

超声测距系统中的误差来源及补偿

张卫东 张圣训

(浙江大学电机系 杭州 310027)

1993年5月3日收到

目前有许多超声测距系统采用单片机来控制,这些系统易于进行误差补偿。本文讨论了超声测距中几种主要的误差来源,并给出了相应的补偿方法,这些讨论可供设计超声测距系统时参考,也可用于估计和评价超声测距系统的性能。

传统的超声测距系统是采用分立元件构成的,因而无法对测距误差进行补偿,难以达到较高的精度。单片机在我国的推广应用为超声测距这一领域注入了新的活力。采用单片机控制的超声测距系统不但电路简洁,成本低,可靠性高,易于改进,更重要的是它可以采用灵活多样的数据处理方法,并对测量误差进行补偿。本文旨在讨论超声测距中的误差来源以及相应的补偿方法,这些讨论不但可以作为设计超声测距系统时的参考,也可用于估计和评价超声测距系统的性能。

在超声测距中,影响测距精度的因素较多,其中影响较大的有环境温度,触发时间,硬件响应时间和换能器之间的间隔等。本文在讨论这些因素的影响时,采用绝对误差和相对误差作为衡量的尺度。

环境温度对测量精度的影响是最先被人们所重视的,因而讨论的文献较多。根据声学理论可以知道,理想气体中的声速为:

$$c = \sqrt{\frac{\nu RT}{\mu}}$$

式中 ν ——比热比, T ——绝对温度, R ——理想气体普适常数, μ ——气体的摩尔量。一般地,我们也用此式来计算空气中的声速,代入各个参量就可得到它的近似公式:

$$c = 331.5 + 0.61t$$

所以如果忽视了温度的影响,引入的误差为:

$$\frac{0.61t}{331.5 + 0.61t}$$

在常温范围内(-25°C — $+45^{\circ}\text{C}$),这个误差最大可达7%左右。

利用近似公式对速度随温度的变化进行补偿,就能得到在实用温度(-40°C — $+80^{\circ}\text{C}$)和湿度(45%RH—85%RH)范围内相对于距离测定值 $\pm 0.5\%$ 的精度,不过这是采用了浮点运算以后得到的。采用浮点运算的软件设计很麻烦,在许多场合中也可采用一种分段补偿的方法,即将 -20°C — $+40^{\circ}\text{C}$ 的温度范围划分成12段,每段 5°C ,在 0°C — 5°C 范围内认为温度是 2.5°C , 5°C — 10°C 范围内认为温度是 7.5°C ,余者以此类推。小于 -20°C 的温度按 -22.5°C 算,大于 $+40^{\circ}\text{C}$ 的温度按 $+42.5^{\circ}\text{C}$ 算。采用了这样一种算法后,程序设计就可以用查表法和定点运算了,由此引入的声速误差为 $0.61 \times 2.5 = 1.52 \text{ m/s}$ 。假设近似公式所得到的声速是准确的(此假设也使用在后边的几种情况中),则相对误差为:

$$\frac{1.52}{331.5 + 0.61t}$$

在 -25°C — $+45^{\circ}\text{C}$ 范围内可以将它限制在 $\pm 0.5\%$ 。

温度对测距精度的影响是通过测量公式 $L = \frac{1}{2} ct'$ 中声速 c 的变化实现的,下面要讨论的是测量时间 t' 发生变化的两种情况。

从复杂性和工艺方面考虑,相当多的电路没有采用 AGC 放大器,并且阈值固定,但是接收信号的动态范围很大,所以会因为触发时间的不同而引入一定的误差。如图 1 所示,当所测距离范围很大时,往往近距离处的信号很强,回波的第 1 周就可以超出阈值,而远距离处的信号很弱,要等到第 2 周或以后才会高出阈值,这时由于触发电路的信号边沿不同,就造成了误差。

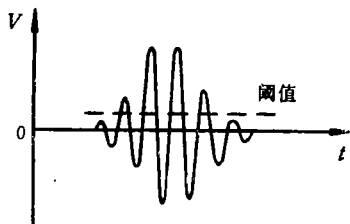


图 1 第 2 周触发的情况

在超声测距系统中,驱动波形不是连续的,而是一组一组的脉冲,通常一组中包含 6—10 个 40 kHz 的脉冲。根据超声波的反射机理,远距离时回波峰值最大的波大约出现在第 3 周,通过对电路接收波形的观察可以直观地证实这一点,那么因此而造成的误差为:

$$T(331.5 + 0.61z)$$

式中的 T 表示触发边沿与第 1 周回波前沿的时间差,它会随着距离的增大而跳跃性地增大。一般地,当测距距离超出 3 m 时, T 就开始变化,最大为 $25 \times 2 = 50 \mu\text{s}$, 所以不加补偿时引入的最大误差为:

$$\frac{50(331.5 + 0.61z)}{3 \times 10^6}$$

在 $-25^\circ\text{C} \sim +45^\circ\text{C}$ 范围内约有 $\pm 0.6\%$ 。

对这种误差补偿有两种方法,一种是改变设计,采用 AGC 放大器,使在不同的距离时触发电路的都是同一周回波的边沿。另外一种方法就是根据测得的距离不同,将 T 增加的部分减掉。例如在程序中可以先判断距离是否大于 3 m, 如果不大于,就去显示;如果大于,则在定时时间中减去一个周波的时间即 $25 \mu\text{s}$ 。若测得的距离更远时,可能要减掉两个周波的时间。

