

DOI: 10.13382/j.jemi.2017.05.013

一种基于 CKF 的改进 LANDMARC 室内定位算法*

袁莉芬¹ 张悦¹ 何怡刚¹ 吕密²

(1. 合肥工业大学电气与自动化工程学院 合肥 230000; 2. 德州农工大学 卡城 TX 77843)

摘要:针对传统 LANDMARC 室内定位算法受室内环境的干扰存在定位精度不高,波动大的问题,提出一种基于 CKF 的改进 LANDMARC 室内定位算法。该算法首先通过传统 LANDMARC 算法得到待定位目标的状态预估值;然后将得到的状态预估值作为观测量并用容积卡尔曼滤波(CKF)算法对其进行滤波处理,以提高算法的定位精度并降低定位结果的波动;最后用滤波处理后的结果代替 LANDMARC 得到的预估值作为待定位目标的状态估计。实验研究表明,所提算法误差在 0.5 m 以下的标签达到 60%,与传统 LANDMARC 定位算法和经由无迹卡尔曼滤波(UKF)算法滤波的 LANDMARC 定位算法相比,定位精度和波动性均有明显提高,应用在室内定位中能够得到较为真实的目标移动轨迹。

关键词:室内定位;LANDMARC;干扰;容积卡尔曼滤波

中图分类号: TP391 文献标识码: A 国家标准学科分类代码: 510.40

An improved LANDMARC indoor localization algorithm based on CKF

Yuan Lifen¹ Zhang Yue¹ He Yigang¹ Lv Mi²

(1. School of Electrical Engineering and Automation, Hefei University of Technology, Hefei 230000, China;
2. Texas A & M University, College Station TX 77843, USA)

Abstract: Aiming at the problems of low location accuracy and poor adaptability in the traditional LANDMARC localization algorithm by the interference of the indoor environment, an improved LANDMARC indoor location algorithm based on CKF is proposed in this paper. Firstly, the algorithm obtains the state prediction value of the target to be targeted by the traditional LANDMARC algorithm. Then, with the purpose of improving the localization accuracy of the algorithm and reducing the fluctuation of the positioning result, the obtained state prediction value is taken as the observation and filtered by the Cubature Kalman Filter (CKF) algorithm. Finally, the results obtained by filtering are used instead of the estimated values obtained by LANDMARC as the state estimates of the targets to be targeted. The experimental results show that the proposed algorithm improves the localization accuracy and volatility compared with the traditional LANDMARC localization algorithm and the LANDMARC localization algorithm based on the Unscented Kalman Filter (UKF) algorithm, with the localization error of 60% in the tested label is less than 0.5m, it can get a realistic goal of moving trajectories used in indoor localization.

Keywords: indoor localization; LANDMARC; interference; CKF

1 引言

室内导航定位系统作为定位领域的一个重要研究方

向,能够在大型复杂建筑等公共场所为用户提供导航服务,具有广泛的应用前景^[1]。目前主要的室内定位技术有:红外线技术、超声波技术、蓝牙技术、超宽带技术、Zigbee 技术、RFID(radio frequency IDentification)技术^[2]。

收稿日期:2017-02 Received Date: 2017-02

* 基金项目:国家杰出青年科学基金(50925727)、国家重点研发计划“重大科学仪器设备开发”(2016YFF0102200)、国家自然科学基金(61102035, 51577046)、国家自然科学基金重点项目(51637004)、中国博士后特别项目(2015T80651)、中国博士后面上项目(2014M5517)、合肥工业大学春华计划项目(2014HGCH0012)资助

相比较于其他的定位技术,RFID 由于具有非接触、非视距、短时延、传输范围大和成本低等优点,受到人们的广泛关注,已经成为室内定位领域的优选技术^[3]。

国内外学者以 RFID 的室内定位技术为基础,提出了不同的定位系统,其中最常见的是 2003 年密歇根州立大学提出的 LANDMARC (location identification based on dynamic active RFID calibration) 算法及其改进算法^[4-7]。LANDMARC 算法的核心思想是通过引入位置固定的参考标签来帮助位置校准,比较参考标签与待定位标签的信号强度值之间的差异,优选出近邻参考标签,并采用“最近邻距离”权重估计待定位标签坐标。但是,随着参考标签增多,系统环境的影响,测量误差的存在,导致定位出现累计误差,且各影响因子相互作用、相互影响,使得多数基于经典 LANDMARC 模型的定位算法性能波动大,定位鲁棒性亟待提高,滤波技术在提高室内定位性能方面有着广泛的研究。文献[8]引入卡尔曼滤波(Kalman filter, KF)算法应用于无线局域网的室内定位。卡尔曼滤波算法是利用目标的动态信息,在设法去掉噪声的影响后得到的一个关于目标位置的较准确的估计,因此,利用卡尔曼滤波算法有效解决了定位过程中的噪声影响,大大提高了定位精度,但当实际测量模型处于非线性时,定位性能恶化甚至出现不收敛现象。文献[9]将无迹卡尔曼滤波(unscented Kalman filter, UKF)应用在室内无线传感网络定位,解决非线性系统定位时的状态估计问题,能取得较高的定位精度,但是 UKF 算法可调参数选取不当会使其不稳定。文献[10]将粒子滤波(particle filter, PF)应用于复杂室内环境下的 RFID 动态节点定位问题,可以有效地对室内动态节点进行定位跟踪,但是粒子滤波估计的高精度是通过增加粒子数目产生的,算法计算实时性差,且易发生粒子样本枯竭的现象。

