

# 采用多超声波测距融合的环境建模

东南大学 董子瑜<sup>1</sup> 韩立功<sup>1</sup> 谢宏祥<sup>1</sup> 胡仁杰<sup>2</sup>

东南大学吴健雄学院<sup>1</sup>, 江苏省 南京市 211189

东南大学电工电子中心<sup>2</sup>, 江苏省 南京市 211189

**摘 要:** 本文介绍了一种通过均匀分布的多个超声波传感器采集空间位置信息, 分析获取的有效数据拟合周边物体几何特征的方法。改进了传统超声波定位中信息采集不充分、概率近似误差大等不足, 能实时检测 3 米半径范围内移动物体的方位、走向和速度。使用 FPGA 控制分组分时采集, 最大程度上避免相邻探头间的干扰, 将采集到的实时环境信息送到上位机, 并设计了用于环境建模的上位机程序。

关键词: 超声波; 环境建模; 移动物体探测; FPGA

中图分类号: TM93 文献标识码: A

**Abstract:** A method of using multiple uniform distributed ultrasonic sensors to collect spatial data and model geometrical characteristic of the environment with partial information is introduced. Improving traditional method of approximation based on inefficient data. Detecting real-time objects' movement including position, direction and velocity within 3m. Using FPGA to control time-divided detecting among groups so that interference between sensors are mostly reduced, and send real-time environment information to host computer with serial interface. A program based on this modeling algorithm for host computer is written.

Key words: Ultrasonic, Environment modeling, Moving objects detection, FPGA

## 1、引言

超声波测距相比激光、红外以及视觉传感器具有更好的穿透能力, 并且成本低、原理简单, 在一定距离范围内可满足精度要求<sup>[1][2]</sup>, 常用于一维距离(水位、间距等)的测量<sup>[3]</sup>。目前, 超声波传感器定位物体的方法主要有中线传感器模型法、高斯分布传感器模型法和均匀分布传感器模型法等。这些方法常受限于信息获取不充分, 只能采用概率上的近似, 从而造成较大误差。随着多信息融合、自主机器人技术等的发展, 利用超声波技术对未知环境进行实时建模的研究逐渐开展并深入, 例如: 使用多超声波传感系统进行基于机器人行为的模糊控制<sup>[4]</sup>、基于多超声波信息精确建立环境模型的方法等。

本文提出了一种通过一组分布在不同方位的多个超声波传感器各自独立探测, 根据获得数据的相互关系进行环境建模的方法: 实时测量各方向的最近物体距离, 分析多个相邻数据并将所得到的数据与标准模型进行比较, 从而识别周边环境中的物体及其边界形状, 动态建模得出物体速度信息。硬件上采用 FPGA 控制分组分时采集, 最大程度上避免相邻探

头间的干扰，并将采集到的实时环境信息通过串口发送到上位机。编写上位机程序实现建模结果的图形化显示。通过仿真和实验验证，此方法能较准确探测 3m 内移动物体边缘变化，在精度和实时性上满足实际应用的需求。

## 2、动态建模算法

### 2.1 基本原理与假设

超声波传感器的工作原理是通过测量发射和接收声波的时间间隔来计算到障碍物的距离。实际情况中声波的反射及反射声波的测量受到障碍物反射面方向、传感器间的回波干扰及传感器响应的各向异性等因素的影响。本文将其测距模型简化为：设有  $N$  个传感器，每个传感器对应圆周角为  $360^\circ/N$  的扇形区域，各个传感器测得的数据为对应扇形区域内从传感器到声波所遇到的第一个障碍物的距离，如图 1 所示。

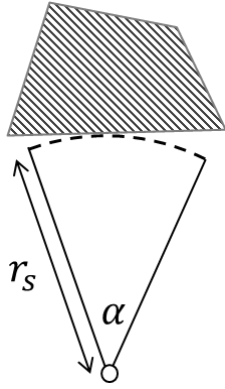


图 1. 传感器测距模型

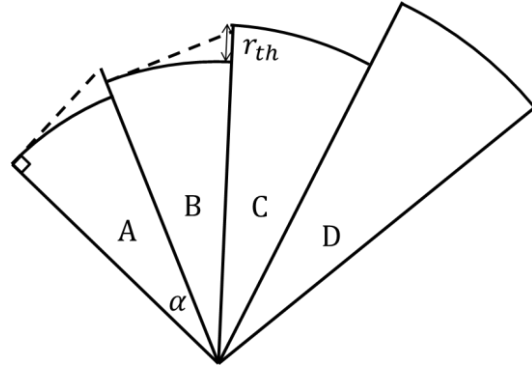


图 2. 测量数据间关系示意图

对比多个相邻探测结果之间的关系是整个建模算法的核心。环境建模所要考虑数据之间的关系，与环境的复杂程度、测量精度要求等有很大关系<sup>[5]</sup>。如图 2 所示，设各扇形区域张角均为  $\alpha$ ，将传感器测得的距离关系分为三种，并记为（用大于小于号或正负整数表示）：

