

一种改进的高精度超声测距方法研究

杨庆, 陈桂明, 董振旗

(第二炮兵工程学院, 陕西 西安 710025)

摘要:为提高超声测距系统的近距离测距精度,提出了一种改进的超声测距方法。该方法通过将回波信号放大调理为单片机能够识别的计数脉冲,并通过计数一定值的脉冲数确定回波前沿以计算超声波自发出至系统接收到回波的时间间隔。详细介绍了系统工作原理并分析了该方法的理论误差,介绍了超声测距系统的实现方案、组成结构及软件设计。选用表面光滑的静电板为被测物体进行了测距实验,在200mm~1200mm测距范围内,最大测量误差不超过8mm,实验结果表明该方法有效提高了测距精度。

关键词:超声测距;测距精度;回波前沿

中图分类号:TP212

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2010)12-0209-04

Study of Improved Method of Ultrasound Ranging with High Precision

YANG Qing, CHEN Gui-ming, DONG Zhen-qi

(Second Artillery Engineering Institute, Xi'an 710025, China)

Abstract: The advanced method of ultrasonic distance measurement for raising the precision of close range distance measurement was described, which demodulated the receive wave and taken count of some pulse using the technique of single chip to check up the forward edge of receive wave. The principle of the system was described in detail, and analyzed the theoretical error of distance measurement. The ways of measuring scheme and the structure of the system and the software design also was introduced in paper. The system's maximum error is less than 8mm in the measuring range of 200mm~1200mm taking the static board as the experiment object, and the result show that the precision of the advanced principle was improved obviously.

Key words: ultrasonic ranging; precision of distance measurement; forward edge of receive wave

0 引言

目前常用的超声波测距的方法主要是通过计算超声波发射探头发出超声波至超声波接收探头接收到回波信号的时间来确定探头至被测物体的距离。这种方法关键点是如何准确确定回波前沿,目前较简单的回波捕捉方法是采用电平MJ值法^[1-3]。由于回波信号强度随着测量距离的变化而变化,因此采用单一阈值很难准确算出回波前沿位置。

文中提出了一种将回波信号放大后作为单片机输入脉冲,通过单片机计数一定数量的脉冲数所用时间来推算回波前沿,此方法有效解决了不同测量距离需设置不同的电平阈值的难题。

1 系统工作原理及理论误差分析

1.1 系统工作原理

超声波经发射探头发出遇到障碍物后返回,通过测算超声波发出信号至接收探头接收到回波信号时间差即可有效测算出被测物体至探头的距离;由于超声波在传播过程中具有衰减特性,因此伴随着测算距离的变化回波信号的强度也会相应发生变化,因此通过设置电平阈值来判定回波前沿到来时刻具有一定的不确定性系统误差。尽管回波信号强度会随距离变化而变化,但回波信号的频率具有与发射波基频一致的特性。因此充分利用回波信号频率特性判断回波信号前沿到达时刻更为准确且易于实现^[4-6]。

因接收的回波信号为毫伏级,在本系统中首先利用运算放大器将回波信号进行二级放大,有效放大信号经比较器整形成为方脉冲,其中比较器的比较电压值的设定根据需测距最大值来实验测定。比较器将回波信号大于比较电压值的信号部分整形为高电平,将

收稿日期:2010-03-29;修回日期:2010-06-11

基金项目:军队科研项目(2009046)

作者简介:杨庆(1983-),男,博士生,从事机械故障诊断技术研究;陈桂明,教授,从事机械故障诊断技术研究。

回波信号小于比较电压值的信号部分整形为低电平;比较器整形后的方脉冲信号与回波放大信号对应关系如图 1 所示。一旦以需测距最大值设定好比较电压后,测距距离的变小脉冲宽度会相应变大;但脉冲高电平段依然保持在回波放大信号的每个正半周期内,本方法理论依据依然成立。整形后的方脉冲信号可以直接加到单片机的 INT0(P3.2)或 INT1(P3.3)引脚作为外部计数脉冲^[7,8]。在已知超声波声速 C_s 的前提下,被测物体距离 D 理论计算公式为:

