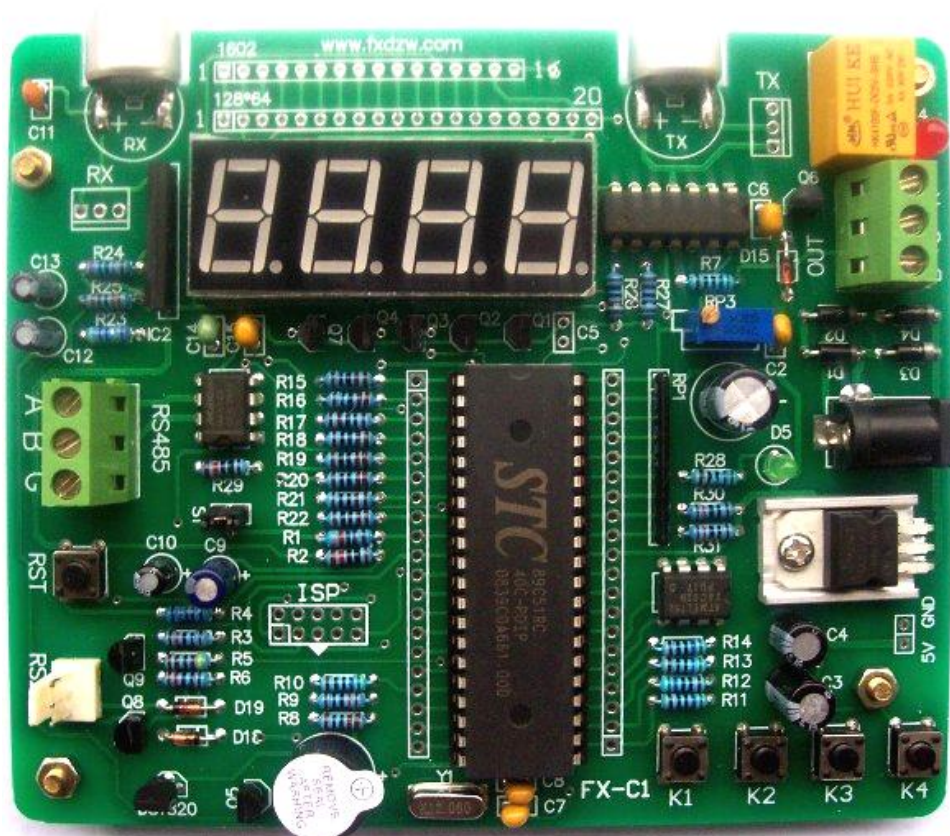


超声波测距仪的设计



福星电子网

提供单片机学习板，开发板，最小系统板；超声波测距实验应用板，

各类器件仪表，详情请访问网站 <http://www.fxdzw.com>

超声波测距仪的设计

摘要：电子测距仪要求测量范围在 0.10~5.00m，测量精度 1cm，测量时与被测物体无直接接触，能够清晰稳定地显示测量结果。由于超声波指向性强，能量消耗缓慢，在介质中传播的距离较远，因而超声波经常用于距离的测量，如测距仪和物位测量仪等都可以通过超声波来实现。超声波测距器，可以应用于汽车倒车、建筑施工工地以及一些工业现场的位置监控，也可用于液位、井深、管道长度的测量等场合。利用超声波检测往往比较迅速、方便、计算简单、易于做到实时控制，并且在测量精度方面能达到工业实用的要求，因此在移动机器人的研制上也得到了广泛的应用。

该测距仪采用 NE555 电路、两级放大电路和电平比较电路实现了超声波的发射与接收。单片机为该测距仪的核心单元，实现发射电路的控制和接收数据的处理。本系统在 10~200cm 的距离内测量精度可达 $\pm 0.5\text{cm}$ ，并且易于调试，成本低廉，具有很强的实用价值和良好的市场前景。

关键字：超声波传感器，测距仪，PIC16F876A

Abstract: Ultrasonic Ranging, can be used in car reversing, the construction site and the location of some industrial site monitoring, can also be used if the level, depth and length of the pipeline, such as measurement occasions. Measurement of the requirements in the 0.10-5.00 m, precision 1 cm, with the measurement of detected objects without direct contact, being able to clearly show stable measurement results. Because of the strong point of ultrasonic energy consumption slow, medium of communication in the longer distance, thus frequently used ultrasonic distance measurement, such as the range finder and level measurement and so on can be achieved by ultrasound. Use of ultrasonic testing is often more rapid, convenient and simple terms, easy to achieve real-time control, and measurement accuracy can meet the practical requirements of industry, in the mobile robot has been developed on a wide range of applications.

The range finder only NE555 circuit, two amplifier circuit and the level achieved a comparison of launching and receiving ultrasound. SCM range finder for the core elements for launching the circuit control and receive data processing. 10-200 cm in the system of distance measurement accuracy up to $\pm 0.5\text{cm}$, and easy to debug, low-cost, with strong practical value and good market prospects.