容积卡尔曼滤波(cubature Kalman filter, CKF)^[11-12]算法不仅克服了 KF 和 UKF 在强非线性系统中的应用局限性,而且具有稳定性好的特点,对于三维以上的状态方程,其滤波估计精度相较于其他非线性滤波算法最能接近 PF 的估计精度且计算量较小,是解决非线性系统状态实时估计问题强有力工具^[13]。

本文基于 LANDMARC 定位基本原理,结合 LANDMARC 定位系统的目标运动状态方程建立三维空间动态模型,引入 CKF 滤波算法对模型进行求解,从而解决非线性系统定位过程中的稳定性问题,提升高维系统估计时的定位精度。

2 动态 LANDMARC 定位

2.1 动态 LANDMARC 定位模型

LANDMARC 算法是一种经典的基于有源 RFID 的室

内定位算法,核心思想是建立在 RSSI (received signal strength index) 之上的质心算法^[14]。LANDMARC 定位系统由若干位置已知的参考标签、位置未知的待测标签和阅读器组成,布局如图 1 所示。

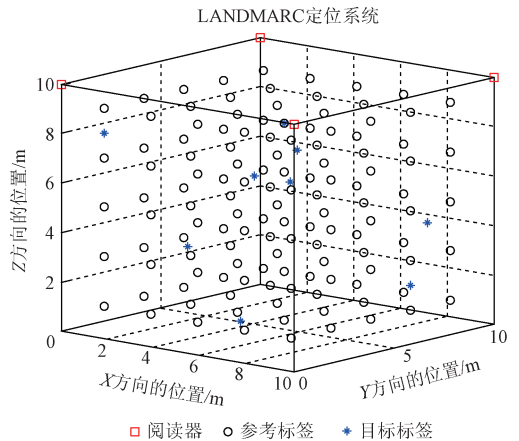


图 1 LANDMARC 定位系统布局图

Fig. 1 The layout of LANDMARC localization system

经典 LANDMARC 算法是对室内静止的物体进行定位,对于移动目标需要建立其动态模型^[15]。假设待测目标在三维空间内 k 时刻待测目标的位置状态向量定义为 $\mathbf{X}_k = [x_k, y_k, z_k, \dot{x}_k, \dot{y}_k, \dot{z}_k, \ddot{x}_k, \ddot{y}_k, \ddot{z}_k]^T$, 其中, x_k 、 \dot{x}_k 、 \ddot{x}_k 分别表示待测目标在 x 轴坐标上的位置、速度和加速度, y_k 、 \dot{y}_k 、 \ddot{y}_k 分别表示目标在 y 轴坐标上的位置、速度和加速度, z_k 、 \dot{z}_k 、 \ddot{z}_k 分别表示目标在 z 轴坐标上的位置、速度和加速度。

则 LANDMARC 定位系统目标运动状态方程为:

$$\mathbf{X}_{k+1} = f(\mathbf{X}_k) + \mathbf{w}_k \quad (1)$$

状态函数 $f(\cdot)$ 是非线性函数,表示不同时刻间的状态转换关系, \mathbf{X}_k 表示 k 时刻待测目标的位置状态, \mathbf{w}_k 表示运动时的噪声。

在基于 LANDMARC 的 RFID 室内定位系统中, k 时刻所有读写器接收到的信号强度值组成的观测向量可以表示为 $\mathbf{U}_k = [l_1, l_2, l_3, \dots, l_n]$, 其中 l_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) 表示第 i 个阅读器的观测值,因此 LANDMARC 定位系统的观测方程可以表示为:

$$\mathbf{U}_k = h(\hat{\mathbf{X}}_k, \mathbf{v}_k) \quad k = 1, 2, \dots \quad (2)$$

式中:观测函数 $h(\cdot)$ 是由待测标签的坐标和接收的信号强度值之间的关系构成的, $\hat{\mathbf{X}}_k$ 表示 LANDMARC 定位算法对第 k 时刻待测标签状态位置 \mathbf{x}_k 的预测,作为观测量, \mathbf{v}_k 表示观测噪声。

