

数字滤波器在移动机器人超声信息融合中的应用

顾新艳

(南京工程学院 车辆工程系 江苏 南京 211167)

[摘要] 超声传感器作为一种典型的测距传感器已被广泛应用于移动机器人的导航、避障与地图创建中。但是由于超声波传感器存在波束角,其方向性差且易发生多次反射等缺点,地图创建往往不甚理想,因此建立合适的超声波传感器模型并有效处理数据是关键。在分析超声常用模型的基础上,采用了弧线超声波模型,并且将“数字滤波器”的概念移植到超声信息融合上,旨在提高超声方向的可靠性,从而为地图创建提供更加准确的障碍特征信息。实验证明该方法在简单或复杂环境下均可有效地改善环境地图的创建效果。

[关键词] 移动机器人,超声波传感器,弧线模型,数字滤波器,地图创建

[中图分类号] TP24 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1672-4292(2011)03-0018-05

Application of Digital Filter to Map Building for Mobile Robot

Gu Xinyan

(Department of Vehicle Engineering, Nanjing Institute of Technology, Nanjing 211167, China)

Abstract: As a typical distance sensor, the ultrasonic sensor has been widely used in mobile robot navigation, obstacle avoidance and map building. But it has some disadvantages, such as there are beam angle, poor direction and prone to reflections by some obstacles. Therefore, the key is to establish of a suitable model for ultrasonic sensors and effectively process ultrasonic data. In the paper, we use arc models of simplicity ultrasonic information. And then the digit filter is presented to improve the direction and fuse ultrasonic data, that can provide reliable characteristic information about barriers. Experiments prove that the method can improve the reliability of environment map building whether simple or complicated environment.

Key words: mobile robot, ultrasonic sensor, arc model, digit filter, map building

环境地图创建在移动机器人研究中有着非常重要的意义,是实现自主导航、在未知环境中完成复杂智能任务的关键,也集中体现了移动机器人的感知能力和智能水平^[1]。而环境地图创建的效果又依赖于移动机器人的环境感知系统的探测信息以及信息的准确性。超声波传感器因电路简单、数据处理方便、性能稳定、价格低廉等优点,广泛应用于移动机器人的环境探测,提供障碍物距离信息。然而,在测距方面超声波传感器也存在一些缺点,例如超声波的方向性不好,对障碍物的定位不精确等^[2]。

本文分析了各种常用超声模型的特点,提出了将“数字滤波器”的概念移植至超声信息融合中,以提高超声信息的方向性,减少测距误差等,从而为环境地图的创建提供更准确的障碍信息,实验表明了该算法的有效性。

1 超声波传感器的建模

超声发射器发出的超声波并不是一条理想的直线,而是有一定的角度,这就是超声波的方向性问题。如图 1 所示,从图中可以明显地看出,发出的超声波能量主要集中在主瓣部分,而副瓣部分非常少,因此换能器发出的超声波就具有了方向性。图中 α 是超声波主瓣的角度,称为波束角,一般在 25° 左右。

超声传感器的测距精度一般可以满足大部分应用的需求,但其方向性差,如图 1 所示。建立相应的超

收稿日期: 2011-04-10.

基金项目: 江苏省教育厅自然科学基金(08KJB580003)、南京工程学院校级基金(QKJB2009014)。

通讯联系人: 顾新艳,讲师,研究方向: 电气自动化。E-mail: zdhxgxy@njit.edu.cn

声模型以获得障碍物的方向是超声建模的主要目的. 常见的超声模型有中线模型(Centerline model) 和弧线模型(Arc model) [3].

1.1 中线模型

中线模型认为障碍物位于波束角的中线方向, 如图 2 所示, A 为实际障碍点, A' 为中线模型的估计点. 这种模型最大的优点就是建模简单, 但其方向误差大是不言自明的. 同时中线模型带来一个常见问题, 即所谓的“窄通道”问题, 如图 3 所示, 障碍物间的实际距离为 a ($> b$), 而在这种模型下, 认为通道宽度为 c ($< b$), 从而做出错误的判断, 认为自身无法通过.

