

基于压电加速度传感器的井下机车定位系统

高迎慧,孙海淇,杨羲葵

(辽宁工程技术大学 电气与控制工程学院,辽宁 葫芦岛 125105)

摘要:我国煤矿井下电机车铁路运输系统不能及时准确反映电机车运行速度和行车位置,将压电加速度传感器引入到井下机车定位系统中,通过采集电机车加速度值积分求解得出其速度和位置,实现定位功能。分析了压电式加速度传感器的基本原理;阐述了基于压电式加速度计的井下机车定位系统总体方案;完成了系统的软件设计并对加速度传感器温度漂移和随机误差进行了标定修正。最后通过模拟实验证明了其可靠性。

关键词:压电加速度传感器;电荷放大器;机车定位;温度补偿;数字信号处理器(DSP)

中图分类号:TD52

文献标识码:A

The Locomotive Position System in Coal Pit Based on the Piezoelectric Accelerometer

GAO Yinghui, SUN Haiqi, YANG Yikui

(Faculty of Electrical and Control Engineering, Liaoning Technical University, Huludao 125105)

Abstract: Most of the current railway transportation system in the coal pit in China did not equip with the electric locomotive position system, thus the running speed and the location of the electric locomotive is not able to be accurately figured out. In this work, the piezoelectric accelerometer has been introduced into the locomotive position system in the coal pit to realize the positioning function through integrating over the collected acceleration value of the electric locomotive and solving out the speed and position. The basic principle of the piezoelectric acceleration sensor has been analyzed. The scheme of the locomotive position system in coal pit based on the piezoelectric accelerometer has been discussed. The software design of the system has been completed and the temperature drift and random errors of the piezoelectric accelerometer are calibrated and corrected. The piezoelectric acceleration sensor has been verified by the simulation experiment.

Key words: piezoelectric accelerometer; charge amplifier; positioning of the locomotive; temperature compensation; DSP

0 引言

压电加速度传感器是利用某些物质如石英晶体的压电效应,在受振时其压电材料表面将产生正比于作用力的电荷,是一种典型的有源传感器。作为一种重要的惯性传感器,在自动控制、导航与制导、机器人和武器装备等领域应用广泛。

我国现行煤矿井下运输系统中,多数都没有装设井下电机车定位系统,个别安装定位系统的也只能简单检测电机车的位置,定位精度和可靠性较差^[1]。针对这一问题,特将压电加速度传感器引入其中,即把压电加速度传感器直接固联在载体也就是煤矿井下电机车上,通过测量电机车任意时刻下

的加速度值,进而解算出电机车的运动速度和位置,实现定位功能。通过对加速度传感器的温度漂移和累积误差进行标定和修正,可靠性好,灵敏度高。

1 井下机车定位原理

井下机车定位系统将压电加速度传感器直接固定于煤矿井下电机车上,通过测量列车的加速度,积分求解列车的速度和位置,实现机车定位功能。如图1所示,压电加速度传感器直接输出值是机车在运动坐标系中的数值,该数值不能直接用于定位计算,因此需要对其进行坐标系转换,采取定位坐标系为参照来确定载体的速度、位置等运动参数,最终实现定位功能。

收稿日期:2011-08-11

基金项目:中国博士后科学基金资助项目(20090461470)

作者简介:高迎慧(1958-),女,辽宁阜新,教授,硕士生导师,主要从事工业生产过程的计算机监控、电磁场理论与电磁兼容的研究。通信作者:孙海淇(1984-),男,硕士生。E-mail:sunhaiqi@126.com。

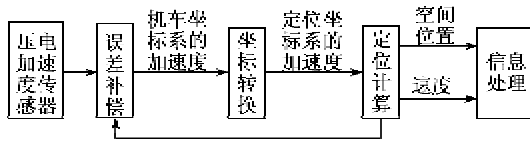


图 1 井下机车定位原理

数字信号处理器(DSP)根据加速度传感器的输出值进行坐标变换,然后再根据相应的力学方程算出电机车的即时速度、位置等定位参数。为降低加速度传感器的输出噪声对系统解算精度的影响,最大限度利用输出信息,加速度传感器的输出采用增量形式,并对其误差进行补偿。