式(1)运动状态方程和式(2)观测方程联立即为移动目标的室内动态定位模型。

2.2 动态 LANDMARC 定位算法

对室内移动目标进行定位时,由于阅读器读取的

信号强度样本有限,而且定位环境对采集样本的准确性有一定的影响,仅仅使用传统的LANDMARC算法估测到的目标位置误差较大,目标移动曲线不平缓,使系统的准确性和稳定性受到严重影响。因此,针对这一问题,在对动态模型定位和滤波算法深入研究的基础上,本文提出一种用于动态目标定位的改进LANDMARC定位算法,其算法如图2所示。首先通过LANDMARC定位算法得到待定位目标的预估值,然后将预估值作为观测量,并根据对数路径损耗模型确定2.1节中观测方程的具体形式;最后用CKF算法对构建的动态LANDMARC定位模型进行求解,实现对待定位目标状态估计值的滤波更新,以进一步提高室内定位系统的定位精度。

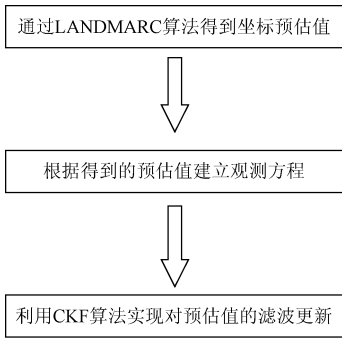


图2 基于CKF的LANDMARC定位算法

Fig.2 Block diagram of LANDMARC localization algorithm based on CKF

3 基于CKF的动态LANDMARC定位模型求解

3.1 CKF算法

由动态LANDMARC定位模型式(1)、(2)可知,系统中存在各类测量噪声与环境噪声,通过引入CKF算法对LANDMARC系统的位置坐标进行滤波处理,可得到一个关于目标位置的较准确的估计。该算法实现方程表达如下。

1) 时间更新

假设在 k 时刻状态 \mathbf{X}_k 的估计协方差矩阵 \mathbf{P}_k 已知,对其进行Cholesky分解得平方根矩阵 \mathbf{S}_k :

$$\mathbf{P}_k = \mathbf{S}_k \mathbf{S}_k^T \quad (3)$$

计算第1次更新的容积点:

$$\boldsymbol{\chi}_k^{(i)} = \mathbf{S}_k \boldsymbol{\xi}_i + \hat{\mathbf{X}}_k \quad (4)$$

式中: $\boldsymbol{\xi}_i = \sqrt{\frac{L}{2}} [1]_i$,其中 $L=2n$, n 是状态维数。假设 $n=4$,则 $[1]_i$ 的8个元素可对称表示为:

$$\left\{ \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} -1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ -1 \end{bmatrix} \right\} \quad (5)$$

计算通过状态函数传播的容积点:

$$\boldsymbol{\chi}_{k+1k}^{*(i)} = f_k(\boldsymbol{\chi}_k^{(i)}) + \mathbf{q}_k \quad (6)$$

计算容积点求均值对下一时刻的状态进行预测:

$$\hat{\mathbf{X}}_{k+1k} = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L \boldsymbol{\chi}_{k+1k}^{*(i)} \quad (7)$$

计算状态预测值 $\hat{\mathbf{X}}_{k+1k}$ 的协方差矩阵:

$$\mathbf{P}_{k+1k} = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L (\boldsymbol{\chi}_{k+1k}^{*(i)} - \hat{\mathbf{X}}_{k+1k})(\boldsymbol{\chi}_{k+1k}^{*(i)} - \hat{\mathbf{X}}_{k+1k})^T + \mathbf{Q}_k \quad (8)$$

2) 量测更新

对 $\hat{\mathbf{X}}_{k+1k}$ 预测协方差 \mathbf{P}_{k+1k} 进行Cholesky分解得平方根矩阵 \mathbf{S}_{k+1k} :

$$\mathbf{P}_{k+1k} = \mathbf{S}_{k+1k} \mathbf{S}_{k+1k}^T \quad (9)$$

计算第2次更新的容积点:

$$\boldsymbol{\chi}_{k+1k}^{(i)} = \mathbf{S}_{k+1k} \boldsymbol{\xi}_i + \hat{\mathbf{X}}_{k+1k} \quad (10)$$

计算通过观测方程得到的传播容积点:

$$\mathbf{Z}_{k+1k}^{(i)} = \mathbf{h}_{k+1}(\boldsymbol{\chi}_{k+1k}^{(i)}) + \mathbf{r}_{k+1} \quad (11)$$

计算传播容积点均值对观测值的进行预测:

$$\hat{\mathbf{z}}_{k+1k} = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L \mathbf{Z}_{k+1k}^{(i)} \quad (12)$$