Keywords: Ultrasonic sensors, range finder, PIC16F876A

目 录

一、系统方案比较与选择	5
方案一：利用分立模块的超声波测距仪	5
方案二：基于 PIC16F876A 单片机的超声波测距仪	5
二、理论分析与计算	7
1、测量与控制方法	7
2、理论计算	7
三、电路与程序设计	8
1、检测与驱动电路设计	8
2、总体电路图	13
3、软件设计与工作流程图	15
四、系统调试	16
1 超声波测距误差分析	16
2 提高精度的方案及系统设计	17
3、测量结果	19
五、创新发挥	20
六、设计结论	21

一、系统方案比较与选择

方案一：利用分立模块的超声波测距仪

系统包括超声波测距模组、LED 数码显示模组、驱动模组控制模组及电源五部分。

超声波测距模块主要由发射部分和接收部分组成，超声波的发射受主控制器控制（如图 1 所示）；超声波换能器谐振在 40KHz 的频率，模块上带有 40KHz 方波产生电路。

显示模块是一个 8 位段数码显示的 LCD；测量结果的显示用到三位数字段码，格式为 X 点 XX 米，同时还用两位数字段码显示数据的个数。

电源采用 9V 的 DC 电源输入，经稳压管后得出 5V 以及 3.3V 的电源供系统各部分电路使用。

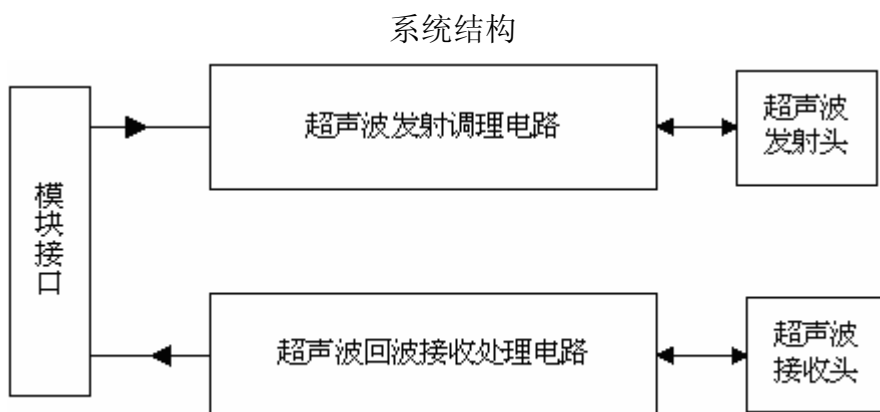


图 1 超声波测距模块组硬件框图

优点：具有历史数据存储功能、出错管理功能。

缺点：能测的最小距离比较长，不能实现双向测距，电路复杂性能稳定性不高。

方案二：基于 PIC16F876A 单片机的超声波测距仪

超声波测距仪主要以单片机 PIC16F876A 为核心，其发射器是利用压电晶体

的谐振带动周围空气振动来工作的.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，途中碰到障碍物就立即返回来，超声波接收器接收到反射波就立即停止计时。一般情况下，超声波在空气中的传播速度为 340m/s ，根据计时器记录的时间 t ，就可以计算出发射点距障碍物的距离 s ，即 $s=340 \times t/2$ ，这就是常用的时差法测距。

在测距计数电路设计中，采用了相关计数法，其主要原理是：测量时单片机系统先给发射电路提供脉冲信号，单片机计数器处于等待状态，不计数；当信号发射一段时间后，由单片机发出信号使系统关闭发射信号，计数器开始计数，实现起始时的同步;当接收信号的最后一个脉冲到来后，计数器停止计数。

双向超声波测距仪的系统主要有几部分组成（如图 2 所示）：LED 显示模块，PIC16F876A 芯片，超声波发射模块，超声波接收模块，电源模块等五大模块组成。

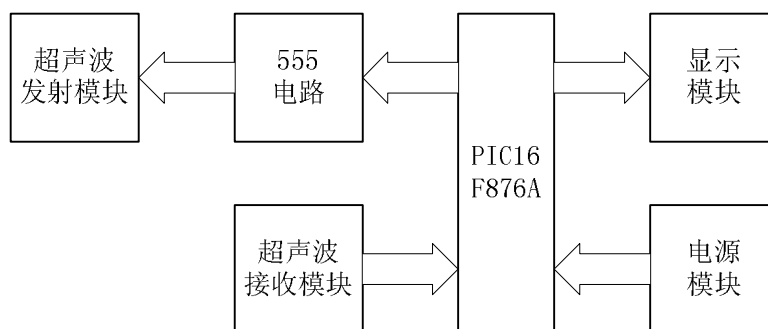


图 2 系统设计总体框图

优点：双向测距，精度高，功耗低。

在电路中我们采用 PIC 芯片它的优点是：精简指令使其执行效率大为提高；彻底的保密性；

其引脚具有防瞬态能力，通过限流电阻可以接至 220V 交流电源，可直接与继电器控制电路相连，无须光电耦合器隔离，给应用带来极大方便。

基于上述两种方案的比较，方案一，测量盲区较长，结构复杂且稳定性不高。方案二，能进行双向测距，精度高，功耗低，模块简单，稳定性高。所以选用方案二。

二、理论分析与计算

1、测量与控制方法

声波在其传播介质中被定义为纵波。当声波受到尺寸大于其波长的目标物体阻挡时就会发生反射；反射波称为回声。假如声波在介质中传播的速度是已知的，而且声波从声源到达目标然后返回声源的时间可以测量得到，从声波到目标的距离就可以精确地计算出来。这就是本系统的测量原理。超声波传感器的结构如图3所示。

