

面向室内移动机器人的无迹滤波实时导航方法

霍成立, 谢凡, 秦世引

(北京航空航天大学 自动化科学与电气工程学院, 北京 100191)

摘要:根据轮式移动机器人室内自主漫游的目标要求和约束条件,提出了一种新的实时导航策略,利用UKF(unscented Kalman filter)算法对置顶相机和里程计获取的移动机器人位姿信息进行在线滤波,为实现移动机器人的室内自主漫游控制进行实时导航定位.实验结果表明,提出的导航策略和实现算法满足实时性要求,具有较高的精度,可为进一步的实际应用提供参考.

关键词:室内自主漫游;无迹卡尔曼滤波;实时导航;移动机器人

中图分类号:TP242.6 **文献标识码:**A **文章编号:**1673-4785(2009)04-0295-08

A case study in real-time UKF-based navigation for indoor autonomous travel of mobile robots

HUO Cheng-li, XIE Fan, QIN Shi-yin

(School of Automation Science and Electrical Engineering, BeiHang University, Beijing 100083, China)

Abstract: A new real-time navigation strategy was proposed that reflects the requirements and constraints for indoor autonomous travel of wheeled mobile robots. The unscented Kalman filter (UKF) algorithm was employed to carry out on-line filtering of mobile robot positional data collected from ceiling cameras and the odometer. This allows real-time navigation and positioning for control of indoor autonomous travel. A series of experiments demonstrated that this navigational strategy and implementation algorithm can meet real-time high precision requirements. These results make our strategy a good reference for further research that will lead to practical applications.

Keywords: indoor autonomous cruise; UKF; real-time navigation; mobile robots

随着人类探索领域的深入,移动机器人在月球漫游、行星探测^[1-2]、地质勘探、地图构建^[3-4]或其他危险环境作业^[5]等方面有着广泛的应用.在导航定位方面,常规的视觉导航、无线电导航和地磁导航等技术可在各种应用背景下发挥其重要作用.现阶段,常用的比较有效的导航方法主要有势场法^[6]、栅格法^[7]和视觉导航法^[8-9],其中势场法存在着在狭窄通道中摆动的缺陷,栅格法存在环境分辨率与环境信息存储量大的矛盾.对于视觉导航方法而言,大多数导航算法的复杂度较高,需要的地面环境信息也比较多,因而实时性效果也会受到影响.在移动机器人自主漫游任务中,通常要求机器人具有实时获取周围环境信息的能力,从而实现对控制策略的切换

以及避障、避碰;但是一般的导航技术往往存在实时性不高、容易产生延时、数据丢失等现象,导致任务的失败,因此设计一种高实时性的导航策略和方法具有十分重要的意义.

目前,实时导航方法主要从算法和实现技术两方面对传统导航方法进行改进,在导航算法方面,不损失精度的前提下,采用适合于实时处理的递推导航计算方法.在实现技术方面,利用高速传感器以及通讯网络,在获得足够信息的同时提高数据的处理速度以达到实时性要求.

本文针对一类移动机器人及其室内自主漫游环境,以追求实时性和准确性为导向,考虑到机器人运动模型的非线性特性,采用以无迹变换^[10](unscented transformation, UT)为基础的无迹卡尔曼滤波UKF^[11-13]方法,研究新型实用的实时导航算法和相应的实现技术.和传统的扩展卡尔曼滤波EKF^[14-15](extended Kalman filter)相比较,UKF具有鲁棒性和

收稿日期:2009-04-13.

基金项目:国际科技合作基金资助项目(2007DFA11530);国家高技术研究发展计划(863)基金资助项目(2006AA04Z207);国家自然科学基金资助项目(60875072);教育部博士点基金资助项目(20060006018).

通信作者:霍成立. E-mail: hchlsy@sina.com.

实时性好,便于处理非线性系统模型问题,计算精度可达到三阶泰勒级数展开,特别适合于解决高阶非线性问题。

实验结果验证了本文所提算法与实现方案的可行性和有效性。考虑到各种移动机器人应用项目在前期实验验证时以室内环境为主,本文将重点研究一类移动机器人的室内自主漫游实时导航算法及其实现技术。

1 移动机器人运动模型和环境分析

1.1 移动机器人的运动模型

轮式移动机器人(wheel mobile robot, WMR)如图1所示,机械部分主要由2个驱动轮和一个随动轮组成。2个驱动轮分别由2部电机驱动,如果2个电机输出的转速不同,就会使得左右两轮产生“差速”,实现转向运动。



