

# 基于路标的轮式机器人定位

谭永丽<sup>1,2</sup>, 方彦军<sup>2</sup>

(1. 湖北第二师范学院 机械与电气工程系, 武汉 430205; 2. 武汉大学 动力与机械学院, 武汉 430072)

**摘要:** 基于路标的轮式机器人定位是机器人导航系统研究的热点问题, 本文阐述了扩展卡尔曼滤波定位算法, 该算法将机器人的内部传感器里程计和外部传感器激光传感器所提供的数据融合后对机器人的位姿修正, 进行准确定位。对该算法编写的仿真程序实验结果表明, 该定位系统具有较高的精度, 有效地保证了机器人的正确航向。

**关键词:** 轮式机器人; 定位; 激光传感器

**中图分类号:** TP24      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1674-344X(2011)02-0104-03

**基金项目:** 湖北第二师范学院青年课题(2008C022); 湖北第二师范学院青年课题(2010C012)

**作者简介:** 谭永丽(1973-), 女, 讲师, 博士生, 研究方向为多机器人系统的协作及其智能控制方面。

方彦军(1957-), 男, 福建福州人, 教授, 博士研究生导师, 博士, 研究方向为计算机控制技术、多机器人系统、现场总线控制技术、检测技术与仪表。

## 1 引言

移动机器人依靠导航系统到达指定位置, 导航系统涉及到四个模块: 感知、定位、认知和运动控制, 其中定位一直是研究的热点。机器人自主定位<sup>[1]</sup>是利用先验环境地图信息、机器人位姿的当前估计及传感器的观测值等输入信息, 经过一定的处理和变换, 产生更加准确地对机器人当前位姿的估计。定位中使用的传感器按功能可以分为内部传感器和外部传感器。内部传感器用于测量机器人的内部值如速度、航向角, 借此估计出机器人当前的位姿。常用的有编码器、里程计和惯性导航仪等。<sup>[2,3]</sup> 外部传感器从机器人的环境中获取信息, 如距离。常用的外部传感器有超声传感器、激光测距仪、视觉传感器等。<sup>[4]</sup> 这些传感器和机器人的执行器在运行过程中往往会带来测量和执行误差, 使得机器人偏离预定航线, 因而需要定位算法, 修正机器人估计的当前位姿。本文阐述了扩展卡尔曼滤波定位算法, 该算法将里程计和激光传感器所提供的数据进行融合, 对机器人的位姿修正, 进行准确定位。

## 2 模型

### 2.1 机器人的运动学模型

本文研究的机器人采用双轮差动驱动, 对其运动进行分析, 建立起运动学模型。如图 1 所示, 为了确定机器人在平面中的位置, 我们给移动机器人建立了两个坐标系, 图中{ X<sub>n</sub>, Y<sub>n</sub>} 为世界坐标系, { X, Y} 为机器人的局部坐标系, 两坐标系之间的角度差由 θ 给定, O<sub>1</sub>X 为机器人前进方向。图 1 中机器人的运动学模型为:<sup>[5]</sup>

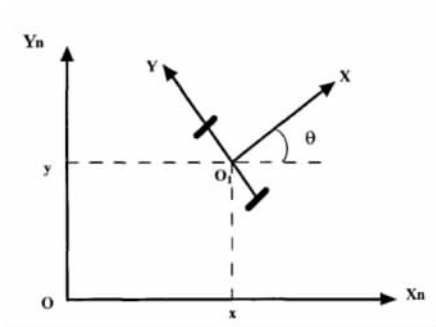


图 1 移动机器人的运动状况示意图

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{r\dot{\varphi}_1 + r\dot{\varphi}_2}{2} \\ \frac{r\dot{\varphi}_1 - r\dot{\varphi}_2}{2l} \\ \frac{r\dot{\varphi}_1}{2l} + \frac{r\dot{\varphi}_2}{2l} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式(1)中  $\dot{x}$  表示机器人沿世界坐标系 X<sub>n</sub> 轴运动的速度,  $\dot{y}$  表示沿世界坐标系 Y<sub>n</sub> 轴运动的速度,  $\dot{\theta}$  表示绕世界坐标系垂直轴旋转的角速度。  $\dot{\varphi}_1$ 、 $\dot{\varphi}_2$  分别为机器人左右两驱动轮的转动角速度, r 为两轮半径, l 为驱动轮距离两轮之间中点的距离。

