

# 一种基于单片机的超声波传感器的研究与设计<sup>\*</sup>

苏 强, 林旭梅

(青岛理工大学 自动化工程学院, 山东 青岛 266520)

**摘 要:** 以 AT89S52 单片机为主控制器完成一种较高精度超声波测距器的设计。对系统存在的测量误差进行详细分析并给出提高精度的可行性方案。

**关键词:** 超声波; 发射; 接收; 温度补偿

中图分类号: TP274.53

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2010)15-0092-04

## Research and design on ultrasonic sensors based on single chip

SU Qiang, LIN Xu Mei

(Automation Engineering Institute of Qingdao Technological University, Qingdao 266520, China)

**Abstract:** The system uses the AT89S52 as the main controller complete an ultrasonic ranging accuracy of design. The innovation of the system is that analysing the measurement error of the system and improving the accuracy of the feasibility of the scheme.

**Key words:** ultrasonic; transmit; receiving; temperature compensation

现代工业正向着智能化、自动化的方向发展,测距技术作为工业生产的重要组成部分对稳定性和精度的要求也日益严格。传统测量手段由于受环境、工具和人为因素影响,已经不能满足现代工业测量的要求。超声波测距作为一种非接触式的测距方式,以其抗干扰能力强<sup>[1-2]</sup>、测量范围广、易于控制、测量精度高等优点,已经在工业测量领域得到广泛应用。本系统设计应用于石油泥浆液位测量,设计测量范围为 50 cm~600 cm,设计测量精度为厘米级,特点在于系统采用温度补偿对测量数据进行修正,确保准确性。

### 1 工作原理及系统设计

#### 1.1 超声波测距原理

超声波传感器主要由双压电晶片振子、圆锥共振板和电极等部分构成。两电极间加上一定的电压时压电晶片就会被压缩产生机械形变,撤去电压后压电晶片恢复原状。若在两极间按照一定的频率加上电压,则压电晶片也会保持一定的频率振动。经试验测得此型号压电晶片的固有频率为 38.4 kHz,则在两极外加频率为 40 kHz 的方波脉冲信号,此时压电晶片产生共振,向外发射出超声波。同理,没有外加脉冲信号的超声波传感器在共

振板接收到超声波时也会产生共振,在两极间产生电信号<sup>[3]</sup>。

#### 1.2 系统原理设计

本系统硬件主要由超声波发射、超声波接收及放大、单片机控制与液晶显示、温度采集和补偿等部分组成,如图 1 所示。当按下复位键启动系统工作时,单片机向传感器发射头送出若干 40 kHz 的方波脉冲,同时启动定时器对超声波传播时间进行计时。当接收头收到反射回的超声波(在有效测距范围内)并经放大滤波传入单片机时,定时器停止计时。查表得到测距温度下的声速,按式(1)计算出测量距离,送液晶显示。

$$s = Ct/2 \quad (1)$$

式中  $s$  为测量距离,  $C$  为超声波传播速度,  $t$  为传播时间。

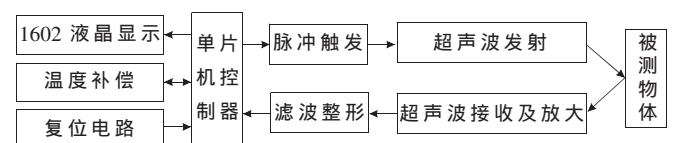


图 1 超声波测距组成部分框图

### 2 系统电路设计

#### 2.1 超声波发射电路

由于系统工作环境比较恶劣,为保证测距的范围和

《微型机与应用》2010 年 第 29 卷 第 15 期

<sup>\*</sup> 基金项目: 山东省自然科学基金资助项目(Y2008G05)

精度,需要保证传感器发射头的外加压差足够大。因此采用转换范围较大、工作稳定的 16 位 CMOS 转换器 CD4049 组成超声波发射电路的主体(CD4049 最大转换电压与探头最大驱动电压同为 20 V)。超声波发射电路如图 2 所示<sup>[4]</sup>。

