

基于激光传感器的移动机器人地图的创建^①

郭 芙, 谭建豪

(湖南大学 电气与信息工程学院, 长沙 410082)

摘 要: 未知环境下地图的建立, 是移动机器人导航技术的关键。研究了室内环境地图的创建方法, 探讨了室内环境特征直线提取方法, 详细论述了地图创建面临的问题与解决方法。采用 SICK 公司生产的 LMS100 激光传感器获取环境深度信息, 通过室内环境直线特征提取和局部到全局匹配的方法, 获得室内环境地图信息, 解决了里程计给机器人带来不确定误差。最后在机器人平台上进行实验, 得到了良好的效果。实验表明, 该方法具有实现容易、精确高、复杂度低等特点。

关键词: 移动机器人; 激光传感器; 直线特征; 室内环境地图; 地图建立

Robot Map Building Based on Laser Sensor

GUO Fu, TAN Jian-Hao

(College of Electrical and Information Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China)

Abstract: Map building in unknown environment maps is the key to mobile robot navigation. This paper studied the method of building indoor map, discussed the way of extracting the feature of indoor environment, as well as described the main problems of map building and solutions to them. To get the indoor map, we used LMS100 laser sensor of SICK to get the environment information, extracted environmental characteristics and matched local map and global map. By getting environment information, it is solve the problem of uncertainty error from odometry to robot. Then experiments are given to show reliability and practicality of the method.

Key words: mobile robot; laser rang finder; line feature; indoor map; map building

在大数情况下, 机器人所处的环境是未知的, 因此在未知环境下, 感知环境特征模型并确定自身的位置, 是移动机器人自主导航的前提与基础^[1]。机器人地图构建问题可以这样解释: 从任意位置开始, 一个移动机器人应该能够用它所带的传感器探索环境, 获得有关环境的知识, 解释场景, 构建合适的地图^[2]。在自主移动机器人领域, 环境地图的构建方法大致可以分为: 比例尺度图和拓扑图, 其中比例尺度图可以分为栅格地图和几何地图^[3,4]。基于线段特征的几何尺度地图建立法, 主要集中在机器人状态估计与环境地图描述方面^[5]。

本文利用激光传感器采取室内特定水平面环境信息, 将环境信息数据点, 经过滤波, 利用加权最小二乘法拟合直线, 以几何信息表示方法, 将直线特征形

式表示成 2D 区段。再将获得的局部地图与下一幅地图匹配, 获得全局地图。对于二维地图的构建技术主要集中于特征点的提取, 如点、线、圆及地图的更新^[6]。

1 激光传感器模型

1.1 激光测距原理

激光测距仪是一种基于 TOF(Time Of Flight)原理的高精度、高解析度的外部传感器, 不但具有更高的距离与角度分辨率, 而且具有极短的采样周期和较低的测量误差, 是当前移动机器人测距的主要手段。

LMS100 是 2D 激光测距传感器, 其结构简单, 测距速度快, 系统稳定可靠。激光测距仪一般采用两种方式来测量距离: 脉冲激光法和激光相位法。

① 基金项目: 湖南省自然科学基金(08JJ3132)

收稿时间 2010-12-05; 收到修改稿时间 2011-01-13

LMS100 采用的是脉冲激光测距,即用脉冲激光器向目标发射一系列很窄的光脉冲(脉冲宽度小于 50ns),光达到目标表面后部分被反射,通过测量光脉冲从发射到返回接收机的时间,可算出测距机与目标之间的距离 r 。

$$r = \frac{c \times TOF}{2} \quad (1)$$

其中 c 为光速, $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ 。

激光扫描环境水平位置获得的数据默认以极坐标表示 $S_n = (r_n, \rho_n)^T$, $n = 1, 2, 3 \dots N$; 转换到笛卡尔坐标系如下(N 为扫描数据点的个数,等于 361 或 181, 分别对应角度分辨率 $0.5^\circ, 1^\circ$)。

