

## 一种基于概率的超声波模型的设计\*

刘利枚, 石彪, 周鲜成

(湖南商学院 计算机与电子工程系, 湖南 长沙 410205)

**摘 要:** 超声波检测迅速、方便、计算简单、易于做到实时控制, 且其测量精度能达到工业实用的要求。在超声波硬件电路基础上, 重点对声纳的测量特性及其信息不确定性进行了分析, 并提出了一种新的超声波传感器模型。该模型在均匀分布超声波模型的基础上, 利用概率方法能准确描述声纳扇形范围内的障碍物位置, 通过仿真验证了该模型的有效性和实用性。

**关键词:** 超声波传感器; 不确定信息; 超声波模型

**中图分类号:** TP 242

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-9787(2009)04-0088-03

## Design of ultrasonic sensor model based on probabilistic approach\*

LIU Li-mei, SHI Biao, ZHOU Xian-cheng

(Department of Computer and Electronic Engineering, Hunan Business College, Changsha 410205, China)

**Abstract:** Ultrasonic sensor is rapid, convenient, simple to calculate and easy to achieve real-time control. Especially it can achieve the practical requirements in measuring accuracy of industry. Based on the design of ultrasonic hardware circuit, the measuring characteristic and uncertainty of sonar are analyzed, and the new ultrasonic sensor model is introduced. The model can detect the obstacle position in the sector region of sonar based on sonar uniform distribution model. The simulation results indicate that the model is efficiency and applicability.

**Key words:** ultrasonic sensor; uncertain information; ultrasonic sensor model

### 0 引言

超声波测距具有信息处理简单、快速和价格低、易于实时控制等许多优势, 它被广泛应用在各种距离测试的设备中<sup>[1-3]</sup>。但超声波传感器在实际的应用中也有一定的局限性, 主要表现为探测波束角大, 方向性差, 超声波的镜面反射、散射和串扰等问题。目前, 使用超声波传感器数据对环境建模的方式有3种: 中线超声波模型、高斯分布传感器模型和均匀分布传感器模型<sup>[4,5]</sup>。中线超声波模型中如果设定的声纳弧比较小, 那么, 这种模型能够为障碍的实际定位提供一种合理估计, 这种模型也能为近端障碍物提供一种较合理的估计, 但这种模型在探测近端的通道口处却有着较明显的误差。高斯分布模拟环境的情况下, 可以利用概率的迭加运算来获得障碍物的近似位置, 但运算量较大, 运用到实际操作中的可行性并不高。在均匀分布传感器模型中认为简单的假设障碍物来自于声纳弧的某个固定位置是

不科学的, 该模型假设每道声纳弧与其唯一的反射点相对应, 但实际上每道声纳弧上存在障碍物的概率是不相同的。因此, 本文提出了一种概率模型的超声波传感器。在均匀分布超声波模型的基础上, 使用高斯分布为声纳弧上的障碍物建模, 障碍物分布的中心被认为是弧的中心线。

### 1 测距原理与硬件设计

声纳传感器在担任发送信息与接收信息的工作中, 所探测到的障碍物与声纳之间的距离是通过渡越时间 (time of flight, TOF) 方法获得<sup>[6]</sup>, 其工作原理是: 声纳传感器发射出声纳, 声纳遇到障碍物反射后被传感器接收, 根据声纳的发射与接收之间的渡越时间  $t_{\text{TOF}}$  以及声波在空气中的速度  $v$  来计算声纳与所探测障碍物的相对位移  $d$ <sup>[5]</sup>

