

文章编号: 1002-0446(2005)03-0261-06

# 一种基于多超声波信息精确建立环境模型的新方法\*

刘年庆, 周光明, 陈宗海

(中国科学技术大学自动化系, 安徽 合肥 230027)

**摘要:** 提出了一种新的基于超声波信息的建模方法, 通过分析相邻多个超声波传感器测量数据间的相互关系以及环境特征的相关信息, 用线段匹配实现对探测环境的建模。经仿真和实验验证, 此方法可以很好地识别墙壁、拐角和缺口等环境特征, 具有建模准确、实时性强的特点。

**关键词:** 环境特征; 移动机器人; 超声波传感器; 建模

**中图分类号:** TP24

**文献标识码:** B

## A New Approach of Precise Environmental Modeling Based on Multiple Ultrasonic Sensors

LIU Nian-qing, ZHOU Guang-ming, CHEN Zong-hai

(Department of Automation, University of Science and Technology of China, Hefei 230027, China)

**Abstract:** A new modeling method based on ultrasonic data is presented. Based on the analysis of relationship between data measured by multiple ultrasonic sensors and the environment characteristic information, the explored environment is modeled by line segments matching method. The simulation and experiment results show that this method can recognize wall, corner and gap precisely in the environment and has advantages of accurate modeling and strong real-time.

**Keywords:** environmental characteristic; mobile robot; ultrasonic sensor; modeling

### 1 引言 (Introduction)

随着对自主机器人研究的进一步加深, 如何对环境进行准确快速的建模已经成为衡量机器人性能的一项重要指标。为了能够获得有效的环境信息, 机器人上常安装视觉传感器或非视觉传感器, 非视觉传感器主要以距离传感器为主, 包括激光测距仪和超声波传感器。由于超声波传感器处理信息简单, 成本低、速度快, 因此在探测未知环境中得到了广泛的应用<sup>[1,2]</sup>。在实际应用中, 一般采用多传感器技术来提高测量的精度, 但存在信息交互量大、数据融合不匹配、实时性差等缺点。

本文提出了一种新的建模思路, 仅利用多个相邻超声波传感器的测量数据间的相互关系以及环境特征的相关信息, 用线段匹配拟合的方法实现对探测环境的精确建模。多超声波建模与多传感器建模的原理相似, 都是为了得到更多的环境信息。而相对于多传感器建模来说, 多超声波建模具有数据形式

统一、建模类型标准的特点。此方法可以通过多线段的组合方式来逼近环境轮廓, 很好地再现环境特征。经仿真和实验验证, 此方法不但能复原环境中的“边缘”, 而且能准确识别环境中的“拐角”。

### 2 超声波传感器的主要建模方式 (Main sonar sensor models)

传统的超声波测距方法是通过时间渡越法实现的<sup>[3,4]</sup>。目前用超声波传感器数据对环境建模的方式主要有 3 种: 中线传感器模型、高斯分布传感器模型和均匀分布传感器模型<sup>[5]</sup>。这些方法的不足之处在于: 首先, 它们都是在概率上近似得到障碍物的位置, 虽然简单, 但不准确, 在有些情况下, 所建模型与真实环境存在很大差距。其次, 它们都是基于单个超声波对环境进行建模的, 由于超声波传感器只能得到障碍物的距离, 对环境信息获取不够充分, 所以仅利用单个超声波在测量区域内建模是不可能精确

的.而且,在单个超声波传感器的测量范围内只能用一条直线段或者弧线来对障碍物建模,无法构建其中的拐角和缺口.

针对上述不足,我们提出了基于相邻多超声波传感器的建模方法,即:①不以概率方式对障碍物的位置进行估计,而是依据相邻传感器数据的相互关系,从数据库中抽取相关情况的模型对环境进行建模;②利用多个相邻超声波传感器且由超声波传感器的测量值的相互关系自动选取合适数量的传感器的测量值,以获取更完整的环境数据,得出精确的环境模型;③可以由相邻的多个超声波数据计算出其中单个超声波测量区域内部出现的拐角和缺口.

### 3 超声波精确建模原理 (Principle of precise modeling based on ultrasonic sensors)

#### 3.1 距离模型及测量准备

实验时,超声波传感器被均匀地安装在机器人圆盘四周.对于有  $n$  个超声波传感器的机器人来说,每个超声波对应的发射角度为  $\alpha = 2\pi/n$ .由几何关系可知,每个超声波所对应的最大弦长为  $l = 2R\sin(\pi/n)$ ,则超声波传感器数量越多,对应的弦长越短,测量精度越高.经实验发现,18个超声波传感器可以很好地完成探测及建模任务.