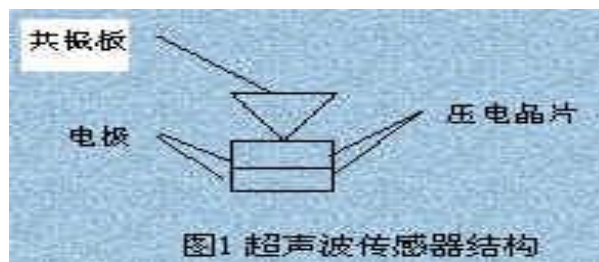


图3 超声波传感器结构

由于此超声波测距仪可以实现双向测距，所以需进行测距选择，而这个测距选择就以自动选择功能来实现。

2、理论计算

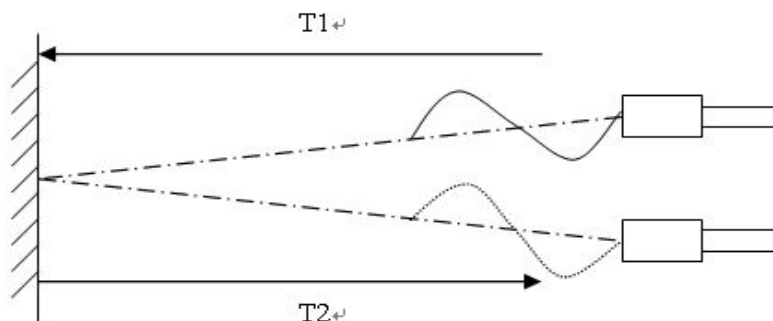


图4 测距的原理

如图4所示为反射时间法，是利用检测声波发出到接收到被测物反射回波的时间来测量距离其原理如图所示，对于距离较短和要求不高的场合我们可认为空

气中的声速为常数，我们通过测量回波时间 T 利用公式 $S=C*(T/2)$ 其中， S 为被测距离、 V 为空气中声速、 T 为回波时间 ($T=T_1+T_2$)，可以计算出路程，这种方法不受声波强度的影响，直接耦合信号的影响也可以通过设置“时间门”来加以克服。这样可以求出距离：

$$S=C(T_1-T_2)/2$$

本次设计是用 555 时基电路振荡产生 40Hz 的超声波信号。其振荡频率计算公式如下：

$$f=1.43/((R_9+2*R_{10})*C_5)$$

三、电路与程序设计

1、检测与驱动电路设计

A、器件选择：

本系统在设计过程中主要选取了以下一些器件：

1. PIC16F876A：测距仪的核心单片机
2. HEF4052B：双 4 通道的模拟选择器/分配器
3. NE5532P：双低噪声运算放大器
4. 发射探头 R40-16
5. 接受探头 T40
6. 电位器 5332
7. 变压器

B、芯片介绍：

PIC16F876A：28 引脚器件有 3 个 I/O 端口，而 40/44-pin 装置有 5。28 引脚器件有 14 中断，而该装置有 40/44-pin 15。28 引脚器件有 5 个 A/D 输入渠道，而 40/44-pin 装置有 8。其引脚图如图 5 所示。

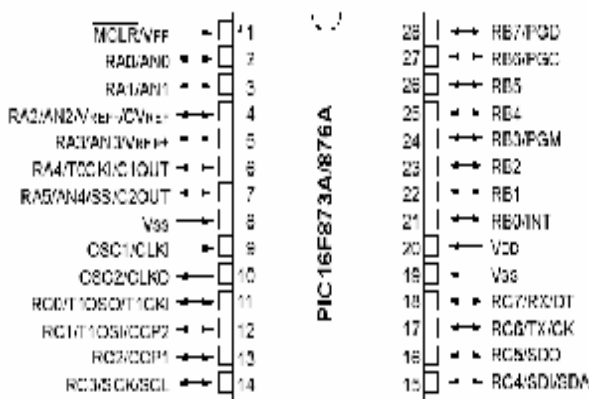


图 5 PIC16F879A 系列引脚图

NE5532P: 1 引脚 A 放大器输出，2 引脚 A 放大器反相输入端，3 引脚 A 放大器同相输入，4 引脚负电源，5 引脚 B 放大器同相输入端，6 引脚 B 放大器反相输入端，7 引脚 B 放大器输出，8 引脚正电源。其引脚图如图 5 所示。

