

文章编号 :1671 - 6833(2006)01 - 0086 - 05

一种高精度超声波测距仪测量精度的研究

卜英勇,何永强,赵海鸣,任凤跃

(中南大学机电工程学院,湖南长沙 410083)

摘 要:在超声波测距技术中,通常受温度的影响和传播时(TOF)的检测误差,使得超声波测距的精度不高.为了提高超声波测距仪的测量精度,针对传统超声测距仪在结构上进行了改进,安装了具有温度补偿功能的标准校正器具;同时,根据回波信号的传输特征,利用小波分析法对回波信号进行运算处理,提出了基于小波包络原理的峰值检测方法.试验结果表明:这些技术显著提高了超声测距的精度并增强了超声检测的可靠性.

关键词:超声波测距;标准校正板;小波分析;峰值检测;

中图分类号:TB 559 文献标识码:A

0 引言

超声波测距技术是近年来出现的测距新技术,是一种非接触的检测方式,和红外、激光及无线电测距相比,它具有结构简单、可靠性能高、价格便宜、安装维护方便等优异特性,在近距范围内超声测距具有不受光线、颜色以及电、磁场的影响,在恶劣作业环境下有一定的适应能力.因此利用超声波测距在实现定位及环境建模场合,如:液位、汽车防撞雷达、井深及管道长度测量、机器人定位、辅助视觉系统等方面得到广泛的应用^[1~6].但传统的超声波测距仪测量精度普遍较低,都不能满足高精度测量的要求.为了克服此不足,我们从测距仪结构设计和回波信号处理的角度出发,提出了基于回波包络峰值的检测方法,从而进一步提高测距仪超声检测的精度^[7~10].

1 超声波测距原理及系统硬件电路组成

超声波测距是借助于超声波脉冲回波(即声纳法)来实现的.该系统原理如图 1 所示.

设脉冲超声波由探头发出到接收所经历的时间为 t , 超声波在空气中的传播速度为 c , 从探头到目标探测物的距离为 d , 则

$$d = \frac{1}{2} ct \tag{1}$$

2 超声波测距仪的结构改进及温度补偿原理

超声波在空气中的传播速度随着环境温度、湿度以及大气压力的变化而变化,其中以环境的温度对声速的影响最大.环境温度每升高或降低 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$, 声速就增加或减小 0.607 m/s . 因此,消除由温度的变化而引起的测距误差就显得尤为重要.

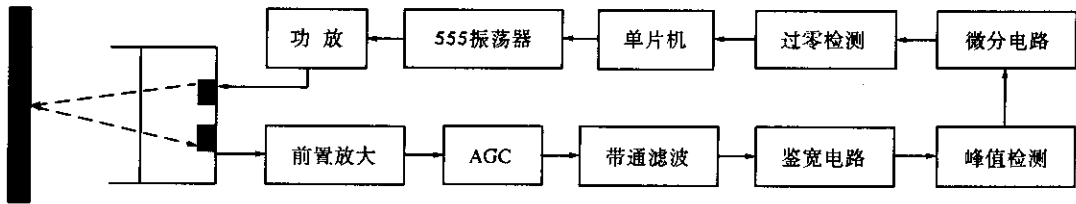


图 1 超声波测距系统原理框图

Fig.1 The principle frame diagram of ultrasonic distance measurement system

收稿日期 2005 - 10 - 08 ;修订日期 2005 - 12 - 25

基金项目 :中国大洋矿产资源研究开发协会技术发展资助项目(DY105 - 03 - 02)

作者简介 :卜英勇(1944 -) ,男,安徽芜湖人,中南大学教授,博士生导师,主要研究方向为设备资产管理、设备状态监测与故障诊断.

在本文中,我们采取安装标准校正板的办法来消除温度变化造成的测量误差.

