

基于 ATM 的提高狭窄环境探测精度的改进方法

李润伟¹, 蔡自兴¹, 童 宇²

(1. 中南大学 信息科学与工程学院, 湖南 长沙 410083; 2. 湖南公安高等专科学校, 湖南 长沙 410138)

摘 要: 基于 ATM 的思想为移动机器人探测狭窄环境提出了一种改进方法, 使得在地图创建的精度上有一定的提升. 虽然声呐传感器探测目标体的距离有较高的准确度, 但声呐对目标的方位判断却存在一定的误差, 借鉴了 ATM 的思想, 所采用的声呐模型为均匀分布模型, 设定了切线的角度变化范围并引入了权值, 对目标的方位进行了误差修正, 并且在 MORCS-2 机器人平台上进行了实时地图创建实验, 验证了这种方法有着较好的精确性与可行性.

关键词: 移动机器人; 声呐; 地图创建; 切线; 交点

中图分类号: TP24 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-4785 (2008) 04-0283-05

Improving the accuracy of exploring the narrow environment by using ATM

LI Run-wei¹, CAI Zi-xing¹, TONG Yu²

(1. School of Information Science and Engineering, Central South University, Changsha 410083, China; 2. Hunan Public Security College, Changsha 410138, China)

Abstract: A method is proposed for improving the accuracy of mapping data generated by mobile robots by using the arc-transversal median (ATM) algorithm. Although sonar sensors can accurately determine the distance between objects and the robot, they can't precisely estimate the azimuth of the object. We used the uniform distribution model as our sonar model, in which the range of change of angle formed by two tangents was prescribed, and weights were applied. Finally, errors were adjusted. Experiments with real-time map building were made on the MORCS-2 robot platform. They showed exciting and promising results, and verified the accuracy and feasibility of the proposed method.

Keywords: mobile robot; sonar; map building; tangent; intersection

近 20 年来的机器人和人工智能 (artificial intelligence, AI) 研究工作中, 移动机器人地图创建^[1]已经引起了较为广泛的关注. 地图创建是为了解决移动机器人获得自然环境空间模型与实现自身定位的问题^[2], 它通常被认为是机器人构造真实环境问题中的关键问题. 在现阶段地图创建工作中, 声呐由于其低廉的价格与易操作性而得到大量采用; 但是声呐传感器具有不确定性^[3], 在某些特定环境, 用声呐来探测未知环境时精度并不理想, 特别是在狭窄的环境中, 声呐的散射和信息低辨别率都会造成创建精度较低的环境地图, 地图中的一些通道口被描

绘得过于狭窄, 使得机器人认为不能通过, 甚至在某些极其不利的环境下, 将事实上存在的通道口描绘成不存在. 本文采用增量渐进式的算法进行实时地图创建, 通过适当地改变机器人的位姿和融合时间片的声呐数据来增加声呐的精确度^[4-5].

1 改进的 ATM 方法

1.1 声呐模型

众所周知, 在标准条件下, 空气中超声波的速度是不变的, 声呐的发射与接收的时间间隔和声呐传感器与目标的反射点之间的距离成正比, 那么使用声呐来建图既快速又简单. 目前通过声呐传感器信息进行环境建模的方法主要有 3 种: 高斯分布传感器模型、中轴线传感器模型和均匀分布传感器模

收稿日期: 2007-11-11.

基金项目: 国家基础研究基金资助项目 (A1420060159); 国家自然科学基金重点资助项目 (60234030).

通信作者: 李润伟. E-mail: lirunwei22@sina.com

型^[7]. 本文最初采用的为中轴线传感器模型, 虽然这种声呐模型在地图创建的过程中速度较快, 对于实时建图有着很好的执行效率, 但该模型的缺点也很明显, 即在探测较远处的狭窄通道口的时候容易产生错误信息, 而且在声呐弧比较小的情况下, 这种模型不能够为障碍物的实际定位提供一种较为合理的估计. 如图 1 所示, 探测圆弧上的实心点 m_1 和 m_2 代表不同时刻机器人探测到的障碍物所认为的位置. 基于这样的探测模式, 机器人会把实际的障碍点转移到声呐弧的中点 m_1 与 m_2 (如图 2 所示), 从而认为这个通道口过于狭窄而不能通过, 但事实上机器人是能通过这个通道口的.

