the working people with convenience to measure any angles.

Key words: MSP430F133 MCU; force sensor; ADXL203 accelerometer; angle measurement

0 引言

当前,大多数行业测量角度时依然沿用传统的水泡式框式(条式)水平仪。其检测方法依然是“水泡移动,肉眼分辨”。这种原始的检测方法有诸多缺点,如测量值因人而异、功能单一、测量范围小等。该文介绍一种数字式角度测量仪,它与传统的水泡式框式(条式)水平仪相比具有电子检测、即时数值显示、测量精度高、测量范围大、使用及携带方便等特点,彻底摆脱了“看水泡移动、估数值”的传统测量方法,大大提高了工作效率。

1 MSP430Flash 系列单片机简介

MSP430Flash 系列单片机是德州仪器公司(TI)

推出的 16 位精简指令集(RISC)微处理器。它整合了 A/D 转换、硬件乘法器、硬件脉宽调制器(PWM)等功能,是一款高整合度的片上系统。MSP430Flash 系列单片机具有很多特点:超低功耗,具有 ISP 功能,其指令体系为 16 位的 RISC 结构,指令可以为 16bit 模式,也可以为 8bit 模式。最快指令周期为 125 ns, I/O 口集成有施密特触发电路,脉冲信号可以直接输入到引脚而不用外加整形电路,从而为整形电路的低功耗性能奠定了良好的基础。与传统的 51 系列单片机相比, MSP430F13x 系列具有 48 个可独立编程的 I/O 口, 16 个独立的外部中断源, 2 个 16 位的定时器, 1 个高速的 12 位 A/D 转换器, 1 个通用串行接口(UART), 如果堆栈够大, 它的中断可以无限嵌套。

该数字倾角仪测量系统选用的是 MSP430F133 处理器,它具有 8KB ROM, 2KB RAM, 完全满足系统要求。

收稿日期:2005-05-18

基金项目:国家 863 基金资助项目(2003AA404101)

作者简介:张 伟(1981-),男,硕士生,研究方向为智能仪器仪表与自动化装置。

2 传感器原理及其角度测量方法

2.1 传感器原理

采用垂直放置的两个完全相同的悬臂梁式力敏传感器构成倾角传感器。悬臂梁式力敏传感器由应变梁、应变电阻、重锤和传感器支架组成,应变梁上的 4 个应变电阻构成惠斯通电桥 (Wheatstone Bridge)。如图 1 所示,力敏传感器 1# 的长度轴线方向与测量基准面垂直,力敏传感器 2# 的长度轴线方向与测量基准面平行。设重锤的质量为 m ,重力加速度为 g ,当测量基准面和水平面所夹的角度为 θ 时,传感器 1# 的输出为:

$$U_1 \propto mg \sin\theta \quad (1)$$

传感器 2# 的输出为:

$$U_2 \propto mg \sin(90^\circ - \theta) = mg \cos\theta \quad (2)$$

设 U_1 输出电压值为 V_x , U_2 输出电压值为 V_y ,

则 $V_x/V_y = mg \sin\theta / mg \cos\theta = \tan\theta$

那么 $\theta = \arctan(V_x/V_y)$ (3)

或 $\theta = 90^\circ - \arctan(V_x/V_y)$ (4)

根据式(3)或式(4),就可以计算出相应的角度值。

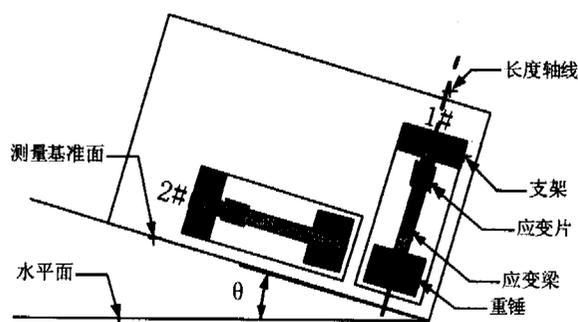


图 1 倾角传感器结构

2.2 角度测量方法

以上为理论推理,实际上,考虑到单片机的处理能力有限,无法处理边界角度(如 0° 和 90° 等角度),以及无法确定角度方向等原因,设计中采用如下的方法以便于后续的标定工作。

