

一种便携式两轴转台角度测量系统的设计

The Design of an Angle Measurement System for a Portable Two-axis Turntable

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所) 王 帅 王显军 阴玉梅 杨晓霞
WANG Shuai WANG Xian-jun YIN Yu-mei YANG Xiao-xia

摘要: 针对便携式两轴转台,设计了一种基于单片机和高精度电位计的角度测量系统。该系统利用高精度电位计作为测角传感器,以 C8051F310 单片机为数据采集与处理核心,外加 LED 数码管,实现了两轴转台的角度测量与指示。系统采用低功耗设计,延长了电池的寿命,同时,过采样技术的采用,有效提高了角度测量的分辨率和信噪比。

关键词: 单片机; 角度测量; 精密电位计; 低功耗; 过采样

中图分类号: TP368.1

文献标识码: A

Abstract: T An angle measurement system based on single-chip computer and high precision potentiometer is designed for a portable two-axis turntable. The system is built by using the high precision potentiometer as the angle measurement sensor, and C8051F310 single chip microcomputer as data acquisition and processing core, plus LED digital display module, which is used to indicate the angle of two-axis turntable. This system uses low-power design, effectively extending the battery life, while over-sampling technique used to improve the angle measurement resolution and signal to noise ratio.

Key words: Single-chip processor; angle measurement; high precision potentiometer; low power consumption; over-sampling

1 引言

一种便携式两轴转台由水平轴和垂直轴两个轴系组成,通过控制两个轴系的转动,可以实现转台的大范围指向,如果在转台上安装监控、测量装置,就可以构成一个小型化的测量与测试平台,方便用于野外试验。

转台角度的测量与指示是转台系统的一个重要组成部分,选取光学编码器或者旋转变压器的测角系统,具有精度高、可靠性好、使用寿命长等优点,但是所需控制电路复杂,成本比较昂贵。根据用途需要,小型双轴转台要求便携性,使用方便,成本低,同时测角分辨率至少要 1° 。本文针对这些要求,设计了一种便携式两轴转台的角度测量系统,该系统采用电池供电,利用高精度电位计作为测角传感器,以 C8051F310 单片机为数据采集与处理核心,外加 LED 数码管显示模块,实现了两轴转台的角度测量与指示。

2 系统硬件设计

整个系统由电池模块、3.3V 电源模块、单片机 C8051F310、两个高精度电位计、电阻分压单元和显示模块组成,其中,显示模块主要包括六位数码管和 CH451 数码管驱动芯片,电阻网络主要用来对电池模块输出的电压进行分压,以便于单片机采集处理并进行监控。

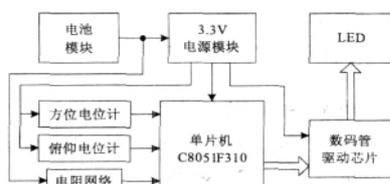


图 1 系统硬件结构框图

王 帅: 助理研究员

系统工作时,单片机 C8051F310 内部 ADC 通过模拟输入通道采集方位电位计、俯仰电位计和电阻分压单元输出的电压值,单片机通过运算和校准,将两个电位计对应的电压值转换为角度值,送与显示单元显示,同时对电池模块输出的电压进行监控,当电压低于一定的阈值时,要进行低电报警指示。

下面给出主要功能电路设计及芯片选择。

2.1 电源部分设计

考虑到转台的便携性,测角装置采用 4 节 5 号干电池串联供电,其输出电压为 6V,为使单片机和显示模块正常工作,电源部分还包括一个 3.3V 电源模块,将电池输出电压转换为稳定的 3.3V,具体采用低压差线性稳压器 AS1117-3.3,它具有极低的静态电流和极低的温度影响,十分适合移动设备供电。该芯片线性调节的参考电压为 1.2V,为保证芯片本身正常工作,其输入电压范围要求为 4.75V~10V,这同时也决定了测角装置的工作电压范围,当电池输出电压低于 4.75V 时,系统要低电报警指示。

2.2 电位计的选择

利用电位器测角,就是根据电阻值与机械转角之间的对应关系来测量。精密电位器有单圈和多圈等不同形式,根据本系统的测量要求,方位轴系转动角度要求为 $\pm 360^\circ$,俯仰转角要求 $0\sim 90^\circ$,因此,方位轴系的电位计选取为多圈电位计,俯仰轴系采用单圈电位器。