$$d = \frac{v t_{\text{TOF}}}{2} \quad (1)$$

本文利用单片机控制超声波的发射和对超声波从发射

至接收往返时间的计时,单片机选用 8751,具体的电路图如图 1 所示。

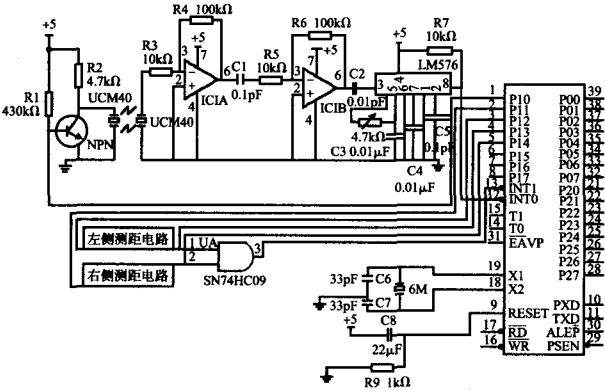


图 1 超声波测距原理图

Fig 1 Schematic diagram of ultrasonic measuring distance

接收头采用与发射头配对的 UCM40R,将超声波调制脉冲变为交变电压信号,经运算放大器 IC1A 和 IC1B 两级放大后加至 IC2。IC2 是带有锁定环的音频译码集成块 LM567。调节  $R_8$  在发射的载频上,则 LM567 输入信号大于 25 mV,输出端 8 脚由高电平跃变为低电平,作为中断请求信号,送至单片机处理。利用单片机脉冲计数的方法,间接测量时间,可以把声波传播的时间精度提高到所需的准确度。也就是把对渡越时间  $t_{TOF}$  的测量转换为对计数脉冲个数  $N$  的测量,所以,式(1)可写为

$$r=NS/2,$$
 (2)

式中  $S$  为等效标尺,另有  $S=v/f$ ,  $f$  为计数脉冲的频率,  $v$  为声速。所以,得到

$$r=Nv/2f.$$
 (3)

整个系统由单片机来控制,启动测量时,由单片机发出一个控制信号去触发射电路,使发射电路起振,驱动超声波发射器发射出一串超声波脉冲(大约十几个脉冲),同时,启动单片机的计数器,也就是开始测量渡越时间  $t_{TOF}$ 。当这些脉冲到达被测目标时,发生反射,经空气传播被超声波接收器接收,再由放大电路进行放大。接收到的第一个脉冲去触发单片机的计数器,使计数停止。此时,计数器中的值,即是所要检测的渡越时间  $t_{TOF}$  所对应的脉冲个数  $N$ ,利用这个  $N$  就可以根据式(3)计算出所测距离。

2 超声波不确定信息的分析

在比较理想的条件下,声纳的测量精度根据以上测量原理是令人满意的,但在真实环境中,测距结果存在很大的不确定性。引入测量误差的原因主要有以下几个方面:

1) 声纳的散射角<sup>[7]</sup>

声纳发射的声波有一个散射角,如图 2 所示,声纳可以感知障碍物在扇形区域内,但不能确定障碍物的确切位置。 $\rho$  为障碍物和声纳间的距离,  $\theta$  为障碍物与声纳中轴间的夹

角,  $r$  为声纳测量值。根据以上的超声波硬件电路,超声波有效的探测散射角为 12.5°。



图 2 声纳的散射

Fig 2 Scatter of sonar

2) 声纳距离的影响

衰减导致的误差,由于超声波在传播过程中受空气热对流扰动、尘埃吸收的影响,回波幅值随传播距离成指数规律衰减,使得远距离回波很难检测。表 1 为超声波传感器测量障碍物的实际测量结果。

表 1 超声波测距数据

Tab 1 Data of ultrasonic measuring distance

实际距离(mm)	200	300	400	500	600	700	900	1000
测量结果(mm)	190	310	390	510	600	690	880	1000
误差(%)	5.0	3.3	2.5	2.0	0	1.4	2.2	0
实际距离(mm)	1300	1500	2000	2200	2400	2600	2800	3000
测量结果(mm)	1260	1470	1950	2210	2350	2510	2700	3120
误差(%)	3.1	2.0	2.5	0.5	2.1	3.5	3.6	4.0

由表 1 数据可见,在 200~1500 mm 范围内误差相对较小;小于 200 mm 范围内误差较大;3000 mm 以后的数据误差明显增大,这是由于发射功率不够大,接收到的信号很微弱,引入了一些干扰因素,但总的实验结果误差在厘米级,基本上可以满足工程测量要求。因此,本文设置超声波的有效探测范围为 3 m,超出该阈值认为是无效数据。

3) 声波在物体表面的反射<sup>[8]</sup>

如图 3 所示,由于不理想的反射,有时声纳甚至没有收到反射信号,这可能是声纳信号在嘈杂的环境中多次反射损耗致使最后返回时已经低于接收器响应阈值,也可能是入射角太大导致所有信号都被反射到其他方向而无法被接收器接收。