$$dix = r_n * \cos(\rho_n) \quad (2)$$

$$diy = r_n * \sin(\rho_n) \quad (3)$$

如图所示,图 1 为德国 SICK 公司生产的 LMS100 激光传感器,图 2 为采集的数据标定在笛卡尔坐标系。

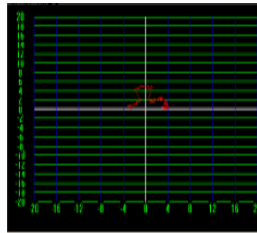


图 1 LMS100 激光传感器 图 2 坐标标定

1.2 激光传感器通信协议

LMS100 可采用以太网和 RS-232 两种通信协议。本文采用 RS-232 与计算机进行通信。

1) RS-232 通信协议

RS-232 是 PC 机与通信工业中应用最广泛的一种串行接口,它是一种在低速率串行通讯中增加通讯距离的单端标准。它传输的距离比较短,常用的速率有 300, 1200, 9600, 57600kb/s。它采取不平衡传输方式,即单端通讯。

2) 激光传感器数据格式、传输方式。

①激光传感器基本设置;通信串口为串口 1, 波特率为 57600, 8 个数据位。

②获得数据;激光收发数据都是以指令的形式与其计算机进行通信。最大测量值为 20 米,根据激光扫描的角度和角分辨率,获得的数据的个数也是不相同的。例如,激光扫描的角度为 0-180 度,角分辨率为

0.5HZ, 总共可获得数据为 361 个。

3) 通过代码实现激光与计算机之间的通信。

2 室内环境地图的创建

环境地图的建立分为两种,环境局部地图及全局地图。根据未知环境的地图实现对移动机器人的定位与导航已有很多成功实例^[7,8]。从激光传感器获得的一系列有序的数据对环境特征中圆边弧,尖角弧的表示并不理想,产生这种误差不仅包括传感器自身的误差,如数据传输速率漂移,不同的物体表面对激光传感器的反射率不同,及激光光束入角及混合像素现象的特性。同时机器人在前进的过程中本体的移动也会对激光传感器造成影响。所以在地图的创建过程中,对获得的数据必须采取正确的校正措施,以达到良好的效果,更加接近于实际环境特征。

2.1 局部地图创建

1) 机器人坐标系转换

为了描述机器人本身各关节之间,机器人和环境之间的运动关系,通常将它们当成刚体,研究各刚体之间的运动关系^[9]。如图 3 所示, (x_0, y_0) 为机器人在 $x-y$ 坐标系下(局部坐标系)的初始坐标点, (x'_1, y'_1) 为障碍物在 $x'-y'$ (机器人自身坐标系)坐标系下坐标点。 $x''-y''$ 为在全局坐标系, θ 为机器人与 x 轴的夹角。将 (x'_1, y'_1) 障碍物在全局坐标系表示如(4)-(5)式。

$$x''_1 = x_0 + x'_1 \sin(\theta - \delta) + y'_1 \cos(\theta - \delta) \quad (4)$$

$$y''_1 = y_0 - x'_1 \sin(\theta - \delta) + y'_1 \sin(\theta - \delta) \quad (5)$$

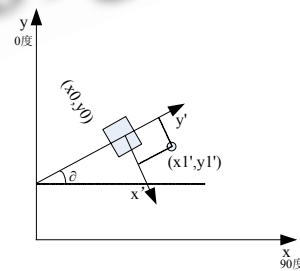


图 3 局部坐标系与全局坐标系的关系图

2) 特征直线提取

对于二维地图的构建主要集中于对点、线段的特征提取。特征提取的方法很多,如采用 Hough 变换^[2]的方法进行直线的提取,但由于 Hough 变换要求对数据进行大量的计算,很难保证实时性的要求。同时也有采用简单的点簇聚类 and 分段的方法^[2]直接对原始数

据提取,这种方法虽然简单明了,但忽略了在实际环境中由于噪声的影响,原始数据的不确定性。本文利用激光传感器获得离散的数据点,把数据点按照连续两点间的距离大小分隔成彼此不连通的区域,然后将这些区域分隔为可以用线段特征表示的线性区域,最后采用最小二乘线段拟合方法得到线段的参数^[10],通过实验可以看出该方法的有效性。

