

基于 STM32F103 的随钻测量系统^①

王国震, 黄麟森, 秦 怡

(中煤科工集团重庆研究院, 重庆 400039)

摘 要: 本文在仔细分析了随钻测量系统的工作原理之后, 给出了随钻姿态测量的具体方法. 并使用 STM32F103RET7 和 LSM303 完成核心电路的设计. 完成数据采集和处理的工作. 最后给出上位机 Labview 程序实现数据的实时显示. 实验表明本文设计的嵌入式随钻测量系具有集成度高, 精度高等特点.

关键词: 随钻测量; STM32F103RET7; LSM303

Measurement While Drilling System Based on STM32F103

WANG Guo-Zhen, HUANG Lin-Sen, QIN Yi

(Chongqing Research Institute of China Coal Technology & Engineering Group Corp., Chongqing 400050, China)

Abstract: After careful analysis of the MWD system works, given the specific methods of measurement-while-drilling stance. And use the STM32F103RET7 and LSM303 completed the design of the core circuit. Complete data acquisition and processing work. Finally, the host computer Labview program to achieve real-time display of data. The experiments show that the designed in this paper embedded with measurement while drilling system with high integration and high accuracy.

Keywords: MWD; STM32F103RET7; LSM303

0 引言

随钻测量技术 (MWD-Measurement While Drilling) 是在石油钻井领域首先发展起来的, 随钻测量和定位技术是定向钻进中最为关键的技术. 近年来定向钻机在煤炭行业的应用越来越广泛, 开发可靠性高、工作实时性强的随钻测量系统, 是煤矿定向钻进的关机和途径. 但是我国煤矿井下水平定向钻进技术的研究的起步比较晚, 从煤矿井下定向钻进技术的总体发展来讲, 我国在煤矿井下随钻测量系统的发展还处于起步阶段, 在硬件和软件方面还都还不够完善. 因此目前国内各煤矿使用的随钻定向测量仪大多是从国外进口的, 价格昂贵、生产周期长、维修不便. 所以有必要发展自主知识产权的随钻测井技术和装备. 为此本文对随钻测量系统的工作原理进行的详细的分析, 并提出了软硬件实现方案.

1 随钻测量系统

随钻测量系统的核心就是测量钻具的姿态. 本文

采用加速度传感器和磁阻传感器作为系统的测量元件. 在定义的钻具坐标系 XYZ 中, 我们沿着其三个基本坐标轴分别安装三个加速度传感器和三个磁阻传感器, 就构成了基本的随钻姿态测量系统^[1]. 如图 1 所示. 当系统稳定时, 三个加速度传感器测量的是沿钻具三个轴向的重力场分量, 三个磁阻传感器测量的是三个轴向的地磁场分量. 通过下文姿态解算算法就可以计算出钻具当前姿态. 然后将当前姿态信息上传到上位机中显示.

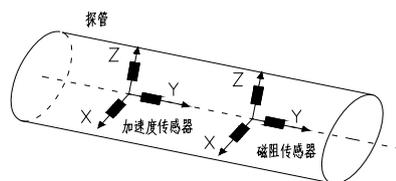


图 1 测量系统探管部分

①收稿时间:2013-10-16;收到修改稿时间:2014-02-28

2 基于三轴加速度传感器和三轴磁阻传感器的随钻姿态测量方法

钻具的姿态包括倾角, 弯头方向, 方位角. 钻具的姿态是相对地理坐标而言的. 地理坐标由当地正东, 正北, 重力矢量反方向构成. 钻具在地理坐标下的姿态如图 2, 其中 θ 为倾角, ϕ 为弯头方向, ψ 为方位角 G_0 为重力矢量, B_0 为地磁场矢量. 其中 β 为地磁场矢量与 N 轴的夹角^[2]

