

非完整移动机器人鲁棒运动规划

郭丙华

(肇庆学院 电子信息工程系, 广东 肇庆 526061)

摘要: 非完整移动机器人利用传感器可以解决不确定性模型和未知环境中的许多问题. 利用移动机器人上配备的传感器的信息组合提出了一种在线视点寻求算法, 结合移动机器人的运动方程和传感器的量测方程采用扩展Kalman估计来对移动机器人的位置进行修正, 以降低运动的不确定性, 从而得到一种鲁棒的规划算法, 仿真的结果证明了上述方法是行之有效的.

关键词: 非完整移动机器人; 传感器; 鲁棒运动规划

中图分类号: TP273 **文献标识码:** A

Robust motion planning for nonholonomic mobile robot

GUO Bing-hua

(Department of Electronics and Information Engineering, Zhaoqing University, Zhaoqing Guangdong 526061, China)

Abstract: Many of the difficulties of uncertain models and unknown environments can be overcome with the help of sensors for nonholonomic mobile robot. An algorithm of on-line viewpoint seeking and motion planning using the information of sensors is presented. This method adopts the extended kalman filter equation to update the positions of the mobile robot and reduces the uncertainty using the kinematics equation and sensor's measurement equation, and the algorithm was robust. The results of simulation illustrate the effectiveness of this method.

Keywords: nonholonomic mobile robot; sensor; robust motion planning

1 引言(Introduction)

非完整移动机器人在规划的过程中, 由于机器人的模型、控制和传感器存在着不确定性, 特别是移动机器人工作于闭环状态, 系统的状态重建时存在着积分误差等, 这些因数都会导致运动规划失败, 因而研究运动规划的鲁棒性是非常重要的. 目前已有的研究是在移动机器人运动的过程中, 针对存在的不确定性, 利用传感器的信息如图像传感器、超声波传感器、红外线传感器等来修正其位置, 采用的方法主要有信标校正和路标定位^[1]. 由于需要特殊路标, 因而其给规划带来了不方便. 在室外环境这种情况下, 路标的识别要有视觉图像传感器, 由于图像传感器的数据处理比较复杂, 而且完成数据处理的时间也比较长, 使其没有足够的时间来避开障碍物. 文[2]提出了一种在线视点, 其视点是通过反复求解

机器人的不确定性与障碍物不发生相碰而得到, 但其仅适用于已知的工作环境. 本文的目的是针对非完整移动机器人工作于未知的室内环境中, 在考虑移动机器人的不确定性的同时, 通过传感器在线确定下一时刻的视点, 以寻求一个鲁棒的运动规划算法.

2 不确定性模型(Uncertainty model)

假定非完整移动机器人采用两后轮独立驱动, 其结构如图1所示, 其中 P 点为后两轮之间的中点. 两后轮的角位移用旋转编码器测定, 参考移动机器人的运动方程^[3]

$$\begin{cases} \dot{x} = \nu_1 \cos \theta, \\ \dot{y} = \nu_1 \sin \theta, \\ \dot{\theta} = \nu_2. \end{cases} \quad (1)$$

假定采样时间为 Δt , 用一阶差分代替上述方程的导数, 将上述方程离散化, 则可以将其转化为如下方程:

$$\begin{cases} x_{k+1} = x_k + \frac{R\pi}{M_p}(m_k + n_k) \cos \theta_k, \\ y_{k+1} = y_k + \frac{R\pi}{M_p}(m_k + n_k) \sin \theta_k, \\ \theta_{k+1} = \theta_k + \frac{2R\pi}{M_p}(m_k - n_k)D. \end{cases} \quad (2)$$

其中: m_k, n_k 分别为采样时间内左、右轮的旋转编码器所测量出的脉冲个数, M_p 为轮子转动一周的脉冲个数, R, D 分别为轮子半径和两轮子之间的宽度. 若 W_n 为不确定性误差, 包括旋转编码器的测量误差、轮子半径的不确定性、滑动及其他未知的误差. 以 $\chi_k = (x_k, y_k, \theta_k)$, 则上式可表示为

$$\chi_{k+1} = f(\chi_k) + \frac{\Delta t^2}{2} f''(\chi_k) + W_n. \quad (3)$$

其中 $\frac{\Delta t^2}{2} f''(\chi_k)$ 为用差分代替导数所引起的截断误差.

