

一种高精度超声波测距系统的设计

郭尚佳, 唐艳芳, 李钟慎

(华侨大学 机电及自动化学院, 福建 厦门 361021)

摘要: 提出一种基于 STM8S 单片机控制的超声波测距系统的设计方案. 在分析超声波测距产生盲区和误差原因的基础上, 设计时间增益补偿电路和峰值时间检测电路, 并使用电容触摸按键代替机电开关, 确保正确捕捉回波的到达时间, 提高测距精度. 试验验证表明: 该系统在 2.5~10 m 范围内测距误差不超过 0.25%.

关键词: STM8S 单片机; 超声波测距; 电容触摸; 增益补偿; 峰值时间

中图分类号: TP 216.1

文献标志码: A

随着计算机、自动化技术的不断发展和应用, 测距精度问题已成为测量控制领域中极其重要的部分. 现代工业生产中, 工件的表面轮廓、目标物体的相对位置、形状描述等的测量结果都需要很高的精确度, 非接触、小型化、数字化、智能化成为距离测量系统发展的趋势. 超声波测距是一种典型的非接触式测距方法, 与激光测距、微波测距等方法相比, 它具有不受外界光、电磁场等因素影响的优点, 在比较恶劣的环境中也具有较强的适应能力, 且结构简单、成本低. 因此, 在液位测量、机器人视觉识别等方面得到广泛应用^[1]. 然而, 超声波的传播速度受到环境温度、空气湿度的影响, 且回波信号难以精确捕捉, 导致测距精度受到很大的影响. 本文设计了一种高精度实时控制的超声波测距系统.

1 超声波测距原理

超声波测距一般采用渡越时间法^[2-3]. 超声波测距的实质是时间的测量, 通过精确测量从发射超声波到接收回波所经历的时间 t , 计算出超声波探头与被测物体间的距离 x , 即

$$x = vt/2. \quad (1)$$

式(1)中: v 为空气介质中声波的传播速度.

超声波的声速与环境温度有关, 当温度 t 一定时, v 为确定值. v 与 t 的近似公式为

$$v = v_0 + 0.607t. \quad (2)$$

式(2)中: v_0 为零度时的声波速度 $331.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; t 为实际温度($^{\circ}\text{C}$).

2 系统的总体设计

2.1 系统的组成部分

超声波测距系统结构框图, 如图 1 所示. 超声波测距系统由 STM8S 单片机、超声波发射电路、超声波接收电路、触摸按键控制电路、温度补偿电路、LCD 显示电路等组成.

2.2 系统的测量原理

系统以 STM8S 单片机为核心, 由 STM8S 产生 40 kHz 的 PWM 波, 激励超声波探头发射超声波^[4]. 超声波以空气作为媒介, 遇到障碍物反射, 经过滤波, 整形, 放大, 被单片机的输入捕获通道捕捉.

收稿日期: 2012-12-14

通信作者: 李钟慎(1971-), 男, 教授, 主要从事先进控制理论与控制工程的研究. E-mail: lzszyw@hqu.edu.cn.

基金项目: 福建省自然科学基金资助项目(2011J01350); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目, 华侨大学科研基金资助项目(JB-ZR1107)

由于在测量过程中温度会对传播速度带来一定的影响,利用 DS18B20 型温度传感器采集外界环境的温度,通过对实时温度的检测进行温度补偿,校准超声波的传播速度.

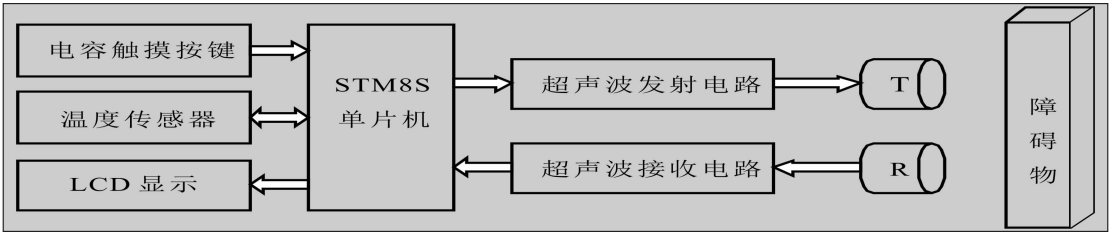


图 1 系统结构框图
Fig. 1 Block diagram of system structure

3 系统的硬件设计

3.1 超声波发射电路

系统的超声波发射电路使用 MAX232 芯片来驱动超声波探头. MAX232 芯片兼容 R232 标准,采用泵原理,可以确保输出信号的相位和幅值,主要用于电平转换. 由 STM8S 的 16 位高级定时器 TIM1 输出两路互补的,占空比为 50% 的 PWM 信号,通过 MAX232 泵放大后,分别加在超声波发射探头的正负极上,得到幅值约为 18 V,频率为 40 kHz 的方波信号. 驱动超声波探头的换能器产生 40 kHz 的超声波. 图 2 为 MAX232 芯片与超声波探头、单片机 TM1 口的连接图.

