

文章编号:1001-893X(2010)09-0132-05

提高超声波测距精度方法综述^{*}

韩丽茹

(浙江水利水电专科学校,杭州 310018)

摘要:随着超声波测距的广泛应用,对超声波测距精度的要求也越来越高,如何提高超声波测距的精度成为研究人员比较关注的焦点。总结了目前被应用或者认可的一些提高超声波测距精度的方法,并根据影响精度因素的不同进行了简单分类。

关键词:超声波测距;回波包络;小波变换;温度补偿;标杆测量法

中图分类号:TB551 **文献标识码:**A doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2010.09.029

A Survey of Methods for Improving Ultrasonic Ranging Precision

HAN Li-ru

(Zhejiang Water Conservancy and Hydropower College, Hangzhou 310018, China)

Abstract: With the wide application of ultrasonic ranging, requirement for the ranging precision is higher and higher. How to improve the precision of ultrasonic ranging has become the research focus. This paper summarizes the methods of improving ultrasonic ranging precision that have been applied or recognized, and classifies the methods according to the factors influencing the ultrasonic ranging precision.

Key words: ultrasonic ranging; envelope of echo; wavelet transform; temperature compensate; benchmarking method

超声波测距系统以其结构简单、造价低、电路易实现等优势在各个领域得到了广泛应用。但在实际应用中,系统本身的局限性对超声波测距精度的影响很大,因此改进或者减小系统本身的局限性,以提高超声波测距的精度,是广大研究人员关注的课题。目前,国内出现了许多提高超声波测距精度的方法,根据测距系统应用具体环境的不同提高精度的方法略有迥异,但基本都是围绕着减小测量渡越时间的误差和减小环境温度的影响两个方面提出的。因此,本文分别从这两个方面分类总结了减小误差、提高精度的方法。

1 超声波测距原理与误差分析

目前,利用超声波测距大都是利用压电方式产生超声波,由超声波发射器向某一方向发射超声波,在发射的同时开始计时,超声波在空气中传播,当遇

到障碍物时立即返回来,超声波接收器收到超声波就立即停止计时。设超声波在空气中的传播速度为 c ,计时器记录的时间为 t ,发射点到障碍物的距离为 L ,则超声波测距公式为

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

根据式(1)可知,测距的误差主要是由超声波的传播速度误差和测定传播时间的误差引起的,因此提高超声波测距精度的解决方案基本是围绕减小这两个方面的误差展开的。

2 提高超声波测距精度的方法

2.1 减小测量渡越时间误差

2.1.1 归一化回波包络信号的方法^[1]

由超声波测距原理可知,如果忽略环境变化对

^{*} 收稿日期:2010-05-21;修回日期:2010-07-27

声波传播的影响,那么如果能够测得精确的传播时间,就可以得到比较准确的传播距离,此方法是从减小渡越时间误差的角度提出的。通过跟踪分析声波的传播过程,可以发现起伏是引起超声波测距误差的主要原因之一,所以有必要对起伏条件下回波曲线的特性进行分析。通过分析理想条件下起伏信道的输入、输出信号,可知起伏反映在输出信号上的效果有两个方面,一是造成了信号幅度的起伏;二是造成了回波信号在时域上的漂移。将理想条件下的回波包络信号曲线与起伏条件下回波信号进行标准化处理,从而消去幅度起伏。然后,由泰勒公式进行近似处理,得到回波包络信号的直线方程。