A 聚类分割

首先根据大量的实验,设定区域阈值 Δ 。将所有获得的数据根据区域阈值分类,好分割成不同的区域 $R_i(i=1,2,3,\dots,n)$,每个区域中包含一系列的点 $((x_0,y_0),\dots,(x_j,y_j))$,其中 (x_0,y_0) 为这个区域的起始点, (x_j,y_j) 为结束点。考虑到对数据点采集的密集度在不同的位置也不一样,对于距离较远的数据点,选取的阈值可能要大于 Δ 。为了获得较为准确的分割效果,减少错误的划分,采用了动态阈值的方法。扫描点到激光测距仪中心的距离小于等于 L ,选取的阈值为 Δ_1 ,如果扫描点到激光测距仪中心的距离大于 L 且小于 $2L$,选取的阈值为 Δ_2 。同时对于一些区域如果只有几个数据点,视为噪声应当舍弃。这样加快了算法的快速性,同时也保证了算法的正确性。

B 线段拟合

经过聚类分割后,在每个区域中获得最重要的特征参数,如线段的起点与终点等信息。再根据几何原理可知两点确定一条直线,进行线段的拟合,如图 4 所示:

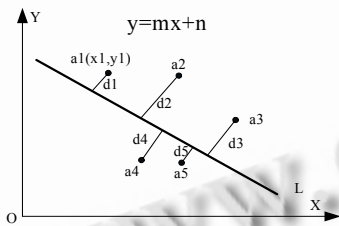


图 4 最小二乘线段拟合算法

d_i 为点 $a_i(x_i, y_i)$ 到线段的距离,最小二乘线段拟合算法就是求最优 (m, n) ,所有点到线段的距离的平方和最小。

$$d_i = \sum_{j=1}^k (y_i - mx_i - n)^2 \quad (6)$$

当 d_i 最小时,用 d_i 分别对 m, n 求偏导数,令这两个偏导数等于零。

$$\frac{\partial d_i}{\partial n} = \sum_{j=1}^k (y_i - mx_i - n) = 0 \quad (7)$$

$$\frac{\partial d_i}{\partial m} = \sum_{j=1}^k y_i x_i - m \sum_{j=1}^k x_i^2 - n \sum_{j=1}^k x_i = 0 \quad (8)$$

得 m, n 最优解分别为:

$$m = \frac{k \sum_{j=1}^k x_i y_i - \sum_{j=1}^k x_i \sum_{j=1}^k y_i}{k \sum_{j=1}^k x_i^2 - (\sum_{j=1}^k x_i)^2} \quad (9)$$

$$n = \frac{\sum_{j=1}^k y_i - m \sum_{j=1}^k x_i}{k} \quad (10)$$

对真实实验环境采集数据点信息,拟合直线如图 5 所示:



图 5 实验条件下拟合直线结果

2.2 全局地图创建

完成局部创建后,将下一个局部地图与当前地图进行数据匹配,即比较更新后的局部地图和当前全局地图的线段关系,把局部地图的数据融合到当前全局地图中,完成地图更新,得到全局地图。地图更新的关键问题在于解决全局地图与局部地图中的线段相关性^[11]。如图 6 所示,实线代表为全局地图中的线段,虚线为局部地图中的线段,分为四种情况,L1、L2 与 L 分别重合,部分重合。L3 与 L1 相交,L4 不在全局地图中。

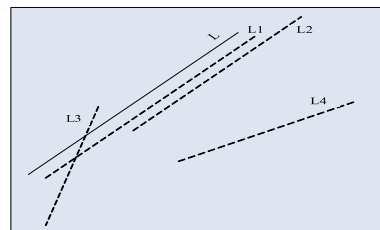


图 6 局部线段与全局线段

具体算法如下:

- ① 根据线段的判定方法可以将局部地图中的线段分为与全局地图相关的线段和全局地图不相关的线段;
- ② 如果局部地图中的线段与全局地图的线段是同一条线段,就直接把局部地图中的线段删去,保留

全局地图的线段;

③ 如果局部地图中的线段是全局地图的线段的一部分, 就直接把局部地图中的线段删去, 保留全局地图的线段;

④ 局部地图中的线段与全局地图相关线段是部分重合的, 需要重新计算线段的参数, 取出局部地图和全局地图相关线段的原始数据信息得到一条新的线段加入到全局地图中, 同时删除全局地图和局部地图中原来的线段;