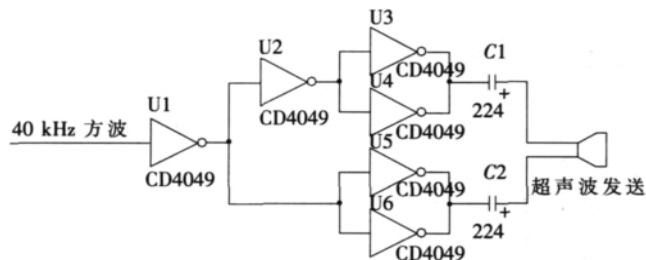


图 2 超声波发射电路

考虑到发射头一般需要 5 个方波周期达到稳定震荡状态的 95%，经 1.5 倍上升时间达稳定震荡状态的 99%<sup>[5]</sup>。为保证最大程度的触发，单片机每组产生 12 个带宽为 12  $\mu$ s 的方波经调理电路传到发射头。

## 2.2 超声波接收放大电路

超声波在空气中传播的衰减程度随传播距离的增加而增大，所以反射回来被接收头收到的信号非常微

弱，不能直接送入后级电路处理，首先要经过信号放大。超声波接收放大电路如图 3 所示<sup>[6]</sup>。

被接收头收到的回波信号为正弦波信号，信号强度一般只有几十毫伏。接收部分前置放大电路是由集成运放 NE5532 组成的自举式同向交流放大电路。前两级放大电路构成 10 000 倍的放大器，对正弦波信号进行足够放大。后级采用集成 LM311-8 比较器对前级放大信号进行调理，通过 IN-引脚引入一个标准电平，输入包络信号的电位高于标准电平则为 1，低于标准电平则为 0，将包络信号转变为单片机可识别的中断脉冲信号。当与单片机的中断输入端相连的 LM311 的第 7 管脚输出一个低电平时，计数器立即停止计时并保存数据。

## 2.3 单片机控制和显示电路

本系统的主控模块是 AT89S52 单片机。该控制器具有 8 KB 的 RAM 内存空间，在线编程与调试比较方便。单片机控制单元主要包括复位电路、液晶显示电路、发射控制端、回波接收端几部分。由于测量距离需要直观显示，且系统安装于户外功耗要尽可能低、体积尽可能小，因此采用易于与 CMOS 电路相匹配的 128×64 点阵式液晶显示模块。接口电路如图 4。