- $r_A < r_B$  或  $r_B > r_A$  或  $r_A(-1)r_B$  或  $r_B(+1)r_A$ ；此时  $r_B > r_A$  且  $r_B < r_A / \cos(\alpha)$ ；
- $r_B << r_C$  或  $r_C >>> r_B$  或  $r_B(-2)r_C$  或  $r_C(+2)r_B$ ；此时  $r_C > r_B / \cos(\alpha)$  且  $r_C < r_B + r_{th}$ ， $r_{th}$  表示一设定的阈值；
- $r_C <<< r_D$  或  $r_D >>> r_C$  或  $r_C(-3)r_D$  或  $r_D(+3)r_C$ ；此时  $r_D > r_C + r_{th}$ 。

注：探测数据过大（ $inf$ ）与过小（ $0$ ）对于模型的建立是等价的，下文统一记为  $inf$ 。

设当前考察的传感器编号为  $i$ ，按照相邻的远近将临近的 4 个传感器编号为  $j, k, l, m$ ，如图 3 所示。相邻的 5 个测量数据之间有 4 对关系，即  $i$  与  $j$ ， $i$  与  $k$ ， $j$  与  $l$ ， $k$  与  $m$ ，分别记为  $(ij), (ik), (jl), (km)$ ，如图 3 所示：

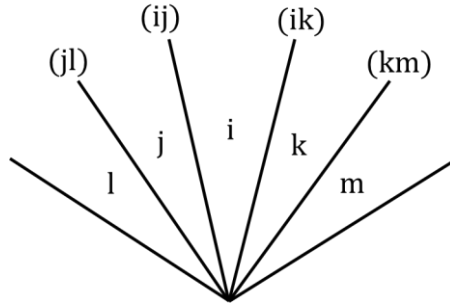


图 3. 相邻传感器测量数据间关系示意图

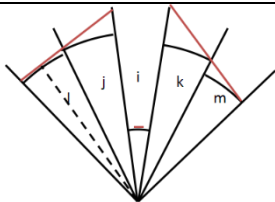
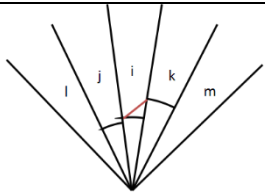
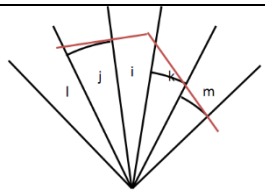
这 4 对关系的取值为前面所述的 $(+/-1), (+/-2), (+/-3)$ 。

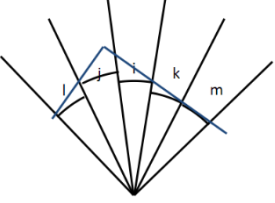
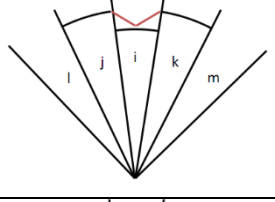
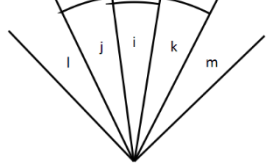
## 2.2 模型分类

按照上述 4 对关系的不同取值将模型分为断层、墙壁、外凸拐角、内凹拐角和其他五类。

详细分类及相应建模方法如下表（‘|’代表或，‘~’代表非）：

表 1. 模型识别及建模

数据间关系				模型分类		模型构建
$(ij)$	$(ik)$	$(jl)$	$(km)$			
$+ -3$	$+ -3$	--	--	双边 断层	断层	
$+ -3$	$\sim(+ -3)$	--	--	单边 断层		--
$1 2$	-2	--	$-2 (+ -3)$	墙壁		
-2	$1 2$	-1	2	一类	外 凸 拐 角	
$1 2$	--	$1 2$	$1 2$	显式 外凸		二类

