

一种基于声纳信息的地图创建方法

刘利枚^{1,2}, 蔡自兴¹, 潘 薇¹

(1. 中南大学信息科学与工程学院智能系统与智能软件研究所, 长沙 410083; 2. 湖南商学院计算机与电子工程学院, 长沙 410205)

摘 要: 地图创建是实现机器人在未知环境中自主导航的关键。该文对移动机器人在地图创建中所收集的不确定传感信息进行研究, 分析声纳传感器的散射和镜面反射特性, 提出一种改进的概率栅格的地图创建方法。该方法将距离信任因子引入到声纳传感器模型。利用该模型, 实现移动机器人的自主地图创建, 并有效地减少由于声纳传感器所引起的不确定性。通过机器人平台上进行的实验表明该方法的有效性。

关键词: 地图创建; 不确定信息; 移动机器人; 声纳传感器; 距离信任因子

Map Building Method Based on Sonar Information

LIU Li-mei^{1,2}, CAI Zi-xing¹, PAN Wei¹

(1. Institute of Intelligent System and Software, College of Information Science and Engineering, Central South University, Changsha 410083;

2. College of Computer and Electronic Engineering, Hunan Business College, Changsha 410205)

【Abstract】 Map building is very important to accomplish autonomous navigation. This paper presents the research on the problem of uncertainty sensor information processing in map building of mobile robots, and especially focuses on the scattering and specular reflection of sonar. In this paper, an improved method based on probabilistic grid is proposed. This method introduces range confidence factor in ultrasonic model and is applied to autonomous map building of mobile robot. So uncertainty in sonar sensor responses can be successfully reduced. Experimental results in robots platform indicate that the model improves the performance of sonar sensors.

【Key words】 map building; uncertain information; mobile robot; sonar sensor; range confidence factor

1 概述

移动机器人在未知环境中的导航, 很大程度上依赖于机器人对未知环境的理解^[1-2]。机器人在行进的过程中, 需要收集大量的传感器信息(包括内部和外部传感器), 然后将这些信息正确地融合到环境的模型中。其中, 应用非常成功的环境模型(即地图的构建)是占据栅格模型(occupancy grid map), 它最早由 H.P. Moravec 和 A. Elfes 于 1985 年提出^[3]。在地图创建的研究中, 后续的学者在占据栅格的基础上, 陆续提出了具有代表性的 3 种用于描述和处理声纳传感器不确定信息的方法: 模糊逻辑^[4], 概率方法^[5]和 D-S(Dempster-Shafer)证据理论^[6]。其中, 概率方法对各栅格单元给出其为障碍物占有的概率, 根据 Bayes 方法则进行信息融合; 其中, 模糊逻辑方法通过定义模糊集表示环境中的空与非空区域, 对各栅格单元根据测量结果计算相应的隶属度; D-S 证据理论是根据证据来计算栅格中信息的可信度。对于模糊逻辑和概率方法, 文献[7]表明: 基于概率的方法产生的地图精确度较高, 轮廓清楚, 但对错误信息过于敏感, 误判率高。而模糊逻辑方法则有较高的鲁棒性, 在信息不确定程度高时仍然稳定, 但精确度低, 产生的地图不太清晰。而 D-S 理论相对来说思想和概率方法类似, 但复杂度高些, 计算量大。因此, 本文采用了概率栅格进行机器人的地图创建, 并将距离因子 RCF 引入到了该概率模型中, 有效地减少了镜面反射和散射造成的误差。

2 声纳传感器的不确定信息描述

声纳测距的原理比较简单, 一般采用渡越时间法, 在比较理想的条件下, 声纳的探测精度根据以上测量原理令人满

意, 然而在真实环境中, 测距结果存在很大不确定性, 表现在声纳传感器的散射角、镜面反射和声纳之间的相互干扰。本文考虑散射角和镜面发射对测量数据的不确定性。

2.1 声纳传感器的散射

声纳发射的声波有一个散射角, 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。根据声纳测距随障碍物的远近和声纳散射角之间的关系, 创建了 2 个不确定函数^[7], 函数的表达式如下:

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

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

其中, θ 表示被测点(x, y)相对于声纳中轴的夹角; ρ 表示被测点与声纳间的距离; ρ_v 是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。

2.2 声纳传感器的镜面反射

在特定的角度下, 发出的声波被光滑的物体镜面反射出去, 因此, 无法产生回波, 而是被弹射到其他方向, 这时声纳传感器会忽视这个物体的存在或者产生一个比实际距离大的距离数据^[8]。

基金项目: 国家“973”计划基金资助项目(A1420060159)

作者简介: 刘利枚(1975-), 女, 博士研究生, 主研方向: 人工智能; 蔡自兴, 教授、博士生导师、纽约科学院院士; 潘薇, 博士研究生

收稿日期: 2008-11-10 **E-mail:** seagullm@163.com

3 改进的概率栅格的地图创建

由 H.P. Moravec 和 A. Elfes 于 1985 年提出的占据栅格的地图创建, 将机器人工作环境, 离散化为 $m \times n$ 个相同大小的矩形栅格集合, 每个栅格以 C_{ij} 表示, 这样 U 可写为: $U = \{C_{ij} | i \in [1, m], j \in [1, n]\}$ 。

对于 C_{ij} , $P(C_{ij}) \in [0, 1]$ 。其中, $P(C_{ij}) = 0$ 表示该栅格肯定不存在障碍物, $P(C_{ij}) = 1$ 表示该栅格肯定存在障碍物, 介于两者之间的数值就表示为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:

$$P(C_{ij}) = \begin{cases} 0.5 \times (1 - \lambda) & 0 \leq \rho \leq r - 2dr \\ 0.5 \times (1 - \lambda(2 + \frac{\rho - r}{dr})^2) & r - 2dr < \rho \leq r - dr \\ 0.5 \times \lambda(1 - (\frac{r - \rho}{dr})^2) & r - dr < \rho < r + dr \\ 0.5 & \rho \geq r + dr \end{cases} \quad (3)$$