#### 3.2 相关说明及定义

##### 3.2.1 编号说明

对所要讨论的超声波编号为  $i$ ,与其相邻的超声波编号为  $j, k$ ,与其相隔的超声波编号为  $l, m$ ,再外层的超声波编号为  $n, o$ ,如图 1 所示.

Fig. 1 Serial number of sonars

##### 3.2.2 符号定义

设第  $i$  个超声波传感器的测量数据为  $d_i$ ,机器人半径为  $r$ .为了说明每个探测扇区的特征及两相邻扇区间的相互关系,做以下的分型,如图 2 所示.

Fig. 2 Relation of adjoining sectors

扇型分型为以下 4 种:

1) 连续型:设两相邻超声波传感器  $A, B$  对环境的测量数据满足  $d_A \leq d_B \leq d_A/\cos\alpha$ ,则称超声波传感器  $A$  与  $B$  为连续型,记作  $B \rightarrow A$  或  $A \leftarrow B$ .

2) 缝隙型:设两相邻超声波传感器  $C, D$  对环境的测量数据满足  $d_C/\cos\alpha_D < d_D \leq d_C + 2r$ ,则称超声波传感器  $C$  与  $D$  为缝隙型,记作  $D \rightarrow C$  或  $C \leftarrow D$ .

3) 缺口型:设两相邻超声波传感器  $D, E$  对环境的测量数据满足  $d_E > d_D + 2r$ ,则称超声波传感器  $D$  与  $E$  为缺口型,记作  $E \rightarrow D$  或  $D \leftarrow E$ .

4) 开放型:设超声波传感器  $F$  在测量区域内未探测到物体,则称超声波传感器  $F$  为开放型,记作  $d_F = nil$ .

##### 3.2.3 名词定义

限点:超声波圆弧与超声波左右边限的交点分别称为左限点和右限点,如图 3 所示.

Fig. 3 Definitions

#### 3.3 不同类型环境的建模方法

对单个超声波而言,因信息量太少,不能确定障碍物的分布特征,因此无法在单个超声波的测量范围内准确建模.同理,相邻的两个超声波传感器的数据也无法得到准确的环境模型.如图 4,对于  $a, b$  两种情况,传感器  $j$  与传感器  $i$  得到的障碍物距离信息相同,若不考虑传感器  $k$  的测量信息,就无法得到在  $i$  区域内的障碍物是墙壁还是拐角.有些情况下,知道  $i, j, k$  3 个传感器的测量数据,还不足以精确地对环

境进行建模.如图 4 中 (c)所示:在未知  $l, m$  传感器的测量数据的情况下,只能得到有误差的环境建模,图中虚线所示.有时甚至要讨论到 7 个相邻的传感器的数据才能确定某个或几个区域内的环境模型.上述情况说明,利用多超声波传感器能为环境精确建模提供有利的保证. (b) (c)

图 4 超声波不确定性示意图

Fig. 4 Uncertainty of modeling based on multiple sonars

表 1 双边断层建模情况

由表 1 可以看出,对于双边断层,建模时需要更多的超声波传感器. Modeling of faultages on two sides

论的超声波区域内取超声波圆弧的中段作为对障碍物的建模,在稀疏的环境中常出现这种情况.

发生单边断层时,由于断层出现的突然性,未断的一边的建模方法与普通的方法有所不同.它需要更多的传感器数据来确定断点的位置.这对于机器人寻找出口来说是十分重要的,只有准确地找到缺口的边缘才能判断是否能够安全地从缺口通过,以免误判缺口过大,使机器人发生碰壁,或者误判缺口太小,使机器人丢失通过的机会.具体情况如表 2 所示.

由表 2 可以看出,对于第  $i$  个超声波测量区域内的建模,不仅与相邻的超声波  $j, k$  有关,还与其相隔

现对断层、墙壁、凸拐角、凹拐角和缺口等环境主要特征进行讨论.每一类环境都对应着多种超声波的组合.为简洁起见,仅讨论  $d_j \geq d_k$  的情况,对于  $d_j < d_k$  的情况,通过对调传感器  $i$  两边的相关数据,由对称性进行建模即可.

### 3.3.1 断层

当相邻两超声波测得的环境数据相差很大时,多是由于不同的障碍物造成的.称这两个障碍物的间隔为断层.机器人有可能从断层间隙穿过,当两相邻超声波的测量数据之差超过机器人安全半径时,认为有断层出现,建模时将这个间隙保留,以便机器人能到断层附近进行进一步探索.断层又可分为双边断层和单边断层.双边断层主要有 3 种情况,如表 1 所示.