### 2.2 里程计位姿估计模型<sup>[6]</sup>

机器人根据运动学模型, 借助于内部传感器里程计, 初步估计出当前的位姿, 这个估计值存在一定误差, 需要扩展卡尔曼滤波定位算法进行修正。

机器人位姿用向量表示为  $p = [x \ y \ \theta]^T$ , 其位姿由平面上的位置(x, y) 和航向角 θ 组成。位姿可以由所述方法估计得到, 即从一个已知位置开始, 对运动积分也就是对行走距离的增量求和, 从而得到位姿的估计值。

收稿日期: 2010-12-05

机器人控制系统是一个离散系统,具有固定的采样间隔 $\Delta t$ ,将方程(1)进行离散化,可以得到根据里程计估计出的机器人位姿的离散数学模型。

里程计的工作原理是根据安装在2个驱动轮电机上的光电编码器来检测车轮在一定时间内转过的弧度,进而推算出机器人相对位姿的变化。由光电编码器检测出机器人左右轮在采样间隔 $\Delta t$ 的移动距离分别为 $\Delta s_l$ 和 $\Delta s_r$ ,即分别对应于式(1)的 $\dot{r}\varphi_1$ 和 $\dot{r}\varphi_2$ ,则机器人在局部坐标系中移动的距离为 $\Delta s = \frac{\Delta s_r + \Delta s_l}{2}$ ,

转过的角度为 $\Delta\theta = \frac{\Delta s_r - \Delta s_l}{2l}$ ,对式(1)离散化可以得到根据里程计估计出的世界坐标系中机器人的位姿增量 $\Delta x = \Delta s \cos(\theta + \Delta\theta/2)$ ,  $\Delta y = \Delta s \sin(\theta + \Delta\theta/2)$  因此,机器人从 $K$ 时刻的位姿 $[x(k) \ y(k) \ \theta(k)]^T$ 运动,经过一个采样间隔时间后 $K+1$ 时刻的位姿为 $[x(k+1) \ y(k+1) \ \theta(k+1)]^T$ ,该位姿的估计表达式为:

$$\begin{bmatrix} x(k+1) \\ y(k+1) \\ \theta(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x(k) \\ y(k) \\ \theta(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta s \cos(\theta + \Delta\theta/2) \\ \Delta s \sin(\theta + \Delta\theta/2) \\ \Delta\theta \end{bmatrix} \quad (2)$$

根据公式(2)估计的位姿,只是实际位置的一个粗略的估计,存在一定误差,而且随着时间的增加,误差将越来越大,最终移动机器人将偏离自己的轨迹。照成误差的原因是多方面的;例如,机器人在斜坡路面上运行或平滑路面上运行或轮子打滑,执行器的最后执行效果会不同,而对于这部分又难以建模,就会带来执行器的误差。为了纠正误差,移动机器人需要利用激光雷达,对路标进行观测,修正自己的位置。

### 2.3 激光雷达观测模型<sup>[7]</sup>

图2表示移动机器人从路径上位置1前进到位置2时,激光雷达的扫描图。

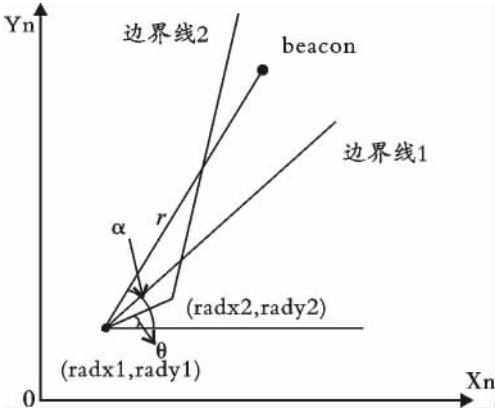


图2 移动机器人激光雷达扫描图

图2中 $\{X_n, Y_n\}$ 为世界坐标系, $\theta$ 为移动机器人在世界坐标系中的朝向角。移动机器人在0.1s时间内从位置1( $radx1, rady1$ )运动到位置2( $radx2, rady2$ ),激光雷达在位置1时从边界线1开始扫描,运动到位置2时扫描到边界线2,在此区间内离位置1最近的路标为观测到的路标,被测路标的坐标为 $z = (x_b, y_b)$ 。则激光雷