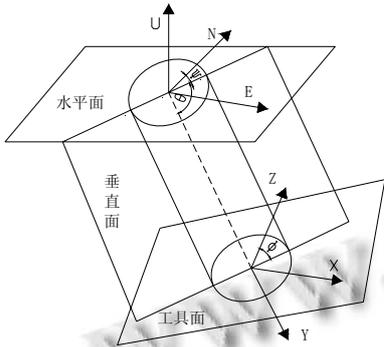


图 2 钻具在地理坐标系下的姿态

根据坐标变换理论可得到钻具坐标系与地理坐标系的欧拉旋转变换关系式(1.1)

$$R^b = \begin{bmatrix} \cos\psi \cos\phi - \sin\psi \sin\theta \sin\phi & \sin\psi \cos\phi + \cos\psi \sin\theta \sin\phi & -\cos\theta \sin\phi \\ -\sin\psi \cos\phi & \cos\psi \cos\phi & \sin\theta \sin\phi \\ \cos\psi \sin\phi + \sin\psi \sin\theta \cos\phi & \sin\psi \sin\phi - \cos\psi \sin\theta \cos\phi & \cos\theta \cos\phi \end{bmatrix} \quad (1.1)$$

根据图 2 重力矢量 G_0 在地理坐标下的矢量为 $[0 \ 0 \ -G_0]^T$. 地磁矢量 B_0 在地理坐标下的矢量为

$[0 \ B_0 \cos\beta \ -B_0 \sin\beta]^T$, 根据坐标变换可得到下列关系

$$\begin{bmatrix} G_x & B_x \\ G_y & B_y \\ G_z & B_z \end{bmatrix} = R^b \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & B_0 \cos\beta \\ -G_0 & -B_0 \sin\beta \end{bmatrix} \quad (1.2)$$

对上述方程组求解, 即可得到以下结论

$$\tan\theta = \frac{-G_y}{(G_x^2 + G_z^2)^{1/2}} \quad (1.3)$$

$$\tan\phi = \frac{G_x}{-G_z} \quad (1.4)$$

$$\tan\psi = \frac{(G_x^2 + G_y^2 + G_z^2)^{1/2} (B_z G_x - B_x G_z)}{B_y (G_x^2 + G_z^2) - G_y (B_x G_x + B_z G_z)} \quad (1.5)$$

这样我们就可以用传感器的输出带入到上述关系式计算出倾角 θ 、弯头方向角 ϕ 和方位角 ψ , 最后确

定钻具姿态.

3 随钻测量设计

本文设计的随钻测量系统的总体框图如图 3, 主要由三部分组成, 第一部分是传感器部分主要用于采集加速度, 地磁强度, 温度等信息, 第二部分主要是 ARM 处理器部分主要的作用是对采集过来的信号进行处理, 并把数据发送到上位机中, 第三部分是上位机测试软件, 主要用来对数据进行实时的显示和记录, 这部分由 LABVIEW 完成.



图 3 随钻测量系统的总体框图

3.1 硬件设计

本文采用集成度非常高的 LSM303 作为系统的传感器, 他内部集成了 3 轴加速度传感器和 3 轴磁阻传感器^[3]. 线性加速度满量程 $\pm 2 \text{ g} / \pm 4 \text{ g} / \pm 8 \text{ g}$, 磁场配置满量程 $\pm 1.3 \text{ t}$ 到 $\pm 8.1 \text{ Gauss}$ (最大), I2C 数字输出, 方便与控制器接口, 输出为