$$D = \frac{1}{2} C_s (t_s - \frac{2n-1}{2} \cdot \frac{1}{f}) \quad (1)$$

其中: C_s — 超声波声速, m/s;

t_s — 计数 n 个脉冲后时间, s;

n — 设定的脉冲数;

f — 回波信号频率, 40kHz。

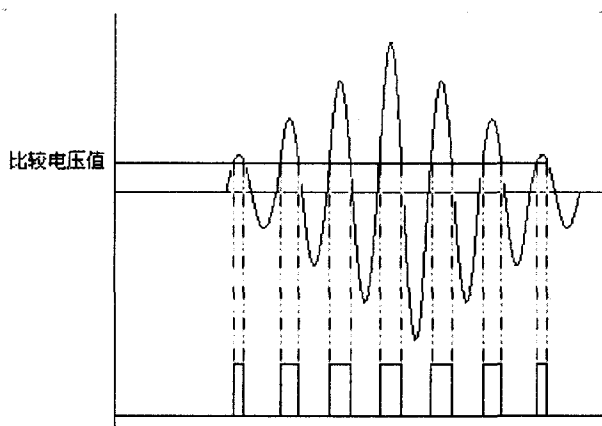


图 1 方脉冲信号与回波放大信号对应关系

1.2 理论误差分析

公式(1)给定的被测物体距离 D 理论计算公式中, t_s 包含的不仅是发射探头发射出超声波至回波前沿到达的时间差,同时包括 n 个计数脉冲对应的时间;在本方法中是将 n 个计数脉冲对应的时间视为回波放大信号 n 个正波,通过图 1 不难看出,本方法的计时时间理论误差为第 n 个方脉冲下降沿至第 n 个正波结束时的时间差,因此本方法最大计时时间理论误差为:

$$\Delta T_{\max} = \frac{1}{4} T = \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{f} \quad (2)$$

其中: ΔT_{\max} — 最大计时时间理论误差, s;

T — 回波信号周期, s; f — 回波信号频率, 40kHz。

依据公式(2)最大计时时间理论误差 ΔT_{\max} 为 6.25μs,将最大计时时间误差代入公式(1)不难算出在常温下(25℃ 时超声波声速 C_s 为 346.32m/s)以本方法中测距产生的系统误差为 1.08mm。

2 测距系统硬件设计

本系统结构如图 2 所示,主要以单片机为主控元

件,实现基于超声波精确测距,整个系统主要由超声波发射电路、超声波接收电路、MCU 复位电路、电源电路和 LCD 显示电路 5 部分组成。其中,超声波发射电路主要发射 40kHz 脉冲驱动发射探头发出 40kHz 超声波,超声波接收电路主要实现回波的接收与放大;LCD 显示单元实现测量数据的实时显示,单片机为主控元件,控制发射电路工作与停止,接收回波脉冲信号并计时,并进行实时计算和显示等任务。