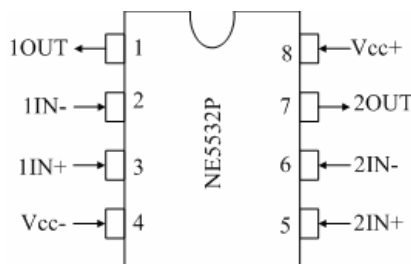


图 6 NE5532P 引脚图

HEF4052B: HEF4052B 是双 4 通道的模拟选择器/分配器，即可作为从 4 路的输入信号中选择一路作为输出的选择器，也可作为将一路输入信号分配到 4 路输出通道中的一路输出的分配器。通道之间是双向的。IC 内置的译码器有 4 个间接的模拟开关输出，对 2*4 个通道进行选择/分配。MT#用作对 AV1, AV2/DVD(共用),YPRPB/VGA (共用), TV 四路伴音信号的选择。其引脚图如图 6 所示。1 脚、2 脚、4 脚、5 脚的 Y0B to Y3B 和 11 脚、12 脚、14 脚、15 脚的 Y0A to Y3A 为独立的输入/输出通道；9 脚 A1、10 脚 A0 为地址输入（选择端）；6 脚 E 为使能端（低电平有效）；3 脚 ZB、13 脚 ZA 为公用的输入/输出通道；7 脚 VEE 为输入/输出信号的下限值；8 脚 VSS 为接地端；16 脚 VDD 为供电端。其引脚图如图 7 所示。



图 7 HEF4052B 引脚图

以超声波作为检测手段，必须产生超声波和接收超声波。完成这种功能的装置就是超声波传感器，习惯上称为超声波换能器或超声波探头。超声波传感器有发送器和接收器，但一个超声波传感器也可具有发送和接收声波的双重作用。超声波传感器是利用压电效应的原理将电能和超声波相互转化，即在发射超声波的时候，将电能转换，发射超声波；而在收到回波的时候，则将超声振动转换成电信号。

C、发射电路原理：

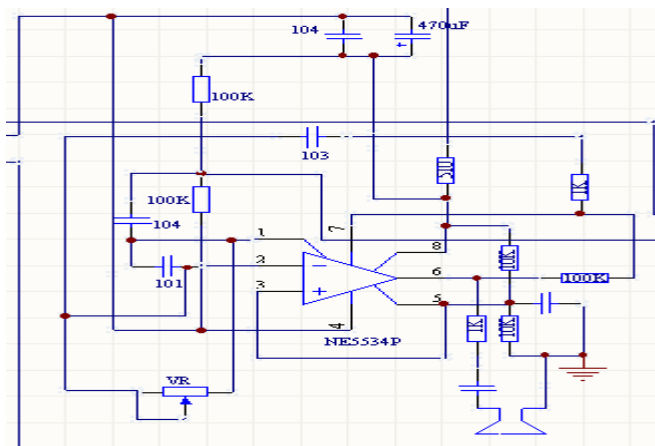


图 8 发射电路原理

由图 9 所示发射部分由高频振荡器、单脉冲发生器、编码调制器、功率放大器及超声换能器组成。单脉冲发生器在振荡器的每个周期内都被触发，产生固定脉宽的脉冲序列，来自单片机的编码信号对脉冲序列进行编码调制，经功率放大后，通过超声换能器发射超声波。

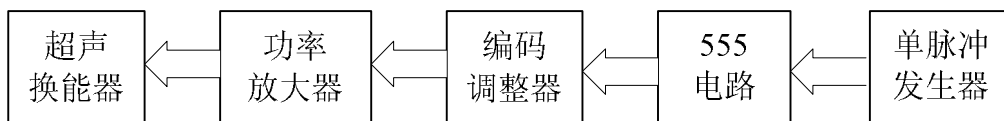


图 9 发射电路组成图

由 555 型电路组成多谐振荡器，它的振荡频率为 40kHz。RPI 用来校准振荡频率。多谐振荡器产生的 40kHz 的脉冲由 3 脚输出，经 D1、D2 两级缓冲、整形后，通过超声波发射器 UCM40-T 向外发射。

D、接收电路原理：

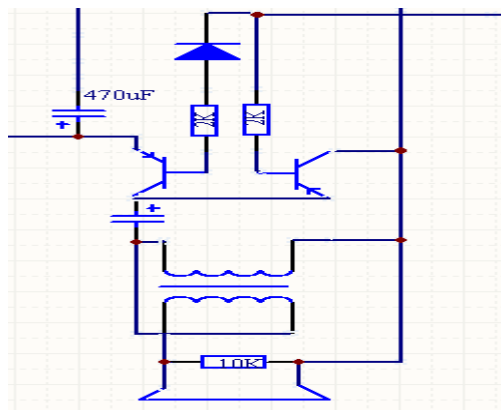


图 10 接收电路原理

本电路包括超声波接收头，电压器、检波电路和单稳态延时电路，如图 11 所示。超声波接收头 UCM4a-R 将运动物体反射的超声波接收并转换为电脉冲信号后，由 R5、C4 组成的高频滤波电路滤除干扰脉冲后，经 RP2 分压调节，由 C5、R6 藕合至电压放大器进行电压放大。RP2 兼作超声波接收头的负载与接收灵敏度的调节电位器。