通过三极管 Q1 控制 MAX232 芯片的电源开关,开始发射前,打开 MAX232 芯片电源. 待电路稳定后开始发射,并在结束发射后关断. 这样可以降低发射电路对接收电路的干扰,同时降低了功耗.

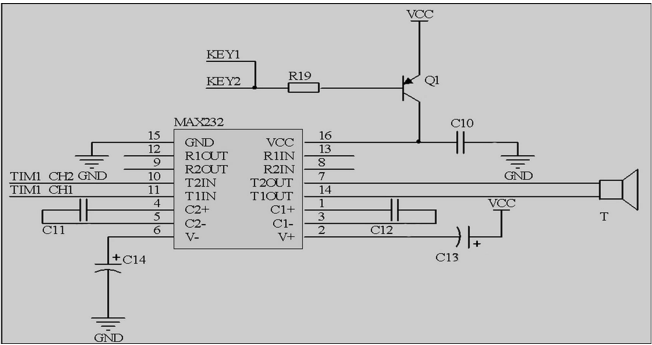


图 2 超声波发射电路
Fig. 2 Ultrasonic transmitter circuit

3.2 超声波接收电路

超声波接收电路模块主要包括时间增益补偿电路和峰值时间检测电路两部分. 回波信号经过电路的处理,可正确检测到超声波的到达时间,从而提高了测距精度.

3.2.1 时间增益补偿电路 超声波在空气中传播,声波强度会随传播距离的增加而衰减,其衰减可为

$$I = I_0 \exp(-\alpha x).$$

(3)

式(3)中: α 为空气衰减系数; I 为超声波经过 x 距离后的声强; I_0 为初始声强.

探头发出超声波,经过 x 距离,遇到障碍物反射回来. 设其入射声强和反射声强分别为 I_i 和 I_r ,由式(3)可得

$$I_r = I_i \exp(-2\alpha x).$$

因为衰减吸收而使声强增益 L 减少的分贝 (dB)^[5] 为

$$L = 10 \lg \frac{I_i}{I_r} \exp(\alpha x) = 20\alpha x \lg e,$$

(4)

$$L = 4.3 \times 2\alpha x = 4.3\alpha ct.$$

(5)

式(5)中: c 为声波在空气中的传播速度; t 为传播时间;由于 αc 为定值,所以超声波在 x 距离传播幅度减少的分贝数与超声波穿过该距离的时间 t 成正比.

图 3 为时间增益补偿电路,将 MAX5161 型数字电位器接入运算放大器的负反馈中,根据测量得到的补偿数据通过单片机,对数字电位器抽头状态进行控制,从而达到精确的时间增益补偿. 试验中用示波器观测信号经过时间增益补偿电路 (TGC) 的幅值,接收器接收的回波信号基本不变.