2.3 单片机 C8051F310

单片机采用 Silicon Labs. 公司的 C8051F310,它是一款高速、高性能的混合信号系统级芯片,电源电压 2.7~3.6V,具有高速、流水线结构的 8051 兼容的 CIP-51 内核,工作频率可达 25 MIPS; 高精度可编程的内部振荡器,在出厂时已经被校准为 $24.5\text{MHz} \pm 2\%$,器件内还集成了外部振荡器驱动电路,允许使用晶体、陶瓷谐振器、电容、RC 或外部时钟源产生系统时钟;1280 字节片内 RAM,16KB 在线系统编程的 FLASH 存储器;还具有片

内定时器、比较器、温度传感器以及看门狗等。

最主要的是,芯片内部有一个 10 位 SAR ADC 和一个 25 通道差分输入多路选择器。该 ADC 工作的最大采样速率为 200ksp/s,非常适用于多路模拟数据采集系统。A/D 转换可以有多种启动方式:软件命令、定时器溢出或外部转换启动信号,这种灵活性允许用软件事件、外部硬件信号或周期性的定时器溢出信号触发转换。一次转换完成可以产生中断,或者用软件查询一个状态位来判断转换结束,方便用户灵活使用。

2.4 显示模块

显示模块主要由芯片 CH451 及其驱动的六个数码管组成,其中三位用于显示方位角度值,另外三位用于显示俯仰角度值。

CH451 是一个整合了数码管显示驱动和键盘扫描控制以及 μP 监控的多功能外围芯片。它内置 RC 振荡电路,可以动态驱动 8 位数码管,具有 BCD 译码、闪烁、移位等功能;内置大电流驱动级,段电流不小于 25mA,字电流不小于 150mA;动态显示扫描控制,直接驱动 8 位数码管或者 64 只发光管 LED,并且可以通过占空比设定提供 16 级亮度控制;各数码管数字独立闪烁控制;支持 3V~5V 电源电压。

CH451 通过串行接口与单片机相连接,如图 2 所示,单片机通过 IO 口和 CH451 芯片的 DCLK、DIN、LOAD 三个端口连接,即可实现六位数码管的动态显示控制,以及供电电池低电状态下六位数码管的闪烁报警控制。

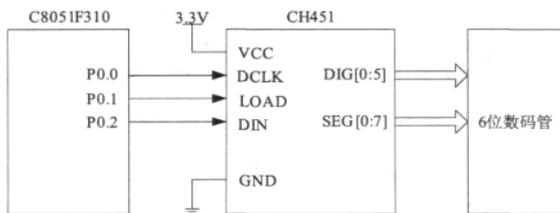


图 2 单片机与显示驱动芯片 CH451 的连接示意图

3 系统软件设计及关键技术

系统软件主要由 MCU 初始化、CH451 初始化、模拟信号采集、数据处理及显示等部分组成。单片机上电后,首先进行 MCU 初始化,包括看门狗设置、系统时钟设置、端口初始化、定时器初始化、模拟通道初始化等;数码管驱动芯片 CH451 初始化主要包括使能芯片的串行通信接口、软件复位、使能显示、设置 BCD 译码方式以及显示数码管的位数、亮度等;系统初始化完毕后,MCU 采集模拟通道的电压信号,并进行数据处理,主要工作分为两部分:一部分采集方位、俯仰两个通道的电压值,并将电压值转化为角度值,在该数据处理中,使用了过采样技术;另一部采集电源电压值,用于监控电源状态;在显示处理模块中,将两个电位计通道的角度值送与对应的三位数码管显示,而在电源电压低于阈值时,将六位数码管的数值进行闪烁显示,实现低电报警功能。

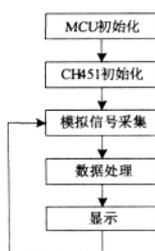


图 3 系统软件流程图

便携式测角仪为了携带方便,采用电池供电,那么如何降低系统功耗、保证系统的使用时间,是系统的一个设计要点,另外,便携式测角仪需要测量大动态范围的角度值,同时还要具有 1° 的测量分辨率。为实现上述要求,系统采用如下关键技术:

3.1 低功耗设计

便携式测角系统的主要耗电单元是单片机和 LED 数码管。对于单片机而言,其功耗和系统的时钟频率直接相关,因此选择满足系统正常工作的最低时钟频率,是降低系统功耗的有效办法。

单片机 C8051F310 有一个可编程内部振荡器和一个外部振荡器驱动电路,对于内部振荡器,在器件出厂前已经过校准,对应频率为 24.5MHz,同时其输出频率可以通过内部寄存器进行设置,可以实现 1、2、4 或者 8 分频。本系统为简化电路设计,采用内部可编程振荡器,并选择 8 分频数,经过实际测试,使用 24.5MHz 时钟的单片机消耗电流为 8mA,而经过分频后,消耗电流降低到 0.4mA。

