



WSN 中视觉辅助方案结合 TI CC2431 ZPS 平台的跟踪定位方法

邹永艳¹, 张衍志²

(1. 四川工程职业技术学院电气信息工程系, 四川 德阳 618000;

2. 四川工程职业技术学院教学设备管理处, 四川 德阳 618000)

摘要:针对无线传感器网络中,位置跟踪定位方法在短时间内速度的急剧变化可能导致角效应并降低定位精度以及单个方案难以提高定位精度的问题,提出一种在 TI CC2431 ZPS 平台上,利用卡尔曼滤波(KF)和视觉辅助的跟踪定位方法。在归一化互相关的基础上使用视觉辅助校准技术,根据视觉辅助方法提取参考节点的位置作为地标,然后使用 KF 方法校准位置估算。提出的方法有效避免了实际动态环境中系统错误导致的不确定性,降低位置估算系统中的角效应,提高了定位精度。实验结果表明:TI ZPS 方法和基于 KF 的方法都有超过 56% 的估计位置误差距离分别小于 2.3 m 和 1.9 m;而提出的跟踪定位方法有超过 56% 的估计位置误差距离小于 1.5 m。

关键词:无线传感器网络;跟踪定位;卡尔曼滤波;视觉辅助;ZPS 平台

中图分类号:TP393.09

文献标识码:A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2016244

Location tracking method with visual aids scheme on TI CC2431 ZPS platform for wireless sensor network

ZOU Yongyan¹, ZHANG Yanzhi²

1. Department of Electrical & Information Engineering, Sichuan Engineering Technical College, Deyang 618000, China

2. Teaching Equipment Management Office, Sichuan Engineering Technical College, Deyang 618000, China

Abstract: In wireless sensor network, concerning that dramatic changes of speed in a short period of time may lead to angle effect and reduce the location accuracy for tracking, and individual scheme is difficult to improve the location tracking accuracy, a location tracking method using Kalman filter and visual aids on TI CC2431 ZPS platform was proposed. Visual aid was used on the basis of normalized cross correlation, and the position of the reference node was extracted being as landmarks according to the visual aid method, and then the KF method was used to calibrate the position estimation. The proposed method could effectively avoid the uncertainty caused by the system error in the actual dynamic environment, and reduced the angular effect of the position estimation system, and improved the location tracking accuracy. The experimental results demonstrate that more than 56 percent of the location estimates have error distances less than 2.3 meters and 1.9 meters for TI ZPS method and KF based method, more than 56 percent of the location estimates have error distances less than 1.5 meters for the proposed method.

Key words: wireless sensor network, location tracking, Kalman filter, visual aid, ZPS platform

1 引言

无线跟踪定位^[1]技术在机器视觉、商业、公共安全和军事等诸多研究领域都有着重要应用。它将图像处理技术、计算机网络、计算机检测等技术融为一体^[2],随着科技的不断发展,跟踪定位变得越来越重要,无线网络中的跟踪定位问题是一个非常具有挑战性和研究意义的课题。

一般情况下,无线网络环境中大部分位置估算是基于接收到的信号强度(received signal strength, RSS)。基于 RSS 的小面积范围内的定位系统,有两种移动终端(mobile terminal, MT)的定位方法:使用无线局域网(wireless local area network, WLAN)^[3]、使用无线传感器网络(wireless sensor network, WSN)^[4]。前一种方法成本低,后一种方法节能。此外,位置估算和跟踪系统可以使用客户端部署或基础设施部署。就位置服务(location-based service, LBS)^[5]而言,关键问题是位置精度。然而,基于客户端部署或基础设施部署来准确估算位置,只使用 RSS 信息并不够。

传统意义上来说,可以通过位置跟踪算法提高位置的精度,跟踪算法通过状态方程和观测方程展示递归状态的评估^[6]。如参考文献[7]在统计学习理论的基础上,提出了一种重定义的混合高斯概率密度函数的目标跟踪器,利用高斯混合模型(Gauss mixture model, GMM)拟合重采样后的粒子分布,弱监督的增量模型用于物体外观的更新,但这种拟合容易产生“过拟合”问题。为了获得实时的目标运动估计,参考文献[8]考虑到小波分析在移动台的定位优势,提出一种在蜂窝网络中非视距环境下对移动台的定位及跟踪算法,利用小波变换对信号分解重构,实现对测量误差的修正。参考文献[9]提出基于卡尔曼滤波(Kalman filter, KF)算法的方法,由于 KF 算法是最小二乘法中最优的递归方程,因此可使用其来增加位置评估系统的精度。

然而,位置跟踪方法在短时间内速度的急剧变化可能导致角效应并降低定位精度^[10]。此外,对于智能手机的无线服务,大多数 LBS 应用只是基于 RSS,用于指示移动终端的位置。因此,仅使用某个方案来提高位置的精度仍存在困难。

有些智能机可以提供非常先进的计算能力并允许用户运行多任务应用。如参考文献[11]结合不同设备的定位系统提高位置精度。使用基于 RFIS 协助地标技术来校准位置估算,从而克服快速时变环境的角效应并提高系统性能的位置精度^[10]。所以,根据智能机的特征,结合无线电测

距和视频记录数据,可以提高移动终端的位置估算精度。

综上所述,本文在 WSN 环境中提出位置跟踪系统结合视觉辅助方法,其目的是探讨如何改善跟踪系统导致的角效应。相比传统位置估算,基于归一化互相关(normalized cross correlation, NCC)方法的视觉辅助方法检测地标位置作为校准,缓解了滤波和跟踪技术造成的角效应。在静态 WSN 环境中获得了更精准的位置估算。