3.2.2 峰值时间检测电路 回波信号经过时间增益补偿电路后,幅度得到了相对的稳定. 不同障碍物

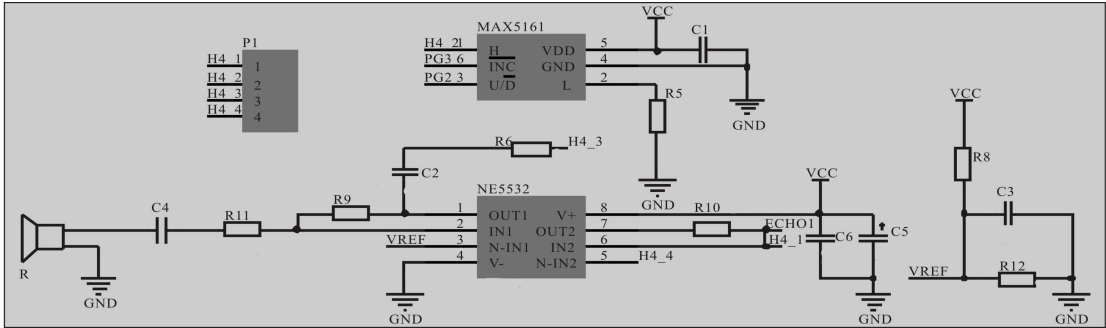


图 3 时间增益补偿电路
Fig. 3 Time gain compensation circuit

由于对超声波的吸收程度不同,通过时间增益补偿,回波幅度仍有一定的波动. 因此,在 TGC 电路后设计了有源全波整流电路和峰值时间检测电路,对回波信号进一步处理,以消除信号波动造成的误差. 检测电路如图 4 所示,图 4 中:半波整流电路 A1 和反相加法运算放大器 A2 组成有源全波整流电路^[6]. 根据测控电路的有关知识,可以计算出不论输入信号极性如何,输出信号总为正. 电容 C7 的作用是滤波,实现线性检波,相当于把超声波频率提高了一倍,即提高了时间分辨率,克服了普通二极管检波电路存在着非线性等特点.

峰值时间检测电路^[7]利用微分电路和过零检测电路,取代常规的具有固定阈值电平的比较器电路,将回波幅度的峰值时间点作为回波到达的时间. 该方法在原理^[8]上与信号幅度无关,所以具有优良的传输时间检测特性.

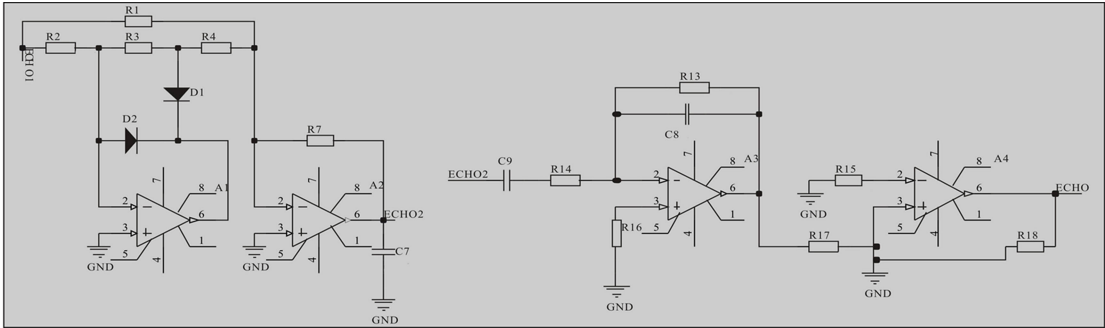


图 4 峰值时间检测电路
Fig. 4 Peak time detecting circuit

3. 2. 3 电容触摸按键 电容触摸按键作为控制按键,取代机电开关,使用 STM8S 设计了人性化接口. 电容触摸按键设计电路如图 5 所示. 从图 5 可知:由 1 个电阻和电极电容组成 RC 网络^[9],监控 RC 网络的充放电时间的周期. 任何由于电极电容改变所引起的 RC 时间的改变被检测到后,再经过滤波,最后通过专门的 I/O 或者 I2C/SPI 接口报告给 STM8S 单片机,从而实现电容触摸按键对人手的触摸检测.

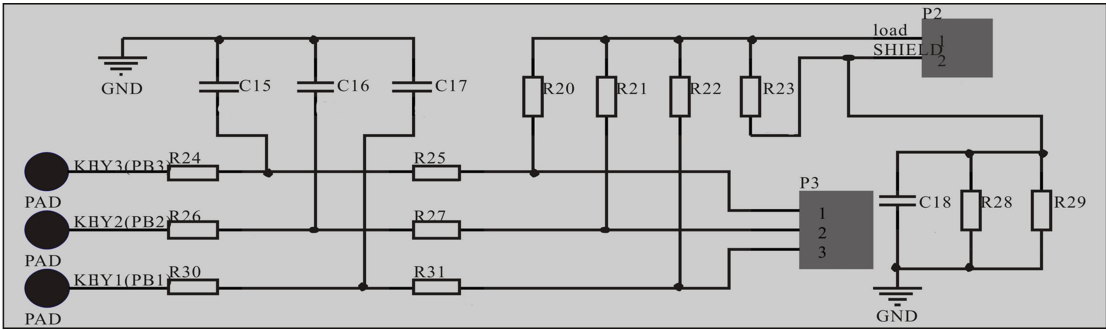


图 5 电容触摸按键电路
Fig. 5 Capacitive touch button circuit

STM8S 单片机是 ST 公司开发的一款 8 位微控制器,可以使用 ST 公司提供的触摸感应软件库

(TSSL). 通过简单配置、更改或者调整软件库的参数可以满足本设计的要求. TSSL 中环境改变系统(ECS)会随时间的漂移自动补偿信号,从而避免触摸按键由于温度、湿度、污渍、噪声等环境影响导致人手的触摸检测的失败. 基于 TSSL 的电容触摸按键具有很好的灵活性和稳定性.