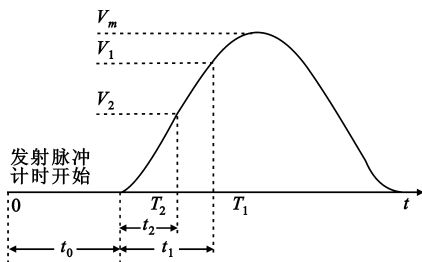


图 1 包络检测原理图
Fig.1 Envelope detection principle

图 1 为回波包络检测原理图,在检测时,由门限电平 V_1 、 V_2 测得对应时间为 T_1 、 T_2 ,回波前沿到达时间为 t_0 ,门限电平 V_1 所造成的测量延迟时间为 t_1 ,门限电平 V_2 所造成的测量延迟时间为 t_2 ,则由图可以看出 $T_1 = t_0 + t_1$, $T_2 = t_0 + t_2$,峰值检测测得回波峰值为 V_m ,由回波包络归一化曲线近似方程得:

$$Y(t_1) = V_1/V_m = Kt_1 \tag{2}$$

$$Y(t_2) = V_2/V_m = Kt_2$$

由于 $T_1 - T_2 = t_1 - t_2$,求得:

$$K = \frac{V_1 - V_2}{V_m (T_1 - T_2)} \tag{3}$$

因此脉冲前沿到达时间为

$$t_0 = T_1 - t_1 = T_1 - \frac{V_1}{K} \tag{4}$$

2.1.2 时间增益补偿电路^[2]

时间增益补偿的方法是利用回波接收放大电路的增益与回波接收时间成正比,或者放大倍数与回波时间成指数关系来减小回波起伏的误差,使接收电路接收的回波信号几乎保持不变。

超声波在传播过程中,会产生衰减现象。超声波的声强会随时间的推移而逐渐减小,所以可以通过对

衰减的回波进行增益补偿来减小声强的变化,从而避免随距离的增加导致回波幅度起伏。回波起伏减小了,时间误差减小了,那么测量精度就提高了。

由图 2 可见,经过时间增益补偿,不同距离的回波幅度不再起伏,若补偿精确,可使回波幅度基本保持常数。

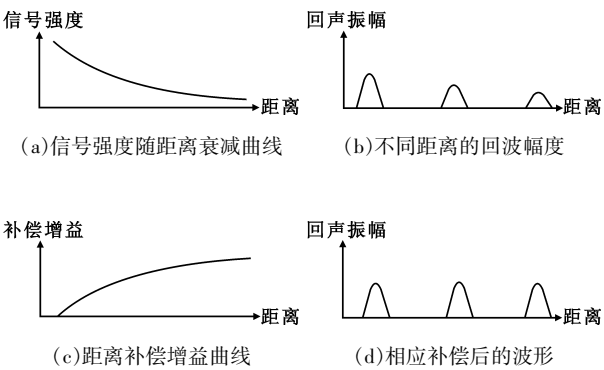


图 2 时间增益补偿
Fig.2 Time gain compensation

2.1.3 一种基于小波变换对超声波测距系统回波信号进行处理的方法^[3]

为了得到精确回波包络,可以采用小波去噪来处理超声波测距系统的超声波的回波信号,然后再进行后续的测距距离计算,以达到更精确的距离测量。下面对小波去噪进行分析。从信号处理角度看,小波去噪是一个信号滤波的问题,实际上是特征提取和低波功能的综合,基本方法是先对含噪信号进行多尺度小波变换,然后在各尺度下提取出信号的小波系数而去除噪声的小波系数,最后用小波逆变换重构信号,达到去噪的目的。小波去噪的基本流程如图 3 所示。

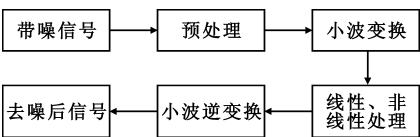


图 3 小波去噪基本流程
Fig.3 Flowchart of wavelet denoising

小波去噪是在小波域对噪声小波系数进行抑制,以达到去除噪声的目的。基本方法主要有小波变换模极大值去噪、基于各尺度下小波系数相关性去噪、收缩阈值法去噪、平移不变量小波法去噪,这 4 种方法各有优缺点。小波阈值法是对小波系数进行阈值化处理,基本上可去除所有的噪声。

2.1.4 回波信号的包络峰值检测^[1]