计算观测值预测值 $\hat{\mathbf{z}}_{k+1k}$ 的新息协方差矩阵:

$$\mathbf{P}_{z,k+1k} = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L (\mathbf{Z}_{k+1k}^{(i)} - \hat{\mathbf{z}}_{k+1k})(\mathbf{Z}_{k+1k}^{(i)} - \hat{\mathbf{z}}_{k+1k})^T + \mathbf{R}_{k+1} \quad (13)$$

计算状态预测值 $\hat{\mathbf{X}}_{k+1k}$ 和观测值预测值 $\hat{\mathbf{z}}_{k+1k}$ 互协方差矩阵:

$$\mathbf{P}_{xz,k+1k} = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L (\boldsymbol{\chi}_{k+1k}^{(i)} - \hat{\mathbf{X}}_{k+1k})(\mathbf{Z}_{k+1k}^{(i)} - \hat{\mathbf{z}}_{k+1k})^T \quad (14)$$

计算Kalman增益:

$$\mathbf{K}_{k+1} = \mathbf{P}_{xz,k+1k} (\mathbf{P}_{z,k+1k})^{-1} \quad (15)$$

状态更新:

$$\mathbf{X}_{k+1} = \mathbf{X}_{k+1k} + \mathbf{K}_{k+1} (\mathbf{Z}_{k+1} - \hat{\mathbf{z}}_{k+1k}) \quad (16)$$

$k+1$ 时刻状态 \mathbf{X}_{k+1} 的估计协方差:

$$\mathbf{P}_{k+1} = \mathbf{P}_{k+1k} - \mathbf{K}_{k+1} \mathbf{P}_{z,k+1k} \mathbf{K}_{k+1}^T \quad (17)$$

以上公式反映了CKF算法操作的两个阶段:时间更新和量测更新。在时间更新阶段,滤波器使用上一状态的估计做出对当前状态的估计;在量测更新阶段,滤波器通过当前状态的观测值优化时间更新阶段获取的预测值,以获得一个更精确的新估计值。

3.2 基于CKF的动态LANDMARC定位模型求解

为求解动态LANDMARC定位模型,确定观测方程

(2)的具体形式是关键。信号在室内环境下传播过程的对数路径损耗经验模型为^[16]：

$$RSSI(d) = RSSI0 + 10n\lg(d/d_0) + X_\sigma \quad (18)$$

式中： $RSSI(d)$ 表示阅读器和标签的距离为 d 时的接收信号强度值， d_0 为参考距离一般取为1 m， $RSSI0$ 表示距离为 d_0 处接收信号强度值， n 为路径损耗指数，表示路径损耗随距离增长的速率，主要受环境和建筑物类型的影响， X_σ 是以dB表示的标准偏差为 σ 、均值为零的高斯噪声。则基于路径损耗模型的观测函数方程如下所示：

$$U_k = [u_{1k}, u_{2k}, \dots, u_{Mk}]^T + \varphi_k$$

$$M = 1, 2, 3, 4, \dots \quad (19)$$

式中： u_{ik} 表示第 i 个阅读器测量的信号强度值作为观测值， $\varphi_k = [\varphi_{1k}, \varphi_{2k}, \varphi_{3k}, \dots, \varphi_{Mk}]^T$ 是定位过程中测量器件引起的各类加性噪声，是观测噪声 v_k 的一部分。

由式(18)可得观测值的函数表达式为：

$$u_{ik} = RSSI0 + 10n\lg(d_{ik}) + X_\sigma \quad (20)$$

式中： X_σ 表示由于室内多径效应引起的信号衰落，是以标准偏差为 σ 、均值为零的加性高斯噪声，造成观测值误差，属于观测噪声 v_k 的一部分。

k 时刻待测标签到第 i 个阅读器的距离 d_{ik} ：

$$d_{ik} = \sqrt{(\hat{x}_k - x_{ik})^2 + (\hat{y}_k - y_{ik})^2 + (\hat{z}_k - z_{ik})^2} \quad (21)$$

式中： $(\hat{x}_k, \hat{y}_k, \hat{z}_k)$ 为 k 时刻 LANDMARC 定位算法预估的待测标签的位置坐标， (x_{ik}, y_{ik}, z_{ik}) 为第 i 个阅读器的位置坐标。

可以得到信号强度值和待测标签位置坐标之间的表达式为：

$$u_{ik} = RSSI0 + 10n\lg(\sqrt{(\hat{x}_k - x_{ik})^2 + (\hat{y}_k - y_{ik})^2 + (\hat{z}_k - z_{ik})^2}) + X_\sigma + \varphi_{ik} \quad (22)$$