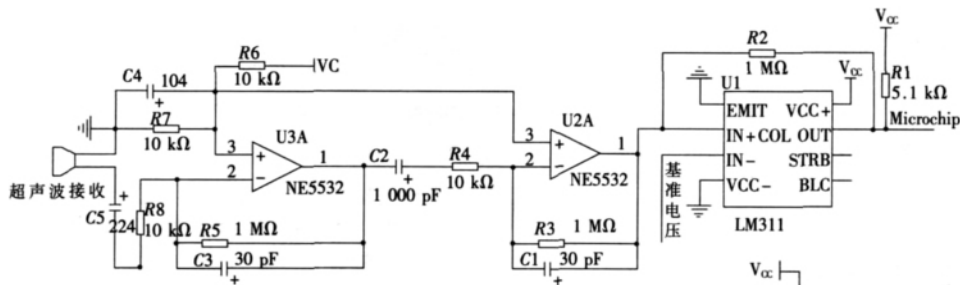


图 3 超声波接收放大电路

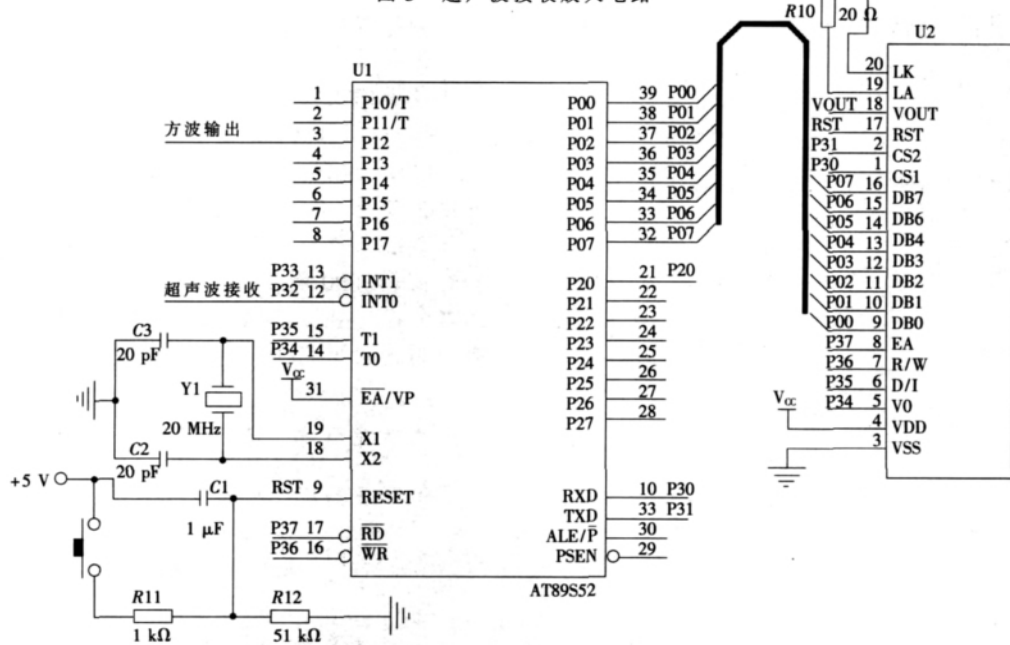


图 4 主控制及显示电路

### 3 软件设计及流程

#### 3.1 软件整体流程

系统软件主要由主程序、初始化程序、发射子程序、中断子程序、显示子程序组成。软件整体流程如图 5。

系统上电后首先初始化,设置定时器、计数器工作方式,打开总中断,显示端口清零等。为避免从发射头发出的超声波直接被接收头作为回波接收,在调用定时器中断子程序(发射方波)后设置 0.2 ms 的延时,然后打开外部中断 0 接收回波<sup>[7]</sup>。系统采用晶振频率为 12 MHz,机器周期为 1  $\mu$ s,主程序检测到回波接收成功后将计数器 T<sub>0</sub> 中的值 T<sub>0</sub> 按下式计算即可得测量距离(设 20  $^{\circ}$ C 时声速为 340 m/s)<sup>[8]</sup>:

$$s = (CT_0)/2 = 170T_0/100\ 000 \quad (2)$$

最后将所得数值以二进制数形式通过 P0 口直接传入液晶显示。

#### 3.2 发射和中断子程序

超声波发射子程序的作用是通过 P1.2 口在定时器的设定时刻取反交替产生宽度为 12  $\mu$ s 的高低电平输出方波脉冲。定时器中断程序<sup>[9]</sup>流程如图 6。外部中断程序流程如图 7。