图1 轮式移动机器人

Fig.1 Wheel mobile robot

由于轮式移动机器人是典型的非完整动力学系统,它的控制要求轮子与地面间的滚动接触必须满足纯滚动、无打滑这一非完整约束的条件,因此存在非完整约束。且随动轮仅在运动中起到支撑的作用,因此可以忽略它对运动的影响,在该假设下,WMR的运动模型可由图2表示。其中 v 和 ω 分别表示机器人的平移线速度和旋转角速度, v 的方向表示机器人的运动方向, v_l 与 v_r 分别是WMR左轮和右轮的线速度, α 是机器人前进方向与世界坐标系 X 轴正方向的夹角,即机器人运动的航向角。这样WMR的状态就可以由其2个驱动轮的轴中点 C 在世界坐标系下的位置 (x_s, y_s) 及其航向 α 来表示,令 $\mathbf{X} = (x_s, y_s, \alpha)^T$ 表示机器人状态,而 $\mathbf{u} = (v, \omega)^T$ 作为运动学模型中的控制输入。

移动机器人的运动学方程就可以表示为

$$\dot{\mathbf{X}} = \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\alpha} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & 0 \\ \sin \alpha & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \mathbf{u} + \mathbf{W}. \quad (1)$$

式中: \mathbf{W} 为系统噪声,它服从均值为0,方差为 \mathbf{Q} 的正态分布。设其控制周期为 ΔT ,可以将式(1)改写成离散形式:

$$\begin{bmatrix} x(k+1) \\ y(k+1) \\ \alpha(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x(k) \\ y(k) \\ \alpha(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v(k) \cdot \cos \alpha(k) \\ v(k) \cdot \sin \alpha(k) \\ \omega(k) \end{bmatrix} \cdot \Delta T + \begin{bmatrix} w_1(k) \\ w_2(k) \\ w_3(k) \end{bmatrix}. \quad (2)$$

式中: $w_i (i=1,2,3)$ 为 \mathbf{W} 向量的第 i 个分量。利用全局摄像机以及机器人本身的里程计作为测量传感器,机器人的状态量,即机器人的位置坐标以及机器人的运动方向可以直接被测量得到,因此可以得到系统的测量方程为

$$\mathbf{Z}(k) = \mathbf{H} \cdot \mathbf{X}(k) + \mathbf{V} = \begin{bmatrix} x(k) \\ y(k) \\ \alpha(k) \end{bmatrix} + \mathbf{V}. \quad (3)$$

式中:量测矩阵 $\mathbf{H} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$; $\mathbf{V} = [V_1 \ V_2 \ V_3]$

为系统量测噪声,它服从均值为0,方差为 \mathbf{R} 的正态分布。

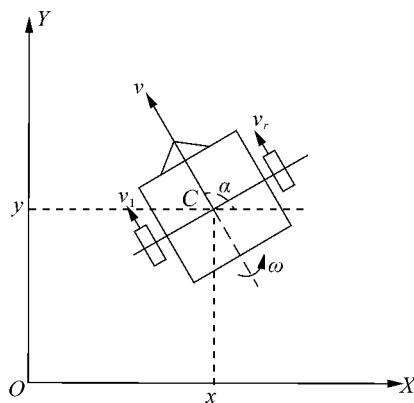


图2 轮式移动机器人运动模型

Fig.2 Wheel mobile robot motion model

1.2 室内漫游环境

本文所提的导航方法及其实现技术基于室内水平地面,能够保证机器人做纯滚动运动,另外为了保证系统的可实现性,选用光照情况良好的条件进行拍照,通过利用室内安装顶置相机实时地获取地面环境及轮式移动机器人的全局信息,为机器人的导航定位提供信息。所采用的置顶相机如图3所示,相机的视场范围如图4所示。

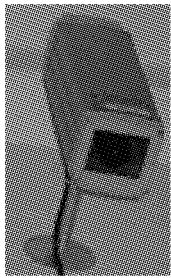


图 3 置顶相机
Fig. 3 Ceiling camera



图 4 相机的视场范围
Fig. 4 Vision scope of the camera

2 移动机器人室内自主漫游的实时导航策略

如图 5 所示,为了实现室内机器人自主漫游,利用基于 PID 的控制策略来控制机器人的速度 v 和角速度 ω ,要求机器人按照预定的轨迹运动. 针对机器人自主漫游控制制定了基于 UKF 的实时导航定位策略,其基本思想是利用机器人的当前位姿测量信