通过对相同的障碍物,不同的传播距离和不同的障碍物,相同传播距离的回波波形进行实验观察得出,回波包络线形基本一致,只是波幅不同,因此提出回波信号的包络峰值检测法。从工程精度考虑,可以认为超声波回波幅值包络线的形状基本不随回波信号的大小变化,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 ($t_p - t_0$) 不随障碍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,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,能够减小由渡越时间引起的误差。

同时,为了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波滤掉,可以采用随时间变化的自动增益控制(AGC)电路实现。因为超声波回波信号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。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,应用这种方法有效测量范围可达 2 m,测量盲区可减小为 100 mm,较好地达到了测距精度的要求。

2.1.5 中心椭圆算法

该算法是根据能量重心校正法和最小二乘法的原理,通过曲线拟合找到回波信号能量的集中点,从而得到回波信号的峰值点。

通过对回波信号的分析发现,回波信号的能量分布与离散窗谱相似,所以对回波信号拟合椭圆。算法如下:由椭圆圆点坐标、长、短轴半径和长轴与 x 轴的夹角可以唯一地确定一平面内椭圆^[4],使用变量代换法^[5]将椭圆方程简化为一个二元二次方程,将求解椭圆 5 个参数的问题简化为求解线性方程的 5 个系数。再设定椭圆长轴与 x 轴夹角为 0° 和 90° ,结合最小二乘法原理,根据数学分析方程系数满足导数为零的点为极值点,得出方程的系数,由此

推出椭圆的参数、圆点坐标和长、短轴半径。其中椭圆圆心的横坐标值就是接收到的回波信号的峰值时刻,也就得到了较为精确的传播时间。因此,该法也是通过解决渡越时间误差来提高测距精度的。

2.2 减小温度对传播速度的影响

2.2.1 温度校正的方法

由于超声波也是一种声波,其声速 v 与温度 T 有关^[6-7]。使用时,若温度变化不大,则可视声速基本不变;若测距精度要求很高,则应通过温度补偿法予以校正。

一般情况下,利用 $v = 331 + 0.60T$ 进行温度补偿,以适应不同温度下的工作要求。由补偿前后声速与温度的关系可以看出, 0°C 以下时声速值完全吻合, 0°C 以上最大误差不超过 5%。

由上述分析知,如果能够知道当地温度,就能够获得较高的测量精度,而问题的关键在于获得温度数据的方法。采用热敏电阻、热电偶、集成温度传感器都可以获得较为准确的温度值。为了便于对温度信号的数据采集及处理,可以采用温度补偿电路。利用一线性数字温度计即集成温度传感器 DS18B20 和单片机构成一个高精度的数字温度检测系统。在 $-55^\circ\text{C} \sim +125^\circ\text{C}$ 温度范围内,在 $-10^\circ\text{C} \sim +85^\circ\text{C}$ 内检测误差不超过 0.5°C ,而在整个温度测量范围内具有 $\pm 2^\circ\text{C}$ 的测量精度^[8],能够满足较高精度超声波测距的要求。

2.2.2 标杆测量法^[9]

超声波传播速度是引起测距误差的主要因素之一,而对速度影响较大的是环境温度,所以大多采用温度补偿的办法来减少测速误差。但是,如果不能合理地解决温度测量误差,也相应地引入了因温度测量误差带来的误差,从而影响了测距精度。而标杆测量法不是采用温度补偿的办法来减小声速的误差,而是采用双通道的方法,一个通道用来测量超声波传播速度,在超声波发射器前加一个已知距离的标志物,通过测量超声波到达该标志的时间,计算出超声波在该环境下的传播速度;另一通道仍按正常测量方式来测量距离。因为这是在相同的环境条件测得数据,就可以用一个通道的测得比较精确的声速来计算距离,以达到提高测距精度的目的。

目前,对于通过减小环境温度的影响来提高传播速度的测量精度的方法,大多是通过在系统中添加温度补偿电路。温度补偿电路主要就是稳定传感器的选择,随着技术的发展,温度传感器也做得越来越