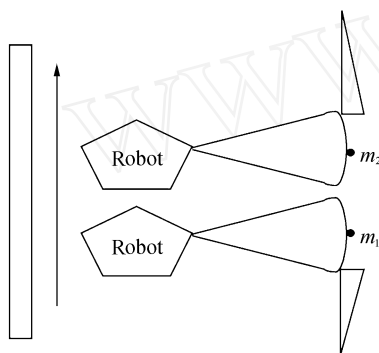


图 1 中轴线传感器模型工作方式

Fig 1 Sensor model's working of medial axis

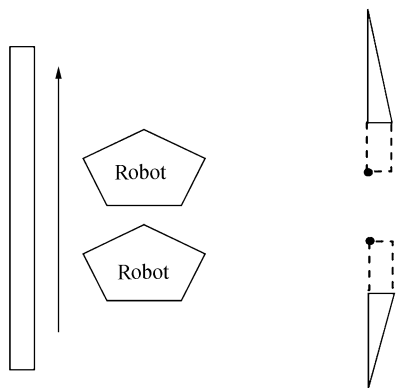


图 2 通道口被狭窄化示意图

Fig 2 Passageway width narrowed

Leonard提出了一种基于多边形环境中辨别拐角与边界的方法, 使用声呐的 RCD (range of constant depth) 方法^[6], RCD 方法假设障碍物的反射点就处于声呐弧的中心点, 事实上这种假设是很有道理的. 因为 RCD 方法融合了移动机器人探测环境时不同时间片的多组声呐数据^[8], 当机器人穿过某个环境时, 这些中心点将会被记录. 如果这些中心点是条连续的直线, 证明机器人正在沿着一堵墙行走. 而当机器人移动的同时, 如果中心点也保持着相对稳定的

变化, 那么 RCD 方法认为移动机器人正处于一个拐角处或是通道口. 经过对基于 RCD 与 ATM 等 2 种方法实验后, 发现中轴线传感器模型对远端障碍物^[9]的近似定位^[10]不尽人意, 所以在本文中采用了均匀分布传感器模型. 因为均匀分布传感器模型不仅能够弥补在中轴线传感器模型中小声呐弧容易产生错误信息的不足, 而且对多交点运算中的障碍点定位有较好的估计.

在均匀分布传感器模型中, 首先假定障碍点落于声呐弧上任一处的概率是均匀的, 即在一段弧长为 d 的弧上, 一个障碍点随机分布在距离为 d 的子区间 $(d, d + \Delta d)$ 上的概率为 $\Delta d/d$, 很明显 $\Delta d/d < 1$. 这个概率仅仅依赖于子区间的长度, 而不依赖于障碍点落在弧上的位置. 现在考虑有 n 个点落入到相同小区间的概率, 即在这个小区间上不存在目标的概率, 这个概率被描述为

$$P(X_i \in (d, d + \Delta d)) = \frac{\Delta d}{d} \quad (1)$$

然后, 当 n 增加至无穷时 (Δd 减小), 这个概率将趋近于 0 即当有更多的点落入相同的区域, 就可以认为这个区域一定存在某个被声呐探测到的目标.

1.2 ATM 方法

根据 ATM 方法的思想, 声呐弧上障碍点的存在服从均匀分布^[6], 即障碍物的反射点可能落在声呐弧上的任意位置. ATM 方法假设每条弧上均存在一个障碍点, 只是无法确定障碍点在弧上的具体位置. 如果要判断某目标弧上障碍点的具体位置, 可以通过其他声呐弧与该声呐弧相交的交点来确定. 在实际情况下, 即使所获得的数据是稳定不变的, 由于声呐在距离辨别能力和航位推测法上的误差, 会导致许多声呐弧不可能正好相交于一个点, 这些弧的交点会在目标弧上形成一个点簇, 簇中任一个点可以作为该弧上的障碍点位置的近似值. 同时, 障碍点在目标弧上位置判断的精确度依赖于该弧上交点的数目. 在 ATM 方法中, 首先对 2 条相交弧的交点作各自的切线, 并判断其夹角是否为 30° ; 如果是, 则纳入目标弧的交点簇, 否则摒弃, 然后对目标弧的交点簇中两两相邻的交点的间距求中值, 并对获得的所有中值点求平均值, 以求得该声呐弧上障碍点的近似位置.