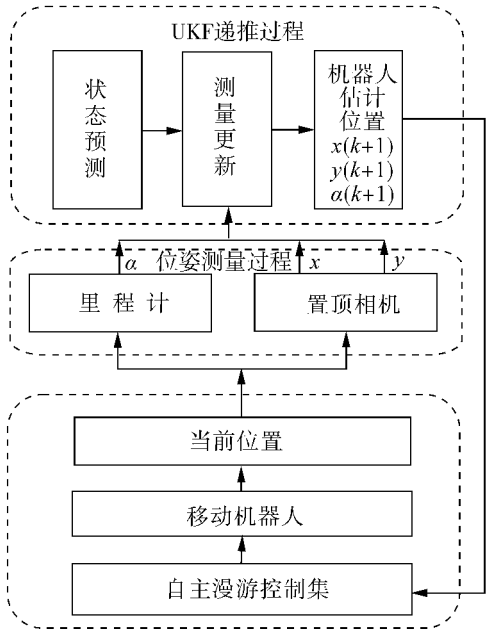


图 5 机器人漫游的实时导航策略
Fig. 5 The real-time navigation strategy of robot cruise

息和上一步的预测进行机器人的位姿状态估计,其中通过对置顶相机获取的各帧图像的实时处理来获取机器人的当前位置坐标 (x, y) ,根据机器人的初始位姿方向及里程计传感器,得到机器人的角速度 ω 与计算机机器人的当前方向角 α .

其中每次获得导航数据主要的时间开销,在于位姿测量过程,其耗时主要来自相机获取图像和图像处理的时间,包括针对获取图像的预处理,以及对目标的分割提取和定位计算所耗费的时间. 因此以上的导航策略与每次导航定位过程需要在保证计算精度的同时,在时间花费上达到最低,从而确保满足实时性要求.

为了满足室内移动机器人自主漫游控制的实时性要求,提高整个导航处理系统的运行效率,需要从系统的硬件配置和软件算法上进行优化设计,同时,利用高速的无线局域网保证系统信息传递的顺畅与快速.

在硬件配置上,主要由 3 部分组成,分别为视觉传感器、中央处理计算机以及无线局域网. 首先从视觉传感器上获取的图像信息需要实时地传递到中央处理计算机. 由于传递的图像信息数据量比较大,如果用无线网络会产生较大延时;因此,本方案中视觉传感器和计算机之间采用了数据线进行直接连接,大大地加快了数据传输的速度,减小了延时. 另外,由于移动机器人和中央处理计算机之间必须通过无线方式进行通讯,因此本方案采用 802. 11 协议支持的实时无线局域网保证数据传输. 该无线网络具有极高的传输速度,机器人通过网络上传里程计的测量数据,同时中央处理计算机将控制指令发送给机器人,从而从硬件配置上保证了系统的实时运行.

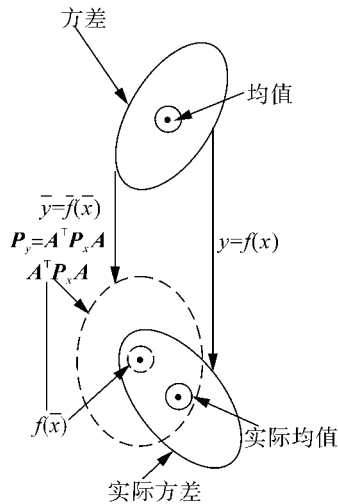
在算法上,本方案采用了 UKF 递推算法,在不损失精度的基础上,使得每步导航递推的时间开销降到最低. 另外,针对图像处理、目标提取、定位计算及 UKF 递推算法的软件实现,都采用 VC++ 在 Windows 操作平台上实现,通过不断地改进算法、优化程序、提高运算速度,从而以较短的时间计算得出机器人的估计位姿.

3 基于 UKF 滤波实时导航算法及其实现技术

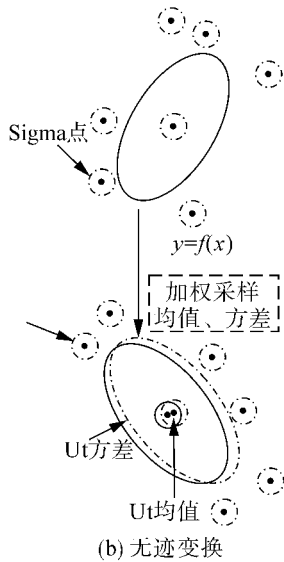
3. 1 无迹卡尔曼滤波器原理

UKF 方法是以无迹变换为基础的滤波方法,所

谓无迹变换是基于这样的思想,即用固定数量的参数去近似一个高斯分布比近似任意的非线性函数更容易.其实现原理是在原先状态分布中按某一规则取一些点,使这些点的均值和协方差等于原状态分布的均值和协方差;将这些点代入非线性函数中,相应得到非线性函数值点集,通过这些点集求取变换后的均值和协方差.由于这样得到的函数值没有经过线性化、没有忽略其高阶项,因而由此得到的均值和协方差的估计比 EKF 方法的要精确.



