

一种超声波液位测量仪的设计方案

王超^{1,2}, 潘玮华^{1,2}, 刘苏仪^{1,2}, 詹千熠^{1,2}, 邓程^{1,2}, 冯学军^{1,2}

(1 南京师范大学 计算机科学与技术学院, 江苏 南京 210046
2 江苏省信息安全与保密技术工程研究中心, 江苏 南京 210097)

[摘要] 给出了一种运用单片机开发超声波液位测量仪的软件硬件设计方案, 重点分析了测距过程中误差产生的原因, 运用“箱线图”法求样本中位数作为测量值对采集数据进行校准, 以消除信号噪声, 采用最小二乘法减小硬件软件实现上产生的误差. 该设计方案已应用于某油田井场数千个储油罐液位的测量, 取得了较好的效果. 该设计方案因实现简单、生产成本低, 适合测量距离在 3 m 以内、精度要求在 4 mm 以内的应用场合.

[关键词] 超声波, 误差修正, 样本中位数, 最小二乘法

[中图分类号] TP 274⁺. 5 [文献标识码] B [文章编号] 1672-1292(2010) 03-0044-03

A Scheme on Ultrasonic Level Meter Design

Wang Chao^{1,2}, Pan Weihua^{1,2}, Liu Suyi^{1,2}, Zhan Qianyi^{1,2}, Deng Cheng^{1,2}, Feng Xuejun^{1,2}

(1. School of Computer Science and Technology, Nanjing Normal University, Nanjing 210046 China
2. Jiangsu Research Center of Information Security and Confidential Engineering, Nanjing 210097 China)

Abstract In this paper, we introduce a scheme of software and hardware design for an ultrasonic level meter implemented by using single chip, and meanwhile analyze the reasons that produce errors in the process of range finding. In order to eliminate the signal noises, we present a calibrating strategy by employing the median of samples obtained by “box-line graph” as the measuring value of the sampling data. Meanwhile, by using Ordinary Least Square (OLS), the errors implemented by corresponding system can be further reduced. Currently, this scheme has been efficiently applied to measure the level of thousands of oil tanks in an oil field. In addition, this scheme is also suitable for other applications that the measuring distance is less than 3 m and the precision is less than 4 mm because of its simplicity and low cost.

Key words ultrasonic wave, error correction, sample median, ordinary least square

超声测距是一种利用超声波的反射特性进行距离测量的非接触式检测方法, 不受光线、电磁波、被测物的颜色等因素影响, 加之信息处理简单、成本低, 因而在避障、车辆定位与导航、液位测量等领域得到了广泛的应用^[1,2]. 但超声波存在回波窜绕、信号衰减、传输速度受温度影响较大, 加上硬件、软件实现上存在计时误差等因素, 测距存在一定的误差. 国内外学者研究了许多特殊的超声波测距方法, 如采用伪随机码扩频测距方法, 提高抗干扰能力^[3]; 在传感器之后增加动态补偿环节, 使传感器动态特性的频带得以适当延伸, 可达到减小动态误差的目的^[4]; 基于小波变换的广义自相关渡越时间的估计算法, 提高了超声波测距的精度^[5]. 但这些方法实现复杂, 对硬件要求高, 成本也相对较高. 本文针对油田井场数千个储油罐液位测量应用, 给出了一种对硬件要求不高、软件实现比较简单、精度能达到应用要求的软硬件相结合的液位测试仪的设计方法.

1 工作原理

超声波测距大多采用脉冲回波法, 其工作原理是: 用超声脉冲激励超声探头 (换能器) 向外辐射超声波, 同时接收从被测物体反射回来的超声波 (简称回波), 通过检测或估计从发射超声波至接收回波所经历的射程时间 t 计算超声波探头与被测物体之间的距离 $L^{[6]}$, 即:

收稿日期: 2010-05-01
通讯联系人: 冯学军, 实验师, 研究方向: 单片机开发. E-mail: fengxuejun@njnu.edu.cn

$$L = ct/2$$

(1)

式中, c 为空气介质中声波的传播速度. 超声波在空气中传播的速度 c 与温度 T 有关, 可近似地表示为:

$$c \approx 331.45 + 0.607T.$$

(2)

2 超声测距的设计

2.1 硬件设计

硬件系统如图 1 所示. 单片机采用 STC 的 10F 系列芯片, 超声波换能器采用收发分体型. 超声波发射过程为: 单片机从 D 口发出 40 kHz 的方波信号, 方波信号经过升压电路放大, 再经变压器与超声波探头进行耦合, 以驱动超声波发射头进行工作.

超声波接收头接收到超声回波后, 会产生微小的电压信号. 为了防止接收信号发生突变, 在接收电路的第一级增加了限幅滤波电路, 微小的电压信号经多级放大器放大到

单片机可以处理的信号幅度. 由于接收电路在对信号进行放大的同时, 噪声也同时放大, 因此, 增加选频电路, 过滤掉非 40 kHz 的噪声, 然后由整形电路把信号整形成方波信号, 以便单片机通过中断响应.