1.3 ATM 方法的改进

在 ATM 方法中, 限定了交点切线的夹角 θ 的大小, 固定取值为 30° ; 这样的取值使得数据采集过于简单, 从而在遗漏了一些有效数据的同时还获得了一些无意义的信息, 所以在实际应用中所创地图

的精确度并不高.本文对切线的夹角 设定了范围,并引入了权值,很好地改进了 ATM方法中存在的不足之处.

如图 3所示,2条弧 和 相交后,障碍点可能会落在 上也可能落在 上,简单地假设障碍点落在声呐弧的某个固定位置是不正确的,整条弧必须被考虑进去.本文认为障碍点应该会落在 2条弧的交点附近,但由于声呐的不确定性,需要对交点附近的范围做进一步处理.

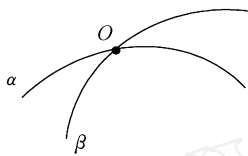


图 3 2条声呐弧线相交图
Fig 3 The intersection of two sonar arcs

如图 4所示,弧 与弧 相交于点 O,过 O点分别作 2条弧的切线 l_1 和 l_2 ,以弧 为基准,从 O点开始,在切线 l_1 的 1 cm处作垂线交于切线 l_2 ,可得 $OA = 1, AB = 1/\sin \theta, OB = 1/\tan \theta$.

假设 2条切线 l_1 和 l_2 相交的角度为 $(30^\circ \sim 90^\circ)$,以每 5 为一个角度范围单位,对其赋权值 $w_i (0 \leq w_i \leq 11)$,这样的单位和权值可以根据实际的情况进行调整,以获得最佳的实验效果.

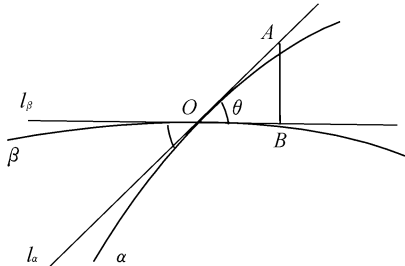


图 4 2条相交弧的交点切线图
Fig 4 The tangent diagram of the intersection of two arcs

此外,还需要得到弧 与弧 的长度,假设声呐传感器到弧 的距离为 d_1 ,到弧 的距离为 d_2 ,声呐传感器的散射角为 θ ,弧 的长度 $s_1 = \frac{\theta}{180} \cdot d_1 \cdot r$.

弧 的长度 $s_2 = \frac{\theta}{180} \cdot d_2 \cdot r$, 为需要考虑的阈值,那么把 表示为式 (2),只有 达到了阈值要求的交点才值得考虑.

$$w_i = \frac{2(AB + OB)}{s_1 + s_2} \cdot \frac{360(\sin \theta + \tan \theta)}{\theta \cdot \sin \theta \cdot \tan \theta \cdot (d_1 + d_2)} \cdot r \quad (2)$$

式中: $30^\circ \sim 90^\circ$ 这里的 取值如果过小对于实验是没有意义的,如果出现了较小的 值,在绝大多数的情况下是因为移动机器人探测到了一段连续的障碍物,而不是所期望的通道口或者拐角环境.在加入权值后,经过实验多次证明,发现夹角 的适当变化有利于提高判断狭窄环境的精确度.

在 ATM方法中,对于求弧间距的中值并没有给出一个具体的方法.本文提出以下方法来获取弧间距的中值,并求得障碍点近似位置.

如图 5所示,假设在弧 x的交点簇中存在有效的 A、B、C、D 4个交点.先取最左边相邻的 2个点 A、B,对其分别作切线,2条切线必定相交于一点 E,然后把 AE和 BE连接起来.从顶点 E作一条垂直于线段 AB的直线,交弧 x于点 F,点 F即为弧 AB的中值点.然后再取 B、C 2个相邻交点,重复以上过程,直到交点簇中所有的相邻交点都被处理完毕,最后将得到 3个中值点,对这 3个点求平均值作为障碍点在弧 x上的近似位置.