(a) 线性变换



(b) 无迹变换

图6 线性变化与无迹变换比较

Fig. 6 Comparison of linearized transformation and unscented transformation

其变换过程如图6所示,图6(a)为EKF滤波被估计量经过线性化后,经过状态方程和测量方程的传播后,得到预测值的均值和方差,图6(b)表示了无迹变换,其过程是:由被估计量的均值和方差产生一批离散的采样点,这批采样点经过状态方程和

测量方程的传播后,通过加权求和产生预测值的均值和方差.

3.2 UKF 的递推算法

针对实验的环境和具体情况,系统噪声和观测噪声为加性噪声的特点,本文应用的是简化的 UKF 递推算法.该算法不需要将噪声向量扩展为状态向量,降低了状态维数,减小了 UKF 的计算量.

UKF 递推算法步骤为

1) 初始化状态变量及估计方差

$$\hat{X}_0 = E[X_0],$$

$$P_0 = E[(X_0 - \hat{X}_0)(X_0 - \hat{X}_0)^T].$$

2) 计算状态的 Sigma 点

$$X_{i,k-1} = \begin{cases} \hat{X}_{k-1}, i = 0; \\ \hat{X}_{k-1} + (\sqrt{(n+\lambda)P_{k-1}})_i, i = 1, \dots, n; \\ \hat{X}_{k-1} - (\sqrt{(n+\lambda)P_{k-1}})_i, i = n+1, \dots, 2n. \end{cases}$$

式中: \hat{X}_{k-1} 为状态变量均值附近的第 i 个采样点; n 为状态变量的维数; $(\sqrt{(n+\lambda)P_{k-1}})_i$ 为矩阵 $\sqrt{(n+\lambda)P_{k-1}}$ 的第 i 列; 系数 $\lambda = \alpha^2(n+\kappa) - n$, α 和 κ 为待选系数.

对高斯分布的情况,当状态变量为标量时,选择 $\kappa=2$; 状态变量为向量时,选择 $\kappa=3-n$. 选择 $0 \leq \alpha \leq 1$, α 的作用是控制采样点的分布状态,调节 α 以使高阶项的影响达到最小.适当调节 α, κ , 可以提高估计均值的精度.

3) UKF 的时间更新方程如式(4):

$$X_{k/k-1} = f(X_{k-1}). \quad (4)$$

其中 $X_{k-1} = [x(k-1) \ y(k-1) \ \alpha(k-1)]^T$ 式(4)为 UKF 的状态方程,将移动机器人离散化后的运动方程式(2),带入式(4)得

$$X_{k/k-1} = \begin{bmatrix} x(k/k-1) \\ y(k/k-1) \\ \alpha(k/k-1) \end{bmatrix} = f(X_{k-1}) = \begin{bmatrix} x(k-1) \\ y(k-1) \\ \alpha(k-1) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v(k-1) \cos \alpha(k-1) \\ v(k-1) \sin \alpha(k-1) \\ \omega(k-1) \end{bmatrix} \Delta T,$$

$$\hat{X}_{k/k-1} = \sum_{i=0}^{2n} W^m X_{k/k-1}, \quad (5)$$

$$P_{k/k-1} = \sum_{i=0}^{2n} W^c (X_{k/k-1} - \hat{X}_{k/k-1}) \cdot (X_{k/k-1} - \hat{X}_{k/k-1})^T + Q_{k-1}. \quad (6)$$

式中: Q 为系统噪声协方差矩阵,该噪声主要来自对移动机器人系统建模的误差以及未知环境中的不确定干扰.

$$\mathbf{Z}_{k/k-1} = \mathbf{H} \cdot \mathbf{X}_{k/k-1}. \quad (7)$$

为量测方程,其中

$$\mathbf{H} = \text{diag}(1 \ 1 \ 1),$$

$$\mathbf{X}_{k/k-1} = [x(k/k-1) \ y(k/k-1) \ \alpha(k/k-1)]^T,$$

结合机器人观测方程(3),可得

$$\begin{aligned} \mathbf{Z}_{k/k-1} &= \mathbf{H}\mathbf{X}_{k/k-1} = \\ &[x(k/k-1) \ y(k/k-1) \ \alpha(k/k-1)]^T, \\ \hat{\mathbf{X}}_{k/k-1} &= \sum_{i=0}^{2n} \mathbf{W}^m \mathbf{Z}_{k/k-1}, \end{aligned} \quad (8)$$