如图 2 所示,在探测仪的底板上部安装一个固定距离为 15 cm 的标准校正板, d 表示探头到探测目标的距离, d_0 表示探头到标准校正板的距离,标准校正板可以在 $A-B$ 平面上左右滑动,以方便进行校正和测量.设在校正段内的声速为 c_0 ,超声波脉冲从发射到接收所经历的时间为 t_0 ,则 $d_0 = \frac{1}{2} c_0 t_0$;另一部分则由被测目标反射回来,其传输时间为 t ,传播速度为 c ,则 d 为: $d = \frac{1}{2} ct$,因为这两段内传播速度相等,即: $c = c_0$,式

(1)可以表示为: $d = \frac{1}{2} c \cdot t = \frac{1}{2} \cdot 2t \cdot \frac{d_0}{t_0} = d_0 \cdot \frac{t}{t_0}$,由此得到式(2):

$$d = d_0 \cdot \frac{t}{t_0} \tag{2}$$

根据式(2)可以看出:目标距离只和 d_0 、 t 、 t_0 有关,而与超声波传播的速度 c 无关,这也正是本测距仪加装标准校正板的目的,此时目标探测距离的探测精度只取决于标准校正板的安装精度和回波时间的测量精度,与超声波的声速无关,这就消除了温度、湿度、粉尘、气流、气压等的影响.在实际测量过程中,采用单片机控制,首先测量时间 t_0 、 t ,最后由上位机根据式(2)计算出目标距离.

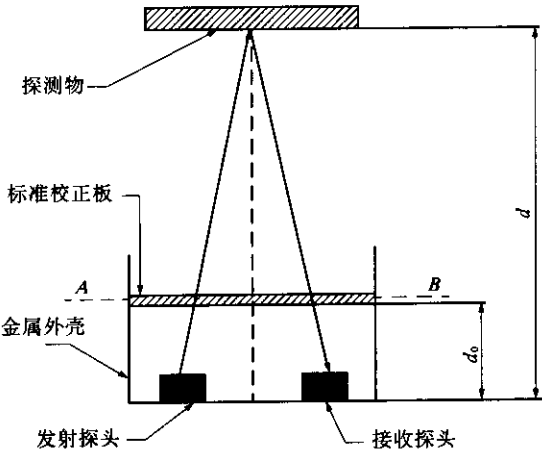


图 2 超声波测距仪结构及测量示意图

Fig.2 The structure of ultrasonic distance measurement device and the sketch map of measurement

3 小波分析及回波信号的包络峰值检测

在本超声波测距系统中,由式(2)可以看出:只要保证了校正板的安装精度,测距误差主要是

由超声波脉冲传输声时 t 、 t_0 引起的测量误差,实际上是对测距脉冲回波前沿的检测误差.为了能精确地推算出其回波前沿,必须对回波脉冲的传输特性进行分析.

3.1 小波分析理论

小波分析是一种信号的时间-尺度(时间-频率)分析方法,它具有高分辨率的特点,而且在时、频两域都具有表征信号局部特征的能力,是一种窗口大小固定不变但其形状可改变、时间窗和频率窗都可以改变的时频局部化分析方法.它在低频部分具有较高的频率分辨率和较低的时间分辨率,在高频部分具有较高的时间分辨率和较低的频率分辨率.因此,可以利用小波分析法对接收到的回波信号进行分析、去噪,获得更加平滑、有效的回波包络曲线,进而可以利用峰值检测法准确计算出回波前沿的到达时刻.

我们在这里采用 Morlet 复小波,因为当其形状控制参数取较小值时,在几何形状方面,它较其它类型小波函数更加相似于接收回波波形^[11].根据小波分析的最大匹配原则,当子波与所分析的信号在几何形状上越相似时,利用该子波提取到的信号特征就越准确. Morlet 复小波函数的数学表达式为:

$$\Psi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-(t^2/2)\beta^2} e^{j\omega t} \tag{3}$$

式中: $j = \sqrt{-1}$, β 为形状控制参数,当取 $\beta = 1$ 时,其实部、虚部及模如图 3 所示.