的超声波  $l, m$  有关.可由过限点作另一超声波圆弧的切线,连接限点和另一超声波圆弧的中点,过限点作另一超声波圆弧的切线的反向延长线等几种方法建模.

### 3.3.2 墙壁

对于墙壁的判断要比判断断层复杂,需要 3 ~ 5 个相邻超声波传感器的数据才能判定(若考虑对称情况,则需要 5 ~ 7 个超声波传感器),具体情况如表 3 所示.

由表 3 可以看出,识别出墙壁后,要由相邻的测量数据的大小判断是连接两超声波的限点建模还是过限点做另一个超声波圆弧的切线建模.

### 3.3.3 外凸拐角

仅利用超声波传感器的数据对环境中的拐角进

行准确的建模是最困难也是最复杂的,需要的超声波传感器的数量也是最多的.对这种外凸式的环境

进行探测,会得到两种情况,一种是显式外凸,一种是隐式外凸.具体情况如表 4所示.

机  
器  
人

编  
辑  
部

器的数据便可以判断出来,相对隐式外凸来说比较容易,但建模时仍需要考虑周围的 5 个传感器才能进行精确建模,否则会出现错误的建模情况,如图 3 中虚线所示.而隐式外凸则要联合 4 到 5 个传感器的数据才能判断出来,涉及区域更广,判断难度更大.这种提前检索更大范围数据的方法有效地避免

了因信息量不足误将拐角的一部分当作墙壁进行建模的识别错误.

### 3.3.4 内凹拐角

内凹拐角相对于外凸拐角来说,在判断时要容易一些,仅需要 3 个超声波传感器,而且建模比较简单,具体情况如表 5 所示.

表 5 内凹拐角建模情况

从表 5 可以看出,对于内凹拐角的建模,需要通

过连接相隔超声波限点与待建模超声波圆弧中点或者连接限点与圆弧切点的方法完成.但建模时仍需注意,由于超声波在测量时存在误差,导致误将墙壁作为内凹角度很大的拐角,而将原本平滑的墙壁误认为是锯齿状.在本算法中,将内凹角度大于  $175^\circ$  的拐角都作为平滑墙壁处理.实验结果表明,此改进方法提高了建模的准确性,使建模结果与实际环境更加匹配.

## 4 实验结果及结论 (Experimental result and conclusion)

我们设定了一些复杂的环境地图验证各种建模算法,如图 5 所示,仿真环境是一个残缺的五角星,通过相邻多超声波传感器建模,可以准确地识别图中残缺五角星的内凹拐角、外凸拐角和缺口.

图 6 为物理实验结果示意图,从图可以看出,当障碍物距离机器人较近时,由于超声波圆弧长度

较小,在单位长度内有较多的超声波传感器进行结果测量,使获得的环境信息分辨率更高,建模更加准确.而相对较远的地方获得的环境信息分辨率低,使建模结果与环境并不完全一致.实验中,由于建模结果准确地构造出了环境中的缺口,当机器人朝着缺口方向前进并通过缺口时,将会用新得到的传感器信息对环境重新建模.本实验所采用的机器为 P2.4G 的电脑,对于 18 个超声波数据的建模时间小于 10ms,实时性很强,完全满足实时机器人在行进过程中绘制地图的需要,而且只用键盘就能控制机器人,操作简便.

实验仿真结果都表明,本文提出的基于多超声波传感器的环境建模方法大大改进了传统的建模方法,可以很好地识别墙壁、拐角和缺口等环境特征,使建模结果更加符合真实环境,具有建模准确、操作简便、实时性强等特点,为机器人路径规划的建模奠定了良好基础.

仿真环境

图 5 仿真实验结果示意图

Fig. 5 Simulation result

建模结果

图 6 物理实验结果示意图

Fig. 6 Experiment result

## 参考文献 (References)

- [1] Gonzalez E, Suarez A, Moreno C, *et al.* Uncertainty treatment in a surface filling mobile robot [J]. Reasoning with Uncertainty in Robotics, 1995, 1093(12): 294 - 306.
- [2] Oriolo G, Ulivi G, Vendittelli M. Real-time map building and navigation for autonomous robots in unknown environments [J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 1998, 28(3): 316 - 333.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [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 Automation, 2003, 19(3): 519 - 522.

## 作者简介:

刘年庆 (1980-), 男, 硕士研究生. 研究领域: 自主移动机器人, 机器学习.

周光明 (1978-), 男, 博士生. 研究领域: 自主移动机器人, 机器学习.

陈宗海 (1963-), 男, 教授, 博士生导师. 研究领域: 复杂系统建模与仿真, 智能系统理论与技术, 移动机器人.