--	1 2			隐式 外凸		
-1 -2	-1 -2	--	--	内凹拐角  墙壁		
						

下面分别举墙壁和外凸拐角（二类显式）的两个仿真示例说明模型识别与建立方法。

在墙壁仿真示例中，传感器*i*与*j*，*i*与*k*，*j*与*l*，*k*与*m*之间的关系分别为(1)，(-2)，(-1)，(-2)，即 $r_i > r_j$ ， $r_i \ll r_k$ ， $r_j < r_l$ ， $r_k < r_m$ 。根据表 1，将区域*i*的模型识别为墙壁，建模方法为连接相应扇形圆弧的端点，如图 4 所示：

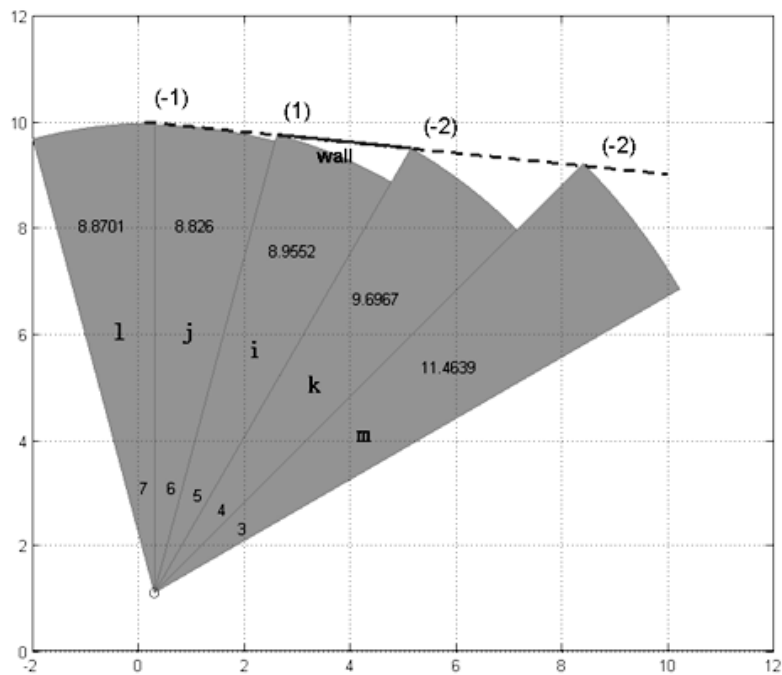


图 4. 墙壁仿真示例

传感器按逆时针从 0° 开始编号为 1 到 24，当前编号为*i*（5 号）， $r_{th} = 1.25$ ，虚线表示实际环境，实线表示所建立的模型。

外凸拐角的模型最为复杂，下例中传感器*i*与*j*，*i*与*k*，*j*与*l*，*k*与*m*之间的关系分别为(2)，

(2), (2), (1)。这是其中的一种简单情形, 根据表 1 将区域*i*的模型识别为二类显式外凸拐角。模型建立过程为: 连接点 EA, FC 并延长, 相交于 X, 这里 E, A 为区域*j*和*i*圆弧端点, C, F 同理; 扇形*i*的两条射线分别交两条直线与 B, D, 则区域*i*建模为折线段 BXD。

表 1 中二类外凸拐角的显式与隐式的区别为拐角是否在扇形*i*中。在初步判定为二类外凸拐角后要对其显式与隐式进行检测, 方法为: 计算向量 $\overrightarrow{XB}$ 到 $\overrightarrow{XD}$ 的角, 若为正 (逆时针) 则为显式外凸, 若为负 (顺时针) 则为隐式外凸, 如图 6 所示。