4) UKF 的测量更新方程如下

$$\mathbf{P}_{\mathbf{z},k} = \sum_{i=0}^{2n} \mathbf{W}^c (\mathbf{X}_{k/k-1} - \hat{\mathbf{X}}_{k/k-1})(\mathbf{Z}_{k/k-1} - \hat{\mathbf{Z}}_{k/k-1})^T, \quad (9)$$

$$\mathbf{P}_{\mathbf{z},k} = \sum_{i=0}^{2n} \mathbf{W}^c (\mathbf{Z}_{k/k-1} - \hat{\mathbf{Z}}_{k/k-1})(\mathbf{Z}_{k/k-1} - \hat{\mathbf{Z}}_{k/k-1})^T + \mathbf{R}_k. \quad (10)$$

式中 \mathbf{R} 为观测噪声协方差矩阵,由测量传感器造成的误差,可以通过进行多次实验确定其值。

根据式(9)和(10)可以得出卡尔曼滤波的增益矩阵:

$$\mathbf{K}_k = \mathbf{P}_{\mathbf{z},k} \mathbf{P}_{\mathbf{z},k}^{-1}. \quad (11)$$

根据式(6)、(10)和(11)得出滤波估计协方差矩阵 \mathbf{P}_k :

$$\mathbf{P}_k = \mathbf{P}_{k/k-1} - \mathbf{K}_k \mathbf{P}_{\mathbf{z},k} \mathbf{K}_k^T. \quad (12)$$

最后由滤波状态预测方程(13)得出机器人的估计位置:

$$\hat{\mathbf{X}}_k = \hat{\mathbf{X}}_{k/k-1} + \mathbf{K}_k (\mathbf{Z}_k - \hat{\mathbf{Z}}_{k/k-1}). \quad (13)$$

式中: \mathbf{W}_i^c 和 \mathbf{W}_i^m 均为加权系数,表达式由下式决定:

$$\mathbf{W}_0^m = \frac{\lambda}{n + \lambda},$$

$$\mathbf{W}_i^m = \frac{\lambda}{2(n + \lambda)}, \quad i = 1, \dots, 2n,$$

$$\mathbf{W}_0^c = \frac{1}{n + \lambda} + (1 - \alpha^2 + \beta),$$

$$\mathbf{W}_i^c = \frac{1}{2(n + \lambda)}, \quad i = 1, \dots, 2n.$$

待选参数 $\beta \geq 0$, 是一个非负的系数项,调节 β 可提高方差精度。

3.3 基于 UKF 的移动机器人实时导航实现技术

该文提出的基于 UKF 的移动机器人实时导航技术实现方案如图 7 所示,本方案的实现设备主要由屋顶全局摄像头、实时导航计算机以及移动机器人组成。其中摄像机和安装在移动机器人内部的里程计作为主要的传感器,对机器人的位姿进行实时

检测,而实时导航计算机上运行实时导航程序,实现 UKF 算法的递推和机器人位姿的估计,并同步显示移动机器人的实时轨迹。

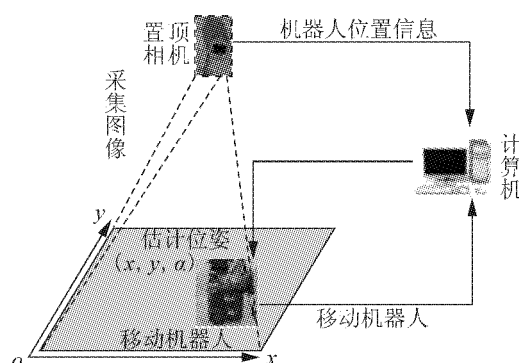


图7 基于 UKF 的移动机器人实时导航实现方案

Fig.7 Realization scheme of real-time navigation program of mobile robot based on UKF

具体的实现步骤如下:

1) 首先设置移动机器人的初始位置 $\mathbf{X}_0(x_0, y_0, \alpha_0)$, 并在机器人行进过程中通过无线网络发送控制指令, 随时改变其速度 v 和角速度 ω , 从而使得机器人按照设定的轨迹实现在室内的自主漫游。