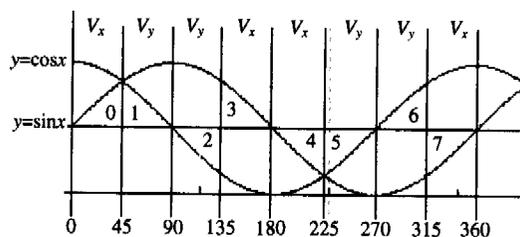


图 2 各角度区间内传感器输出的选择

根据式(1)和式(2),可以近似认为传感器的两个输出符合正余弦函数规律,即 $V_x = \sin\theta$, $V_y = \cos\theta$

,如图 2。从图 2 可以看出 V_x 在 $0^\circ \sim 45^\circ$ 的变化远大于 V_y 的变化,显然 V_x 在 $0^\circ \sim 45^\circ$ 范围的灵敏度高于 V_y ,所以在 $0^\circ \sim 45^\circ$ 的区间内,应该采用 1# 传感器输出。而在 $45^\circ \sim 90^\circ$ 的范围内, V_y 的变化率又显然大于 V_x 的变化率,故在 $45^\circ \sim 90^\circ$ 的区间内,使用 2# 传感器的输出。以此类推,把整个 360° 的平面从 0° 开始,每隔 45° 为一区域,逆时针划分为 8 个区域,分别定义为 0, 1, ..., 6, 7 区间。各个区间内具体使用哪个传感器的输出情况如图 2 中所示。在后面的标定过程中,记录在每个 4.5° 倍数的角度上传感器的两个输出,依次作为标定数据。计算角度时,把传感器的输出与先前的标定数据比较,则可以得到此时的角度。计算出角度值后,就能够分辨出在哪个象限,从而也就确定了方向。

3 系统硬件设计

3.1 系统硬件组成

系统硬件结构主要包括以下组成部分: ADXL203 微加速度计、信号调理电路、MSP430F133 微处理器、标定数据库、液晶显示模块、键盘控制模块,如图 3 所示。其中, ADXL203 微加速度计作为传感器单元输出电压信号;信号调理电路则负责将传感器的输出信号进行放大滤波; MSP430F133 微处理器则是整个系统的大脑,负责协调各部分的工作,以及进行数据处理;标定数据库主要由 AT24C16 构成,负责记录标定数据;液晶显示模块和键盘控制模块则是人机交互的通道。

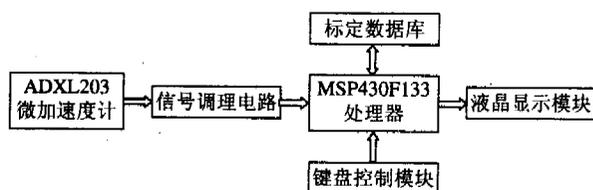


图 3 系统硬件结构框图

3.2 ADXL203 微加速度计

ADXL203 微加速度计封装体积小,便于缩小倾角仪的体积,更容易携带;零漂温漂小;低功耗,5 V 电压供电下,消耗电流为 $700 \mu A$;精度高,典型误差不大于 0.1° ;此外,它还是双轴输出的,即输出电压值 V_x 和 V_y 。

3.3 信号调理单元

信号调理单元的作用是对传感器的输出信号进行放大和滤波。由于是单电源供电,也需加入一个电压提升电路。

3.4 MSP430F133 微处理器

MSP430F133 微处理器是整个系统的核心。一

方面对整个系统内的各个软件模块进行协调处理,如响应按键、输出数据到液晶模块;另外也负责对采样到的数据进行处理,计算出角度值。

3.5 标定数据库

标定数据库主要由 AT24C16 存储器构成。AT24C16 是 ATMEL 公司推出的一款基于 I²C 总线的存储器,其数据存储容量高达 16K,而且是基于 I²C 总线的。采用此种存储器,不但容量大,而且只有两根线,分别为数据线 SDA 和时钟线 SCL,大大节省了单片机的 I/O 口。

3.6 液晶显示模块

为了一些特殊符号的显示需要,数字倾角仪使用一块定制的液晶显示器作为显示模块。液晶显示器的显示内容如图 4 所示。其中,“%”用于百分比显示,“DEG”为度数显示,“INCH/FOOT”则为相对于每英尺的英寸数,便于工程上的应用,两边的柱状箭头则用来显示倾角的方向及倾斜的程度,当倾斜 90°时,5 个方格全部显示。此外,液晶模块设计为中心对称,可以正反显示,以方便测量大角度时倾角仪倒置的情况下人们读取角度。