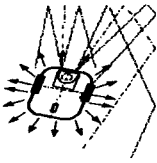


图 3 声纳的反射

Fig 3 Reflect of sonar

3 超声波模型的建立

根据以上的分析超声波测量距离的时候,测量的信息的存在很多不确定性因素,因此,不能准确地描述出物体所在的位置,在此基础上,本文提出了一种基于均匀分布的概率超声波的模型,能够有效地描述超声波所探测的物体的

具体位置。

在均匀分布超声波模型中认为障碍物分布的中心是弧的中心线,但考虑超声波散射角和反射特性,在超声波所探测的范围之内即弧和声纳所构成的扇形区域中,障碍物存在的概率是不同的,本文利用概率模型为声纳所探测的扇形区域的障碍物建模,并认为在弧的中心线之处存在障碍物的概率值为最大。根据均匀分布超声波模型引入2个用于表现声纳测量不确定性的函数

$$\Gamma(\theta) = \begin{cases} 1 - 21\left(\frac{\pi\theta}{180}\right)^2, & 0 \leq |\theta| \leq 12.5^\circ \\ 0, & |\theta| > 12.5^\circ \end{cases}, \quad (4)$$

$$\Gamma(\rho) = 1 - \frac{1 + \tanh(2(\rho - \rho_v))}{2}, \quad (5)$$

式中  $\theta$  为被测点  $(x, y)$  相对于声纳中轴的夹角;  $\rho_v$  为一个预定值,表示声纳信息从确定到不确定间的平滑转换点。该不确定函数的图形见图4,其中,图4(a)反映越靠近中轴的地方声波密度越大,而在边缘声波的密度降为0,因此,与声纳中轴间的夹角越小可靠性越高;而图4(b)反映距声纳越远可靠性越低,而距离声纳较近的地方,测量正确的可能性越高。

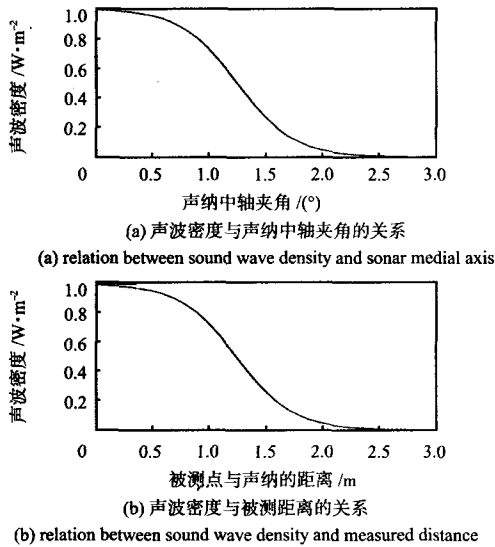


图4 声纳模型函数

Fig 4 Functions of sonar model

在真实环境探测中,将超声波所探测的范围离散化为  $m \times n$  个相同大小的矩形栅格集合<sup>[8]</sup>,每个栅格以  $C_{ij}$  表示,这样,声纳所探测的范围可写为

$$U = \{C_{ij} | i \in [1, m], j \in [1, n]\}. \quad (6)$$

对于  $C_{ij}$ ,  $S(C_{ij}) = E$  表示该栅格为空,而  $S(C_{ij}) = O$  表示该栅格为障碍物,且对于这2个事件的概率存在约束  $P[S(C_{ij}) = E] + P[S(C_{ij}) = O] = 1$ ,其中,  $P[S(C_{ij})]$  表示为存在或者不存在障碍物的概率值大小。根据前面声纳的不确定函数,本系统创建了声纳的概率模型

$$P[S(C_{ij})] = \begin{cases} 0.5(1-\lambda), & 0 \leq \rho \leq r-2dr \\ 0.5\lambda[2 + (\frac{\rho-r}{dr})^2], & r-2dr < \rho \leq r-dr \\ 0.5\lambda[1 - (\frac{r-\rho}{dr})^2], & r-dr < \rho < r+dr \\ 0.5, & \rho \geq r+dr \end{cases} \quad (7)$$