2) 移动机器人在室内开始漫游时, 屋顶的广角相机开始采集图像, 每隔 0.1 s 采集一帧, 通过相机的视频线传递到实时导航计算机的图像采集卡上, 并计算出图像中机器人的位置形心, 即机器人的位置。

3) 从安装在移动机器人内的里程计上实时地读取运动的速度和角速度, 利用机器人自身带有的无线网卡, 通过室内无线网络传输到实时导航计算机上。结合 2) 中由摄像机获得的机器人位置信息, 可以获得移动机器人的完整位姿测量信息。

4) 在实时导航计算上, 实现 UKF 递推算法, 通过计算机内部计时器动态获得递推时间间隔, 使得递推算法更加精确。利用 2)、3) 共同得到的移动机器人位姿测量信息, 以及本文提出的 UKF 实时导航算法, 计算得出机器人的估计位姿 $\hat{\mathbf{X}}_k(x_k, y_k, \alpha_k)$ 。

针对本文提出的基于 UKF 的移动机器人实时导航实现技术, 通过对每次测量定位、导航递推所需时间的统计, 对该方案的实时性进行了定量分析。独立地进行 10 次导航实验, 计算每次实验中导航过程所进行递推计算的次数和总耗时, 进而得到每次获得导航数据所需平均耗时时间, 如表 1 所示。从表中数据可知, 本方案中每次得到导航数据的平均耗时为 87.39 ms, 因此在 1 s 中内可以获取导航数据 13 次左右, 完全可以满足室内移动机器人自主漫游控制的实时要求。

表1 实时性结果分析

Table 1 Analysis of the results of real-time

实验次数	递推次数	总耗时/ ms	每步耗时/ ms	平均耗时/ ms
1	759	69.220	91.2	
2	745	63.921	85.8	
3	650	57.915	89.1	
4	720	62.640	87.0	
5	810	69.741	86.1	87.39
6	760	66.120	87.0	
7	770	66.913	86.9	
8	735	63.357	86.2	
9	810	70.875	87.5	
10	750	65.325	87.1	

4 实验结果分析

为了进一步验证本文所用方法的可靠性和稳定性,利用实验室的机器人做了大量的实验,其实验环境和过程为:在实验室的置顶相机的视场范围内,机器人以一定的速度和角速度沿着一定的轨迹做漫游运动,漫游的起始位姿为实际坐标系中的坐标(0,0,0),机器人的速度 v 和角速度 ω 可以根据式(14)得出。

$$v = \frac{v_L + v_R}{2}, \quad \omega = \frac{v_L - v_R}{L}. \quad (14)$$

式中: v_R 为机器人的右轮的速度, v_L 为机器人左轮的速度.实验时机器人的运动速度为0.05 m/s、角速度为0.01 rad/s.置顶相机获得机器人坐标 (x, y) ,其采集图像的周期为0.05 s.机器人的方向角是通过里程计获得。

在经过了大量的实验反复验证,最后得出系统噪声强度和观测噪声强度分别为

$$Q(k) = \begin{bmatrix} 0.1^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0.1^2 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\pi^2}{180} \end{bmatrix},$$

$$R(k) = \begin{bmatrix} 0.5^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0.5^2 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\pi^2}{180} \end{bmatrix}.$$

设定 $P(0) = \begin{bmatrix} 10 & 0 & 0 \\ 0 & 10 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\pi}{100} \end{bmatrix}$,另外 $\Gamma(k) = 0$,UKF的