越好,只要选择合适的传感器基本上都可以达到预期的效果。

当然,在提高测距精度的方法中,除了改进系统电路等硬件方法外,也有采用软件技术来提高精度的方法。随着技术的发展,通过软件来解决测距精度的方法会越来越多,应用也会越来越广泛。

3 结 语

从上述分析可知,提高超声波测距精度的方法基本都是围绕着影响测距精度的因素展开的,如何更好地提高测距精度要从实际问题出发选择合适的方法。随着对测距精度研究的不断深入,将会产生更多的新理论、新方法和新工具,但是它们的方向始终会朝着对测距精度的更智能化、精确化和实用化方向发展。

参考文献:

- [1] 卜英勇,何永强,赵海鸣,等.一种高精度超声波测距仪测量精度的研究[J].郑州大学学报,2006,27(1):86-90.
BU Ying-yong, HE Yong-qiang, ZHAO Hai-ming, et al. Study on Detection Precision of the Ultrasonic Distance Measurement Device with High Precision[J]. Journal of Zhengzhou University, 2006, 27(1): 86-90. (in Chinese)
- [2] 张珂,刘钢海.提高超声波测距精度方法的研究[J].现代电子技术,2007(15):139-141.
ZHANG Ke, LIU Gang-hai. Research on a Method of Improving Ultrasonic Ranging Precision[J]. Modern Electronic Technique, 2007, 30(15): 139-141. (in Chinese)
- [3] 王丽娜.基于小波变换高精度在线超声波测距技术研究[D].长春:长春理工大学,2009.
WANG Li-na. Study on High Precision Online Ultrasonic Ranging Technology[D]. Changchun: Changchun Technology University, 2009. (in Chinese)
- [4] 陈凯,刘青.一种随机化的椭圆拟合方法[J].计算机工程与科学,2005,27(6):48-50.
CHEN Kai, LIU Qing. A New Randomized Method of Ellipse Fitting[J]. Computer Engineering & Science, 2005, 27(6): 48-50. (in Chinese)
- [5] 刘书桂,李蓬,那永林.基于最小二乘原理的平面任意位置椭圆的评价[J].计量学报,2002,23(4):245-247.
LIU Shu-gui, LI Peng, NA Yong-lin. Evaluation of the Form Error of Ellipse Based on Least Square Method[J]. Acta Metrologica Sinica, 2002, 23(4): 245-247. (in Chinese)
- [6] 肖质红.超声波测距仪在汽车安全系统中的应用[J].浙江万里学院学报,2007(5):43-46.
XIAO Zhi-hong. The Vehicle Safety System Based on Ultrasonic Distance Measurement Device[J]. Journal of Zhejiang Wanli University, 2007, 20(5): 43-46. (in Chinese)
- [7] 徐国华.超声波测距系统的设计与实现[J].电子技术应用,1995(12):6-7.
XU Guo-hua. Design and Implementation of Ultrasonic Distance Measuring System[J]. Electronic Technology Application, 1995(12): 6-7. (in Chinese)
- [8] 王红云.基于超声波测距的倒车雷达系统设计[J].国外电子元器件,2008(8):69-73.
WANG Hong-yun. Design of automobile-reversing radar system based on ultrasound distance-measurement[J]. International Electronic Elements, 2008(8): 69-73. (in Chinese)
- [9] 邹铁.近距离高精度超声波测距系统的设计[D].大连:大连理工大学,2009.
ZOU Tie. Design of the High Accuracy Ultrasonic Ranging System[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2009. (in Chinese)
- [10] 田胜军,秦宣云,何永强.基于超声波测距系统的温度补偿电路设计[J].微计算机信息,2007,23(5):307-309.
TIAN Sheng-jun, QIN Xuan-yun, HE Yong-qiang. Temperature compensation circuit design of ultrasonic measuring distance system Based on the single chip processor[J]. Control & Automation, 2007, 23(5): 307-309. (in Chinese)
- [11] 曹建海,路长厚,韩旭东.基于单片机的超声波液位测量系统[J].仪表技术与传感器,2004(1):39-40.
CAO Jian-hai, LU Chang-hou, HAN Xu-dong. Intelligent System to Measure Liquid Height by Ultrasonic Based on Single-chip Microcomputer[J]. Instrument Technique and Sensor, 2004(1): 39-40. (in Chinese)
- [12] 赵海鸣,卜英勇,王纪婵,等.一种高精度超声波测距方法的研究[J].湖南科技大学学报(自然科学版),2006,21(3):35-38.
ZHAO Hai-ming, BU Ying-yong, WANG Ji-chan, et al. Study on the Ultrasonic Distance Measurement Method with High Precision[J]. Journal of Hunan University of Science & Technology (Natural Science Edition), 2006, 21(3): 35-38. (in Chinese)
- [13] 牛余朋,成曙.基于单片机的超声波测距系统[J].兵工自动化,2005,24(4):77-79.
NIU Yu-peng, CHENG Shu. Ultrasonic Measurement System Based on Microprocessor[J]. Ordnance Industry Automation, 2005, 24(4): 77-79. (in Chinese)
- [14] 阮成功,蓝兆辉,陈硕.基于单片机的超声波测距系统[J].应用科技,2004,31(7):22-24.
RUAN Cheng-gong, LAN Zhao-hui, CHEN Shuo. An ultrasonic distance measurement system based on single-chip