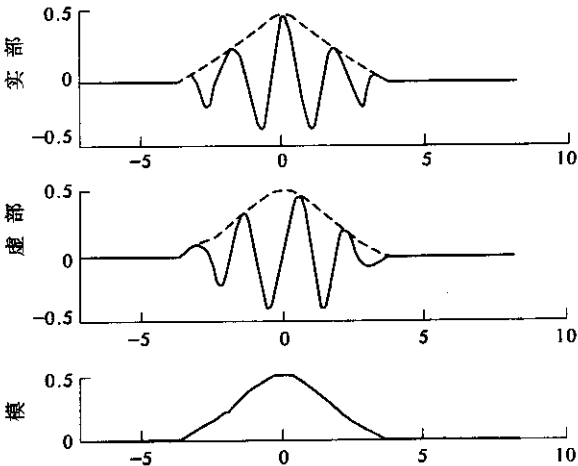


图 3 Morlet 复小波

Fig.3 Morlet complex wavelet

从图 3 可以看出,复小波函数的模可完全平滑地包络其实部和虚部.因此,利用复小波函数的模便可很容易获得回波信号的小波包络分析.回波信号经小波包络运算处理后,可以帮助剔除环

境噪声信号,获得更平滑、理想的回波包络曲线.利用包络峰值检测原理对小波包络后的回波信号分析处理,从而准确计算回波前沿的到达时刻.

3.2 回波信号的包络峰值检测

根据小波分析理论提出一种新的确定回波前沿的计算方法,即回波信号的包络峰值检测法.通过示波器对回波波形进行观察,可以发现对同一探测物,不同传播距离的回波包络线都有较好的一致性,回波波形都大致相同,只是波幅不同,并且同一距离时的不同类型探测物的回波波形也大致相同,只是波幅不同.从工程精度考虑,可以认为超声回波幅值包络线的形状基本不随回波信号的大小而变化.即回波信号包络峰值所对应时刻 t_p 与回波前沿到达时刻 t_0 间的时间差($t_p - t_0$)不随探测物远近的变化而变化.而时间差($t_p - t_0$)也容易通过实验计算出来.因此,可将接收回波信号的包络峰值所对应的时刻 t_p 作为停止记数的时刻,用回波包络峰值所对应时刻与回波前沿到达时刻的时间差($t_p - t_0$)就可消除由于时间检出点变化所引起的测量误差.回波信号在进行线性

包络检波之后,在分别通过微分电路、零点交叉检测,最后进入单片机外部中断0的入口,从而完成传播声时的准确计时.因为采用包络峰值时间点的检测方法与信号振幅无关,故具有优良的传输时间检出特性.包络峰值检出原理及波形如图4、图5所示.

包络峰值检测也可以消除虚假回波的干扰,使达到阈值的虚假回波可以被峰值检测滤掉.本系统采用了随时间变化的AGC自动增益控制电路.因为超声波接收回波的幅值随传播距离的增加而成指数规律衰减,所以采用AGC电路使放大倍数随距障碍物距离的增加成指数规律增加的电路.在计数器开始计时的时刻,AGC电压开始随时间增加而增加,在检测到回波脉冲后清零.零交叉点检测可以保证回波到达时刻不受回波大小变化.采用鉴宽电路可以抑制偶然的尖峰干扰信号,使尖锐的干扰信号被鉴宽电路挡住而不能到达电平比较电路.因此,采用包络峰值检测可以保证回波前沿的准确到达时刻.