式中  $\rho$  为  $C_{ij}$  和声纳间的距离;  $\theta$  为  $C_{ij}$  与声纳中轴间的夹角;  $r$  为声纳测量值;  $dr$  和  $2dr$  表现了对  $r$  准确度的一种估计,  $\lambda = \Gamma(\theta)\Gamma(\rho)$  (参考声纳测量的不确定函数)。以上声纳模型的三维轮廓图见图5,其中,  $r = 0.5m$ , 从该模型公式中可以看到,声纳测量数据与概率值描述的探测区域的映射关系符合声纳的物理特性:对于超出声纳测量范围的区域取概率值为0.5,不确定性最大;在声纳测量区域内且与声纳间距离小于测量值,则越靠近声纳为障碍物的可能性越小;而与声纳间距离正在测量值附近的地方为障碍物的可能性较大,最后与声纳中轴间的夹角则影响了其估计的信任度。

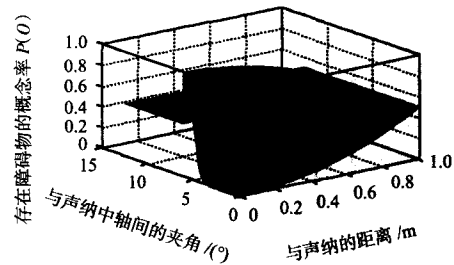


图5 声纳模型的三维轮廓图

Fig 5 3-D skeleton drawing of sonar model

为了减少超声波传感器测量的误差,采用数据融合算法处理同一个栅格的多次测量结果。根据 Bayes 估计得到下面概率的融合公式

$$P[S(C_{ij}) = O | r_1, r_2, \dots, r_{k+1}] = \frac{P[S(C_{ij}) = O | r_{k+1}] P[S(C_{ij}) = O | r_1, \dots, r_k]}{\sum_{X \in \{E, O\}} P[S(C_{ij}) = X | r_{k+1}] P[S(C_{ij}) = X | r_1, \dots, r_k]} \quad (8)$$

#### 4 结论

本文在均匀分布超声波模型的基础上,使用概率的方法描述了障碍物在超声波发射扇形区域中的位置,对于超声波距离所产生的误差可以采用贝叶斯概率的融合公式进行不确定信息的融合。本文提出的模型能够很好地解决超声波散射和衰减所造成的不确定信息,对于超声波的精确测距提供了很好的依据。

#### 参考文献:

- [1] 罗 忠,柳洪义,王 菲,等.未知环境表面的超声波探测实验研究[J].东北大学学报:自然科学版,2008,29(2):266-269.

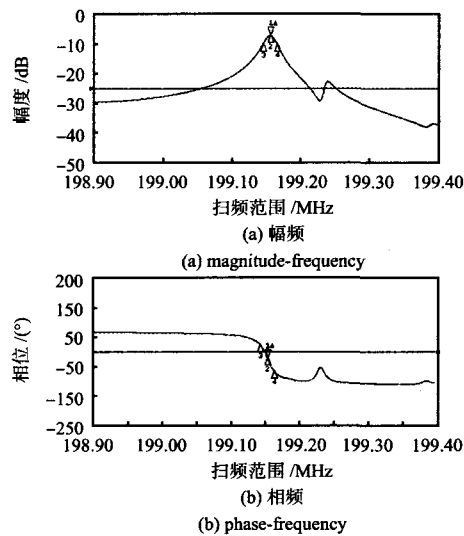


图 4 用于传感器的谐振型 SAW 芯片的特性图  
Fig 4 Characteristic diagram of SAW resonator

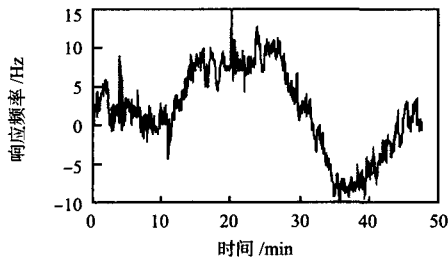


图 5 SAW-PECH 传感器的稳定性  
Fig 5 Stability of SAW-PECH sensor

响应和解吸速率都很快,解吸率在 95 % 以上,具有良好的重复检测性能。

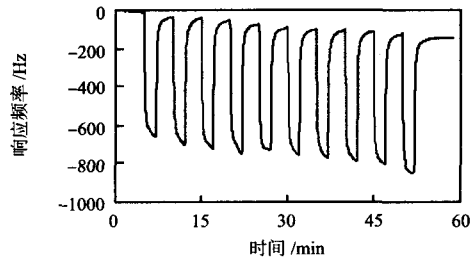


图 6 SAW-PECH 传感器连续检测 HD 的响应曲线  
Fig 6 Continuous response curve of SAW-PECH sensor to HD