对于数码管 LED 而言,亮的段数越多,耗电越大,为降低其功耗,采取高位“0”消隐功能,即角度值高位为零时,数码管不显示,只显示有效位数;另外,充分利用 CH451 芯片的驱动能力,通过调整占空比来控制 LED 亮度,实际测试表明:在六位数码管显示“日”时,选取 1/16 的占空比时,LED 的消耗电流仅为 1.4mA,但此时由于 LED 亮度较低,人眼不易读取角度值;当选取 16/16 的占空比时,LED 的亮度达到最大值,其消耗电流高达 27mA。为保证人眼正常读取数据,并降低 LED 功耗,经实际对比测试,设定占空比为 8/16,此时 LED 消耗电流为 13mA。

综上,整个测角系统在正常工作的条件下,其耗电电流不超过 14mA。

3.2 过采样技术

单片机 C8051F310 内部集成了一个 200ksp/s 的 10 位逐次逼近型 ADC 和一个模拟多路选择器,理论上 10 位 ADC 的角度分辨率可以达到 $360^\circ/2^{10}$,即 0.352° ,但考虑到如下限制因素:第一,由于 ADC 的自身的非线性误差和失调误差等因素,很难达到理想的精度;第二,方位轴系要求转动角度为 $\pm 360^\circ$,电位计选取为多圈电位计,同时,为保证系统可靠使用,电位计的使用范围仅为 50%。综合而言,对于方位轴系,系统可达到的角度分辨率仅为 1.408° ,因此,本系统采用过采样技术,以满足系统要求的角度分辨率,同时改善信噪比。

过采样是在奈奎斯特频率的基础上将采样频率提高一个过采样系数,即以采样频率为 $N \cdot f_s$ (N 为过采样系数)对连续信号进行采样。过采样后,信号和噪声功率不发生改变,但是噪声功率分布频带展宽,通过下抽取滤波后,噪声功率减小,达到提高信噪比的效果,从而提高 ADC 的分辨率。

理论上,每增加一位分辨率,信号必须被以 4 倍的速率过采样,即

$$f_{os} = 4^n f_s$$

其中, w 为希望增加的分辨率位数, f_s 为初始采样频率, f_{os} 为过采样频率。

本系统利用上述技术将 10 位分辨率的 ADC,增加到 14 位。单片机首先以 256 倍的采样频率对信号进行采集,并将测量样本进行累加,然后将累加和除以 16 进行抽取,这样便可以得到具有 14 位分辨率的输出数据,其结果是将角度测量分辨率提高到 0.1° ,同时有效降低测量噪声的影响。

4 实际测试结果

图 4 是安装测角系统的便携式双轴转台实物图, 经实际测试: 方位转角范围为 $-360^{\circ} \sim +360^{\circ}$, 俯仰转角范围为 $0 \sim 90^{\circ}$, 测角分辨率达到 0.1° , 远超过 1° 的设计要求, 同时测角精度优于 0.7° ; 系统采用 4 节普通五号干电池供电, 连续使用时间不低于 120 小时, 同时可实现低电报警。

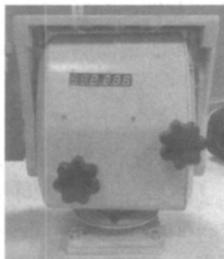


图 4 便携式双轴转台实物图

5 总结

本文介绍了一种应用于便携式两轴转台的测角系统, 该系统采用高精度电位计作为传感器, 利用 C8051F310 单片机片内集成的 AD 进行数据采集, 外加 LED 数码管, 实现了角度测量与显示。

本文作者创新点: 本系统采用 C8051F310 单片机和高精度电位计为核心部件, 使得系统结构简单, 成本低, 功能可靠; 采用过采样技术, 将单片机片内 ADC 的分辨率从 10 位增加到 14 位, 提高了角度测量分辨率, 改善了角度测量精度。

参考文献

- [1] 李红果等. 一种光电编码器位置检测系统研究与应用[J]. 微计算机信息. 2008, 2-2: P88-89
 - [2] 徐建华, 杨瑞峰等. 基于 AD2S83 的角位移测量模块设计[J]. 微计算机信息. 2008, 7-1: P183-184
 - [3] 申忠宇, 汪倩倩等. 基于 AVR 单片机电风扇 360 度内摇头角度自由调节装置的实现[J]. 微计算机信息. 2007, 1-2: P124-125
 - [4] 李蔚恒, 李永田. 基于 PIC 单片机和精密电位计的测角系统[J]. 自动化仪表. 2003, 24(7): 22-24
 - [5] Cygnal Integrated Products, Inc. C8051F 单片机应用解析[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2002: 260-277
- 作者简介: 王帅(1981-), 男(满族), 河北省秦皇岛市人, 助理研究员, 主要从事转台伺服系统及控制技术研究。

Biography: WANG Shuai(1981-), male, Qinhuangdao City Hebei Province, Assistant researcher of Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Research area: servo systems and automation control.