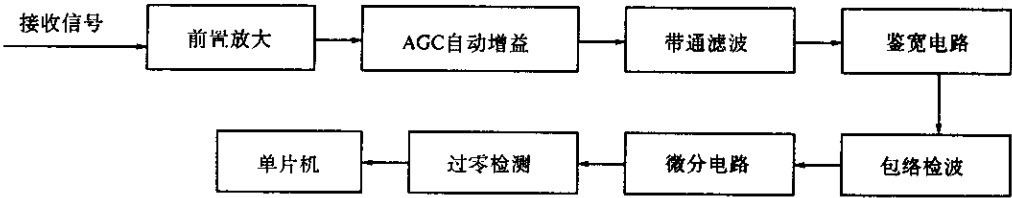


图4 回波包络峰值检测原理

Fig.4 The envelope peak detection principle of returned ultrasonic

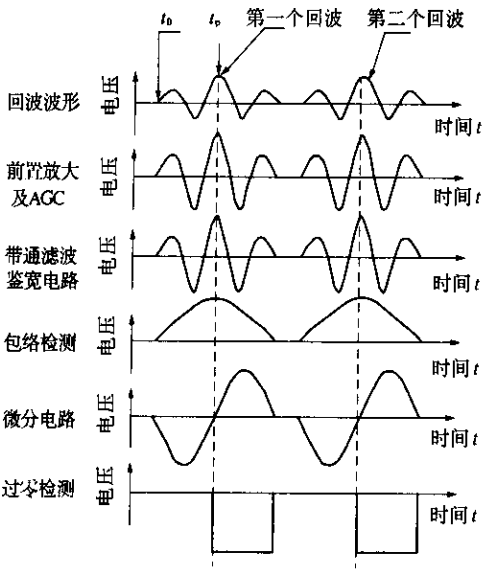


图5 回波包络峰值检测波形

Fig.5 The envelope peak detection shape of returned ultrasonic

4 实验数据

为了便于说明本高精度测距仪在改善前、后测量精度的差别,分别在改善前、后各测量了20组数据作对比,实验数据如表1、表2所示.

表1为该测距仪改善前的实验数据及其测量误差;表2为测距仪改善后的实验数据及其测量误差.本系统有效测量范围为2 m,改善前系统的测量盲区为200 mm;改善后系统的测量盲区为100 mm.

5 结束语

通过对测距仪的结构进行优化设计和改进,安装了具有温度补偿功能的标准校正板,消除了环境温度的变化对测距精度的影响.

表 1 改善前的实验数据及其测量误差

Tab.1 The experimental data and its measurement error before improvement.

实测距离	超声距离	绝对误差	相对误差	实测距离	超声距离	绝对误差	相对误差
/mm	/mm	/mm	/ %	/mm	/mm	/mm	/ %
100	盲区	—	—	1 100	1 112	12	1.09
200	盲区	—	5.00	1 200	1 208	8	0.67
300	310	10	3.33	1 300	1 310	10	0.77
400	406	6	1.50	1 400	1 405	5	0.36
500	512	12	2.40	1 500	1 492	- 8	- 0.53
600	615	15	2.50	1 600	1 610	10	0.63
700	718	18	2.57	1 700	1 712	12	0.71
800	816	16	2.00	1 800	1 814	14	0.78
900	914	14	1.56	1 900	1 888	- 12	- 0.63
1 000	985	- 15	- 1.50	2 000	2 016	16	0.80

表 2 改善后的实验数据及其测量误差

Tab.2 The experimental data and its measurement error after improvement.

实测距离	超声距离	绝对误差	相对误差	实测距离	超声距离	绝对误差	相对误差
/mm	/mm	/mm	/ %	/mm	/mm	/mm	/ %
100	盲区	—	—	1 100	1 104	4	0.36
200	196	- 4	- 2.00	1 200	1 205	5	0.42
300	304	4	1.33	1 300	1 306	6	0.46
400	403	3	0.75	1 400	1 395	- 5	- 0.36
500	502	2	0.40	1 500	1 494	- 6	- 0.40
600	604	4	0.67	1 600	1 604	4	0.25
700	703	3	0.43	1700	1705	5	0.29
800	805	5	0.63	1 800	1 793	- 7	- 0.39
900	904	4	0.44	1 900	1 906	6	0.32
1 000	996	- 4	- 0.40	2 000	1 992	- 8	- 0.40

同时根据回波传输的特点,提出回波包络峰值检测法,使包络峰值检测能准确计算出回波的前沿,从而提高了传播时间的测量精度.在有效测量范围 2 m 内,改善前系统最小测量绝对误差为 5 mm,最小测量相对误差为 0.36%,最大测量绝对误差为 18 mm,最大测量相对误差为 5%;改善后系统最小测量绝对误差为 2 mm,最小测量相对误差为 0.25%,最大测量绝对误差为 8 mm,最大测量相对误差为 2%.系统改善后大大降低了环境温度变化和传播声时检测带来的测量误差,使测量系统基本上达到了 cm 级精度.

参考文献：

[1] ABIDI M A ,Gonzalez R C. The use of multi-sensor data for robotic Application[J].IEEE Transactions on Robotics and Automation ,1990 6(2) :248 ~ 256.

[2] GRMMEI P M. Improve ultrasonic detection using the analytic signal magitade[J].Ultrasonics ,1981 ,19(2) :73 ~ 76.

[3] BORENS FLIN J ,KOREN Y.The vector field histogram

fast obstacle-avoidance for Mobile Robots[J].IEEE Journal of Robotics and Automation ,1991 7(3) :278 ~ 288.