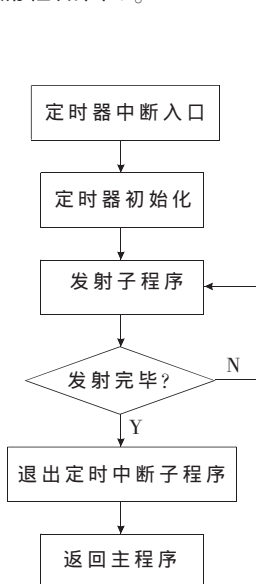


图 6 定时器中断子程序流程图

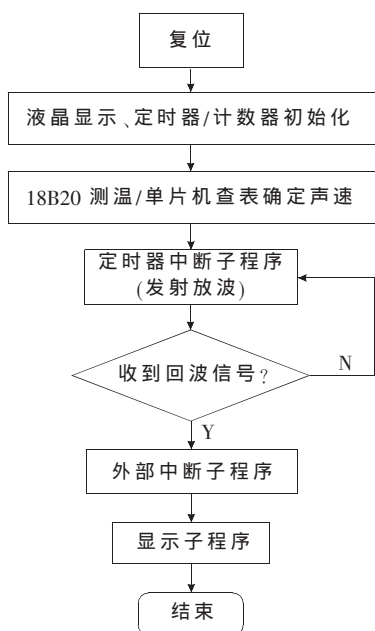


图 5 软件整体流程图

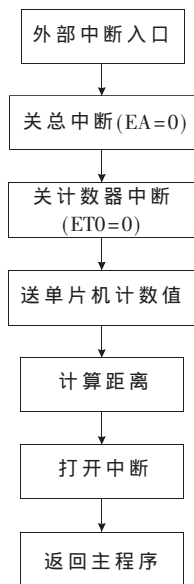


图 7 外部中断子程序流程图

#### 4 误差分析及系统精度提高

在系统测试过程中发现对系统性能和测量精度影响较大的主要有测量盲区、回波时间的确定、控制器定时偏差、温度对速度的影响等几方面。

##### 4.1 测量盲区

造成测量盲区存在主要有两方面因素:超声波发射头在发射出一串方波信号后经过一段延时才打开外部中断入口,防止方波信号直接进入接收头作为回波引起中断,产生误测量,延时对应的距离即为盲区;另一方面,在测量较近距离时,回波信号会与发射余波重叠造成寻峰失败,同样产生测量盲区。

对于第一种测量盲区,经试验证明,在可承受范围内减小脉冲宽度、减少脉冲发射个数,从而间接减小了延时时间,扩大测量范围。但同时会由于脉冲个数的减少对测量上限造成影响。对第二种测量盲区,主要做法是在回波接收电路中加入余振吸收电路,改变接收放大倍数,适当延时,并利用部分未饱和余波等方式共同减小盲区<sup>[10]</sup>。

##### 4.2 回波时间的确定

发射的方波信号由于强度所限,在经过传播和反射后,回波信号强度有所衰减,出现包络现象,但其频率与发射波相同,没有变化。单片机确定接收到回波的时刻实际是一个高低电平的变化时刻,与回波频率无关。而包络信号不是优质的电平信号,直接输入单片机会造成较大误差。解决方案是接收电路中加入一个电平比较器,其输出频率也为 40 kHz,输出标准方波电平信号作为比对,在接收电路的放大器输入(接收到)高于 0.4 V 的电平信号时,通过比较器的输出电压变为标准的 +5 V 电平输入单片机,此刻即为回波接收时刻<sup>[11]</sup>。

##### 4.3 温度补偿

在常温常压下声速可以认为是定值,但液位监测的工作环境温度变化较大。声速与温度的关系为<sup>[12-13]</sup>:

$$v = 311.5 + 0.607t \quad (3)$$

温度变化范围为 -20  $^{\circ}$ C ~ +40  $^{\circ}$ C,则声速会产生 36 m/s 的巨大变化,必须设置温度对声速的补偿。

离线条件下计算出不同温度下的声速值并放存储器存储,18B20 测得现场温度传入单片机后,查找对应温度的声速并以此作为校正值进行距离的计算。空气中声速表达式可写为:

$$v = E\sqrt{T} \quad (4)$$

其中  $E$  为常量,  $T$  为温度。测量误差可表示为<sup>[13]</sup>:

$$\begin{aligned} \Delta s &= \Delta(vt/2) = \frac{1}{2}(t\Delta v + v\Delta t) \\ &= \frac{1}{2} \times \left( \frac{1}{2} \times EtT^{-\frac{1}{2}} \Delta T + ET^{\frac{1}{2}} \Delta t \right) \\ &= \frac{1}{2} E \left( \frac{s}{v} T^{-\frac{1}{2}} \Delta T + T^{\frac{1}{2}} \Delta t \right) \end{aligned} \quad (5)$$