其中, ρ 为 C_{ij} 和声纳间的距离; θ 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; $\lambda = f(\theta) \times f(\rho)$ (参考声纳测量的不确定函数)。从该模型公式中可以看到, 声纳测量数据与概率值描述的栅格地图间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。

但该模型主要考虑的因素是声纳传感器的散射特性, 对镜面的特性没有过多的考虑, 在文献[9]中所讨论的距离信任因子(RCF)在减少由镜面反射引起的测距不准确方面有一定的效果。因此, 本文将距离信任因子应用到超声波传感器的概率模型中, 用来解决镜面反射问题, 距离信任因子 RCF 被定义为

当 $R > R_{\max}$ 时:

$$RCF = RCF_{\min} = \frac{R_{th}}{R_{th} + 1} \quad (4)$$

当 $R \leq R_{\max}$ 时:

$$RCF = \frac{\left(\frac{R_{\max} - R}{R_{\max}}\right)^{\tau} + R_{th}}{1 + R_{th}} \quad (5)$$

其中, R 为距离响应; τ 为 RCF 的控制常数反映了传感器对镜面反射信号的敏感性; R_{th} 为对于 R 的一个门限值; R_{\max} 是距离影响因子中 R 的最大值; R_{\min} 是距离影响因子中 R 的最小值。将距离信任因子应用到概率式(3)中, 化简得到式(6):

$$P(C_{ij}) = \begin{cases} 1 - RCF \times 0.5 \times (1 + \lambda) & 0 \leq \rho \leq r - 2dr \\ 1 - RCF \times 0.5 \times (1 + \lambda(2 + \frac{\rho - r}{dr})^2) & r - 2dr < \rho \leq r - dr \\ RCF \times 0.5 \times \lambda(1 - (\frac{r - \rho}{dr})^2) & r - dr < \rho < r + dr \\ 0.5 & \rho \geq r + dr \end{cases} \quad (6)$$

利用式(6), 可以得到声纳传感器测量区域中所有栅格存在障碍物的概率。

4 实验方案和结果

实验采用自行改造的 MORCS II 机器人在室内完成。该移动机器人配备有 1 个里程仪、1 个电子罗盘和 8 个声纳。该声纳传感器的精确度为 1 cm, 声纳探测范围在 10 cm~300 cm 之间, 最大的散射角为 12.5°。图 1 所示的实验环境

为 3 m × 3 m, 中间的通道间距为 1.5 m。

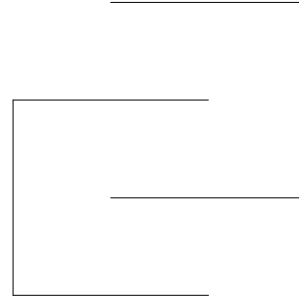


图 1 实验环境示意图

作为对比研究, 图 2 的是未改进的机器人在线建图, 即所用的声纳传感器没有引入距离信任因子。图 3 采用了本文所提出的方法, 在这里 RCF 的参数取为: $\tau = 0.5$, $RCF_{\min} = 0.1$, 相应的 $R_{th} = 1/9$, R_{\max} 取声纳传感器的最大量程 3 m。

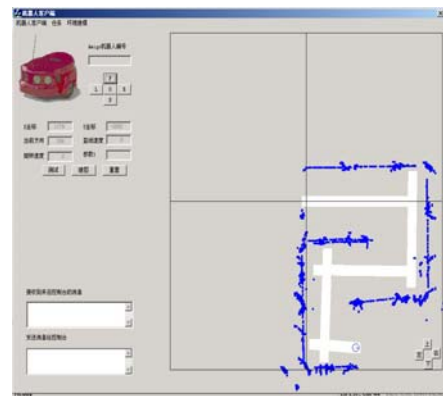


图 2 未改进的机器人在线建图

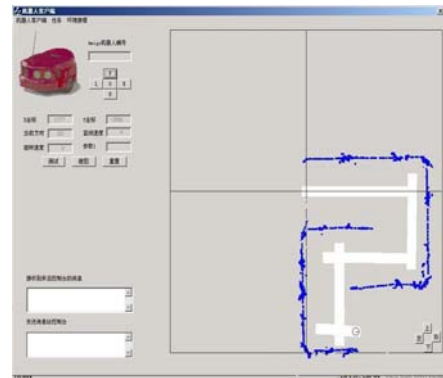


图 3 改进的机器人在线建图

图 2、图 3 左边均为机器人的控制平台, 主要控制机器人的运动方向和实时显示机器人坐标和朝向。该实验中机器人的起始坐标为 (0, 0)。右边是机器人的在线建图, 其中, 白色为机器人的运动轨迹, 其右下角圆圈代表运动的机器人。为了显示的清晰, 本文建图程序中所采用的栅格大小为 1 mm × 1 mm, 并且只有概率大于 0.7 的栅格才在图中显示出来。

在上述的实验结果中可以看出, 在基于概率的地图创建过程中, 传感器模型对不准确的距离信息具有不敏感性, 因而产生了大量的无效数据, 尤其在拐角的地方。因为在拐角处, 声纳传感器的镜面反射非常明显。新方法对一些大距离的数据很好地进行了剔除, 尤其在拐角的地方效果更加明显, 从而提高了机器人认识周围环境的准确度。

(下转第 185 页)