由于衰落值 X_σ 和测量时的各类系统噪声 φ_k 均会对测量值产生影响，将其统称为观测噪声，用 v_k 表示， $v_k = [v_{1k}, v_{2k}, \dots, v_{Mk}]^T$ ，其中 $v_{ik} = X_\sigma + \varphi_{ik}$ ，则每个阅读器观测方程可表示为：

$$u_{ik} = RSSI0 + 10n\lg(\sqrt{(\hat{x}_k - x_{ik})^2 + (\hat{y}_k - y_{ik})^2 + (\hat{z}_k - z_{ik})^2}) + v_{ik} \quad (23)$$

联合式(19)和(23)，可得观测方程(2)的具体形式：

$$U_k = \begin{bmatrix} RSSI0 + 10\lg(\sqrt{(\hat{x}_k - x_{1k})^2 + (\hat{y}_k - y_{1k})^2}) \\ RSSI0 + 10\lg(\sqrt{(\hat{x}_k - x_{2k})^2 + (\hat{y}_k - y_{2k})^2}) \\ RSSI0 + 10\lg(\sqrt{(\hat{x}_k - x_{3k})^2 + (\hat{y}_k - y_{3k})^2}) \\ \vdots \\ RSSI0 + 10\lg(\sqrt{(\hat{x}_k - x_{Mk})^2 + (\hat{y}_k - y_{Mk})^2}) \end{bmatrix} +$$

$$\begin{bmatrix} v_{1k} \\ v_{2k} \\ v_{3k} \\ \vdots \\ v_{Mk} \end{bmatrix} \quad M = 1, 2, 3, 4, \dots \quad (24)$$

由式(1)的位置状态方程和式(24)的观测方程构成的非线性系统满足 CKF 算法的适用条件，因此可以应用 CKF 算法对两式进行联合求解，以得到更准确的位置坐标。定位算法基本流程如图 3 所示。

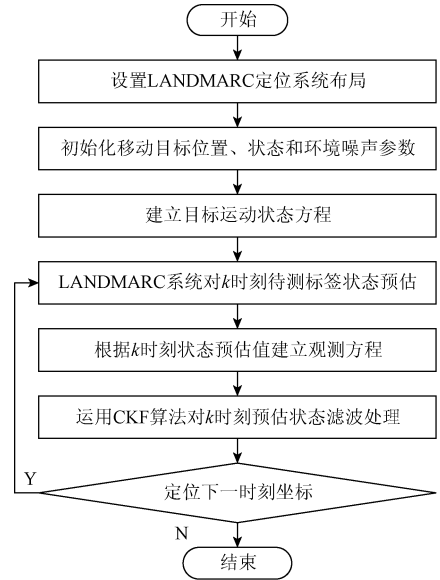


图 3 基于 CKF 的 LANDMARC 定位算法流程
Fig.3 Flow chart of LANDMARC localization algorithm based on CKF

4 模型仿真与性能对比

4.1 建立实验模拟环境

模拟一个 10 m × 10 m × 10 m 的室内环境进行定位仿真实验，系统的部署俯视图如图 4 所示。

如图 4 所示，房间的 4 个顶角分别放置一个阅读器，室内均匀放置 125 个参考标签，标签在 x, y, z 方向均匀间距为 2 m，并且这些标签处在所有的阅读器检测范围内。在采用 LANDMARC 定位算法定位时，邻近参考标签数目 $m = 4$ 。表 1 给出了模拟环境下阅读器参数以及室内环境路径损耗参数设定。

模拟环境下带有待测标签的目标在三维空间内按照式(1)中的状态方程做非线性运动，初始位置坐标为(1, 1, 5)，观测时间间隔为 0.2 s，观测步长为 50。移动目标运行轨迹以及 LANDMARC 系统的定位效果如图 5 所示。从图 5 中可以看出 LANDMARC 估计的坐标分散在目标

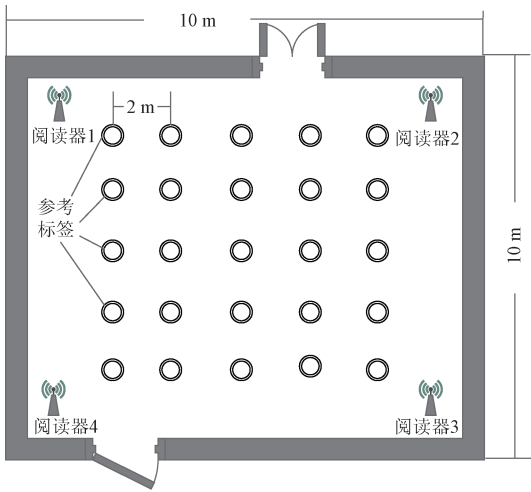


图4 定位系统部署图

Fig. 4 Localization system deployment diagram

表1 观测参数设置

Table 1 Observation parameters setting

参数	参数物理意义	取值
f	通信频率	2.4 G
n	衰减系数	3.0
d_0	参考距离	1 m
$RSSI d_0$	标签距离为 d_0 时的信号强度值	-48 dB
X_σ	多径效应引起的高斯噪声	$N(0, 5.4)$