假定 $\hat{\chi}_k$ 为 χ_k 的估计, 令 P_k 为其估计误差的方差, 即 $P_k = E[(\hat{\chi}_k - \chi_k)(\hat{\chi}_k - \chi_k)^T]$, 则有

$$P_{k+1} = A_k P_k A_k^T + \frac{\Delta t^2}{2} f''(\chi_k) + E[W_n W_n^T]. \quad (4)$$

其中

$$A_k = \frac{\partial f}{\partial \chi_k} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -\frac{R\pi}{M}(m_k + n_k) \sin \theta_k \\ 0 & 1 & \frac{R\pi}{M}(m_k + n_k) \cos \theta_k \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

必须注意的是, 为了降低不确定性测量误差 W_n , 采样时间应选择较大些, 但较大的采样时间将增大因差分替代导数带来的截断误差, 因此应合理地选择采样时间.

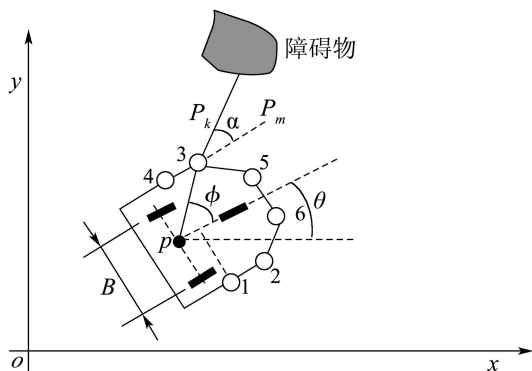


图1 轮式移动机器人示意图

Fig. 1 Wheel mobile robot

3 位置更新(Position updating)

非完整移动机器人在运动的过程中, 由于不确定性存在, 移动机器人在运动的过程中就有可能与障碍物相撞, 从而导致规划失败. 为了降低移动机器人运动过程中存在的不确定性, 必须对其位置进行修正, 为此利用移动机器人工作环境中的障碍物对其进行校正. 假定传感器对障碍物的量测方程为

$$Y_i = h_i(x_k) + W_k. \quad (5)$$

其中: $i = 1, 2, \dots, n$, n 为传感器的测量次数, W_k 为量测噪声. 若移动机器人检测到的障碍物的位置为 $P_m = (x_m, y_m)$, 该位置可以由安装在移动机器人上的传感器位置、安装角度和障碍物测量距离以及移动机器人的运动方程(1)求得, 由图1可以得到

$$\begin{cases} x_m = x_k + l \cos(\theta_k + \phi) + d_i \cos(\theta_k + \alpha), \\ y_m = y_k + l \sin(\theta_k + \phi) + d_i \sin(\theta_k + \alpha). \end{cases} \quad (6)$$

其中: l 为传感器至 P 点的长度, ϕ, θ 和 α 见图1所示. 结合方程(4)可以得到初步更新后的 $P_m = (x_m, y_m)$.

假定移动机器人当前的位置为 $P_k = (x_k, y_k, \theta_k)$, 则量测函数 $h_i(x_k)$ 可由下式确定:

$$h_i(x_k) = \sqrt{(x_k - x_m)^2 + (y_k - y_m)^2}. \quad (7)$$

由于方程(3) (5)均为非线性方程, 采用推广卡尔曼滤波器(EKF)对移动机器人的位置来进行位置更新^[5]. 通过上述位置更新, 可以将移动机器人的不确定性降到最低, 使其有利于完成其运动规划.