式中,  $s$  为测量距离,  $\Delta T$  为温度变化。结合本系统实际情况, 测量距离为 5 m, 测量温度为 293 K (20℃), 温度变化为 1℃ 时测量误差为:

$$\Delta s = \frac{1}{2} \times 20.005 \times \left( \frac{5 \times 1}{20.005 \times 293} + \sqrt{293} \times 2.6 \times 10^{-6} \right) = 8.98 \text{ mm}$$

由此可见经过温度补偿后的精度达到厘米级, 可以较好地达到测量要求。测量温度为 11.2℃ 时的实验数据如表 1。由表 1 可以看出测量上限为 600 cm, 下限为 50 cm, 有效测距范围内测量误差小于  $\pm 2$  cm。

通过大量实现数据表明, 本系统测量误差小于  $\pm 2$  cm, 满足设计要求, 并且符合工业标准。基于超声波受粉尘、震动及电磁波等恶劣工业因素影响极小的特点, 本系统还可广泛用于工业测距、汽车行驶、金属探伤等领域, 具有较好的应用前景。

表 1 测量数据与实际距离比较表 (cm)

序号	测量结果	实际距离	误差	序号	测量结果	实际距离	误差
1	62.8	34.7	-	11	320.2	319.4	0.8
2	54.1	53.8	0.3	12	353.6	352.5	1.1
3	72.9	72.6	0.3	13	376.9	376.1	0.8
4	109.4	109.1	0.3	14	409.5	408.4	1.1
5	138.2	137.7	0.5	15	441.3	440.4	0.9
6	173.4	172.8	0.6	16	473.2	472.2	1.0
7	200.0	199.6	0.4	17	491.7	490.5	1.2
8	229.7	229.2	0.5	18	540.3	539.2	1.1
9	260.0	259.5	0.5	19	582.9	581.7	1.2
10	292.3	291.3	1.0	20	116.4	612.3	-

#### 参考文献

- [1] VOEGELIA F A, SMALEB M J, WEBBERC D M, et al.  
(下转第 99 页)

(上接第 91 页)

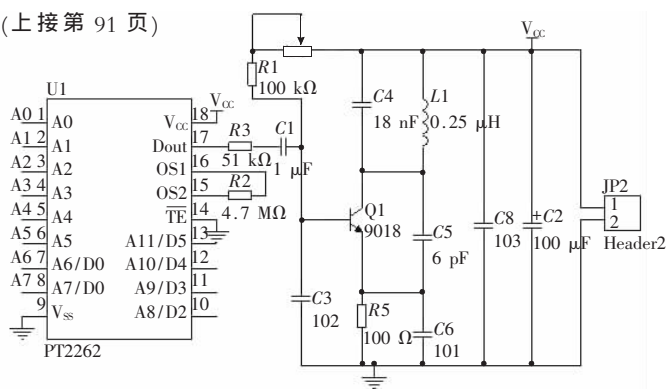


图 5 平安钟信号发射电路

### 3 系统软件设计

系统包含三个用于控制的 MCU, 其中 S3C2440 为主控中心, 实现图像采集、编码、发送功能, 系统异常检测以及报警功能调度, 嵌入 Linux 2.4 内核, 软件流程图如图 6 所示。

LM3S1138 为无线可视门铃终端控制器, 实现功能为图像接收、缓冲及显示, 其软件流程图如图 7 所示。

Atmega16 为电话报警终端控制器, 实现功能为报警信号的接收和自动拨号报警, 其软件流程如图 8 所示。

基于图像与电话报警的数字家庭安全监控系统最大的特点是集成多种常用家居安防设备, 有效整合数字家庭的多种资源, 降低成本, 提高安防系统稳定性。系统摄像头置于大门内侧, 巧妙地透过大门的“猫眼”取景, 既