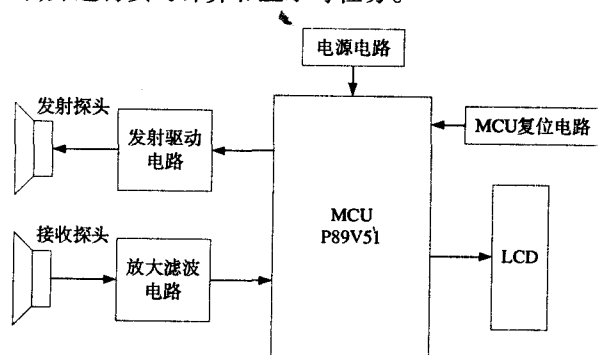


图 2 系统结构图

2.1 超声波发射电路

超声波发射电路如图 3 所示, P1 接超声波发射探头,通过调节可变电阻 VR1 使得 CC4060 分频器 4 级分频 Q4 端输出 40kHz 脉冲,同时考虑到每次发出的超声波脉冲数目过少发射波容易衰减以至接收到的回波信号较弱,脉冲数过多则发射波与回波会产生叠加干扰,因此设计调制脉冲为高电平时超声波发射探头发出 8~16 个超声波脉冲^[6],因此将 CC4060 分频器的 4 级分频 Q4 端与 8 级分频 Q8 端通过 CD4011 调制后通过 CD4011 的另一路与门经三极管放大后驱动发射探头发 40kHz 超声波。单片机 P30 口控制分频器的清零端,当单片机 P00 口输出低电平,分频器开始工作,当 P30 口输出高电平,可使计数器输出全部为“0”电平,并同时迫使振荡器停振^[9,10]。

CC4060 分频器内部构成的 RC 振荡器与用小规模门电路构成的 RC 振荡器的电路是一样的。只要改变图 3 中的 R_{11} 、VR1 和 C_7 的值,就可以得到不同振荡频率。

振荡频率与 R_{11} 、VR1 和 C_7 之间有以下关系式:

$$f = \frac{1}{2.2(R_{11} + VR_1)C_7} \quad (3)$$

其中: f — 振荡频率, kHz;

R_{11} — 电阻, kΩ;

VR1— 可变电阻, kΩ;