4 在线子视点寻求及鲁棒规划算法(Online subgoal search and robust planning algorithm)

移动机器人在其工作环境中规划的无碰撞自由轨线, 可以看作是由若干视点(目标点为最后一个视点)经光滑连接而成, 因此移动机器人必须在当前时刻确定下一时刻运动的视点, 而且两点连线不能与周围的障碍物相碰撞. 视点可以用两个参数来描述, 视点的方向角 $\Delta\theta$ 和视点的长度 Δs , 如图2的(a)所示. 考虑到移动机器人本身的惯性, 为了确保移动机器人有效地完成其运动规划, 在多障碍物区, Δs 应尽可能小, 而少或无障碍物区 Δs 应尽可能大. 视点的确定可以通过融合传感器的数据来求得, 假定移动机器人配备6个传感器, 其结构图可参考图1所示, 这样可以大致确定障碍物的形状和方位. 由于移动机器人的左、右和前方均配置了2个传感器, 其两个传感器的数据由方程(6)可以确定一条直线, 由此可以确定视点的方向角 $\Delta\theta$, 见图2的(a)所示, 几种特殊的视点如图2的(b)所示.

重, 当偏差超过阈值时, 移动机器人启动推广卡尔曼滤波器进行修正.

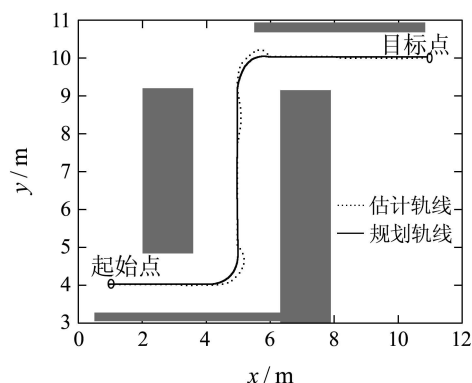


图4 运动轨线(阴影部分为障碍物)

Fig. 4 Motion path (parts of shadow are obstacles)

6 结论(Conclusions)

非完整移动机器人借助于传感器可以使其工作于未知的室内环境中, 但是由于移动机器人运动的不确定性, 包括模型的不确定性、轮子滑动、控制误差和传感器观测的不确定性误差, 可能会导致移动机器人与室内的障碍物相撞, 使运动规划失败. 本文利用移动机器人上6个传感器信息的组合提出了一种在线视点寻找算法, 利用移动机器人的运动方程和传感器的测量方程, 采用扩展Kalman估计来对移动机器人的位置进行修正, 得到一种鲁棒的规划算法, 该方法采用了一个不确定性误差的门限值来确保移动机器人稳定地跟踪规划的轨线, 仿真的结果证明了上述方法是行之有效的.

参考文献(References):

- [1] MORENO L, DAPENA E. Path quality measures for sensor-based motion planning[J]. *Robotics and Autonomous System*, 2003, 44(2): 131 – 150.
- [2] MOON I H, MIURA J, SHIRAI Y. On-line viewpoint and motion planning for efficient visual navigation under uncertainty[J]. *Robotics and Autonomous Systems*, 1999, 28(2/3): 237 – 248.
- [3] YIH C C, PAUL I RO. Time optimal trajectory for mobile robots with independent driven wheels[C] // *Proceedings of International Conference on Robots and Automation*. Minneapolis, Minnesota: [s.n.], 1996: 2943 – 2948.
- [4] SMITH R C, CHEESEMAN P. On the representation and estimation of spatial uncertainty[J]. *The International Journal of Robotics Research*, 1986, 5(4): 55 – 67.
- [5] SASIADEK J Z, WOJCIK P J. Design of a discrete Kalman filter for a tactile sensor in a feedback control system[J]. *The International Journal of Control*, 1987, 45(4): 1211 – 1228.
- [6] KANAYAMA Y, HARTMAN B I. Smooth local path planning for autonomous vehicle[C] // *Proceedings of International Conference on Robotics and Automation*. Scottsdale, Arizona: [s.n.], 1989: 1265 – 1270.
- [7] ZULLI R, FIERRO R, CONTE G, et al. Motion planning and control for nonholonomic mobile robots[C] // *Proceedings of International Conference on Robotics and Automation*. Aichi, Japan: [s.n.], 1995: 551 – 557.

作者简介:

郭丙华 (1966—), 男, 2003年在华南理工大学自动化科学与工程学院取得博士学位, 现为肇庆学院电子信息工程系副教授, 主要研究兴趣为非完整系统、移动机器人运动规划等, E-mail: gbh1@21cn.com.