达返回的路标观测数据为 $(r, \alpha - \theta)$ :

$$r = \sqrt{(x_b - radx1)^2 + (y_b - rady1)^2} \quad (3)$$

$$\alpha - \theta = \arctan \frac{y_b - rady1}{x_b - radx1} - \theta \quad (4)$$

公式(3)中 $r$ 表示在机器人的局部坐标系中,路标距离机器人的距离,公式(4)中 $\alpha - \theta$ 表示移动机器人在位置1时,路标距离机器人运动方向的角度。

### 3 扩展卡尔曼滤波定位算法

机器人从已知位置出发,利用里程计及惯性导航仪可以保持对自身运动的跟踪。由于里程计误差的存在,移动几步后,机器人对其位置会变得不确定。机器人使用扩展卡尔曼滤波定位算法可以使自己相对环境地图定位,消除不确定性,否则,将会偏离预计路径。

扩展卡尔曼滤波定位算法可用下述流程图(3)说明。

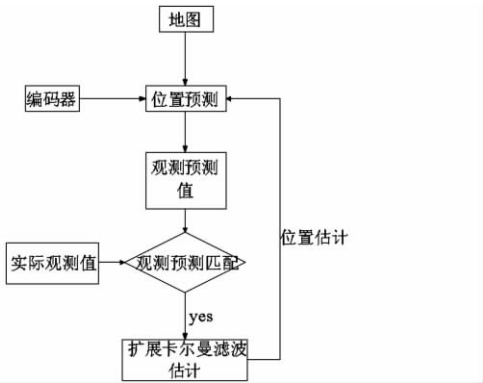


图3 扩展卡尔曼滤波定位算法流程图

流程图(3)中各步骤原理如下:

#### (1) 位置预测

根据移动机器人在 $k$ 步的位置 $\hat{p}(k|k)$ 和里程计的控制输入 $u(k)$ ,预测出机器人在世界坐标系中 $k+1$ 步的位置 $\hat{p}(k+1|k)$ 。

$$\hat{p}(k+1|k) = f(\hat{p}(k|k), u(k)) \quad (5)$$

公式(5)的具体表示形式为前面的公式(2)。

由式(5)预测的第 $k+1$ 步的位置存在误差,误差模型为式(6)。

$$\Sigma_p(k+1|k) = \nabla_p f \cdot \Sigma_p(k|k) \cdot \nabla_p f^T + \nabla_u f \cdot \Sigma_u(k) \cdot \nabla_u f^T \quad (6)$$

公式(6)中位置估计的协方差矩阵为 $\Sigma_p$ ,里程计输入的协方差矩阵为 $\Sigma_u$ , $f$ 的微分由一阶泰勒展开(线性化)合理地近似为 $\nabla_p f$

#### (2) 路标观测的预测值

利用预测的移动机器人位置 $\hat{p}(k+1|k)$ 和已知地图的路标 $z = (x_b, y_b)$ ,产生路标观测的预测值 $\hat{z}_i(k+1)$ ,该值表示在机器人的局部坐标系里。

$$\hat{z}_i(k+1) = h_i(z, \hat{p}(k+1|k)) \quad (7)$$

#### (3) 实际观测

激光雷达实际观测的原始路标数据为 $z_i(k+1)$ ,此数据可由前述2.3激光雷达观测模型的式(3)和式(4)获得。

#### (4) 观测预测匹配

对每一步观测,需要对路标的观测预测值与实际观测值进行匹配,通过一个阈值对比来决定观测预测值与实际观测值是否匹配。

$$v(k+1) = z(k+1) - \hat{z}(k+1) \quad (8)$$

$$\Sigma_p(k+1) = \nabla h \cdot \Sigma_p(k+1|k) \cdot \nabla h^T + \Sigma_R(k+1) \quad (9)$$

$$v^T(k+1) \cdot \Sigma_p^{-1}(k+1) \cdot v(k+1) \leq G \quad (10)$$

公式(8)中, $v(k+1)$ 是 $k+1$ 步预测观测值和实际观测值之间差别的度量,即修正。公式(9)中, $\Sigma_R(k+1)$ 表示实际观测值 $z_r(k+1)$ 的协方差(噪声)。 $\nabla h$ 为观测预测中的雅克比(Jacob)。 $\Sigma_p(k+1|k)$ 为位置预测的误差模型。 $\Sigma_{IN}(k+1)$ 为修正的协方差。公式(10)中, $G$ 为对比阈值,如果对于某一步观测满足上式,则认为匹配是成功的;否则,认为匹配失败,忽略该次预测观测值,检验下一个预测观测值的有效性。