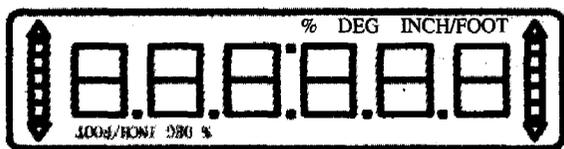


图 4 液晶显示模块

3.7 键盘控制模块

根据使用的需要,水平倾角仪设置了电源开关、显示模式选择、测量方式选择和保持共 4 个按键。其中,电源开关按钮负责开关机的控制;显示模式选择按钮用于选择角度(°)和倾斜度(mm/m)显示模式;测量方式选择按钮用于在绝对角度测量方式和相对角度测量方式之间进行切换;保持按钮则将测得的角度保持在显示器上以便读数。为了降低功耗,单片机仅在需要按键的时候才在键盘口上加高电平,发出键盘扫描信号,其他时间键盘口均为低电平。

4 系统软件设计

系统程序主要分为两大部分:1)利用上位机进行的数据标定程序,包括上位机发出信号,单片机接收信号,以及将采集的传感器的输出值写入外部存储器的程序;2)单片机内主程序模块,包括数据处理程序和液晶模块显示程序、响应按键及定时器中断等程序模块。

4.1 标定过程及其程序模块

标定过程如下:将倾角仪固定于步进电机中心轴的平台,利用高精度水平尺将固定在步进电机轴上的倾角仪旋转到水平位置。此时,可以通过按键或者上位机的信号使倾角仪进入标定数据阶段。进入标定数据阶段后,上位机每给一个信号,单片机将此时加速度计的输出值存于外部存储器中,之后步进电机旋转一个固定的角度。在制作的样机中,使步进电机逆时针每步旋转 4.5°,这样需要标定 80 步即可把整个 360°标定完。标定程序流程图见图 5。

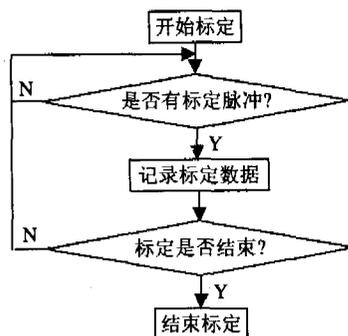


图 5 标定程序流程图

4.2 主程序模块

把倾角仪放置于某个角度下,那么此时的加速度传感器必然输出一个值。将此值与原先标定的数据比较,可以得到此值在哪个 4.5°的区间内,然后再在这个区间内进行线性差分,就可以得出具体的角度值了。得出角度值后,把数据送入液晶显示模块,就可以通过液晶屏知道此时的角度是多少了。主程序模块流程见图 6。

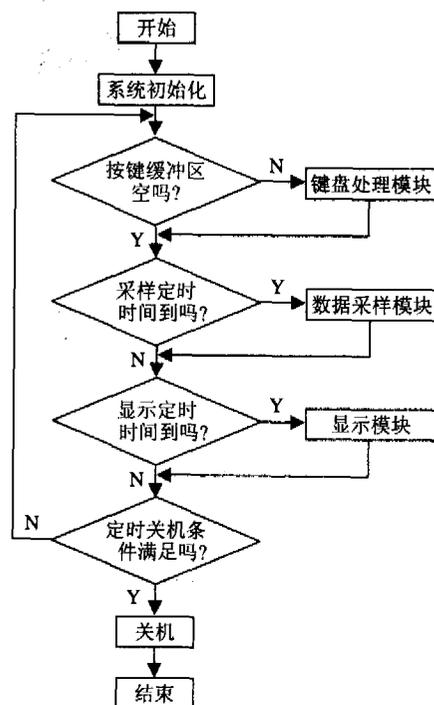


图 6 主程序模块流程图 (下转第 63 页下)

