

提高超声测距分辨力的分析与设计^{*}

郑丰隆 赵洪亮 黄鹤松

(山东矿业学院仪器仪表研究所 泰安 271019)

1996年9月2日收到

摘要 本文分析了分辨力与随机误差的定量关系,并以此为指导选择和设计了超声发射、接收、测时等电路以及数字滤波方法,提高了超声测距的精度和分辨力。

关键词 超声测距,分辨力,单片机,电路

Analysis and design for increasing the resolution of ultrasonic distance-measurement

Zheng Fenglong, Zhao Hongliang, Huang Hesong

(Institute of Instrument, ShanDong Mining College, Taian 271019)

Abstract The paper analyses the quantitative relation between the resolution and random error, As a guide to design the circuits for ultrasound transmitting and receiving, time-measurement, and digital wave-filter, as a result, the accuracy and resolution of the ultrasonic distance-measurement is increased.

Key words Ultrasonic distance-measurement, Resolution, Single-chip computer, Circuits

1 引言

超声测距仪已是非常普通的仪器,但其精度常不够高,分辨力几毫米不能满足那些要求测量距离微小变化的地方,如测量煤矿井下岩石巷道微小收敛,必须要求仪器分辨力小于1mm.我们通过分析分辨力和随机误差的定量关系,设计了超声波测量电路,并用微机进行数字滤波处理,以多次测量结果的平均值估计真值,减小随机误差,提高仪器分辨力,效果是理想的.

2 分辨力及其提高方法

2.1 分辨力与随机误差的定量分析

分辨力为仪器能检测出待测量的最小变化值,是衡量仪器对待测量微小变化的反应能力的一个物理量.确定仪器的分辨力需要给出定量的计算公式,这是要解决的一个关键问题.

对于测距仪,分辨力 δ 是仪器能检测出的距离 L 的最小变化量,即 $\delta = (\Delta L)_{\min} = \min(L_2 - L_1)$.测量 L_2 、 L_1 时,有系统误差,但仪器的系统误差在 L_2 、 L_1 的相减中抵

^{*} 煤炭青年科学基金资助项目

消, 因此系统误差对分辨力无影响, 分辨力主要受到随机误差的影响。

若观测值的分布为正态分布, 即概率密度函数为高斯分布:

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x-\mu}{\sigma} \right)^2 \right] \quad (-\infty < x < +\infty) \quad (1)$$

可证明其半峰宽度: $f_w = 2.35\sigma$, 式中 σ 为该测量值分布的标准误差。测量次数 N 有限时, 可用标准偏差 $S_x = \sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 / (N-1)}$ 为估计值。我们不妨选用这一定量公式作为计算分辨力的依据, 即分辨力为 $\delta = 2.35\sigma$ 。该式合理, 在实践中已得到证实 [3]。

2.2 提高仪器分辨力的主要方法

由 $\delta = 2.35\sigma$ 可见, 提高仪器分辨力的主要方法是尽量减小测量的随机误差。为此, 以多次测量平均值 $\bar{x}$ 估计真值 μ 将更为精确。 x 围绕 μ 的分布, 其标准误差 $\sigma(x)$ 将比 σ 小。若测量次数为 N , x 为正态分布, 则可证 [1] $\sigma(\bar{x}) = \sigma/\sqrt{N}$, 故分辨力 $\delta(\bar{x}) = 2.35\sigma(\bar{x}) = 2.35\sigma/\sqrt{N} = \sigma/\sqrt{N}$, 若 $N = 49$, 则 $\sigma(\bar{x})/\sigma = 1/49 = 1/7$ 小 7 倍, 即提高 7 倍。

3 超声测距的基本原理及电路设计

一发一收超声测距原理示意如图 1。测试由微机控制自动进行: t_1 时刻开始发射, 超声波由 A 发向 B, B 收到时刻为 t_2 , 超声波在空气中传播的速度为 v , 则距离 $L = v(t_2 - t_1)$ 。现对有关问题进行分析。

3.1 发射电路

为减小随机误差, 获得高分辨力, 发射电路设计应保证发射的超声波波形有良好的重复性, 且波形应尽量单纯。我们经过分析、比较、试验, 选用发射电路如图 2。

该电路为高压放电驱动法, 电路简单新颖。起初, BG2 截止, E2 通过 R3 对换能压电晶体 D 充电, 将电能转换成机械弹性能贮存; 随后使 BG2 导通 (时刻为 t_1), D 通过 BG2 (内阻很小) 对地放电, 晶体弹性能转变为振动动能, 并作用于附近的空气, 转为媒质中的超声波, 为使波形单纯, 重复性好, 发射较强, 单片机控制超声换能器的放电 (短路) 时间, 为换能器谐振周期的一半时最好。

3.2 接收电路

接收换能器接收到超声波使晶片产生谐振并不断加强, 在晶片两面出现交变的等量异号电荷。由于电荷量很少, 只能提供微小交变电压信号。接收电路的任务是将这一微小交变电压信号充分放大, 驱动后面比较器输出电位翻转, 触发高速计数电路终止计数作为接收到超声波的时刻 t_2 。实验发现接收电路不能采用谐振放大滤波, 它会给结果带来较大的随机误差, 电路原理如图 3 所示。其特点如下:

(1) 接收电路第一级为场效应晶体管作射极跟随器, 可与接收晶体阻抗匹配, 接收微弱电压信号, 进行电流放大。

(2) 采用对信号的直接放大, 带通滤波, 比较器翻转作超声波接收到标志, 并与单片机引脚共同控制计数器门, 实现对计数器的准确控制, 减小了测量的随机误差。

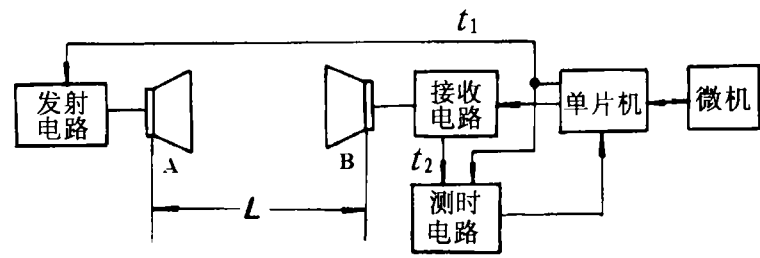


图 1 一发一收超声测距原理图

5 数据处理 — 排队式数字滤波方法

在前述提高分辨力的多次测量法的基础上,利用微机计算快速准确的功能,以排队式数字滤波法排除可疑数据(特别是偏差超过一个超声波周期的数据),减小随机误差,以大量正确数据的平均值估计真值,进一步提高精度和分辨力.具体方法是一次测 49 个数,共测 10 次,49 个数按大小排序去掉两头,取中间数据的平均值作为一次测量值,再将 10 次测量值,排队去掉两头,取中间数据平均值作为最后测量值.

6 分辨力测试举例

分别在 L=3018.4mm 和 L=4911.7mm 处进行了 10 次测量(已按大小排序).

(1) L=3018.4mm,测量的 10 个数分别为(单位: mm):

3019.721, 3019.733, 3019.736, 3019.748, 3019.754, 3019.799, 3019.808, 3019.824, 3019.83, 3019.854.

标准误差 σ = 标准偏差 $S_x=0.0475\text{mm}$, 分辨力 $\sigma = 2.35 \times 0.0475\text{mm}=0.11\text{mm}$.

(2) L=4911.7mm,测量的 10 个数分别为

(单位: mm):

4912.016, 4912.031, 4912.032, 4912.061, 4912.119, 4912.125, 4912.175, 4912.176, 4912.178, 4912.203.

标准误差 σ = 标准偏差 $S_x=0.0713\text{mm}$, 分辨力 $\sigma = 2.35 \times 0.0713\text{mm}=0.17\text{mm}$.

7 结论

系统误差不影响测距分辨力,分辨力取决于测量的随机误差. $\delta = 2.35\sigma$ 可作为计算分辨力的定量公式,故提高分辨力的基本方法是减小测量系统的随机误差.采用压电式超声换能器,高压充放电发射电路和非谐振的直接放大、带通滤波接收电路及高频计数测时电路组成的一发一收超声测距硬件系统,加上排队法软件滤波,减小了随机误差,具有较高的测量分辨力.

参 考 文 献

1 李锡镨. 实验的数学处理. 北京: 科学出版社. 1993. 74, 64.
2 翟国富, 刘茂恺等. 仪表技术与传感器, 1994, (6): 25-28.
3 山东省计量科学研究所. “七五”攻关项目中 DKJ-1 煤矿矿压计算机监测系统计量测试报告.

(上接第 10 页)

致谢 中国科学院声学研究所朱厚卿教授帮助测试了面切变晶片的一些参数,作者在此谨表谢意.

参 考 文 献

1 Gururaja T R, Schulze W A, Cross L E, et al. *IEEE Trans. Sonics Ultrason.*, 1985, **32**(4): 481-498.
2 Gururaja T R, Schulze W A, Cross L E, et al. *IEEE Trans. Sonics Ultrason.*, 1985, **32**(4): 499-513.

3 耿学仓, 李明轩. 应用声学, 1991, **10**(5): 10-14.
4 Zhang Q M, Chen J, Zhao J, et al. *IEEE Trans. UFFC*. 1994, **42**(4): 774-781.
5 Dang C J, Yang Y R, Li M X. *Chinese Science Bulletin*, 1996, **41**(11): 1044-1046.
6 Berlincourt D A. Piezoelectric and piezomagnetic materials and their function in transducers. In: Mason W P ed, *Physical Acoustics*, 1(Part A), New York and London: Academic Press, 1964. 169.
7 栾桂冬, 张金铎, 王仁乾. 压电换能器与换能器阵, 北京大学出版社, 1990.
8 党长久, 杨玉瑞, 李明轩. 应用声学, 1997, **16**(2): 7-13.
9 党长久, 杨玉瑞, 李明轩. 应用声学, 1996, **15**(4): 10-15.