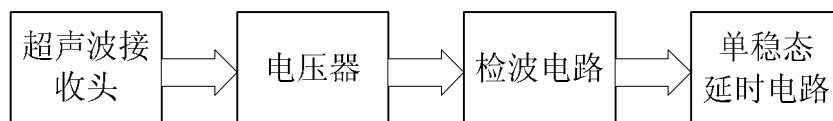


图 11 接收电路组成图

E、稳压电源

在各种电子设备中，直流稳压电源是必不可少的组成部分，它是电子设备唯一的能量来源，稳压电源的主要任务是将 50Hz 的电网电压转换成稳定的直流电压和电流，从而满足负载的需要，直流稳压电源一般由整流、滤波、稳压等环节组成。其电路图如图 11 所示。其中，变压器将交流电源（220V/50Hz）变换位符合整流电路所需要的交流电压；整流电路是具有但方向导电性能的整流器件，将交流电压整流成单方向脉动的直流电压；滤波电路滤去单向脉动直流电压中的交流部分，保留直流成分，尽可能供给负载平滑的直流电压；稳压电路是一种自动调节电路，在交流电源电压波动或负载变化时，通过此电路使直流输出电压稳定。

F、显示电路原理

超声波测距仪显示模块如图 12 所示。通过单片机的 15、16、17 三个管脚的信号控制三个三极管的 B 级，利用三极管的开关特性，实现数码管的点亮，从而实现动态显示。

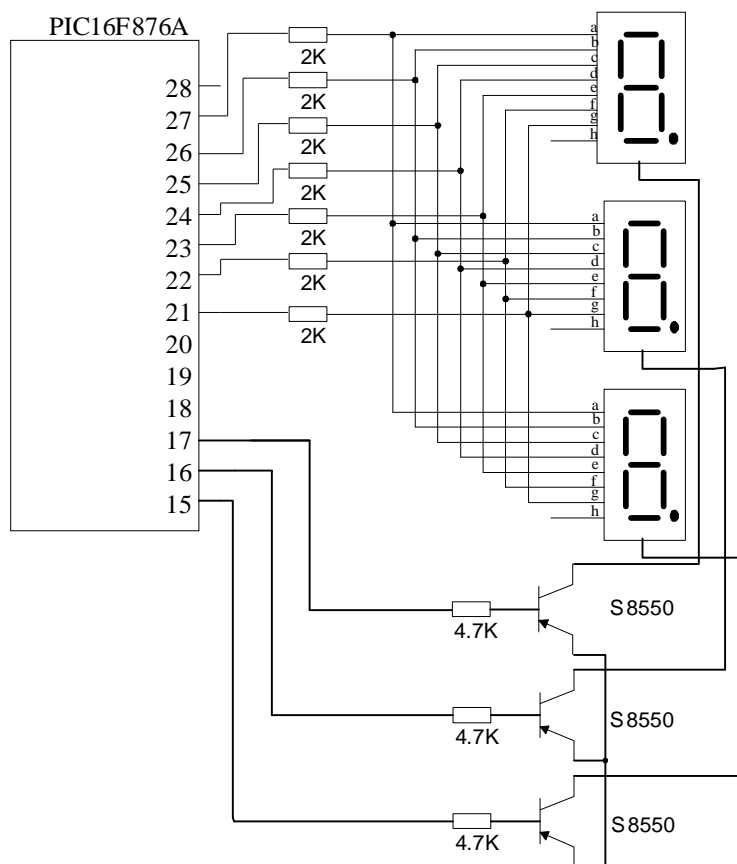


图 12 显示模块

采用 LED 动态显示，数据经过 PIC 芯片的计算后传到 LED 上，显示精度是厘米。

2、总体电路图

本系统采用双向测距，通过双向收发来实现，两方发送分别由 082D 和 NE5534P 两个运放来控制，将信号放大由超声波传感器发送；再经过超声波传感器接收，由变压器进行耦合经三极管放大，将左右（分别由红绿两盏灯区分）两组数据送入 CD4052 数据选择器进行数据选择，选出信号强（测量距离近）的那个信号送入 PIC 主芯片，再由 PIC 进行处理将结果送到数码管显示。其总体电路图如图 13 所示。