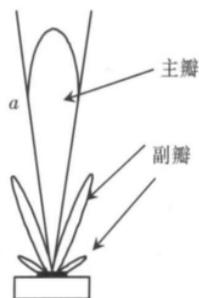


图 1 超声波束角示意图

Fig.1 Sketch map of ultrasonic beam angle

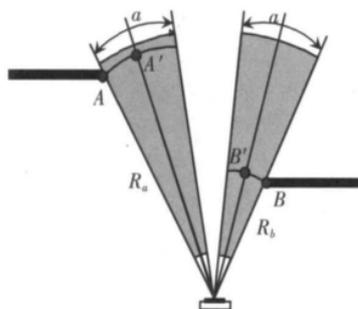


图 2 波束角

Fig.2 Ultrasonic beam angle

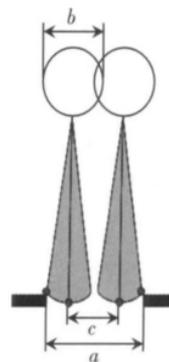


图 3 窄通道问题

Fig.3 Problems of narrow channel

1.2 弧线模型

弧线模型假设超声距离测量是准确的, 并假设障碍物位于以超声传感器为中心, 以障碍物间的距离 R 为半径, 以超声传感器的波束角为圆心角的弧线 Arc 上, 如图 4 所示.

这种弧线模型, 通常采取两种方法解释障碍物的实际位置: 基于高斯分布的概率模型和基于平均分布的概率模型. 基于高斯分布的模型认为障碍物位于弧线上某一点的概率是以弧中点为中心的高斯分布. 基于平均模型的方法认为障碍物位于弧线上任一点的概率是相等的, 即是平均分布的.

Moravec 和 Elfes^[4-6] 采取弧线模型的高斯分布创建了它们的栅格地图, 取得了不错的效果. 迄今为止, 高斯模型已经在应用中取得了巨大的成功, 我们也将采用该种模型进行超声信息的处理.

显然, 不管采取哪种模型, 它们都是基于单个超声波对环境进行建模的.

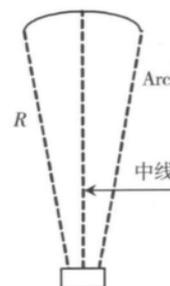


图 4 弧线模型

Fig.4 Arc model

2 超声信息数字滤波融合算法

由于超声波传感器只能得到与障碍物的距离, 对环境信息获取不够充分, 而且单一的超声信息, 这一孤立的数据是无法确定障碍物的位置与形状特征, 因此提出对多个超声信息进行融合, 而多个有效数据的合理融合必将会提高测量的精度和可靠性.

2.1 基于数字滤波器的超声数据融合

鉴于本文所采用的超声弧线模型, 我们从几何的角度出发, 认为各个测量弧线的交点即为有效数据. 针对超声弧线交点即为有效数据的信息, 使用数字滤波方法来提高障碍点方向的准确性, 以解决一些由方向估计误差大而产生的问题. 数据融合时在三角形法^[7]的基础上, 将弧线交点数据作为有效数据, 如图 5、6 所示, 看作一次测量值, 使用滤波的方法进行估算障碍点位置. Choset 等人在他们的论文^[3]中采用均值滤波方法进行了信息融合, 而我们的思路与其是完全不同的.

2.2 数据的筛选

从数字滤波法的统计学意义来看, 当采集的有效数据量达到一定值后, 将可以预期较好的效果. 当然并不是每一个数据都是有效数据, 从而应该被我们的算法所处理. 因此必须有一定的数据筛选准则.

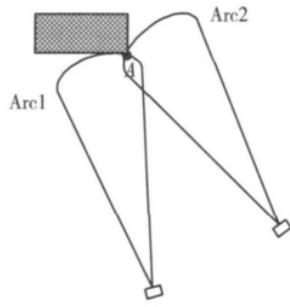


图 5 三角法检测障碍

Fig.5 Triangle method to detect obstacles

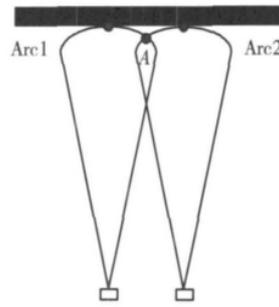


图 6 两个弧线的交点

Fig.6 Intersection of two arc

在提出数据筛选的准则之前,必须提及多次反射问题.如图 7 所示.在这种情况下,超声传感器将认为障碍物位于虚假点 A' ,从而产生了错误的信息.另一个可以注意到的问题就是无法收到回波的情况,如图 8 所示.