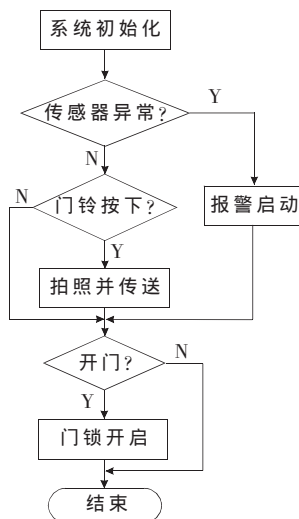


图 6 主控系统软件流程

提高摄像头自身安全性, 又能有效实现广角功能, 拍摄到更多信息, 这是本系统的另一特色。实现系统与家庭网关互联, 作为数字家庭网络的子系统之一是以后的研究方向。

#### 参考文献

- [1] 林华. 基于单片机的智能电话报警系统[J]. 国外电子元器件, 2007(5):12-14.  
[2] 孙娜. 智能住宅安防报警系统的设计[J]. 山东理工大学学报, 2005, 19(11).  
[3] 严后选. 智能住宅安全监控系统[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2003.  
[4] 孙纪坤, 张小全. 嵌入式 Linux 系统开发技术详解——基于 ARM [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2006.  
[5] LEE J B. Smart home—digitally engineered domestic life. Lecture Personal and Ubiquitous Computing, 2003, 7(20):189-196.

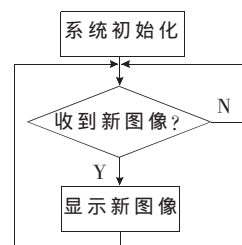


图 7 图像显示终端软件流程

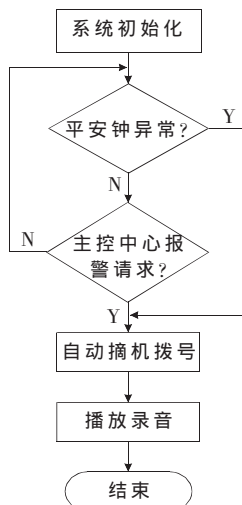


图 8 电话报警终端软件流程

(收稿日期: 2010-03-04)

#### 作者简介:

曾泽, 男, 1986 年生, 硕士研究生, 主要研究方向: 信号与信息处理方面的研究。

殷瑞祥, 男, 1960 年生, 教授, 主要研究方向: 数字信号处理的算法与实现、超大规模集成电路设计。

翁新钊, 男, 1987 年生, 硕士研究生, 主要研究方向: 集成电路设计。



表 3 基于相对隶属度矩阵的 FPNN 训练和样本检验及其结果

样本	*SO <sub>2</sub>	*NO <sub>2</sub>	*PM <sub>10</sub>	*TSP	NO <sub>x</sub>	CO	DF	标准级 别值	约简后 FPNN 判 别值	约简前 FPNN 判 别值
1	0	0	0	0	0	0	0	1.0	1	1
2	0.028 57	0.133 33	0.075 00	0.026 09	0.024 00	0.087 50	0.029 27	1.2	1	1
3*	0.057 14	0.266 67	0.150 00	0.052 17	0.048 00	0.175 00	0.058 54	1.4	1	1
4	0.085 72	0.400 00	0.225 00	0.078 26	0.072 00	0.262 50	0.087 80	1.6	2	2
5*	0.114 29	0.533 34	0.300 00	0.104 34	0.096 00	0.350 00	0.117 07	1.8	2	2
6	0.142 86	0.666 67	0.375 00	0.130 43	0.120 00	0.437 50	0.146 34	2.0	2	2
7	0.171 43	0.666 67	0.437 50	0.152 17	0.136 00	0.500 00	0.195 12	2.2	2	2
8*	0.200 00	0.666 67	0.500 00	0.173 91	0.152 00	0.562 50	0.243 90	2.4	2	2
9	0.228 57	0.666 67	0.562 50	0.195 65	0.168 00	0.625 00	0.292 68	2.6	3	3
10	0.257 14	0.666 67	0.625 00	0.217 39	0.184 00	0.687 50	0.341 46	2.8	3	3
11	0.285 70	0.666 67	0.687 50	0.239 13	0.200 00	0.750 00	0.390 24	3.0	3	3
12*	0.428 57	0.733 34	0.750 00	0.391 30	0.360 00	0.800 00	0.512 19	3.2	3	3
13	0.571 43	0.800 00	0.812 50	0.543 48	0.520 00	0.850 00	0.634 14	3.4	3	3
14*	0.714 28	0.866 67	0.875 00	0.695 65	0.680 00	0.900 00	0.756 10	3.6	4	4
15	0.857 14	0.933 33	0.937 50	0.847 83	0.840 00	0.950 00	0.878 05	3.8	4	4
16	1	1	1	1	1	1	1	4.0	4	4