2.2 软件设计

系统软件主要完成超声波的产生、计时、计算、校准以及结果输出等功能, 它包括主程序、测距处理子程序、温度采集子程序、数码显示子程序、外部中断处理子程序以及 RS232 通信处理子程序等. 主程序主要完成寄存器、变量等的初始化、测距处理调用、采集数据校准、最小二乘法修正和测距结果输出等功能, 主程序流程如图 2 所示.

测距处理过程如下: 单片机从 D 口发出一组 40 kHz 的方波信号, 打开计时器开始计时, 延时 1 ms 的时间, 等待发射头的余振结束, 然后打开接收中断, 等待接收返回波. 如果在 20 ms 时间内检测到返回波, 停止计时, 读取温度参数, 根据式 (1)、(2) 计算距离; 若超时未接收到返回波, 放弃等待, 进入下一次测距, 如图 3 所示.

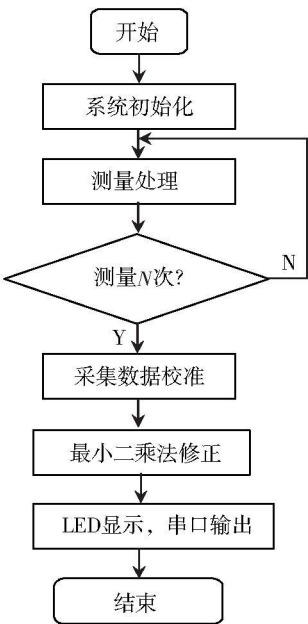


图 2 主程序流程图

Fig.2 Master program flow chart

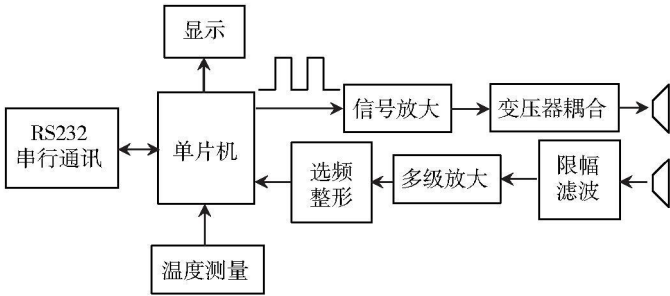


图 1 硬件系统框图

Fig.1 Hardware system diagram

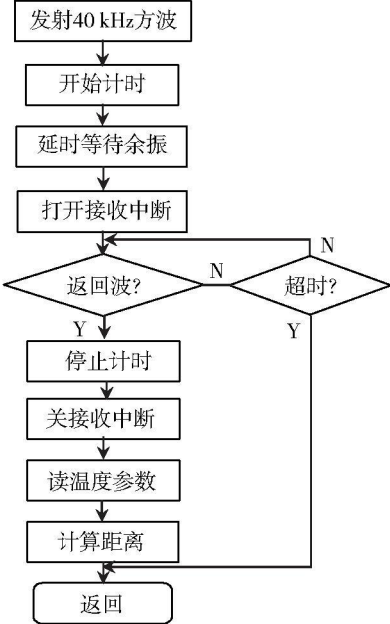


图 3 测距处理流程图

Fig.3 Ranging processing flow chart

3 误差分析与修正

3.1 采集数据的校准

在液位测量过程中,油面会有波动,测试仪器也会有抖动,同时还存在其它干扰因素,导致采集数据偏差^[7].针对这种情况,改一次测量为 n 次测量,只要测量控制在一定时间范围内进行,可把液位高度看作随机变量 X ,而每次测量值 x_n 看作相互独立的随机变量观察值.利用“箱线图”法求样本中位数作为测量值^[8],其处理过程如下:

将 x_1, x_2, \dots, x_n 按自小到大的次序排列成 $x_{(1)} \leq x_{(2)} \leq \dots \leq x_{(n)}$, $x_{0.5}$ 为样本中位数, 即有:

$$x_{0.5} = \begin{cases} x_{(\frac{n}{2}+1)}, & \text{当 } n \text{ 为奇数;} \\ \frac{1}{2}[x_{(\frac{n}{2})} + x_{(\frac{n}{2}+1)}], & \text{当 } n \text{ 为偶数.} \end{cases} \tag{3}$$

本设计中, n 取 10

3.2 最小二乘法修正

在系统实现过程中,系统时钟的精准度、测量距离的长短导致回波的衰减、指令运行占用一定的时间等因素,都将影响发射超声波至接收回波所经历的射程时间 t 的计量,从而导致测量值与实际值的偏差.假设测量值(读数)为 Y ,实际距离为 X ,通过实验得到一组数据 $(x_i, y_i) (i=1, 2, \dots, n)$,如图 4 中读数散点“+”所示.可以看出,各点读数近似在一条直线上.本文采用曲线拟合的最小二乘法建立超声波传感器测距的模型.