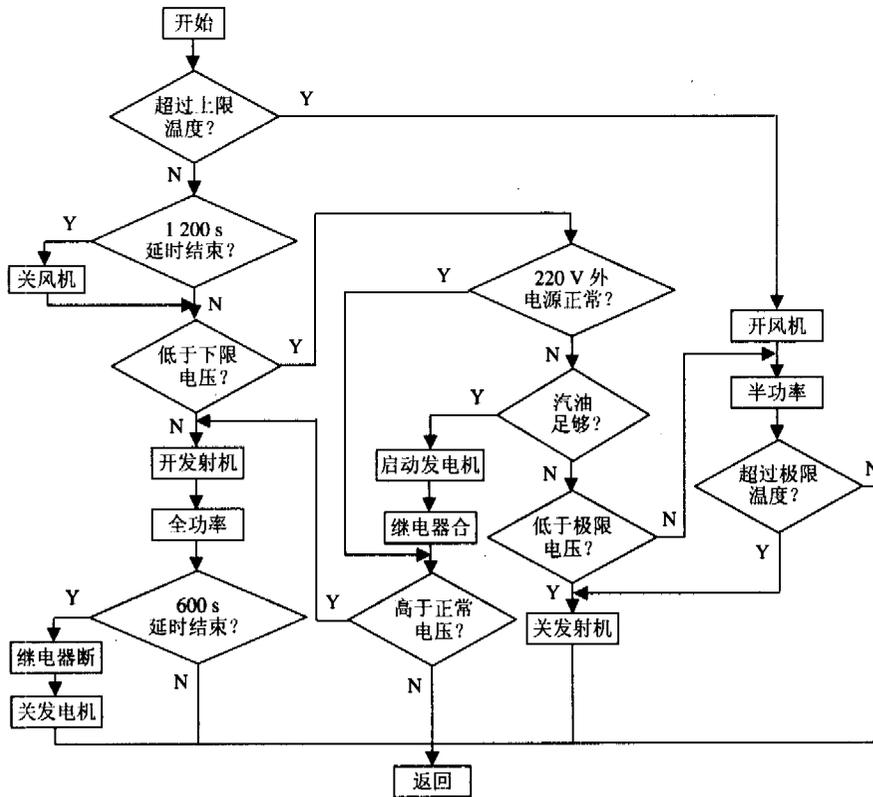


图 3 系统工作流程框图

(3) 24 V/120 AH 大容量电池组

该电池组由原 UPS 不间断电源的 144 V/20 AH 电池组改装而成,停电时可以用该 +24 V 直流电压直接对发射机和 PLC 等电器设备供电,有效工作时间长达 12~18 h 以上。

(4) 24/12 V 充电器

该充电器具有 +24 V 浮动和 +12 V 稳压双路电压输出功能。其中 24 V/5 A 非受控电压经 20 W 大功率电阻限流后以大约 1~3 A 电流供大容量电池组充电;12 V/1 A 稳定的受控电压除提供接收车台(工作电流仅 0.1 A)工作外,还经 3 W 功率电阻限流后以约 0.1~0.5 A 电流供 12V/20AH 发电

机启动电池充电。

(5) HONDA-3 kVA 发电机
当 220V 外电源由于较长时间停电至 24 V/120 AH 大容量电池组的电压低于下限电压值(系统下限电压取 23 V)时,在 PLC 控制下,发电机能自动启动并通过切换继电器 M 的触点为发射机、充电器等设备提供 220 V 交流电压;当 220 V 外电源恢复正常或由于发电机工作使电池组的电压充电至正常值(系统电压正常值取 24.5 V)时,发电机在关闭前仍要延时工作 600 s,以免由于电源不正常引起发电机频繁启动。

PLC 控制和保护系统工作流程如图 3 所示。

4 结束语

该发射基站自动控制和保护系统由于采用了可靠性高、使用和维护简便的 PLC 装置,发射机的工作温度和电池组的电压都能较好地保持在一个合理的范围之内,从而彻底消除了上述的各类故障,真正实现了基站发射系统无人管理状态下安全可靠的运行,具有一定的推广价值。

参考文献:

[1] 李建兴. 可编程序控制器应用技术[M]. 北京:机械工业出版社,2004.
[2] 陈在平. 可编程序控制器技术与应用系统设计[M]. 北京:机械工业出版社,2003.
[3] 郭宗仁. 可编程序控制器应用系统设计及通信网络技术[M]. 北京:人民邮电出版社,2002.

(上接第 72 页)

5 结束语

根据上述原理,已经开发出样机。经实际测量,该装置测量误差小于 0.1°,可满足大量工程上的应用。实验证明,基于 MSP430F133 的数字倾角仪具有携带方便、精度高、功能多等特点。它使用方便,应用范围广泛,可应用于建筑、机械等行业。

参考文献:

[1] 胡大可. MSP430 系列 FLASH 型超低功耗 16 位单片机[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2001.
[2] 赵继文. 传感器与应用电路设计[M]. 北京:科学出版社,2002.
[3] Bernard Sklar. 数字通信——基础与应用(第二版)[M]. 北京:电子工业出版社.