1.1 电机车速度的求取

在确定时间间隔内,系统对加速度传感器的增量输出作采集,设速度的更新周期为 T ,在每个更新周期内对加速度增量作 N 次采样,记为 C_{m-1} ,若电机车现在的速度为 v_{m-1} ,积分得 t_m 时刻电机车在定位坐标系内的速度为

$$v_m^n = v_{m-1}^n + C_{b(m-1)}^{n(m-1)} \int_{t_{m-1}}^{t_m} (C_{b(m-1)}^{n(m-1)} f^b + \Delta) dt \quad (1)$$

式中, f^b 为坐标转换系数; Δ 为误差修正值。对速度积分便可求得电机车的位置值。

2 机车定位系统方案

2.1 机车定位系统方案设计

机车定位系统硬件结构如图 2 所示。压电加速度传感器采集电机车加速度,由于其输出测量值较小,需用电荷放大器进行放大,单片机作数据预处理和全局控制处理器,DSP 用作解算单元。为降低压电材料的压电特性受温度的影响,同时减小热胀冷缩造成的机械形变对输出的影响^[6],因此需对温度漂移进行补偿,即通过对传感器在不同温度下所产生的温度漂移值进行标定,将标定结果以数据表的格式存入单片机中。实际测量中,单片机根据测得的温度自动进行结果的修正;同时,由于积分求解速度和位置会出现累计误差,采用 Kalman 滤波对其误差进行标定。

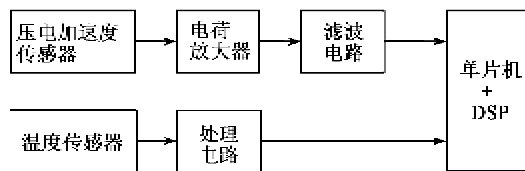


图 2 井下机车定位系统结构图

2.2 系统组成

2.2.1 压电加速度传感器

压电加速度传感器由质量块、压电元件和支座组成,如图 3 所示。支座与待测物刚性固定在一起。当待测物运动时,支座与待测物以同一加速度

运动,压电元件受到质量块与加速度相反方向的惯性力的作用,在晶体的 2 个表面上产生变化的电荷。当振动频率远低于传感器的固有频率时,传感器的输出电荷将正比于作用力^[3-4]。

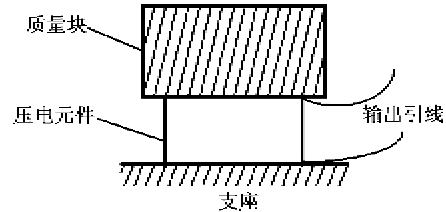


图 3 压电加速度传感器原理图

压电加速度传感器选择飞思卡尔公司的 MMA7260,它是在单一芯片上集成 3 个相互独立、测量方向相互垂直的敏感元的测量模块,是由多晶硅微加工表面工艺制成的电容式加速度传感器,噪声低,功耗低,灵敏度高及抗震能力强。在使用 MMA7260 压电加速度传感器时,应特别注意灵敏度性能指标,这里选用 MMA7260 的最小量程 ($\pm 1.5 \text{ g}$),此时具有最高的灵敏度 800 mV/g 。

2.2.2 电荷放大器

压电加速度传感器可等效成电荷源,输出阻抗高,输出信号小,需通过信号调理电路将其高阻抗电荷信号变换为低阻抗电压。电荷放大器输出值与压电加速度传感器产生的电荷及反馈电容有关,与连接电缆的分布电容无关,如图 4 所示^[5-7]。

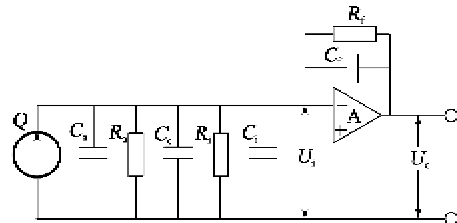


图 4 电荷放大器

图 4 中, C_a 、 C_c 和 C_f 分别为压电加速度传感器等效电容、连接电缆电容和放大器的输入电容, R_s 和 R_i 为压电加速度传感器的绝缘漏电阻和运算放大器的输入阻抗,为减小零漂,使放大器工作稳定,一般在反馈电容 C_f 的两端并联 1 个约 $10^6 \sim 10^{12} \Omega$ 的大电阻 R_f ,以提供直流反馈。由运算放大器基本特性,可得出电荷放大器的输出电压为

$$U_o = - \frac{Aq}{C_a + C_c + C_f + (1+A)C_f} \quad (2)$$

选择 TI 公司的 TL081 运算放大器,具有高输入阻抗,超低输入偏置电流,开环增益高,带宽在 4 MHz ,开环增益 $80 \sim 86 \text{ dB}$,并有内部调零电路,性价比高,满足本设计要求。