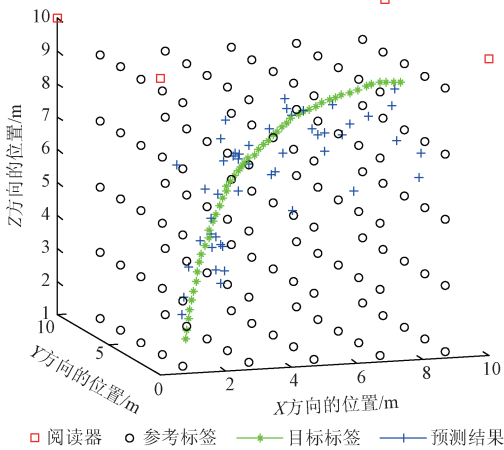


图5 LANDMARC 轨迹

Fig. 5 LANDMARC trajectory

的运动轨迹周围，能够粗略估计目标运动轨迹，但是误差较大，定位性能不佳。

为了评估算法定位性能，本文选择估计误差作为定位精度评价标准，定义为：

$$EE = \sqrt{(x - \hat{x})^2 + (y - \hat{y})^2 + (z - \hat{z})^2} \quad (25)$$

式中： EE 表示估计误差值。 (x, y, z) 为标签的真实坐标，

$(\hat{x}, \hat{y}, \hat{z})$ 表示计算得出的待定位标签的估算坐标。

4.2 仿真结果与性能分析

由于KF算法解决的是线性系统的滤波问题，对于图5所显示的非线性状态运动系统，选择无UKF和CKF均能够实现对非该系统的滤波估计。图6~8实验仿真了CKF、UKF、LANDMARC三种定位算法在非非线性状态运动系统中定位性能的比较。

由图6所示的3种不同算法轨迹预测可以看出，LANDMARC算法得到的运行轨迹比较混乱，难以描述出目标的真实轨迹。经过CKF和UKF滤波得到的运行轨迹更加贴近真实轨迹。

由图7所示的3种不同算法定位误差可以看出，CKF、UKF算法得到的定位误差均小于LANDMARC算法。但是通过UKF滤波后的轨迹随着物体运动，误差逐渐增大，出现发散现象，定位性能不稳定。相对于UKF算法，CKF算法的误差分布相对平稳，波动性更小，性能更加稳定。

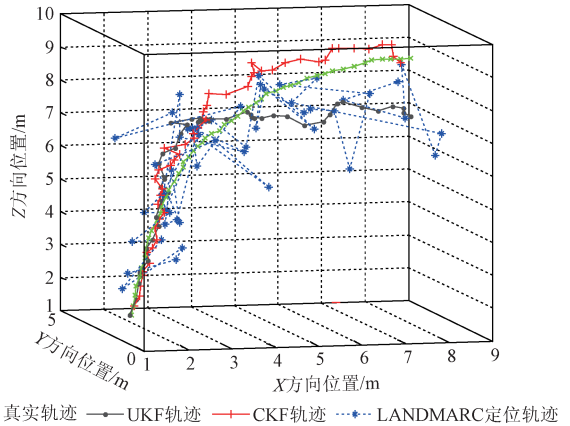


图6 轨迹预测

Fig. 6 Trajectory forecasting

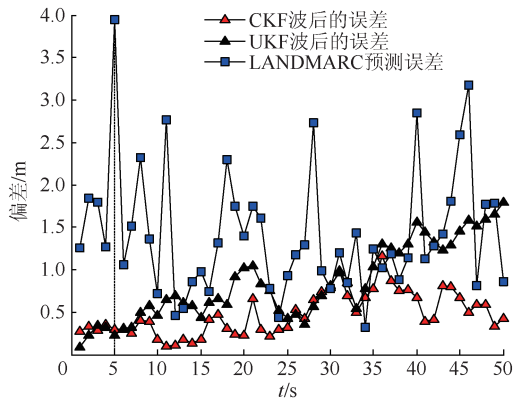


图7 估计误差图

Fig. 7 Estimation error

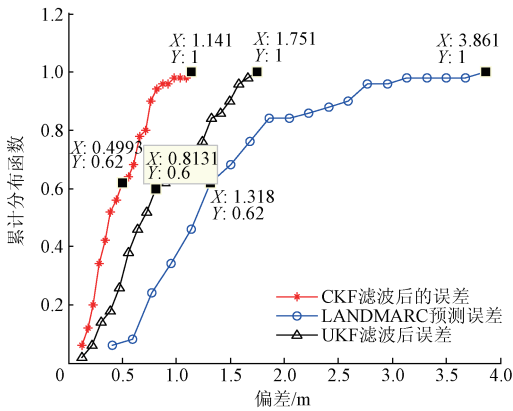


图8 误差累计分布函数图

Fig.8 Cumulative distribution function of error

为了更加直观的反应定位算法精确度的性能,本文选择累计分布函数 CDF,显示定位结果与实际位置之间的误差小于某个值的概率。这样可以将定位的误差限定在一定的范围内来对定位算法的定位性能进行评价。