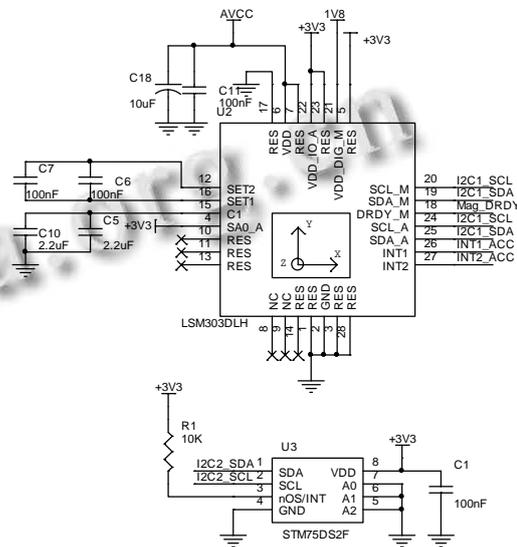


图 4 传感器部分电路

16 位精度, 可以工作在低功耗模式. 温度传感器选用 STLM75: 温度传感器, 温度范围: -55 到 $+125^\circ\text{C}$, 同样使用 I2C 接口与 ARM 处理器相连. 主控制器选用 STM32F103RE: 基于 ARM 的低功耗高性能 32 位微控制器^[4], 具有 256-512kB 闪存、USB、CAN、11 个定

时器、3 个 ADC 和 13 个通信接口。硬件部分电路如图 4 传感器部分电路，图 5 控制器部分电路。

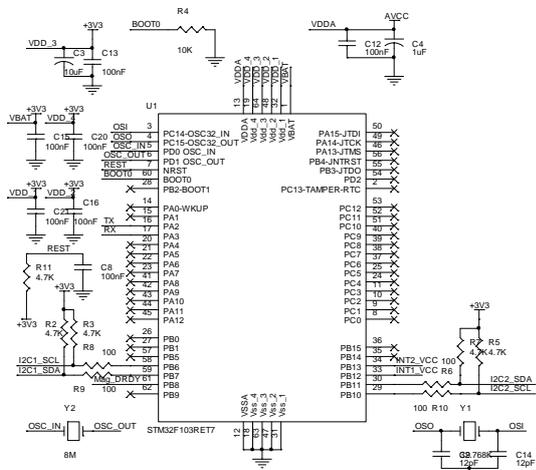


图 5 控制器部分电路

ARM 处理器与传感器通过 I2C 接口相连，时序图如图 6，通过 ARM 自带的 I2C 接口可以方便的与传感器进行通信。

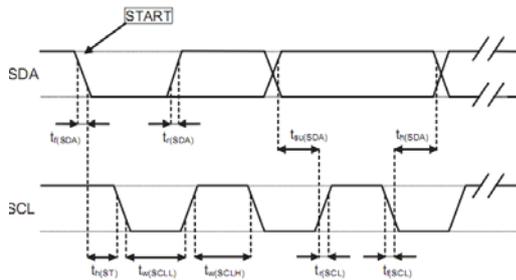


图 6 通信时序图

3.2 软件设计

软件主要由两部分组成，一部分是运行在孔底探管中的数据采集程序，一部分是运行在上位机中的数据显示程序。

传感器通过 I2C 与 ARM 处理器进行通信，采集到的数据首先进行软件滤波，滤除干扰数据，然后进行姿态解算并变换成标准的浮点数据格式 IEEE754，然后在加上 CRC16 校验，最后把数据发到上位机显示。

上位机程序由 LABVIEW 编写，实时与传感器通信，显示出当前钻具的姿态信息。

数据通信格式如表 1。数据的格式是序文+定界符+功能码+数据长度+数据+数据校验位。

序 文	定 界 符	功 能 码	数 据 长 度	数 据	数 据 校 验 位
--------	-------------	-------------	------------------	--------	-------	-----------------------

表 1 数据通信格式

其中序文用于接收端与发送端进行同步，本文使用 0XFF、0XFF、0XFF、0XFF、0XFF。定界符用于表示数据帧的开始。功能码分为命令请求帧，命令应答帧，数据请求帧，数据应答帧。数据长度表示有效的数据长度。接下来是与命令相关的数据。数据校验位表示从定界符开始对所有字节进行 CRC16 运算，确保通讯数据无差错传送。

探管中的程序包括主程序，数据采集子程序，中断程序。主程序流程图如图 7 主要完成系统硬件初始化，探管参数调整，触发数据帧收发中断。子程序流程图如图 8 负责和传感器通信，读取数据后进行软件滤波，然后执行姿态解算算法，最后把数据转换成标准的 IEEE754 格式并在数据帧后添加 CRC16，最后组成完整的数据帧。中断程序流程图如图 9 系统通信所使用的是中断的方法，这样可以提高 CPU 的利用率，也提高通讯效率。中断程序主要负责数据的收发，并且判断是否接受到完整的数据帧，管理接受数据 buffer。