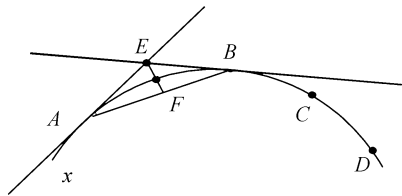


图 5 求障碍点的中值图
Fig 5 Obstacle median

2 实验结果与分析

实验中所使用的 MORCS-2移动机器人配备了里程仪、电子罗盘以及 8个声呐,机器人通过里程仪与电子罗盘实现自身的定位,并通过声呐获取障碍物信息,MORCS-2机器人的声呐传感器精确度为 1 cm,声呐探测范围为 10 ~ 400 cm,在实验中构造的探测环境为 4 m ×6 m的区域,MORCS-2机器人提供了应用于 Windows的 C语言开发环境与数据接口,实验主程序为 VC++编写.

通过实验对本文所提出的方法进行了验证,实验结果如图 6~9所示.经比较发现,移动机器人在探测狭窄通道口时,应用了改进算法后的方法所获得的地图,比原有的普通探测算法以及 ATM方法所获得地图精度都要好.

由于普通探测方法没有声呐弧交点的引入,所以在表 1中,本文仅对 ATM方法与改进 ATM方法进行数据对比,其中表 1中的数据为 10次实验的平均数据.从表 1可以看出,在一定基数的障碍点的情

况下,有效的横切线交点越多,对于通道口处的障碍点的定位就越准确.

表 1 ATM 方法与改进方法的狭窄通道口探测精度比较
Table 1 The comparison of narrow passageway's detection accuracy between the ATM method and the improving method

算法	障碍点数	声呐弧横切线交点总数	有效横切线交点数	比值 (有效交点数 : 交点总数) / %
ATM方法	1 571	6 028	4 291	71. 2
改进 ATM方法	1 766	5 994	5 172	86. 3

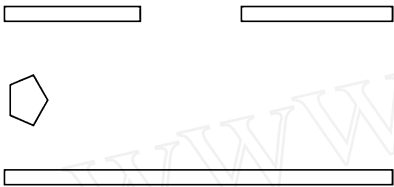


图 6 实验环境示意图

Fig 6 Sketch map of experimental environment

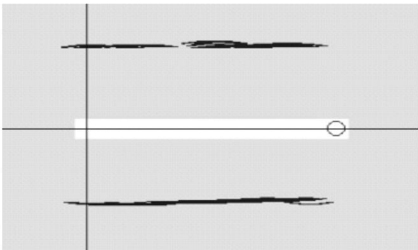


图 7 普通探测方法的实验结果图

Fig 7 The experimental results of the common method

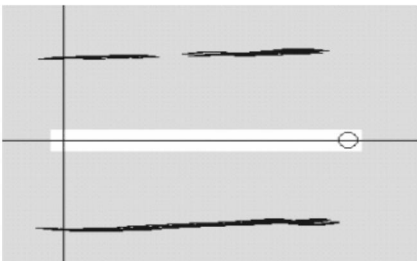


图 8 ATM方法的实验结果图

Fig 8 The experimental results of the ATM method

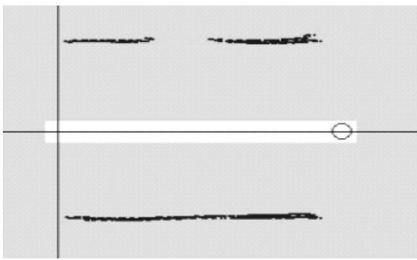


图 9 改进探测方法的实验结果图

Fig 9 The experimental results of the improving method

3 结束语

综上所述,本文针对较远处狭窄环境提高探测精度的方法,对声呐传感器的精度要求不高.通过理论分析,引入权值后,对数据的采集与选择有了更好的控制,使得计算量相对于 ATM方法要小,在探测实际外部环境的过程中,有着较好的实时地图创建效率和较高的精确性.进一步的研究重点是将多传感器所采集的环境信息进行融合,通过分析不同数据特性的环境信息将能更好地提高地图创建的精确性.

参考文献:

[1] 蔡自兴, 贺汉根, 陈虹. 未知环境中移动机器人导航控制研究的若干问题 [J]. 控制与决策, 2002, 17 (4): 385-390.
CAI Zixing, HE Hangen, CHEN Hong. Some issues for mobile robots navigation under unknown environments [J]. Control and Decision, 2002, 17 (4): 385-390.

[2] CHONG K S, KLEEMAN L. Mobile-robot map building from an advanced sonar array and accurate odometry [J]. International Journal of Robotics Research, 1999, 18 (1): 20-36.