由图8所示的3种算法定位误差的累计分布可以看出3种算法在最小误差上存在很小的差别,而UKF和CKF算法在最大误差上相接近,远小与LANDMARC算法的定位误差。通过比较可以发现CKF算法误差的60%在0.5m以内,UKF算法误差的60%在0.8m以内,LANDMARC算法则达到了1.3m,可以看出CKF算法在均值上有一定优势。因此CKF算法定位精确度要高于UKF算法。

综合上述实验结果以及性能分析可以看出,滤波技术提高了LANDMARC定位算法性能。相对于UKF算法,在三维空间非线性状态系统中CKF算法性能更加稳定,精确度更高,因此选择CKF算法对LANDMARC定位结果进行滤波处理,得到的定位结果会更接近真实位置坐标。

5 结 论

针对LANDMARC定位系统受到室内环境干扰和系统噪声的影响出现定位误差较大的情况,提出一种基于CKF的改进LANDMARC室内定位算法,该算法通过对LANDMARC系统定位结果进行滤波处理,自适应的修正定位误差,解决复杂室内环境导致定位算法误差增大的问题。通过对本文构建的三维空间非线性状态系统进行定位仿真实验,验证了将滤波技术应用于LANDMARC定位算法中降低了因环境干扰而造成定位结果波动,提高了算法的定位稳定性并且提高了定位精度。而且本文提出的算法相对于基于UKF的LANDMARC定位算法在

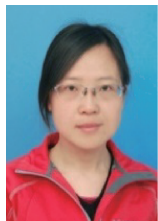
三维空间中能进一步提高LANDMARC定位算法的定位精度和稳定性,解决了其在三维系统中出现发散现象而造成定位结果不稳定的问题。基于CKF的LANDMARC定位算法在室内复杂环境中对移动目标进行实时定位,定位性能更优。

参考文献

- [1] 郑学理,付敬奇. 基于PDR和RSSI的室内定位算法研究[J]. 仪器仪表学报,2015,36(5):1177-1185.
ZHENG X L, FU J Q. Study on PDR and RSSI based indoor localization algorithm [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2015,36(5):1177-1185.
- [2] 石雪军,纪志成. 基于射频识别的室内定位系统算法研究[J]. 系统仿真学报,2015,27(6):1294-1300.
SHI X J, JI ZH CH. Indoor positioning system algorithm based on RFID[J]. Journal of System Simulation,2015,27(6):1294-1300.
- [3] 王远哲,毛陆虹,刘辉. 基于参考标签的射频识别定位算法研究与应用[J]. 通信学报,2010,31(2):86-92.
WANG Y ZH, MAO L H, LIU H. Research and application of RFID location algorithm based on reference tags [J]. Journal on Communications, 2010, 31 (2): 86-92.
- [4] NI L M, LIU Y L, LAU Y C, et al. LANDMARC: Indoor location sensing using active RFID [C]. International Conference on Pervasive Computing, 2003: 407-415.
- [5] HAN K, CHO S H. Advanced LANDMARC with adaptive k-nearest algorithm for RFID location system[C]. IEEE International Conference on Infrastructure and Digital Content, 2010: 595-598.
- [6] 许莹,刘社函. 一种改进的基于双标签的LANDMARC定位算法[J]. 计算机应用研究,2015,32(12):3769-3772.
XU Y, LIU S H. Improved LANDMARC localization algorithm based on double-tag [J]. Application Research of Computers, 2015, 32(12): 3769-3772.
- [7] 曹洁,牛丽波,王进花. 一种改进LANDMARC射频识别室内定位算法[J]. 计算机工程与科学,2015,37(9):1671-1675.
CAO J, NIU L B, WANG J H. An improved LANDMARC RFID indoor location algorithm [J]. Computer Engineering & Science, 2015, 37 (9): 1671-1675.
- [8] 曹春萍,罗玲莉. 基于卡尔曼滤波算法的室内无线定位系统[J]. 计算机系统应用,2011,11(20):76-79.
CAO C P, LUO L L. Wireless indoor position system based on Kalman Filtering algorithm [J]. Computer systems & Applications, 2011,11(20):76-79.