另外,针对我们采用的扫描式超声测距,考虑在同一地点的 3 次测量,每次测量超声方向相隔 22.5° (实验所采用的测量间隔),如图 9 所示.可见,这 3 次测量只有一次的回波有可能被传感器接收到.于是,如果在同一位置的 3 次类似测量中收到多于一次的回波,那么这其中必然会有多次反射产生的虚假信息或者非同一障碍物产生的反射.

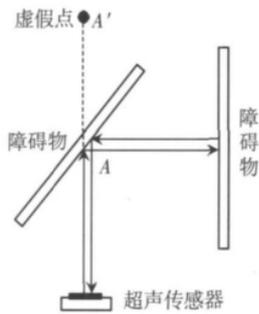


图 7 多次反射

Fig.7 Multiple reflections

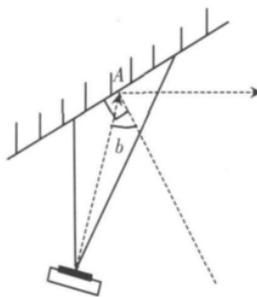


图 8 收不到回波

Fig.8 Echo not received

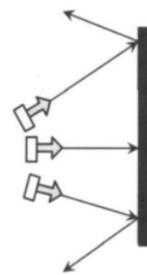


图 9 同一位置不同角度的测量

Fig.9 Different angle measurement of same position

因此我们筛选数据的原则如下:(1)结合虚假信息的特点(距离大于实际距离)和避障的要求,在这多个数据中,只应该保留距离最短的一次测量值;(2)同时对于同一位置的同一方向测量而言,在障碍物固定的情况下,其产生的测量信息应该是基本相同的,反复计算这些相同数据只会给我们的处理造成错误影响,因此此种信息也只应被保留一次.

通过这二次筛选,我们最大可能性地保证了测量值的有效性,同时剔除了重复性,从而确保了数据融合能够正常实行.

3 实验结果及分析

实验一 如图 10 所示为一简单方庭环境实验平面图,我们让移动机器人自主绕行一周后,探测了方庭环境.图 11 所示为滤波前创建的环境地图,采用“数字滤波器”处理后的环境地图如图 7 所示.

由图 11 所示,对于未经滤波而创建的环境地图存在以下问题:1)数据点由于方向性问题比较散乱,如①号图区附近栅栏门底台阶处,②号区柜子平面等测得的障碍点;2)对于某些简单镜像点没能进行处理,如图中①②③④等处所示的镜像点.①所示镜像点为墙壁后的障碍点,则为图 7 所示产生的镜像点;3)不能够直观的反映环境特征,比如说平直的墙壁,台阶与柜子之间的直角形转角、乒乓桌脚、以及方庭柱子的形状特征.

而经过数字滤波对超声信息融合后,如图 12、图 13 所示,通过与实际环境比较发现:1)减小了额外距离误差,将原来因方向性问题散乱的障碍点进行剔除或拉回;2)可以消除部分简单镜像点,如原图 11 中①②③④所标示处;3)可以获知较为准确的环境特征,如直线特征、直角特征、矩形边特征等.

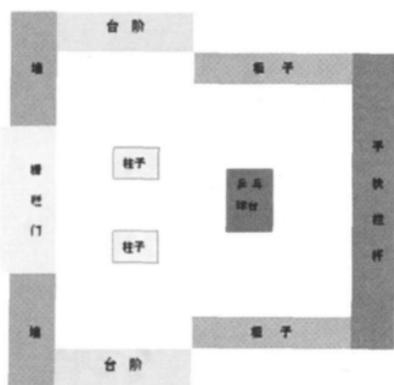


图 10 方庭环境平面图

Fig.10 The environmental plan of atrium



图 11 滤波前方庭环境地图

Fig.11 The environment map before filtering



图 12 滤波后方庭环境地图(1)

Fig.12 The atrium environment map after filtering (1)