矩阵的维数为 $n=3$,调整参数为 $\alpha=0.02, \beta=-1$ 。

利用置顶相机对机器人进行导航定位过程,如图8所示,其中虚线为室内机器人自主漫游的轨迹,方框为置顶相机识别的机器人目标,通过提取的机器人目标进行导航定位。

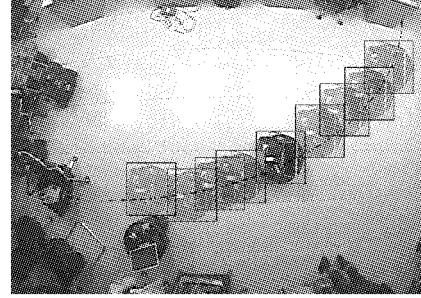


图8 移动机器人导航过程

Fig. 8 Process of mobile robot navigation by using ceiling camera

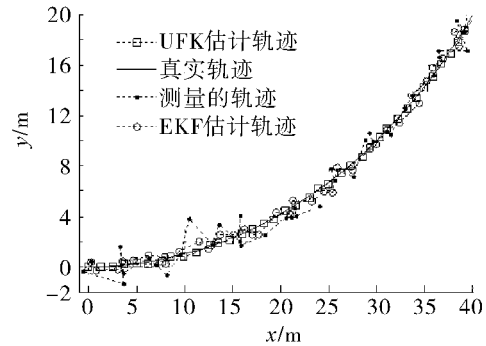


图9 量测轨迹和UKF的估计轨迹

Fig. 9 Measured trajectory and estimated trajectory

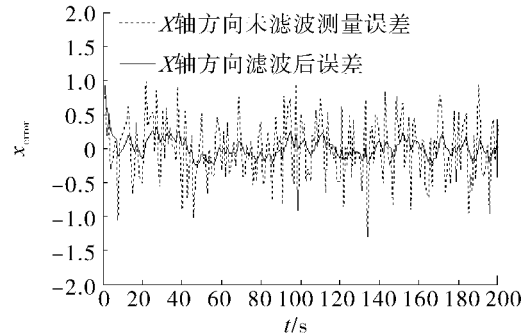
图10 在 x 方向上的误差比较曲线Fig. 10 The curves of relative error in the x direction

图9给出了测量轨迹和2种估计的轨迹,图10和图11分别给出 x 和 y 方向上的误差比较曲线、从图中可以看出采用UKF算法对移动机器人进行的

导航定位的效果要优于滤波前对目标的导航定位的效果,在精度上有明显的提高.

为了更好地对 UKF 滤波前后实验结果进行比

较,表 2 对机器人运动目标采集的 5 次数据进行了定量分析.由表 2 可以看出 UKF 算法能够明显提高测量的精度.

表 2 基于 UKF 算法的移动机器人误差比较表

Table 2 The error comparison of mobile robot based on UKF

次 数	滤波前的测量误差			UKF 方法滤波后误差		
	δ_x/cm	δ_y/cm	δ_α/rad	δ_x/cm	δ_y/cm	δ_α/rad
1	0.978	0.712	0.038 0	0.091	0.168	0.005 0
2	0.508	0.905	0.020 0	0.109	0.565	0.004 0
3	0.459	0.505	0.016 0	0.139	0.146	0.027 0
4	0.489	0.707	0.006 0	0.224	0.164	0.003 0
5	0.789	1.082	0.002 0	0.206	0.131	0.003 0
平均误差	0.646	0.582	0.016 4	0.154	0.287	0.008 4

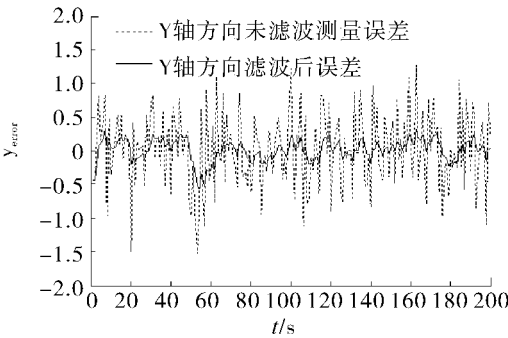


图 11 在 y 方向上的误差比较曲线

Fig. 11 The curves of relative error in the y direction

5 结束语

本文采用的导航策略和实现算法对室内自主漫游移动机器人进行导航,在保证精度的条件下,充分考虑了系统的实时性要求,从硬件实现与软件算法 2 个角度,对系统进行优化设计.实验数据证明,该文提出的实时导航策略与实现技术,能够满足移动机器人室内自主漫游控制的要求,具有广泛的应用前景.但是目前本文中尚没有考虑复杂地形条件下机器人自主漫游的实时导航与定位,下一步将展开这方面的研究工作.

参考文献:

[1] 刘方湖.管道形轮腿式月球探测机器人及其运动特性的研究[D].上海:上海交通大学,2002.
LIU Fanghu. A pipeline-shaped wheel-legged lunar exploration robot and its locomotion characteristics research [D]. Shanghai:Shanghai Jiao Tong University,2002.