2.2.3 DSP 处理器和单片机

DSP 选择 TI 公司的定点式数字信号处理器芯片 TMS320F240,它采用加强型哈佛总线架构,运算速度快,几乎所有指令皆可在 50 ns 周期内执行完毕;内部程控以管线式操作,且使用内存映像方式,整体效能可达 20 MIPS(单字长定点指令平均执行速度);易增加附属功能,很易扩展外围。因此适用于实时运转控制。

单片机采用 TI 推出的一种 16 位超低功耗的混合信号处理器 MSP430F447,具有超低功耗,处理功能强大,开发环境高效方便和外围模块丰富等特点,广泛用于控制领域。

3 软件设计

图 5 为井下机车定位系统的软件设计流程。系统初始化后,需进行坐标对准,之后在每个计算周期内读取加速度传感器的测量值,然后根据机车位置更新数据进行坐标转换^[8]。

由于加速度传感器的随机漂移误差存在,随着时间的增加定位误差相应增大,影响了定位精度,系统同时对其进行了补偿。

由于惯性传感器的随机漂移误差存在,随着时间的增加定位误差相应增大,影响了定位精度,通过 Kalman 滤波,对随机误差进行补偿,得到最优估计。

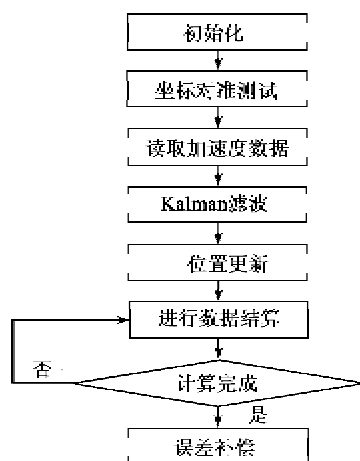


图 5 定位系统软件流程图

4 实验结果

为验证井下机车定位系统的实用性,设计了一个长度为 20 m 的轨道来进行测试,将装有压电加速度传感器模块固定在电动小车上,电动小车绕轨道行走,通过无线通讯模块采集加速度数据,根据参考电压值、加速度的测量值计算出实际电压值,在利

用灵敏度、电压和加速度的关系求解出小车实际加速度;最后积分求解速度和位置。采集来的加速度数据和计算数据如表 1 所示,由于采集数据量较大,表中只给出最后一部分。

表 1 采集数据和计算数据

	加速度传感器 测量值	电动小车		
		加速度/ (m/s ²)	速度/ (m/s)	位置/ m
1	700	8.583 8	5.0	19.10
2	699	8.571 3	5.1	19.23
3	698	8.559 1	5.1	19.32
4	700	8.583 8	5.2	19.45
5	699	8.571 3	5.1	19.57
6	699	8.571 3	5.1	19.69
7	698	8.559 1	5.0	19.73
8	698	8.559 1	5.1	19.85
9	701	8.590 9	5.2	19.98

通过表 1 可看到,电动小车的位置已接近实际位置,且电动小车的速度符合实际速度,误差在井下电机车定位中符合要求。通过多次试验,小车的距离基本接近于 20 cm,稳定性较好。

5 结束语

将压电加速度传感器应用到煤矿井下电机车定位系统中,并通过对温度误差,累积误差做修正,减小了现有电机车定位系统定位精度低,可靠性差的不足,通过试验测试,电机车的实际航程和计算航程误差较小,灵敏度高。

参考文献:

- [1] 陈君兰,周孟然,赵苍荣,等.基于 ZigBee 无线传感网络的矿井电机车定位系统的研究[J].煤炭技术,2010,29(3):176-179.
CHEN Junlan, ZHOU Mengran, ZHAO Cangrong, et al. Mine-cars locating system of underground coalmine based on ZigBee wireless sensor network [J]. Coal Technology, 2010, 29(3): 176-179.
- [2] 过润秋,郑晓东,王成.加速度计静态温度模型辨识及温度补偿方法研究[J].西安电子科技大学学报 2007, 34(3):438-442.
GUO Runqiu, ZHENG Xiaodong, WANG Cheng. Study of the identification for the static temperature model and the method for compensating temperature of the accelerometer [J]. Journal of Xidian University, 2007, 34(3): 438-442.

(下转第 787 页)