#### (5) 更新

根据位置预测和在 $k+1$ 步的所有观测,按下式更新机器人的位置预测值 $\hat{p}(k+1|k)$ 得到更新后的位置预测值 $\hat{p}(k+1|k+1)$ 。

$$\hat{p}(k+1|k+1) = \hat{p}(k+1|k) + K(k+1) \cdot v(k+1) \quad (11)$$

$$K(k+1) = \Sigma_p(k+1|k) \cdot \nabla h^T \cdot \Sigma_{IN}^{-1}(k+1) \quad (12)$$

公式(12)是扩展卡尔曼增益的表达式,公式(11)是考虑到估计误差,修正后的机器人的真实位姿。

### 4 实验

根据上述算法,用matlab7.0对提出的定位系统进行了仿真试验。仿真试验中,实时输入机器人运行的路径和路标。仿真的结果如图(4)所示。图(4)中,路标用星形点表示,实线表示实际路径,虚线表示按扩展卡尔曼滤波定位算法更新后的路径。由图(4)可以看出,移动机器人的实际运动路径和按扩展卡尔曼滤波定位后得到的估计路径基本相符,表明该定位系统定位精度较高,具有较高的可靠性。

### 5 结论

本文阐明了将扩展卡尔曼滤波算法应用于有路标

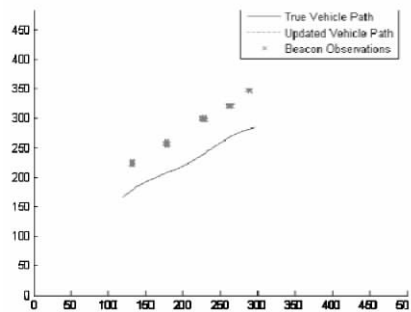


图4 路标,真实路径和更新后的路径

的移动机器人定位的方法并建立了机器人的运动学模型,里程计位姿估计模型和激光雷达观测模型。由于传感器和执行器的运行数据不可避免地存在偏差,利用数学模型对机器人的位姿估计就存在误差,随着时间的增加,误差将越来越大,最终移动机器人将偏离自己的轨迹,用扩展卡尔曼滤波算法,将里程计和激光雷达传感器采集的信息融合后对机器人的位姿修正,进行准确定位。仿真试验的结果表明,该定位系统具有较高的精度,有效地保证了机器人的正确航向。

#### 参考文献:

- [1] 李群明,熊蓉,褚健. 室内自主移动机器人定位方法研究综述[J]. 机器人,2003,25(6):560-573.
- [2] Thrun S. Bayesian landmark learning for mobile robot localization[J]. Machine Learning,1998,33(1):41-76.
- [3] Harries K D, Michael Recce. Absolute localization for a mobile robot using place cells[J]. Robotics and Autonomous Systems, 1997,22(3):393-406.
- [4] Drocut C, Delahoche L, Pegard C, et al. Mobile robot localization based on omnidirectional stereoscopic vision perception system[J]. Robotics and Automation, 1999, (2):1322-1328.
- [5] Roland Siegwart, Illah R. Nourbakhsh, 李人厚. Introduction to Autonomous Mobile Robots, 西安:西安交通大学出版社,2006.
- [6] 赵新华,曹作良. 可移动机器人的运动学模型与控制原理[J]. 机器人,1994,16(4):215-218.
- [7] 蔡则苏,洪炳镨,周浦城. 基于激光测距传感器的家庭机器人导航仿真[J]. 哈尔滨工业大学学报,2004,36(7):902-904.

## Wheeled Robot Localization Based on Signposts

TAN Yong-li<sup>1,2</sup>, Fang Yan-jun<sup>2</sup>

- (1. Department of Mechanical and Electrical Engineering, Hubei University of Education, Wuhan 430205, China;
2. Power and Mechanical College, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

**Abstract:** Wheeled robot localization based on signposts is the hot research issue of the robot navigation system. This paper illustrates the extended Kalman filtering localization algorithm. The algorithm fixed the robot pose after fuse the data provided by internal odometer sensor and external laser sensor. The simulation results of the algorithm show that the positioning system has higher precision and ensure the robot's right heading effectively.

**Key words:** wheeled robot; localization; laser sensor