以旋涂法制备的 10 只传感器分别对同一体积分数的 HD 进行检测,结果列于表 1,10 只传感器响应频率的相对标准偏差为 3.27 %,最大相对偏差为 6.35 %。

表 1 不同 SAW-PECH 传感器对 HD 检测的一致性

Tab 1 Response consistency of different SAW-PECH sensors to HD

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RSD (%)
响应频率/Hz	550	576	583	603	568	542	547	562	561	576	3.2
相对偏差(%)	3.00	1.59	2.82	6.35	0.18	4.41	3.53	0.88	1.06	1.59	

4 结 论

本文通过优化设计了适于气体检测的双声路谐振器型 SAW 传感器,并以 PECH 为敏感膜,制备了对 HD 敏感的毒剂传感器,测试结果表明:该传感器的  $Q$  值可达 10 000 左右,在气流中能稳定在 25 Hz 以内,对 HD 的测试结果表明:该传感器具有良好的可逆性、一致性和重复检测性能,为发展新型毒剂传感器提供了依据。

参考文献:

[1] Joo Byungsu, Huh Jeungsoo, Lee Dukdong. Fabrication of polymer SAW sensor array to classify chemical warfare agents[J]. Sensors and Actuators B, 2007(121): 47-53.

[2] Grate J W. Acoustic wave microsensor arrays for vapor sensing[J]. Chem Rev, 2000(100): 2627-2648.

[3] Santos J P, Fern'andez M J, Fontecha J L, et al. SAW sensor array for wine discrimination[J]. Sensors and Actuators B, 2005(107): 291-295.

[4] Grate J W, Rose-Pehrsson S L, Venzky D L, et al. Smart sensor system for trace organophosphorus and organosulfur vapor detection employing a temperature-controlled array of SAW sensors, automated sample preconcentration, and pattern recognition[J]. Anal Chem, 1993(65): 1868-1881.

[5] Dai Enguang, Feng Guangping. A novel Instrument based upon extremely high  $Q$ -value surface acoustic wave resonator array and neural network[J]. Sensors and Actuators B, 2000(66): 109-111.

作者简介:

陈传治(1978-),湖南岳阳人,讲师,主要从事军事化学检测技术研究。

(上接第 90 页)

[2] 张 波. 适用于窄带超声波传感器的测距算法研究[J]. 传感器与微系统, 2007, 2(5): 111-124.

[3] 陈 平, 李业德, 李 静. 基于超声波传感技术的群罐液位监控仪器[J]. 仪表技术与传感器, 2007(6): 11-14.

[4] Joshi R J, Fischer T R. Comparison of generalized Gaussian and Laplacian modeling in DCT image coding[J]. IEEE Transactions on Signal Processing Letters, 1995, 2(5): 81-82.

[5] Choset H, Nagatani K, Lazar N A. The arc-transversal median algorithm: A geometric approach to increasing ultrasonic sensor azimuth accuracy[J]. IEEE Transactions on Robotics and Automa-

tion, 2003, 19(3): 519-522.

[6] Ciarcia S. An ultrasonic ranging system[J]. Byte Magazine, 1984(10): 113-123.

[7] 王卫华, 陈卫东, 席裕庚. 移动机器人地图创建中的不确定传感信息处理[J]. 自动化学报, 2003, 29(2): 267-274.

[8] Elfes A, Moravec H. High resolution maps from wide angle sonar[C]//IEEE International Conference on Robotics and Automation, 1985: 116-121.

作者简介:

刘利枚(1975-),女,湖南宁乡人,讲师,研究领域为传感技术与测量技术。