C_7 — 电容, pF。

2.2 回波放大电路

超声波回波放大电路如图 4 所示,为了去除环境

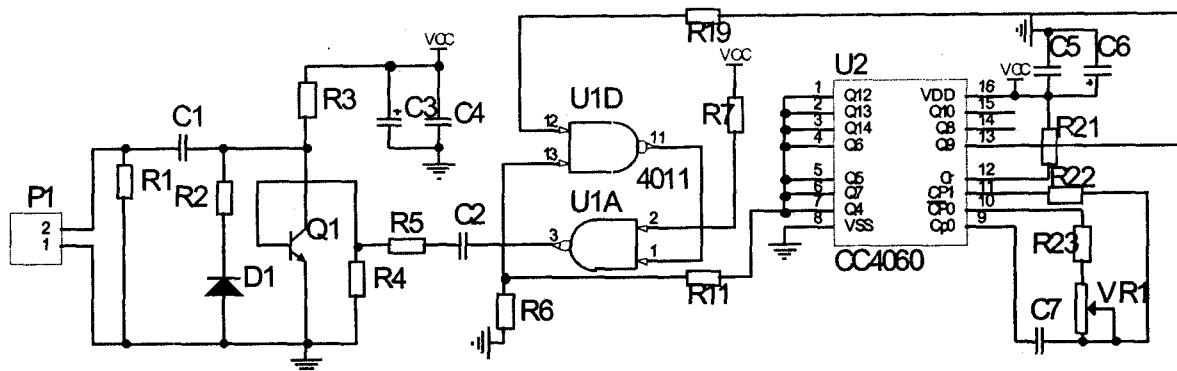


图 3 超声波发射电路

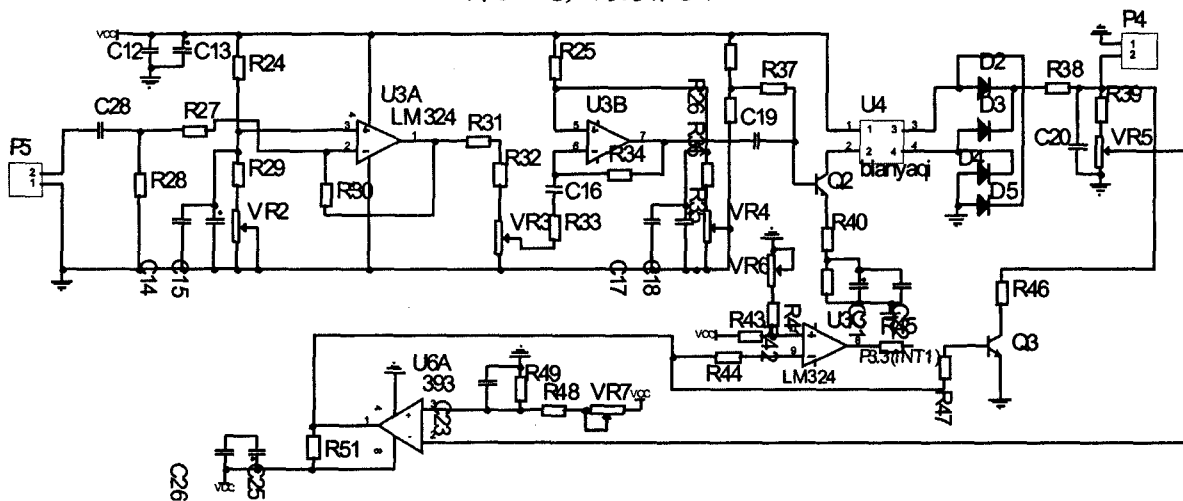


图 4 回波放大电路

中的噪声影响,系统接收电路首先采用一阶 RC 低通滤波电路以去除环境噪声干扰。经过低通滤波电路的回波信号很弱,因此采用低功耗集成运算放大器 LM324 进行两级放大,将经过两级放大的回波信号经过变压器和二极管组成的整形电路整形为无偏移正弦波信号。

考虑到经过滤波电路、两级放大电路和整形电路后,信号与原始回波信号呈现反向关系,因此在本系统中采用比较器 LM393 进行调整,将调整后的信号经运算放大器 LM324 调整为脉冲信号作为外部计数脉冲接入单片机 P3.3(INT1)口,待 INT1 计数脉冲达到预设值时作为计数器 INT0 计数停止条件^[11,12]。

2.3 LCD 显示电路

采用 LCD 型 LG128643 作为本系统显示器件,它是横向有 128 个点,纵向有 64 个点,可显示出数字、中文字及图形,可以满足本系统设计要求。本系统中液晶显示模块采用直接控制方式,即将液晶显示模块接口作为存储器或 I/O 设备的方式操作液晶显示模块的工作。P00~P07 作为液晶显示模块数据口, P20~P24 分别控制 LCD 芯片数据/指令信号选择端、读写端、芯片使能端及左半屏、右半屏的片选端^[1]。本程序

编制的 LG128643 子程序主要包括:中英文及数字字库,液晶显示模块初始化,清屏操作,显示屏初始化,信息显示程序。显示子程序主要根据采集模拟信号计算结果来调用字库并显示。

3 系统软件设计

测距系统软件采用 C 语言,由发射脉冲子程序、回波脉冲计数子程序、计算距离子程序、液晶显示子程序等几部分组成,采用模块化编程。其软件流程图如图 5 所示。

4 实验结果及误差分析

为了验证本系统的测距精度,进行了实验研究。被测物体选用表面光滑的静电板,环境温度为 24℃ 时,系统测量的部分实验数据见表 1。从表中的数据可以看出,在 200mm~1200mm 测量距离范围内,误差变化与测量距离的增加无相关性。由于测量的误差具有随机性,因此在系统软件程序设计时可以让系统进行 3 次测量并对 3 次测量结果求平均值以减小系统随机误差。