4 系统的软件设计

系统软件部分有以下功能:校正温度变化,触摸按键判断测距模式,时间增益补偿(TGC),峰值时间检测和 LCD 显示输出等. 图 6 为系统软件框图.

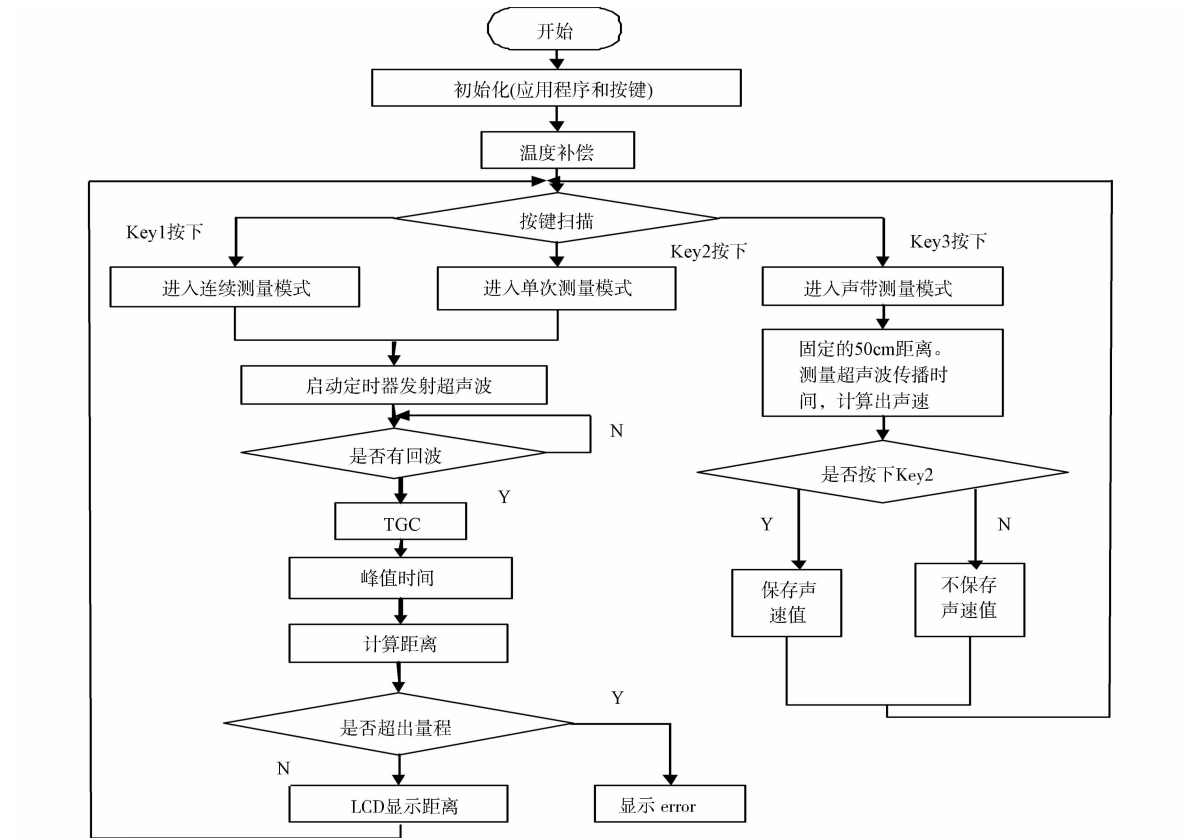


图 6 系统软件流程图
Fig. 6 Flow chart of system software

5 测距试验

不同距离处(d_i)系统测距结果,如表 1 所示. 测距结果表明:在 2.5~10 m 内,系统最大测距误差 δ_i 不超过 0.25%,具有较高的精度.