\*表示检验样本 ◆表示约简后的指标

这四种污染物的影响,为我国有关部门合理地制定空气污染防治措施提供了依据。模糊数学理论中的相对隶属度能够表明空气质量指标的相对状态,克服了采用最大隶属度时存在的只考虑极值、容易丢失中间信息的缺陷,将它和概率神经网络相结合,建立了模糊概率神经网络模型(FPNN),该模型人为调节参数,使评价结果更客观合理,并且为了提高评价结果的质量,采用了在标准相对隶属度矩阵中进行插值的方法,生成更多的样本。仿真表明,指标约简后 FPNN 模型既保证了分类质量,也提高了收敛速度,实用性更强。当然本文所采用的空气质量评价方法也可以应用到其他领域中。

#### 参考文献

- [1] 史成东,陈菊红,胡健.基于粗糙集和神经网络的供应链绩效预测研究[J].计算机工程与应用,2007,43(33):

(上接第 95 页)

- Ultrasonic Telemetry, Tracking and Automated Monitoring Technology for Sharks[J]. Environmental Biology of Fishes, 2001(60):267-281.
- [2] HORN O, CAOURCELLF A. Interpretation of ultrasonic readings for autonomous robot localization. Journal of Intelligent and Robotic Systems: Theory and Applications[J]. 2004,39:265-285.
- [3] 陈勇,刘金.超声波测距仪电路及程序设计[J].电子测量技术,1998(3):18-20.
- [4] 凌阳科技.超声波测距模组 V2.0 使用说明书[Z].2006.
- [5] 郑志聪.超声波测距技术[J].福建农机,2008(2):28-29.
- [6] 凌阳科技.超声波测距模组 V1.0 使用说明书[Z].2005.
- [7] 朱士虎,何培忠,王立巍.基于 AT89S52 超声波测距仪设计[J].仪表技术,2009(6):22-24.
- [8] 周功明,周陈琛.基于 AT89C52 单片机的超声波测距器

203-206.

- [2] 刘坤,刘贤赵.模糊概率神经网络模型在水质评价中的应用[J].水文,2007,27(1):36-39.
- [3] 汪小燕.基于分辨矩阵的论域划分方法[J].电脑学习,2007(4):5-6.
- [4] 李锦菊,沈亦钦.中美两国环境空气质量标准比较[J].环境监测管理与技术,2003,15(6):24-26.
- [5] 飞思科技产品研发中心.神经网络理论与 MATLAB 7[M].北京:电子工业出版社,2005:116-127.

(收稿日期:2010-02-02)

#### 作者简介:

徐彩霞,女,1983 年生,硕士研究生,主要研究方向:数据库理论与研究。

李义杰,男,1954 年生,教授,硕士生导师,主要研究方向:数据库理论与研究。

设计[J].绵阳师范学院学报,2008,27(8):49-53.

- [9] 王维斌.超声波测距系统的设计[J].电子技术,2009(3):18-20.
- [10] 陈先中,张争.复杂工况下超声波液位测量系统的设计[J].传感器技术,2005,24(11):41-43.
- [11] 王启宇.超声波测距系统的研究[J].农机使用与维修,2009(3):43-44.
- [12] 雷建龙.便携式液位测量仪的研制[J].传感技术学报,2006,19(4):1117-1120.
- [13] 黄邦彦,胡于进.制动装置的超声波检测方法研究[J].武汉船舶职业技术学院学报,2002(2).

(收稿日期:2010-02-09)

#### 作者简介:

苏强,男,1986 年生,在读硕士研究生,主要研究方向:现代检测技术。