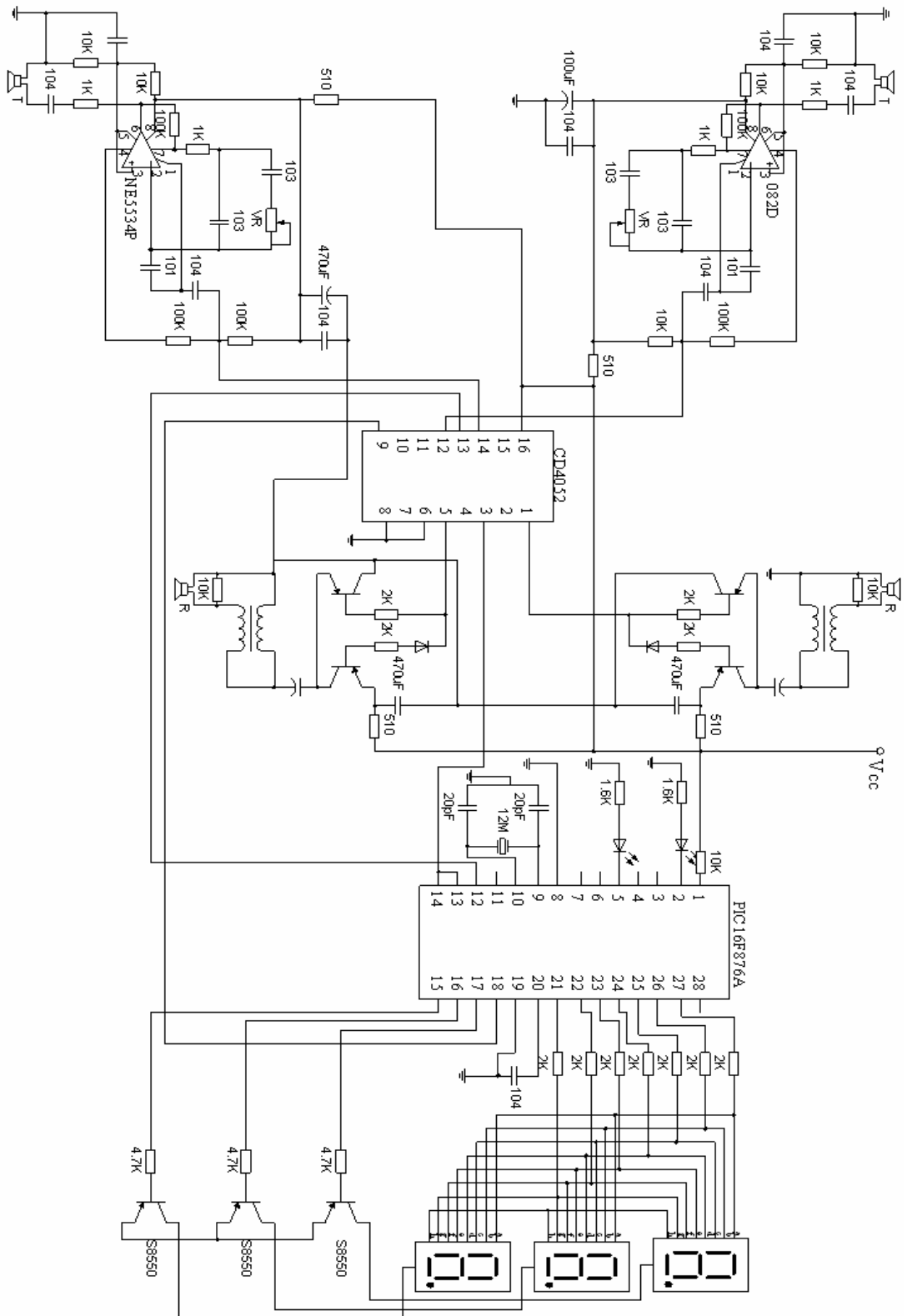


图 13 超声波测距仪总体电路图

3、软件设计与工作流程图

超声波测距仪的软件设计主要由主程序、超声波发生子程序、超声波接收中断程序及显示子程序组成。我们知道 C 语言程序有利于实现较复杂的算法，汇编语言程序则具有较高的效率且容易精细计算程序运行的时间，而超声波测距仪的程序既有较复杂的计算（计算距离时），又要求精细计算程序运行时间（超声波测距时），所以控制程序可采用 C 语言和汇编语言混合编程。程序流程如图 14 所示：

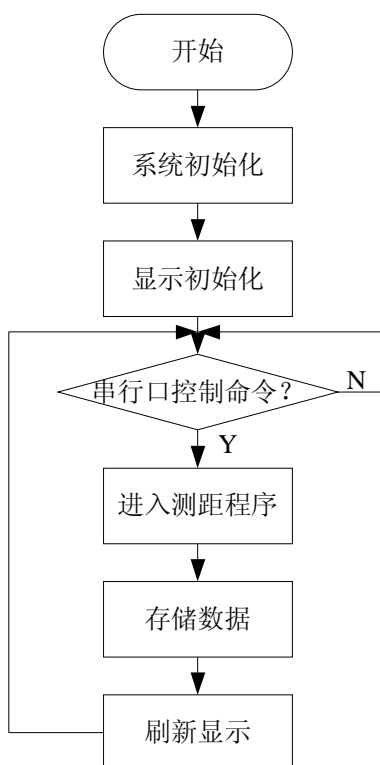


图 14 软件设计流程框图

其工作流程是：上电后首先对系统进行初始化，紧接着调用显示子程序，显示完后判断有没有超声波被接收，若有，则停止计时并将计时值送入距离计算子程序，然后将所测距离显示 1 秒，最后返回进行下一轮液位测量，若没有信号进来，则继续调用显示子程序。其流程图如图 15 所示。