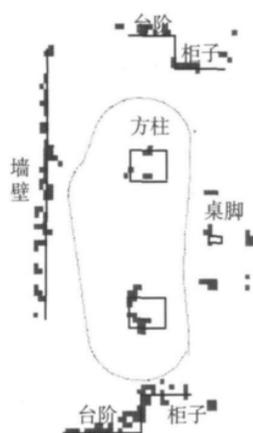


图 13 滤波后方庭环境地图(2)

Fig.13 The atrium environment map after filtering (2)

实验二 如图 14 所示为一复杂的室内环境,实验为移动机器人从室内某点出发行驶至门外走廊某目标点.其探测的障碍信息滤波前后所创建的环境地图如图 15、图 16 所示.

图 15 中①处为移动机器人过约 4.5 cm 高的门槛,速度较慢,超声传感器在此反复探障,在门墙左侧产生了大量实际不应存在的障碍点;②处情况亦类似.采用数字滤波后,如图 16 所示,在一定程度上减少距离误差,消除了镜像点;另外经过滤波处理后,也很好地表现了直线、直角等特征.这能为今后进一步进行栅格地图与拓扑地图的融合打下基础.

当然该算法还存在一定的缺陷:对于部分镜像点没有能够完全消除,如图 16 所示门墙后的障碍点,行走路线上的镜像点;在有效数据的处理过程中,丢失了部分障碍点,如走廊墙壁.

4 总结

总体来说,采用弧线模型和数字滤波器后,环境地图的创建更能反映环境特征.采用的滤波算法提高了超声数据的准确性,因此具有一定的鲁棒性.但如何更好地建立超声模型,找到更适合的滤波算法,并对镜像点作进一步的处理依然是今后进一步研究的重点.



图 14 室内环境图

Fig.14 Indoor environment map



图 15 滤波前创建的室内环境地图

Fig.15 The indoor environment map before filtering

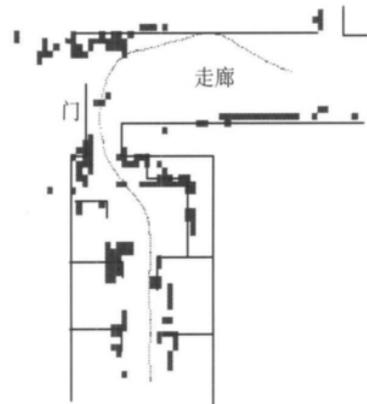


图 16 滤波后创建的室内环境地图

Fig.16 The indoor environment map after filtering

[参考文献](References)

- [1] Wang W H , Chen W D , Xi Y G. Uncertain information based map building of mobile robots in absolutely unknown environment [J]. Robot , 2001 , 23(6) : 563-568.
- [2] Levent Yenilmez , Hakan Temeltas. Map building for mobile robots by ultrasonic and infrared sensor data fusion [J]. Proceedings of SPIE , 2002 , 4902(1) : 444-449.
- [3] Choset A , 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.
- [4] Moravec H P. Sensor fusion in certainty grids for mobile robots [J]. AI Magazine , 1988 , 9(2) : 61-74.
- [5] Elfes A. Sonar-based real-world mapping and navigation [J]. IEEE J Robotics and Automation , 1987 , 3(3) : 249-265.
- [6] Moravec H , Elfes A. High resolution maps from wide angle sonar [C] // Proc IEEE Int Conf Robotics and Automation , Piscataway , NJ , USA: 1985.
- [7] Wijk O , Christensen H I. Triangulation-based fusion of sonar data with application in robot pose tracking [J]. IEEE Transactions on Robot and Automation , 2000 , 16(6) : 740-752.
- [8] Oriolo G , Ulivi G , Vendtelli M. Real-time map building and navigation for autonomous robots in unknown environments [J]. IEEE Transactions on Systems , Man and Cybernetics , 1998 , 28(3) : 316-332.
- [9] 刘琴涛. 超声波测距的误差分析与改进方法 [J]. 江汉大学文理学院学报 , 2010 , 1(1) : 59-62.
Li qintao. Ultrasonic ranging error analysis and improvement methods [J]. Journal of College of Arts and Science , Jiangnan University , 2010 , 1(1) : 59-62. (in Chinese)

[责任编辑: 刘 健]