[3] 汪卫华, 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.
WANG Weihua, CHEN Weidong, XI Yugeng. Uncertainty sensor information processing in map building of mobile robot [J]. Acta Automatica Sinica, 2003, 29 (2): 267-274.

[4] 王璐, 蔡自兴. 未知环境中移动机器人并发建图与定位 (CML) 的研究进展 [J]. 机器人, 2004, 26 (4): 380-384.
WANG Lu, CAI Zixing. Progress of CML for mobile robots in unknown environments [J]. Robot, 2004, 26 (4): 380-384.

[5] 高丽华, 房芳, 马旭东. 一种基于声呐信息的移动机器人地图创建方法 [J]. 制造业自动化, 2006, 28 (11): 33-35, 65.
GAO Lihua, FANG Fang, MA Xudong. A sonar-based map building approach for mobile robot [J]. Manufacturing Automation, 2006, 28 (11): 33-35, 65.

[6] CHOSSET 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.

[7] 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.
LIU Nianqing, ZHOU Guangning, CHEN Zonghai. A new approach of precise environmental modeling based on multiple ultrasonic sensors [J]. Robot, 2005, 27 (3): 261-266.

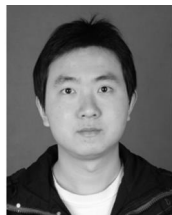
[8] LEONARD J J, MORAN B A, COX I J. Underwater sonar data fusion using an efficient multiple hypothesis algorithm

[C]//IEEE Int Conf on Robotics and Automation [S 1], 1995: 2995-3002.

[9]BURGARD W, CREMERS A B, FOX D. Experiences with an interactive museum tour-guide robot[J]. Artificial Intelligence, 1999, 114 (1-2): 3-55.

[10]CASTELLANOS J A, MONTIEL J M M, NERA J. The SPmap: a probabilistic framework for simultaneous localization and map building[J]. IEEE Transactions on Robotics and Automation, 1999, 15 (5): 948-953.

作者简介:

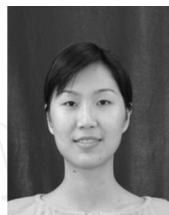


李润伟,男,1979年生,硕士研究生,主要研究方向为人工智能、移动机器人导航、移动机器人地图创建。



蔡自兴,男,1938年生,教授,博士生导师,纽约科学院院士,主要研究方向为人工智能、机器人学、智能控制等。1985年,在国际上首创机器人规划专家系统,1986年,在国际上首次提出智能控制的四元交集理论,1989年,提出智能控制科学体系的初步框架。获科教奖励

30余项,其中国家级奖励 2 项,省部级奖励 20 余项。发表学术论文 500 多篇,出版专著和教材 26 部。



童宇,女,1980年生,讲师,主要研究方向为人工智能、移动机器人导航、数字图像处理,发表学术论文 3 篇。

2008 International Symposium on Computational Intelligence and Design (ISCID 2008)

2008 国际计算智能与设计研讨会

2008 International Symposium on Computational Intelligence and Design (ISCID 2008) will be held on 17 ~ 18 October, 2008 in Wuhan, China. It provides two day's focus on the science and technology that are the basis for the computational intelligence and design. The theme of the plenary session is "Computational intelligence and design" featuring invited speakers who will further explore this topic that is so significant for this fields. Concurrent sessions and a poster session will cover a wide range of topics and issues, including both contributed papers and special sessions developed on specific themes, all with a central focus of CI and Design.

This conference provides an idea-exchange and discussion platform for the world's engineers and academia, where internationally recognized researches and practitioners share cutting-edge information, address the hottest issue in computational intelligence and design, explore new technologies, exchange and build upon ideas. And provide researchers and practitioners interested in new information technologies an opportunity to highlight innovative research directions, novel applications, and a growing number of relationships between rough sets and such areas as computational intelligence, knowledge discovery and data mining, intelligent information systems, web mining, synthesis and analysis of complex objects, non-conventional models of computation and design.

The conference proceedings will be published by IEEE Computer Society, all papers accepted will be included in IEEE Xplore and cited by EICompindex. Selected 30 ~ 50 papers will be recommended to publish in EICompindex journal, but the author also need to give a presentation in the conference.

Website: <http://www.iscid08.org/index.html>