⑤ 如果局部地图中的线段和全局地图中的线段不相关可以直接把局部地图的线段插入到全局地图中, 同时从局部地图中将该线段删除。重复以上步骤, 直至局部地图中的线段为空, 这样就完成了局部地图到全局地图的融合, 更新了全局地图。

3 实验结果

从激光传感器采集 0-180 度范围数据, 角分辨率为 0.5 度, 实验环境为学校实验室。实验过程中先将采集到的点拟合生成直线, 生成局部地图, 再通过局部地图的融合, 得到全局地图。图 7-8 中分别是生成的局部地图与全局地图。

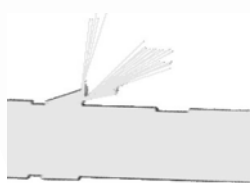


图 7 局部地图(1)



图 7 局部地图(2)



图 7 局部地图(3)



图 8 全局地图

实验结果分析: 对于地图的创建, EKF 方法^[1]将机器人的位姿向量和环境特征向量组织在一个高维状态向量中, 用扩展 Kalman 滤波作最小均方差估计。移动机器人通过外部传感器观测环境特征, 用 EKF 估计状态变量和协方差矩阵, 经过预测和更新实现地图的创建。但其面临的问题实时性, 即在状态的更新过程中, 计算协方差矩阵产生的计算复杂性。Particle 滤波方法^[1], 以样本集合的方法逼近概率分布, 它能比较精确地表达基于观测量和控制量的后验概率分布。目

前主要应用研究在室外环境下的定位与地图创建。它对于高维状态空间, 样本数很大, 对计算机硬件的要求很高。本文分析了数据的不确定性, 通过可变阈值滤波, 结合了环境特征采用最小二乘拟合直线, 从局部到全局的匹配, 大大的降低了算法的复杂度, 可应用于简单室内场所。

4 结论

移动机器人在未知环境中, 环境地图是实现移动机器人自主的导航的先决条件。能否建立精确的环境特征图, 也是研究移动机器人的一个热门领域^[12]。本文提出了从激光传感器中获取真实数据, 再通过最小二乘法提出线段特征生成局部地图, 再由局部地图匹配全局地图的算法。实验验证了该算法可以完成机器人全局地图的构建, 如何进一步减少圆弧物体及动态物体的影响是下一步研究工作的重点。

参考文献

- 1 迟健男,徐心和. 移动机器人即时定位与地图创建问题研究. 机器人, 2004, 26(1): 92-96.
- 2 任春明,张建勋. 基于激光传感器的机器人地图构建方法. 光电工程, 2008, 35(8): 83-87.
- 3 邓翔. 移动机器人同时定位与地图创建算法研究[硕士学位论文]. 南京: 南京理工大学, 2008.
- 4 Wang BF, Cui SG, Zhao L, Yang GH, Xu XL. Mobile robot map building based on grid arrangement. Artificial Intelligence and Computational Intelligence, 2009. 288-291.
- 5 李磊民, 韩明, 黄玉清, 徐立. 基于线段特征匹配的地图创建. Intelligent Control and Automation, 2010. 6125-6129.
- 6 Zhang L, Ghosh BK. Line Segment Based Map Building and Localization Using 2D Laser Rangefinder. Robotics and Automation. 2000, 3: 2538-2543.
- 7 Guivant J, Nebot E, Baiker S. Autonomous navigation and map building using laser range sensors in outdoor applications. Robotic Systems, 2000, 17: 585-583.
- 8 郑宏, 王景川, 陈卫东. 基于地图的移动机器人自定位与导航系统. 机器人, 2007, 29(4): 297-401.
- 9 朱世强, 王宣银. 机器人技术及其应用. 杭州: 浙江大学出版社, 2001. 145-150.
- 10 Roman MJ, PfeuEil L. Building a 2D environment map from laser range-finder data. Intelligent Vehicles Symposium, 2000. 290-295.
- 11 汤晓. 基于激光测距仪的移动机器人同时定位和地图创建[硕士学位论文]. 济南: 山东大学, 2007.
- 12 Nagahara D, Takahashi S. Mobile robot control based on information of the scanning laser sensor. Advanced Motion Control. 2010. 28-261.