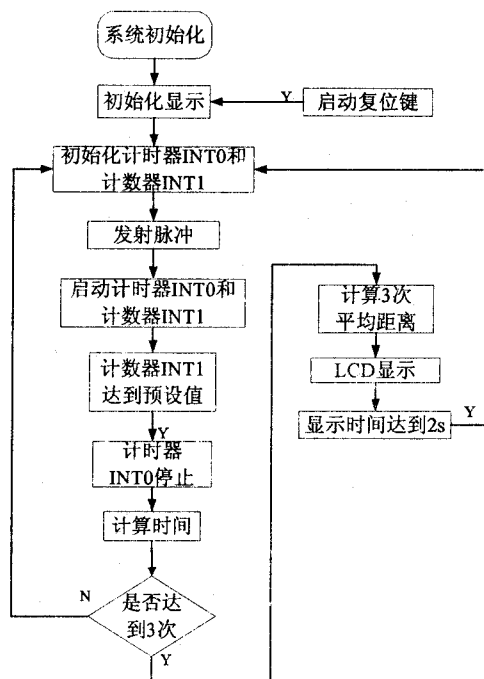


图 5 软件流程图

表 1 实验结果及绝对误差

实际值(mm)	测量值(mm)	绝对误差(mm)
200	193.35	-6.65
300	296.74	-3.26
400	397.79	-2.21
500	502.26	2.26
600	605.95	5.95
700	701.69	1.69
800	803.73	3.73
900	902.47	2.47
1000	1002.16	2.16
1100	1103.52	3.52
1200	1207.25	7.25

5 结束语

文中设计的超声测距系统提高了基于超声波测距精度,特别是对于近距离测量误差控制合理,波动较小。实验结果证实了本测距方法的有效性和可靠性,改进的超声测距系统对于测距范围 200mm ~ 1200mm,最大测量误差不超过 8mm;通过对大量实验数据分析整理能够拟合出更为精确的距离计算公式,进一步控制系统测距误差。

创新点:改进的超声测距方法能够有效克服常用的基于采用电平阈值确定回波前沿位置带来的电平阈值设置难题和测距系统的可靠性问题,设计的测距系统具有设计简单、可靠性高、近距离目标测距误差小等优点。文中提出了将回波信号放大调理后作为单片机输入脉冲并通过单片机计数一定数量的脉冲数所用时间来推算回波前沿的方法,是目前其它相关文献尚未提及的方法和技术手段。

参考文献:

- [1] Barshan, Billur. Fast processing techniques for accurate ultrasonic rangemeasttmments[J]. Measurement Science and Technology, 2000, 11(1): 45-50.
- [2] Angrisani L, Dapante P, D'Apdzzo M. Detection of echoes from muhilaer structures by using the wavelet transform [C]//IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference - IMTC'96. Brussels, Belgium: [s. n.], 1996: 895-900.
- [3] Daponte P, Fazio G, Molinaro A. Detection of echoes using Time - Frequeny Analysis [C]//IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference - IMTC'99. Venice, Italy: [s. n.], 1999: 1687-1692.
- [4] 王 峰,葛立峰. 一种高精度超声测距系统的设计[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(1): 229-231.
- [5] 周应华,蔡雪梅,刘燕飞. 超声测距系统设计[J]. 装备制造技术, 2008(11): 77-78.
- [6] 李茂山. 超声测距原理及实践技术[J]. 实用测试技术, 1994(1): 86-89.
- [7] 吴立珍,曾迎生. 基于 AT89C52 单片机多超声信号融合系统设计[J]. 微计算机信息, 2006, 11(2): 86-88.
- [8] 张 鹏,张有志. 一种新型超声测距系统[J]. 山东大学学报(工学版), 2003, 33(1): 86-88.
- [9] 时 玮,孟 军,刘 波. 温度修正的超声波测距控制设计[J]. 机械工程与自动化, 2005(6): 85-87.
- [10] 史彦斌,段哲民,高宪军. 基于 AT89C2051 的超声波测距仪设计[J]. 计测技术, 2006, 26(1): 26-28.
- [11] 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.
- [12] 吴斌方,刘 民,熊海斌. 超声波测距传感器的研制[J]. 湖北工学院学报, 2004, 19(6): 26-28.

欢迎订阅 2011 年期刊

《计算机技术与发展》月刊,大 16 开,253 页正文,每月 10 日出版,每期定价 18 元,每年 12 期,全年总价 216 元,邮发代号:52-127。欢迎到各地邮局或本编辑部订阅。

个人从编辑部直接订阅可享受优惠!

邮局汇款:西安市雁塔路南段 99 号《计算机技术与发展》编辑部(收)邮编:710054

银行汇款:开户行:交通银行西安大雁塔支行

户 名:陕西省计算机学会

帐 号:611301053010141055266