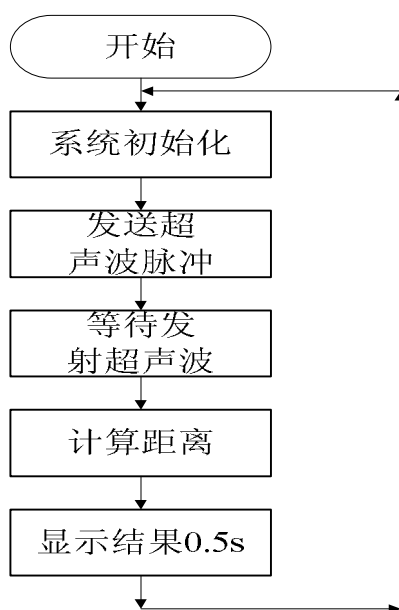


图 15 工作流程图

四、系统调试

超声波测距仪的制作和调试都比较简单，其中超声波发射和接收采用 $\Phi 15$ 的超声波换能器 TCT40-10F1 (T 发射) 和 TCT40-10S1 (R 接收)，中心频率为 40kHz，安装时应保持两换能器中心轴线平行并相距 4~8cm，其余元件无特殊要求。若能将超声波接收电路用金属壳屏蔽起来，则可提高抗干扰能力。根据测量范围要求不同，可适当调整与接收换能器并接的滤波电容 C_4 的大小，以获得合适的接收灵敏度和抗干扰能力。

硬件电路制作完成并调试好后，便可将程序编译好下载到单片机试运行。根据实际情况可以修改超声波发生子程序每次发送的脉冲宽度和两次测量的间隔时间，以适应不同距离的测量需要。根据所设计的电路参数和程序，测距仪能测的范围为 0.10~5.0m，测距仪最大误差不超过 1cm。系统调试完后应对测量误差和重复一致性进行多次实验分析，不断优化系统使其达到实际使用的测量要求。

1 超声波测距误差分析

1、发射接收时间对测量精度的影响分析

采用 TR40 压电超声波传感器，脉冲发射由单片机控制，发射频率 40KHz，忽略脉冲电路硬件产生的延时，可知由软件生成的起始时间对于一般

要求的精度是可靠的。对于接收到的回波，超声波在空气介质的传播过程中会有很大的衰减，其衰减遵循指数规律。

设测量设备基准面距被测物距离为 h ，则空气中传播的超声波波动方程为：

$$A = A(h) \cos(\omega t + kt) = A_0 e^{-2\omega k} \cos(\omega t + kt) \quad (1)$$

由以上公式可知，超声波在传播过程中存在衰减，且超声波频率越高，衰减越快，但频率的增高有利于提高超声波的指向性。

经以上分析，超声波回波的幅值在传播过程中衰减很大，收到的回波信号可能十分微弱，要想判断捕获到的第一个回波确定准确的接受时间，必须对收到的信号进行足够的放大，否则不正确的判断回波时间，会对超声波测量精度产生影响。

2、当地声速对测量精度的影响分析

当地声速对超声波测距测量精度的影响远远要比收发时间的影响严重。超声波在大气中传播的速度受介质气体的温度、密度及气体分子成分的影响，即：

$$C_s = \sqrt{\frac{gRT}{M}} \quad (2)$$

由上式知，在空气中，当地声速只决定于气体的温度，因此获得准确的当地气温可以有效的提高超声波测距时的测量精度。工程上常用的由气温估算当地声速的公式如下：

$$C = C_0 \cdot \sqrt{1 + T/273} \quad (3)$$

式中 $C_0=331.4\text{m/s}$ ； T 为绝对温度，单位 K 。

此公式一般能为声速的换算提供较为准确的结果。实际情况下，温度每上升或者下降 1°C ，声速将增加或者减少 0.607m/s ，这个影响对于较高精度的测量是相当严重的。因此提高超声波测量精度的重中之重就是获得准确的当地声速。

2 提高精度的方案及系统设计

(1) 温度校正的方法提高测距精度

由上述的误差分析知，如果能够知道当地温度，则可根据公式 (4) 求出当地声速，从而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、热电耦、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，我们采用 DALASS 公司生产的 DS18B20 集成温度传感器。DS18B20 采用了 DALASS 公司的 1-WIRE 总线专利技术，能够仅在占用控制器一个 I/O 口的情况下工作（芯片可由数据线供电），极大的方便了使用者的调试使用，而且其在一 10°C ~ + 85°C 的工作环境下可以保持 $\pm 0.5\%$ 的使用精度，在这个空间内足以保证为超声波测距设备提供足够的精度范围。