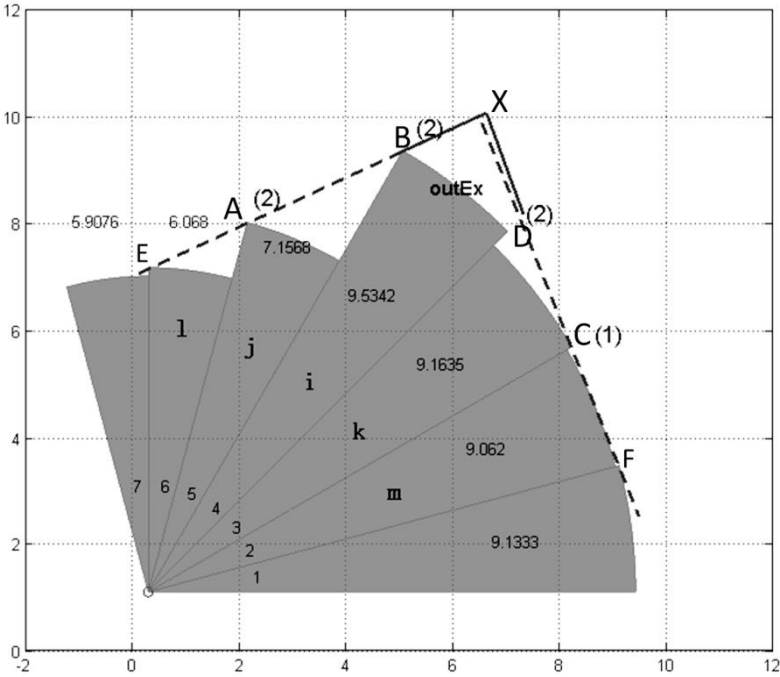


图 5. 外凸拐角 (二类显式) 仿真实例

传感器按逆时针从  $0^\circ$  开始编号为 1 到 24, 当前编号为*i* (4 号),  $r_{th} = 1.25$ , 虚线表示实际环境, 实线表示所建立的模型。

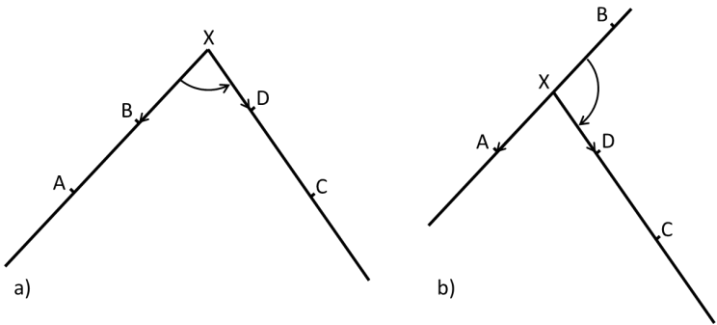


图 6. 显式与隐式外凸拐角示意图 a) 显式, b) 隐式

### 3、数据处理

#### 3.1 单个传感器数据处理<sup>[6]</sup>

单个传感器精确测距是实现整个设计的基础。由于声波的传播受环境影响, 单次测量会

有较大的误差。采用软件滤波方式除去极端数据能有效减小系统误差。

表 2. 单个传感器测量数据

标称距离	测量距离	相对误差	感应角度	标称距离	测量距离	相对误差	感应角度
/cm	/cm	/%	/°	/cm	/cm	/%	/°
10.0	9.7	3.0	22.4	100.0	99.8	0.20	17.8
20.0	19.8	1.0	26.3	150.0	150.3	0.20	16.7
30.0	30.1	0.33	29.6	200.0	199.5	0.25	15.0
50.0	50.0	0.00	20.5	250.0	249.3	0.28	10.2
80.0	79.6	0.50	18.0	300.0	301.0	0.33	7.7

由此可见，单个超声波传感器能够准确测量最近物体的距离，感应角度也能满足实际应用需要。

3.2 环境建模仿真

将环境建模的算法用 MATLAB 实现，预先设定已知的物体物边界和探测器位置，来仿真环境建模过程。图 7 为四种设定边界条件下建模结果。其中，虚线表示实际边界，实线表示建模结果。