[4] KIMIYUKI ,MAKOTO K. Development of a new displacement-measuring ultrasonic sensor based on astigmatic focus error detection-measuring principle and its demonstration [J].Precision Engineering ,1997 34(20) :1 ~ 4.

[5] 罗本成,原 魁,刘晋东,等.机器人多路超声波环境探测器的研制[J].中国科学院研究生院学报,2002 ,19(2) :173 ~ 176.

[6] 王火亮,孙守迁.基于超声波传感器测距的家用自主式移动吸尘器路径规划算法[J].计算机应用研究,2002 ,19(8) :57 ~ 61.

[7] 翟国富,刘茂恺.一种实时高精度的机器人用超声波测距处理方法[J].应用声学,1995 ,15(1) :35 ~ 45.

[8] 舒乃秋,陈小桥.多点超声水位仪测量精度的研究[J].人民长江,1996 27(2) :30 ~ 32.

[9] 杨劲松,王 敏.超声波可变阀值测距装置[J].计算机应用,1998 (7) :7 ~ 9.

[10] 潘宗预,潘 登.超声波测距精度的探讨[J].湖南大学学报,2002 29(3) :18 ~ 21.

[11] 杨文献 , 姜节胜 . 基于复小波变换的超声信号分析技术研究 [J]. 西北工业大学学报 , 2004 , 22 (4) : 510 ~ 514 .

[12] 马大猷 . 声学手册 [M]. 北京 : 科学出版社 , 1983 . 350 ~ 373 .

Study on Detection Precision of the Ultrasonic Distance Measurement Device with High Precision

BU Ying – yong , HE Yong – qiang , ZHAO Hai – ming , REN Feng – yue

(College of Mechanical & Electrical Engineering , Central South University , Changsha 410083 , China)

Abstract : In the technology of ultrasonic distance measurement , normally influenced by the temperature and the detection error of time of flight time (TOF) , with the result that the precision of distance measurement is not so high . Therefore , in order to enhance the measuring accuracy of the ultrasonic distance measurement device , this paper has made the improvement in the structure in view of the traditional ultrasonic distance measurement device and installed the standard adjustment appliance which has the function of temperature compensation . At the same time , according to the transmission characteristic of the returned ultrasonic , we use the wavelet analytic method to conduct operation processing the echo signal and propose the peak detection method based on the wavelet envelope principle . The result of experiment indicates these technologies remarkably increase the precision of ultrasonic distance measurement device and strengthen the ultrasonic detection reliability .

Keywords : Ultrasonic distance measurement ; Standard adjustable board ; Wavelet analysis ; Peak detection

(上接第 74 页)

[2] 毛 鸿 , 吴兆麟 . 有源功率因数校正器的控制策略综述 [J]. 电力电子技术 . 2000 , 34 (1) : 58 ~ 61 .

[3] 陈丽敏 . APFC 技术中的平均电流型控制及其应用研究 [J]. 电气传动自动化 , 2001 , 23 (2) : 38 ~ 40 .

[4] 杨 汝 . 平均电流模式的控制电路设计 [J]. 电力电子技术 , 2002 , 36 (4) : 66 ~ 69 .

[5] 张廷鹏 , 吴铁军 . 通信用高频开关电源 [M]. 北京 : 人民邮电出版社 , 1998 .

[6] 刘胜利 . 现代高频开关电源实用技术 [M]. 北京 : 电子工业出版社 , 2001 .

[7] 杨 波 . 通信电源功率因数校正电路的分析和研究 [D]. 广州 : 华南理工大学 , 2002 .

[8] 刘春艳 , 秦福建 , 马跃利 . Boost 型 APFC 电路的控制实现方案 [J]. 青海大学学报 (自然科学版) , 2004 , 22 (6) : 61 ~ 64 .

An Active Power Factor Correction Technique Based on Average Current Control

ZENG Qing – hong , YANG Shi – jie

(School of Electronic and Information Engineering , South China University of Technology , Guangzhou 510640 , China)

Abstract : In view of a most frequent-used and advanced active power factor correction technique at present , this paper studied on its circuit topology and control strategy , of which the average current control principle is analyzed in detail . The experiment result of a 50V/20A communication power frequency factor correction circuit is also given .

Key words : power factor correction (PFC) ; CCM ; average current control