通过 DS18B20 芯片获得的数据信号经由 1-WIRE 总线传至 MCU，由软件进行声速换算。为了更好的实现换算过程同时兼顾设备的使用成本，我们采用宏晶公司的最新推出的 STC12C5410 单片机实现超声波测距的各项功能。STC12C5410 采用了低成本、低功耗、强抗干扰设计，并且在最高支持 48MHz 的前提下能够实现 1 个时钟 / 机械周期的运行速度。由于能够使用高频率的晶振，因此相对于普通单片机来说可以有效的减少由计时问题带来的量化误差，能够满足较高精度超声波测距仪的设计要求。

(2) 标杆校正的方法提高测距精度

在复杂环境下，如果难于获得环境温度，或者不便获得环境温度时，如果仍旧要求较高的测量精度，我们采用所谓标杆校正的方法实现超声波测距精度的校正。标杆校正的示意图如图 15 所示。

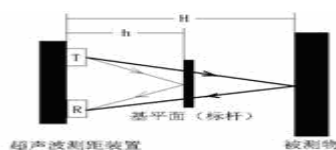


图 16 标杆校正的示意图

超声波测距装置首先测量距离已知为 h 的基平面（标杆）声波往返所用的时间，而后由测得的时间和距离 h 根据公式 (4) 求出当地声速。通过这样的方法，我们也能够顺利的求出声速，省去了使用传感器测量温度所带来的麻烦。因此，只用为测距设备设定“标定”和“测量”两种状态，即能够实现温度校正所能实现的高精度测距功能。

3、测量结果

按照设计的硬件电路和软件，做成成品，调试好后，对系统进行测试，测试数据如表 1 和表 2 所示。其中表 1 为左边测距数据（绿灯亮时），表 2 为右边测距数据（红灯亮时）。测量单位：cm。

表 1 左边测距数据

实际距离	12	13	14	15	16	17	18	19	20	25
测量距离	13	14	15	16	17	18	19	21	23	26
误差	0	1	1	1	1	1	1	3	3	1
实际距离	30	35	40	45	50	61	70	80	90	100
测量距离	31	37	41	46	50	61	70	80	90	100
误差	1	2	1	1	0	0	0	0	0	0
实际距离	130	150	200	250	270	280	300	310	315	320
测量距离	130	149	199	247	269	277	298	308	312	318
误差	0	1	1	3	1	3	2	2	3	2
实际距离	323	327	333	338	343	348	352	359	362	367
测量距离	325	330	335	340	345	350	355	360	365	370
误差	2	3	2	2	2	2	3	1	3	3

表 2 右边测距数据

实际距离	13	14	15	16	17	18	19	20	25	30
测量距离	13	15	16	17	17	18	19	20	36	31
误差	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1
实际距离	35	40	45	50	60	70	80	90	100	130

测量距离	36	41	46	51	60	69	79	91	100	131
误差	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1
实际距离	150	200	250	270	280	300	310	315	320	325
测量距离	150	199	249	269	279	299	309	314	319	325
误差	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0
实际距离	330	335	340	345	350	355	360	365	370	
测量距离	330	335	339	344	349	355	359	364	369	
误差	0	0	1	1	1	0	1	1	1	

五、创新发挥

①能实现双向测距。我们所设计的电路能实现双向测距，分别由两个发光二极管来去分测距方向，并且自动选择测量距离短的一面。

②可以校准。当测距不是很准确的时候可以用定位器来进行校准，反应速度在 0.1ms 内，测量精确度在 1cm 内。

本次超声波测距仪器设计，能实现双向测距而且单项测距范围 13cm-300cm，所以双向测距的总长度达到了 600cm。而且在测距 1m 内，测量误差小于 3cm 精度较高，最小分辨率也达到了 1cm，测试盲区 13cm，而且精度高。

因为声波的速度与温度有关，测量值在非室温下准确度会下降，所以测距仪受温度的影响，每升高 1 度距离加快 4m/s。在本应用中引入了一个电位器来进行测距距离补偿，可以使系统在很大的温度范围内精确测量。如果需要测得的距离数据可以存储在 FLASH 存储器中。加上额外增益和使用多态 LCD 来读出尽可能多的位数也可以增大测量范围。

六、设计结论

对所设计的电路进行测量、校准发现其测量范围 15cm~300cm 内的平面物体做了多次测量发现，其最大误差为 3cm，显示最小分辨率为 0.01 m，测量盲区小于 0.15 米，且重复性好。

该测距仪具有准双向测距功能，稳定性比较高、灵敏度比较高，盲区范围小，分辨率小于 0.01m，被测目标不需要垂直于超声波测距仪角度保持在正负 30 度，被测目标表面不需要平坦；但是在检测过程中会有一些不便的地方：

- 1.测量时在超声波测距仪周围没有其他可反射超声波的物体，由于发射功率有限，测距仪无法测量 5m 外的物体。
- 2.因为实现双向测距所以电路的电流相对比较大。
- 3.不能够实现不同温度下的测距功能。
- 4.因为超声波是将空气作为媒介所以受电磁干扰比较大。