[2] FLOBERGHAGEN R,BOUMAN J. On the information content and regularization of lunar gravity field solutions[M]. Delft :Delft University Press,1998:15-22.
[3] SIMMONS R, APFELBAUM D, BURGARD W, et al. Coordination for multi-robot exploration and mapping [C]// Texas; Proceedings of National Conference on Artificial Intelligence. [S. l.] :AAAI,2000:852-858.
[4] LAI X C, KONG C Y, GE S S, et al. Online map building for autonomous mobile robots by fusing laser and sonar data [C]// Proceedings of Conference on Mechatronics and Automation. Ontario,2005:993-998.
[5] 蒋新松. 机器人学导论[M]. 辽宁:辽宁科学技术出版社,1994:5-7.
[6] KOREN Y, BORENSTEIN J. Potential field methods and their inherent limitations for mobile robot navigation[C]// Proceedings of the 1991 IEEE International Conference on Robotics and Automation. Sacramento. USA,1991:1398-1404.
[7] 马兆青,袁曾任. 基于栅格方法的移动机器人实时导航和避障[J]. 机器人,1996(11):344-348.
MA Zhaoqing, YUAN Zengren. Real time navigation and obstacle avoidance based on grids method for fast mobile robot[J]. Robot, 1996(11):344-348.
[8] 段 华. 室外移动机器人视觉导航关键技术研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2006.
DUAN Hua. Research on the key technology of vision-based navigation for outdoor mobile robots [D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2006.
[9] 吴东晖. 智能移动机器人的视觉导航技术[D]. 杭州:浙江大学,2001.

WU Donghui. Visual navigation technology of intelligent mobile robot[D] . Hangzhou: Zhejiang University, 2001.

[10] JULIER S J. The scaled unscented transformation[C] // Proceedings of the 2002 American Control Conference. [S.l.] , 2002: 4555-4559.

[11] WELCH G, BISHOP G. An introduction to the Kalman filter[R] . University of North Carolina at Chapel Hill: TR 95-041, 2004.

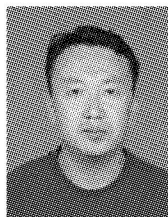
[12] SINGER R A. Estimating optimal tracking filter performance for manned maneuvering targets[J]. IEEE Trans on Aerospace and Electronic Systems, 1970, 5(4): 473-483.

[13] CHAN Y T, HU A G C, PLANT J B. A Kalman filter based tracking scheme with input estimation[J]. IEEE Trans on Aerospace and Electronic Systems, 1979, 15(2): 237-244.

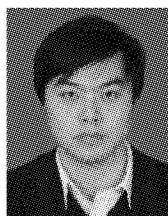
[14] LERROD, BAR-SHALOM Y K. Tracking with debiased consistent converted measurement vs EKF[J]. IEEE Trans on Aerospace and Electronics Systems, 1993, 29(3): 1015-1022.

[15] JULIER SJ, UHLMANN J K. A new method for the non-linear transformation of means and covariances in filters and estimators[J]. IEEE Trans 1A 1C1, 2000, 45(3): 4772-4821.

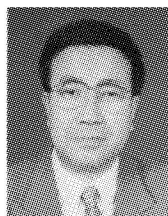
作者简介:



霍成立,男,1979年生,硕士研究生,主要研究方向为基于视觉轮式移动机器人的导航算法与实现技术。



谢凡,男,1982年生,博士研究生,主要研究方向为多机器人系统的协同优化控制



秦世引,男,1955年生,博士,教授,博士生导师,现任中国人工智能学会秘书长,智能控制与智能管理专业委员会副主任,中国自动化学会智能自动化专业委员会委员,系统复杂性专业委员会委员,《智能系统学报》编委会副主任。

主要研究方向为图像处理与模式识别、大规模多机器人系统智能优化控制、复杂系统与复杂性科学等。发表学术论文110余篇,合著出版学术专著2部,研究生教材1部,译著2部。

2010 IEEE 信息和自动化国际会议

2010 IEEE International Conference on Information and Automation (IEEE ICIA 2010)

The 2010 IEEE International Conference on Information and Automation (ICIA 2010) will take place in Harbin, Heilongjiang, China from June 20 to June 23, 2010.

Organized Sessions: Proposals with the title, the organizers, and a brief statement of purpose of the session must be submitted to an OS Chair by February 1, 2010. An invited session consists of at least four papers that must be electronically submitted for review using the same procedure for contributed papers.

Contributed Papers: All papers must be submitted in PDF format prepared strictly following the IEEE PDF Requirements for Creating PDF Documents for IEEE Xplore & Reg. The standard number of pages is 6 and the maximum page limit is 8 pages with extra payment for the two extra pages. See detailed instructions in the conference web site. All paper accepted by IEEE ICIA 2010 will be indexed by EI and included in IEEE Xplore.

Important Dates:

February 1, 2010 Full papers and organized session proposals

April 1, 2010 Proposals for tutorials and workshops

April 1, 2010 Notification of paper and session acceptance

April 15, 2010 Submission of final papers in IEEE PDF format

PDF format for detailed up-to-date information, please visit "Prepare Paper Submission".

Web site: <http://www.icia2010.org/>