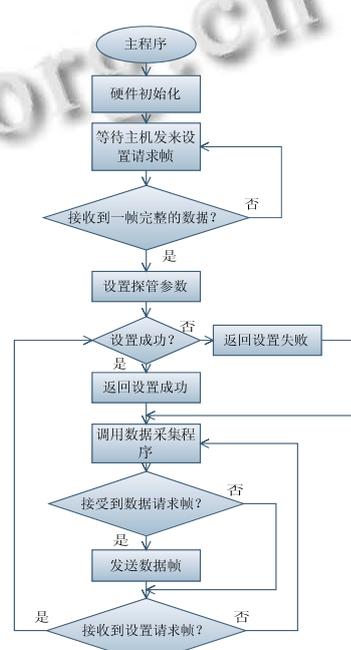


图 7 主程序流程图



图 8 数据采集子程序流程图

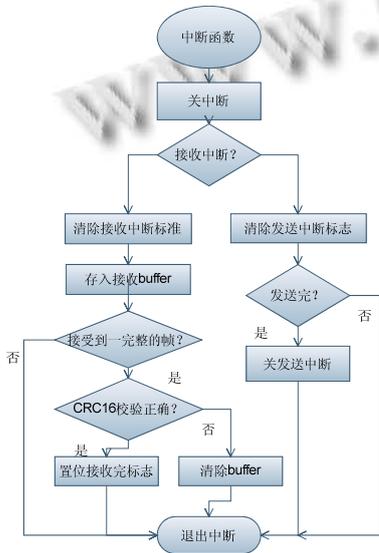


图 9 中断程序流程图

3.3 上位机测试软件

上位机采用 LABVIEW 进行编程, 实现数据的实时显示和数据记录, 如图 10 MWD 测试软件. 图中用三个表盘分别显示出钻具当前的倾角, 方位, 弯头大小. 在记录中可以对比测量值和实际值的误差. 实验表明本测量系统的倾角误差为 $\pm 0.5^\circ$, 方位误差为 $\pm 1.5^\circ$, 弯头的误差为 $\pm 1.5^\circ$. 完全满足随钻测量系统对要求.

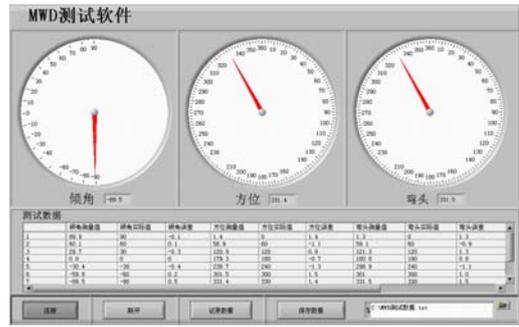


图 10 MWD 测试软件

4 结果

本文使用 STM32F103RET7 和 LSM303 为核心设计的随钻监测系统, 能够实时解算出钻具的当前姿态参数. 通过软件上的算法对系统的误差进行软件补偿, 提高系统的测量精度. 由于系统采用了高集成度的 MENS 芯片, 使得系统在稳定性, 抗干扰等方面取得了理想的效果. 本系统现已投入使用并在实际使用取得了理想的效果.

参考文献

- 1 朱荣,周兆英.基于 MEMS 的姿态测量系统.测控技术,2002,21.
- 2 吴翔,扬凯华,蒋国盛.定向钻进原理与应用.武汉:中国地质大学出版社,2006.
- 3 张海涛,阎贵平.MEMS 加速度传感器的原理及分析.电子工艺技术,2003,24.
- 4 杜春雷.ARM 体系结构与编程.北京:清华大学出版社,2003.
- 5 陈锡辉.LabVIEW8.20 程序设计从入门到精通.北京:清华大学出版社,2007.