- [9] HU W W, QIN H B, HUANG H Y. A mobile beacon based method for wireless sensor networks location [C]. IEEE International Conference on Communication Technology, 2008: 144-147.
- [10] 陈得昌, 吴介军, 王庆林, 等. 基于粒子滤波的RFID室内节点定位跟踪研究[J]. 信息技术, 2011(8): 77-80.
CHEN D C, WU J J, WANG Q L, et al. RFID indoor nodes tracking based on particle filtering technology[J]. Information Technology, 2011(8): 77-80.
- [11] ARASARATNAM I, HAYKIN S. Cubature Kalman Filters[J]. IEEE Transactions on Automatic Control, 2009, 54(6): 1254-1269.
- [12] ARASARATNAM I, HAYKIN S, THOMAS R. H. Cubature Kalman filtering for continuous-discrete systems: Theory and simulations[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2010, 58(10): 4977-4993.
- [13] 徐树生, 林孝工, 赵大威, 等. 强跟踪SRCKF及其在船舶动力定位中的应用[J]. 仪器仪表学报, 2013, 34(6): 1266-1272.
XU SH SH, LIN X G, ZHAO D W, et al. Strong tracking SRCKF and its application in vessel dynamic positioning[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2013, 34(6): 1266-1272.
- [14] 蒋华勤, 李静. 基于LANDMARC的RFID室内定位算法优化[J]. 科技通报, 2013, 29(6): 206-208.
JIANG H Q, LI J. Optimization of RFID Indoor positioning algorithm based on LANDMARC[J]. Bulletin of Science and Technology, 2013, 29(6): 206-208.
- [15] ZHANG L Q, CHENG Q, WANG Y G, et al. A novel distributed sensor positioning system using the dual of target tracking [J]. IEEE Transactions on computers, 2008, 57(2): 246-260.
- [16] 谈宇奇, 王雪, 刘长. 物联网室内运动目标协作信息融合跟踪方法[J]. 仪器仪表学报, 2013, 34(2): 352-358.
TAN Y Q, WANG X, LIU CH. Indoor moving target tracking method based on collaborative information fusion in Internet of Things [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2013, 34(2): 352-358.

作者简介



袁莉芬 (通讯作者), 1999年于中南大学获得学士学位, 2003年于湖南大学获得硕士学位, 2011年于湖南大学获得博士学位, 现为合肥工业大学教授。主要研究方向为测试与故障诊断, 智能电网技术, 射频识别技术。

E-mail: yuanlifan_hfut@163.com

Yuan Lifan (Corresponding author) received B. Sc. from Central South University in 1999, M. Sc. and Ph. D. both from Hunan University in 2003 and 2011, respectively. Now she is a professor in Hefei University of Technology. Her main research interests include circuit testing and fault diagnosis, smart grid technology and radio frequency identification technology.



张悦, 2015年于安徽大学获得学士学位, 现在合肥工业大学攻读硕士学位, 主要研究方向为射频识别技术。

E-mail: 1406466158@qq.com

Zhang Yue received B. Sc. from Anhui University in 2015. Now he is a M. Sc. candidate at Hefei University of Technology. His main research interest includes smart grid technology and radio frequency identification technology.



何怡刚 (通讯作者), 1992年于湖南大学获得硕士学位, 1996年于西安交通大学获得博士学位, 现为合肥工业大学教授、博士生导师, 合肥工业大学电气与自动化工程学院院长, 国家杰出青年科学基金获得者。

主要研究方向为模拟和混合集成电路设计、测试与故障诊断、智能电网技术、射频识别技术、虚拟仪器和智能信号处理。

E-mail: 18655136887@163.com

He Yigang (Corresponding author) received M. Sc. from Hunan University in 1992 and Ph. D. from Xi'an Jiaotong University in 1996, respectively. He is currently a professor and the dean of School of Electrical Engineering and Automation, Hefei University of Technology. He is the winner of National Distinguished Young Scientists Foundation. His research interests are in the areas of circuit theory and its applications, testing and fault diagnosis of analog and mixed-signal circuits, smart grid, radio frequency identification technology, and intelligent signal processing.



吕密, 分别于1984年和1987年在休斯顿莱斯大学获得电气工程硕士学位和电气工程博士学位, 现为德州农工大学教授。主要研究方向为并行计算, 分布式处理, 并行计算机架构和算法, 计算机算术运算, 计算机网络, 计算几何和VLSI算法。

Email: mlu@ece.tamu.edu

Lu Mi received M. Sc. and Ph. D. in electrical engineering from Rice University, Houston, in 1984 and 1987, respectively. Now she is a professor in Texas A & M. Her main research interests include parallel computing, distributed processing, parallel computer architectures and algorithms, computer arithmetic, computer networks, computational geometry and VLSI algorithms.