设 Y 关于 x 的回归函数为 $\varphi(x)$, $\varphi(x) = a + bx$,利用实验数据来估计 $\varphi(x)$.这样, $\varphi(x)$ 能从整体上反映出数据的基本变化趋势,并满足偏差 δ 的平方和为最小的条件.利用 EXCEL 数据分析功能,进行一次函数(直线)拟合,得到以下方程:

$$y = 1.00935x - 9.12847. \tag{4}$$

经过拟合,得到的修正值与实际值的对应关系如图 4 所示.

在实际测量中,得到的是测量值 Y ,并由 Y 值,估计实际值 X .因此,需求 $\varphi(x)$ 的反函数,习惯上仍用 X 表示自变量测量值, Y 表示实际值,得到以下方程:

$$y = 0.99073x + 9.04385. \tag{5}$$

4 结语

本文在简单介绍超声波测距原理后,提出了一种面向液位测量的硬件软件设计方案,并重点分析了测距过程中误差的产生原因及减小误差的方法.经油田井场实际验证,该液位测试仪在 0.4 m ~ 1.5 m 的测量范围中,误差不超过 3mm,达到油田井场储油罐液位测量的实际应用要求.

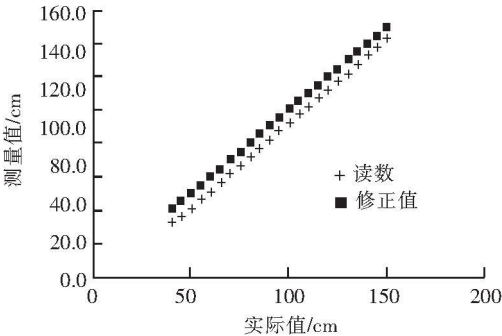


图 4 测量值与实际值的对应关系

Fig.4 The corresponding relationship between measured value and actual value

[参考文献] (References)

[1] Hwang K S, Chen Y J, Hong H C. Autonomous exploring system based on ultrasonic sensory information[J]. Journal of Intelligent and Robotic Systems, 2004, 39(3): 307-331.

[2] Akdogan E K, Alkhverdizadeh M, Safari A. Piezoelectric composites for sensor and actuator applications[J]. IEEE Transactions on Ultrasonics Ferroelectrics and Frequency Control, 2005, 52: 746-775.

[3] 赵小川, 罗庆生. 基于伪随机序列自相关性的新型超声波测距系统[J]. 压电与声光, 2009, 31(6): 856-858

Zhao Xiaochuan, Luo Qingsheng. A novel ultrasonic ranging system based on the self-correlation of pseudo-random sequence [J]. Piezoelectrics and Acoustooptics, 2009, 31(6): 856-858 (in Chinese)

sors 2002, 2(7): 286-293.

- [6] Wendi Rabiner Heinzelman, Anantha Ch, Hari Balakrishnan. Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks[C] // Proceeding of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences. Washington DC: IEEE Computer Society, 2000.
- [7] Chalemek Intanagonwivat, Ramesh Govinda, Deborah Estrin. Directed diffusion: a scalable and robust communication paradigm for sensor networks[C] // Proceedings of the 6th Annual ACM / IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking. New Jersey: IEEE Press, 2000.
- [8] Chalemek Intanagonwivat, Ramesh Govinda, Deborah Estrin, et al. Directed diffusion for wireless sensor networking[J]. IEEE /ACM Transactions on Networking, 2002, 11(1): 2-16.
- [9] Wendi Rabiner, Joanna Kulik, Hari Balakrishnan. Adaptive Protocols for Information Dissemination in Wireless Sensor Networks[C] // Proceedings of the 5th Annual ACM / IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking. New York: ACM, 1999.
- [10] Gaurav Gupta, Mohamed Younis. Load-balanced clustering of wireless sensor networks[C] // Proceedings of the 2nd ACM International Symposium on Mobile ad hoc Networking and Computing. New Orleans: IEEE Press, 2003.

[责任编辑: 严海琳]

(上接第 46页)

- [4] Daniel Massicotte, Bruno Mbanegner. Neural-network-based method of correction in a nonlinear dynamic measuring system [J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 1999, 49(4): 1641-1645.
- [5] 孙明明. 超声导航移动机器人关键技术的研究 [D]. 杭州: 浙江大学研究生院, 2005.
Sun Mingming. Study on the key technologies for ultrasonic navigation mobile robot [D]. Hangzhou: Graduate School of Zhejiang University, 2005. (in Chinese)
- [6] Paula Shirley. An introduction to ultrasonic sensing[J]. Sensors, 1989, 6(11): 15-18.
- [7] 苏伟, 龚壁建, 潘笑. 超声波测距误差分析 [J]. 传感器技术, 2004, 23(6): 8-11.
Su Wei, Gong Bijian, Pan Xiao. Error analysis of measuring distance with ultrasonics[J]. Journal of Transducer Technology, 2004, 23(6): 8-11. (in Chinese)
- [8] 盛骤, 谢式千, 潘承毅. 概率论与数理统计 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2008.
Sheng Zhou, Xie Shiqian, Pan Chengyi. Probability and Mathematical Statistics [M]. Beijing: Higher Education Press, 2008. (in Chinese)

[责任编辑: 严海琳]