应用声学

究竟在多远处减掉 T 的增加值最好是根据不同的系统通过观察接收波形来确定。采用上述补偿方法后能把触发时间造成的误差限制在 $\pm 0.2\%$ 以内。

硬件电路是有一定的延迟的。对滤波器之外的电路来讲,这个延迟累计为 $1 \mu\text{s}$ 左右;滤波器的延迟比较大,可达数十 μs , 不过由于超声换能器本身就有选频效应,所以通常电路中是不加滤波器的,可以不作考虑;单片机系统的延迟相对来讲也比较大,假设我们是利用 8031 的外部中断 INTO 来检测回波信号的,尽管它已被设置成了最高的中断优先级,并且不会被其它的中断所阻碍,但是中断响应是需要一定时间的,这个时间在 3—8 个机器周期之间,如果 8031 的晶振是 12 MHz 的,也就是 3—8 μs 。进入到中断处理程序后,还要执行 2 条指令,要 3 μs 的时间,所以总的延迟时间为 7—12 μs , 它会引入不小的误差,在将确定的延迟时间 9 μs 补偿掉之后,硬件延迟仍能引入误差:

$$3(331.5 + 0.61z)$$

在 $-25^\circ\text{C} \sim +45^\circ\text{C}$ 范围内最大不超过 0.1%。

关于超声换能器现在采用较多的是发射和接收分开设计的,这种结构可以尽量缩小盲区,同时灵敏度高,驱动电路也易于设计。

在使用双换能器结构时,换能器之间的间隔也是一个误差源。设发射换能器为 T , 接收换能器为 R , 目标距离为 x , T 和 R 之间的间隔为 $2a$, 如图 2 所示。则回波走过的距离实际上是 $2x/\cos\theta$, 其中 $\theta = \arctg \frac{a}{x}$ 。这个误差随距离 x 和间隔 a 的变化而变化。距离越近,误差越大;间隔越大,误差也越大。在实际使用中,为了防止声波信号在两只换能器之间直接传播,往往将两只换能器隔开 20 cm 以上,即 $a \geq 10\text{cm}$, 所以这个误差若是不补偿,对精度的影响也很大。譬如 $a = 10\text{cm}$, $x = 100\text{cm}$ 时有:

$$\theta \simeq \arctg \theta = \frac{a}{x} = \frac{1}{10}$$

误差就已达到:

$$\frac{\frac{x}{\cos \theta} - x}{x} = \frac{1}{\cos \theta} - 1 = 0.5\%$$

补偿换能器间隔所导致的误差,最好的办法是采用浮点运算和三角函数运算,当然也可以用分段的办法来近似补偿,这里就不再详述

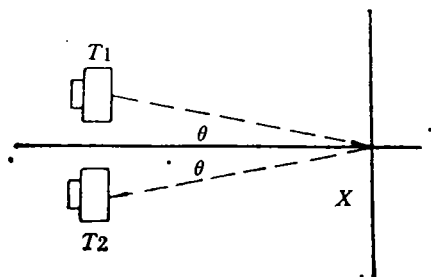


图2 换能器间隔引入的误差

了。

总的说来,影响精度的因素还有很多,不过其它因素的影响都较小,可以忽略掉。由于组成测量系统的各环节是串联的,所以采用了以上介绍的方法补偿后,可以将总的误差限制在 $\pm 1\%$ 以内,甚至可以达到 $\pm 0.5\%$,如果还想进一步提高,那就很困难了。

参 考 文 献

- [1] 同济大学声学教研室. 超声工业测量技术, 上海人民出版社, 1977.
- [2] Chande P.K., and Sharma P.C., *IEEE Transactions on Instrument and Measurement*, **33-2** (1984), 128—130.
- [3] 1976年全国超声检测技术交流会报告摘要, 科技文献出版社, 1978.

我国超声波疗法的新进展

周 万 松

肖 红 雨

(北京军区总医院理疗科 北京 100700) (解放军总医院医疗科 北京 100853)

1994年2月8日收到

本文通过对第二届全国超声治疗学术会议论文的综合介绍,展示了我国超声波治疗方面的近期实验研究工作:不同频率超声波的透入、低频超声对小分子通过半透膜的影响、超声波治疗实验性犬脑出血的疗效、颅骨对超声波的吸收率、超声波对组织硬结作用的动物实验、超声波对细菌的作用等。文章还报道了临床应用方面所取得的新进展。

Abstract

By summarizing papers presented in The Second National Conference on Ultrasonic Therapy, the paper demonstrates recent advances in China of ultrasonic therapy in laboratory studies: the penetrating effect of ultrasound of various frequencies, the effect of low frequency ultrasound on the passage of small molecules through the translucent membrane, the curative effect of ultrasound to experimental cerebral hemorrhage in dogs the ultrasonic absorptivity of cranial bone, the effect of ultrasound on tissue scleroma, the effect of ultrasound on bacteria and others. The paper also reports recent advances in clinical practices of ultrasonic therapy.

一、实 验 研 究

1. 不同频率超声波的透入实验

超声波药物透入法已成为超声波疗法的治疗方法之一,但究竟透入量如何,实验依据不足,缺乏足够的理论基础,为此,国内作者进行了这方面的实验研究。广西南宁三〇三医院崔