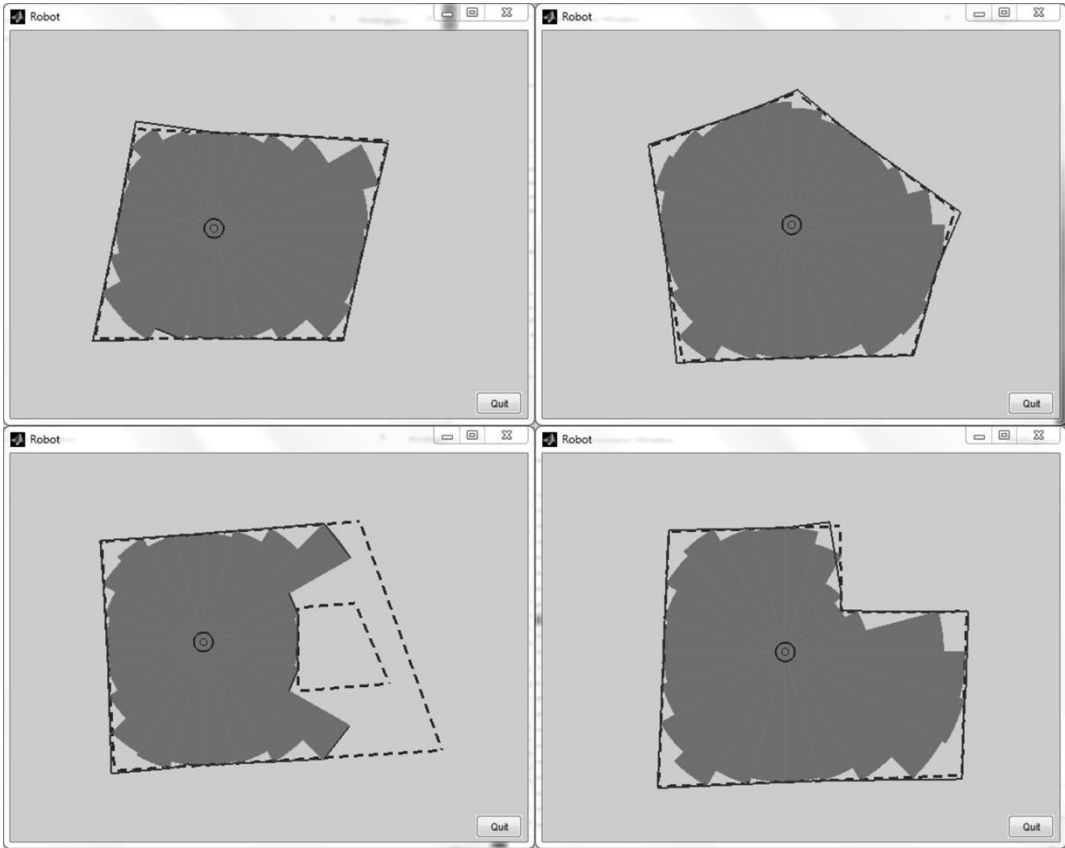


图 7. 建模结果举例

可以看出，仿真结果基本正确地拟合了边界情况。

4、系统构建及测试

4.1 系统框图

图 8 为系统的总体构成，主要有 24 组独立收发的超声波传感器、FPGA 核心控制和上位机。

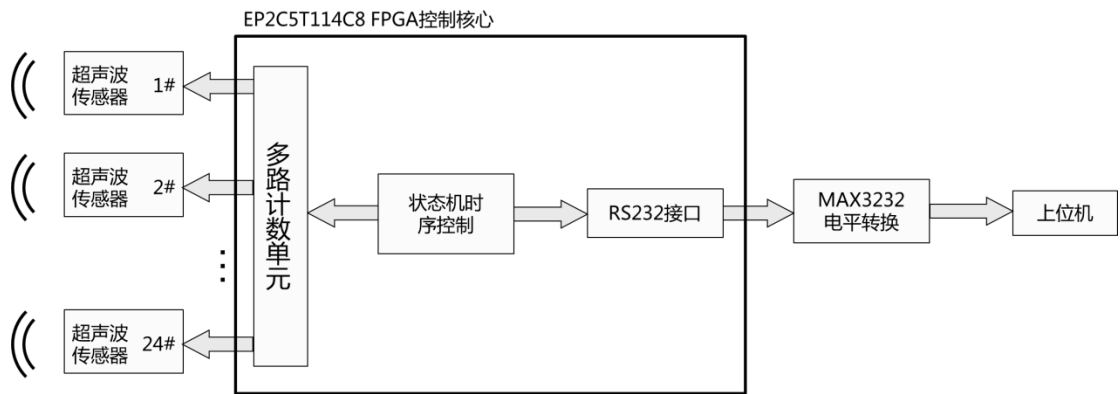


图 8. 系统框图

采用了 SDM-IO 超声波传感器，相比广泛使用的 SRF-04 传感器具有测量周期更短（18ms）、无盲区、精度更高（0.5~2m 内可达 5mm）、兼容 TTL 电平的优点，探测角度约为 15°。使用 24 个传感器均匀排布即可对周边环境进行 360°探测，分时分组采集环境信息。为了避免由一个传感器发出的声波被其它传感器接收到而产生错误数据，将相互垂直的四个传感器编为一组，最大程度上避免了干扰。