(130033 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所) 王 帅
王显军 阴玉梅 杨晓霞

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences Changchun, Jilin 130033, China) WANG Shuai WANG Xian-jun YIN Yu-mei
YANG Xiao-xia

通讯地址: (130033 吉林省 长春市东南湖大路 3888 号长春光机所 光电探测室) 王 帅

(收稿日期: 2010.10.25)(修稿日期: 2011.01.25)

(上接第 15 页)

也按磁偏角进行定义, 即向东偏转为正, 向西偏转为负, 则在欧拉

旋转过程中, 古剩磁偏角和运动方向变化规律为: 在 θ 从 0 到 180° 的旋转过程中, 磁偏角从 0 逐渐减小到 $-\omega$ 然后增加到 0 , 西偏为负值; 在 θ 从 180° 到 360° 的旋转过程中, 东偏为正值, 磁偏角是从 0 逐渐增加到 ω 然后逐渐减小到 0 。

5 结论

板块绕北半球欧拉极逆时针旋转一周, 引起的古剩磁偏角变化和规律为: 板块欧拉旋转一周, 当 $0^{\circ} < \varphi < \omega$ 时, 磁偏角变化 360° ; 当 $\omega < \varphi \leq 90^{\circ}$ 时, 在运动轨迹的不同区间, 磁偏角变化规律存在较大的差异, 时而东偏, 时而西偏。然而, 板块欧拉旋转一周, 引起的自旋为: 当 $0^{\circ} < \varphi < \omega$ 时, 板块实际的自旋转小于 360° ; 当 $\omega < \varphi \leq 90^{\circ}$ 时, 板块的自旋转方式不变。基于以上板块运动引起的古剩磁偏角变化和板块的自旋转规律可以得出: 板块运动引起的磁偏角变化与自旋转不存在一一对应关系, 即相关性较差, 古剩磁偏角变化并非为板块相对地球表面旋转所致, 因此, 以往利用古剩磁偏角变化定量确定岩石圈板块旋转的方法值得商榷。

本文作者创新点: 板块运动引起的磁偏角变化与自旋转不存在一一对应关系。

作者对本文版权全权负责, 无抄袭。

参考文献

- [1] 刘 椿. 古地磁学导论[M]. 北京: 科学出版社, 1991
- [2] 朱岗昆. 古地磁学——基础、原理、方法、成果与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2005
- [3] 朱日祥, 杨振宇, 吴汉宁, 马醒华, 黄宝春, 孟自芳, 方大钧. 中国主要地块显生宙古地磁视极移曲线与地块运动[J]. 中国科学(D 辑), 1998, 28(增刊): 1-16
- [4] 黄宝春, 谭承泽. 古地磁欧拉极及对华北地块的应用[J]. 地球物理学进展, 1996, 11(2): 148-156
- [5] Zhang Yaming, Gao Yujuan, Zhang Shudong, Liu Xiaojun. The differential movements of different research points in the plates[C]. The 3rd International Symposium on Modern Mining & Safety Technology Proceedings, 2008, 97-100.
- [6] Brett Mclaughlin, David Flanagan. 《Java 5.0 Tiger 程序高手秘笈》[M]. O'Reilly Taiwan 公司. 南京: 东南大学出版社, 2005. 10.
- [7] Harvey M. neitez, Paul J. Deitel. Java 程序设计教程. 第三版. 袁兆山等译. 北京: 机械工业出版社. 2002. 618-626
- [8] 李全, 陈石平, 李晓欢, 黄守麟. 正交三角函数的 CORDIC 实现[J]. 微计算机信息, 2008, (36)

作者简介: 张亚明(1968-), 男(蒙古族), 内蒙古赤峰人, 辽宁工程技术大学副教授, 博士, 主要从事构造地质及大地构造教学和科研。

Biography: ZHANG Ya-ming (1968-), male(Mongoloid), Chinfeng, Neimenggu, Associate Professor, PhD, Liaoning Technical University, engaged in structural geology and tectonics teaching and scientific research.

(123000 辽宁 阜新 辽宁工程技术大学) 张亚明 徐付玲
白旭晖 梁传伟

(Liaoning Technical University, Fuxin Liaoning, 123000, China) ZHANG Ya-ming XU Fu-ling BAI Xu-hui
LIANG Chuan-wei

通讯地址: (123000 辽宁省阜新市中华路 47 号(辽宁工程技术大学)147 信箱) 徐付玲

(收稿日期: 2010.10.25)(修稿日期: 2011.01.25)