表 1 测距精度表
Tab. 1 Ranging accuracy table

| d_0/m | d_i/m | | | | | $\delta_i/\text{‰}$ | | | | |
|----------------|----------------|-------|-------|-------|-------|---------------------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 2.465 | 2.471 | 2.468 | 2.467 | 2.469 | 2.462 | 0.24 | 0.12 | 0.08 | 0.16 | -0.12 |
| 3.893 | 3.896 | 3.891 | 3.899 | 3.898 | 3.897 | 0.08 | -0.05 | 0.15 | 0.13 | 0.10 |
| 4.841 | 4.842 | 4.847 | 4.845 | 4.844 | 4.850 | 0.02 | 0.12 | 0.08 | 0.06 | 0.19 |
| 5.570 | 5.568 | 5.566 | 5.570 | 5.571 | 5.569 | -0.04 | -0.07 | 0 | 0.02 | -0.02 |
| 6.542 | 6.535 | 6.534 | 6.537 | 6.537 | 6.535 | -0.11 | -0.12 | -0.08 | -0.08 | -0.11 |
| 7.319 | 7.313 | 7.314 | 7.314 | 7.308 | 7.314 | -0.08 | -0.07 | -0.07 | -0.15 | -0.07 |
| 8.064 | 8.058 | 8.055 | 8.052 | 8.058 | 8.057 | -0.07 | -0.11 | -0.18 | -0.07 | -0.09 |
| 9.185 | 9.173 | 9.175 | 9.169 | 9.172 | 9.176 | -0.13 | -0.11 | -0.17 | -0.17 | -0.10 |

6 结束语

采用高速单片机 STM8S 做微处理器,利用其内部高级定时器 TIM1 的 PWM 通道产生超声波.由输入捕获通道捕捉回波信号,消除了测距系统启动发射和启动计时之间的偏差,以及收到中断响应停止之间的滞后,提高了测距精度.采用时间增益补偿(TGC)和峰值时间检测技术,提高了回波到达时间检测的精度.温度补偿电路的设计消除了温度对声速影响所带来的误差,电容触摸按键设计了人性化接口^[10].系统可以在对测量精度有较高要求的环境中使用,稳定性和实时性较好,具有较大的推广价值.

参考文献:

[1] 韦穗林. 数字式超声波测距仪的研制[J]. 电子设计工程, 2009, 17(10): 39-41.
[2] 赵小强, 赵连玉. 超声波测距系统中的温度补偿[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2008(12): 62-64.
[3] 卜英勇, 王纪婵, 赵海鸣, 等. 基于单片机的高精度超声波测距系统[J]. 仪表技术与传感器, 2007(3): 66-68.
[4] 陈上挺, 谢文彬, 游颖敏. 基于 STM8 的红外与超声波测距仪设计[J]. 电子技术应用, 2011, 37(9): 32-34.
[5] CHEBLI R, KASSEM A, SAWAN M. Integrated front-end preamplifier dedicated to ultrasonic receivers[C]// Proceedings of the 8th IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems. Malta: IEEE Circuits and Systems Society, 2001: 1103-1106.
[6] 张国雄. 测控电路[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008: 55-110.
[7] 苑洁, 常太华. 基于 STM32 单片机的高精度超声波测距系统的设计[J]. 电子设计工程, 2011, 19(15): 76-78.
[8] 孙琳琳, 石飞飞. 一种高精度超声波测距仪的设计与实现[J]. 科学技术与工程, 2010, 10(30): 7448-7452.
[9] 方献良. 基于 A/D 的电容触摸按键电路设计[J]. 宁波大学学报: 理工版, 2010, 23(3): 122-125.
[10] 傅文渊, 王爽, 李国刚, 等. 采用红外通信的智能化抄表器电路设计[J]. 华侨大学学报: 自然科学版, 2012, 33(4): 384-387.

A Design of High Precision Ultrasonic Ranging Measurement System

GUO Shang-jia, TANG Yan-fang, LI Zhong-shen

(College of Mechanical Engineering and Automation, Huaqiao University, Xiamen 361021, China)

Abstract: A design of ultrasonic ranging measurement system based on STM8S microcontroller is presented. The time-gain compensation (TGC) circuit and the peak time detecting circuit are designed on the basis of the blind area and error analysis. In addition, capacitive touch button is used to replace mechanical and electrical switch. The arrival time of ultrasonic echo can be correctly detected. And the ranging accuracy is increased. Experiments show that ranging error of the system is below 0.25% between 2.5—10 m.

Keywords: STM8S microprocessor; ultrasonic ranging; capacitive touch; gain compensation; peak time

(责任编辑: 陈志贤 英文审校: 杨建红)