4.2 真实环境验证

上位机程序图形化界面使用 MATLAB 编写。在真实的环境下进行了静态及动态实验验证。实验表明，按照本文提出的算法及硬件设计，能够较好的识别周边环境特征。

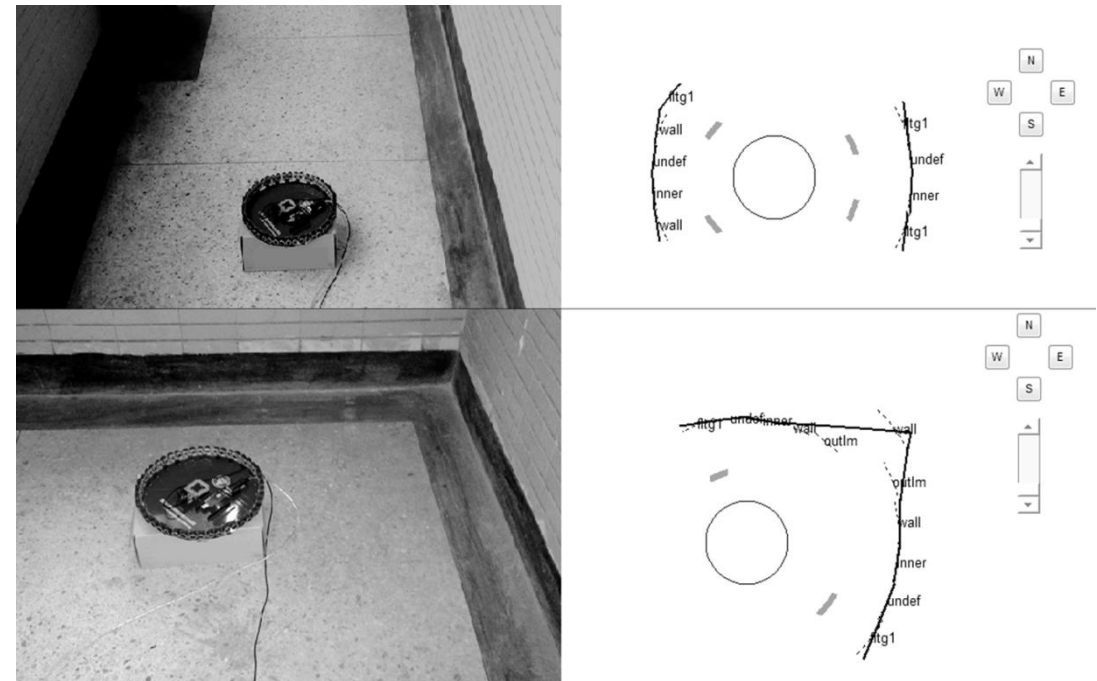


图 9. 真实环境建模结果

由测试结果可见，此系统能正确识别了环境特征。

## 5、结论

利用本文提出的建模思想,我们构建了几何环境信息采集及处理的软硬件系统,详细讨论了多超声波传感器数据融合的方法。该设计在保证精度和实时性的前提下,降低了环境探测的成本,简化了系统设计的复杂度。另外,系统对极端状况的容错性、稳定性还有待改进。同时,还可在此系统基础上增加其它环境物理量的测量,例如根据环境温度补偿声速变化造成的误差,使用红外传感器探测各个方向的高温热源威胁等。对于移动物体,尤其是体积较小的移动物体的探测的精度还有待提高。

### 参考文献:

- [1] 潘宗预, 潘登.超声波测距精度的探讨[J].湖南大学学报(自然科学版), 2002, 29(3): 18-21
- [2] 苏炜, 龚壁建, 潘笑. 超声波测距误差分析[J]. 传感器技术, 2004, 23(6): 8-11
- [3] 罗忠, 柳洪义, 王菲, 孙一兰. 未知环境表面的超声波探测试验研究[J].东北大学学报(自然科学版), 2008,29(2): 266-269
- [4] Tuming Liang, Lihong Xu,Ruihua Wei, Bingkun Zhu, Haigen Hu. Behavior-based Fuzzy Control for Indoor Cleaning Robot Obstacle Avoidance under Dynamic Environment[J].2011 Third International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation, 2011
- [5] 刘年庆, 周光明, 陈宗海. 一种基于多超声波信息精确建立环境模型的新方法[J]. 机器人, 2005,27(3): 261-266
- [6] 李茂山. 超声波测距原理及实践技术[J]. 实用测试技术. 1994. (1): 12-20
- [7] 纪良文 蒋静坪. 机器人超声测距数据的采集与处理[J]. 工业控制计算机.2001.14( 4):16~18

### 作者简介:

董子瑜(1992-), 男, 学生, 本科, 信息工程; 韩立功(1991-), 男, 学生, 本科, 生物科学与医学与工程; 谢宏祥(1991-), 男, 学生, 本科, 信息工程; 胡仁杰(1962-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事计算机测量与控制技术, 电力电子技术等研究。