- computer[J]. Applied Science and Technology, 2004, 31(7):22-24. (in Chinese)
- [15] 滕艳菲,陈尚松.超声波测距精度的研究[J].国外电子测量技术,2006,25(2):23-25.
TENG Yan-fei, CHEN Shang-song. Study on precision of ultrasonic ranging[J]. Foreign Electronic Measurement Technology, 2006, 25(2):23-25. (in Chinese)
- [16] 王慧.基于总线的超声波测距仪的研究[D].哈尔滨:哈尔滨工程大学,2007.
WANG Hui. Research and Design of Ultrasonic Range Finder Based on Bus[D]. Harbin: Harbin Engineering University, 2007. (in Chinese)
- [17] 潘登,潘宗预.超声波测距精度的探讨[J].中国包装工业,2003(11):39-40.
PAN Deng, PAN Zong-yu. Discussing of Testing Distance Precision by Ultrasonic[J]. China Packaging Industry, 2003(11):39-40. (in Chinese)
- [18] Hueber G, Ostermann T, Bauernfeind T, et al. New approach of ultrasonic distance measurement technique in robot applications[J]. Proceedings of IESP, 2003(1):2066-2069.
- [19] Webster D. A Pulse ultrasonic distance measurement system based upon phase digitizing [J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2004, 43(4):578-582.
- [20] Pham D T, Ji Z, Soroka A. Ultrasonic distance scanning techniques for mobile robots[C]//Proceedings of International Conference on Computer Aided Engineering and Technology. [S.l.]: IEEE, 2009:209-224.
- [21] 张和生,宋明耀.提高超声测距精度的设计[J].电子产品世界,2004(13):87-89.
ZHANG He-sheng, SONG Ming-yao. The Design for Improving Precision of Ultrasound Distance Measurement[J]. Electronic Engineering & Product World, 2004(13):87-89. (in Chinese)
- [22] Benesty J, Chen Jingdong. Time-Delay Estimation via Linear Interpolation and Cross Correlation[J]. IEEE Transactions on Speech and Audio Processing, 2004, 12(5):509-519.
- [23] Sui Weiping, Pan Zhongming. A New Type of Driving and Echoes Detection Circuit for Ultrasonic Transducers [J]. Journal of National University of Defense Technology, 2004, 26(3): 107-111.

作者简介:

韩丽茹(1973-),女,河北唐山人,2005年获硕士学位,现为讲师,主要研究方向为计算机应用与图像处理。

HAN Li-ru was born in Tangshan, Hebei Province, in 1973. She received the M.S. degree in 2005. She is now a lecturer. Her research interests include computer application and image processing.

Email: hanlr@zjwchc.com