2 基本知识

2.1 状态和观测方程

在状态空间描述的动态系统^[12]中,如果系统用概率密度表示,则该系统在 k 时刻 MT 测量的数学模型状态方程为:

$$x_{k+1} = f_{x,k}(x_k, u_k) \leftrightarrow f(x_{k+1}|x_k) \quad (1)$$

观测方程为:

$$z_k = f_{z,k}(x_k, \varepsilon_k) \leftrightarrow h(z_k|x_k) \quad (2)$$

其中, x_k , $f_{x,k}(\cdot)$, u_k , z_k , $f_{z,k}(\cdot)$ 和 ε_k 分别是状态向量、转换方程、已知分布情况的过程噪声、观测向量、观测方程和已知分布的观测噪声; $f(x_{k+1}|x_k)$ 和 $h(z_k|x_k)$ 分别是转移概率密度函数(probability density function, PDF)和观测 PDF。 u_k 干扰的隐藏状态 x_k 和 ε_k 干扰的数据 z_k 分别产生方程 $f_{x,k}(\cdot)$ 和 $f_{z,k}(\cdot)$ 。线性动态系统的数学模型和测量分别表示为:

$$x_{k+1} = \Phi_k x_k + u_k, \quad u_k \sim N(0, Q_k) \quad (3)$$

$$E\{u_n u_k^T\} = \begin{cases} Q_k, & n=k \\ 0, & n \neq k \end{cases} = \delta(k-n)Q_k \quad (4)$$

观测方程为:

$$z_k = H_k x_k + \varepsilon_k, \quad \varepsilon_k \sim N(0, R_k) \quad (5)$$

$$E\{\varepsilon_n \varepsilon_k^T\} = \begin{cases} R_k, & n=k \\ 0, & n \neq k \end{cases} = \delta(k-n)R_k \quad (6)$$

其中, x_k , Φ_k , u_k 和 Q_k 分别是状态矩阵、状态转换矩阵、模型噪声矩阵和模型噪声协方差矩阵。 z_k , H_k , ε_k 和 R_k 分别是实际测量矩阵、测量转换矩阵、测量噪声矩阵和测量噪声协方差矩阵。 u_k 和 ε_k 是对应协方差矩阵 Q_k 和 R_k 的零均值独立的高斯向量。

2.2 卡尔曼滤波

假设向量 $x = [x_1, \dots, x_n]^T$ 由独立分量组成, $i=1, \dots, n$ 。 x 的 PDF 由 $x_1, \dots, x_n$ 的独立 PDF 组成。 $N(x; m, P)$ 是 n 维向量的高斯密度, n 维高斯密度函数定义如下:

$$N(x; m, P) \triangleq \frac{1}{(2\pi)^{n/2} |P|^{1/2}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} (x-m)^T P^{-1} (x-m) \right\} \quad (7)$$



其中, x 、 m 、 P 分别是参数、均值和协方差。在时刻 $t=t_k$ 时, 向量 $x(t)$ 值为 x_k 。在时刻 $t=t_k$ 时, 向量 $x(t)$ 给出 $t=t_j$ 时刻的预估值 $x_{k|j}$, 用双下标表示。3 种有用情形为: 一步固定滞后平滑 $x_{k|k+1}=\tilde{x}_k$, 最佳估计 $x_{k|k}=\hat{x}_k$ 和最佳一步预测 $x_{k+1|k}=\tilde{x}_{k+1}$ 。

2.2.1 预测阶段(时间更新阶段)

从 k 到 $k+1$, 状态预测和预测误差协方差计算式为:

$$\tilde{x}_{k+1}=\Phi_k \hat{x}_k \quad (8)$$

$$\tilde{P}_{k+1}=\Phi_k \hat{P}_k \Phi_k^T+Q_k \quad (9)$$

$$\hat{P}_k=\{\hat{e}_k \hat{e}_k^T\}, \tilde{P}_k=E\{\tilde{e}_k \tilde{e}_k^T\} \quad (10)$$

其中, $e_{k|j} \triangleq x_{k|j}-x_k$, $e_{k|k} \triangleq \hat{x}_k-x_k=\hat{e}_k$, $e_{k|k-1} \triangleq \tilde{x}_k-x_k=\tilde{e}_k$ 。 $\hat{x}_k$ 、 $\tilde{x}_k$ 、 $e_{k|j}$ 、 $\hat{e}_k$ 、 $\tilde{e}_k$ 分别是状态估计矩阵、状态预测矩阵、状态误差矩阵、估计误差矩阵、预测误差矩阵; $\hat{P}_k$ 、 $\tilde{P}_k$ 分别是估计误差协方差矩阵和预测误差协方差矩阵。

2.2.2 创新阶段

创新阶段的计算式为:

$$zz_k=z_k-H_k \tilde{x}_k \quad (11)$$

$$K_k=\tilde{P}_k H_k^T[H_k \tilde{P}_k H_k^T+R_k]^{-1} \quad (12)$$

其中, zz_k 和 K_k 分别是创新矩阵和卡尔曼增益矩阵。

2.2.3 校正相位(测量更新相位)

状态估计和估计误差协方差更新如下:

$$\hat{x}_k=\tilde{x}_k+K_k zz_k \quad (13)$$

$$\hat{P}_k=[I-K_k H_k] \tilde{P}_k \quad (14)$$

其中, I 表示单位矩阵。

2.3 归一化互相关

为了识别路径上作为标记的参考节点(reference node, RN), 本文结合了一种具有 RN(ID) 的模式识别方法, 进行估计位置校准。众所周知, 最简单的基于区域的匹配方法是 NCC 算法^[13]。

在图像处理应用中广泛使用了 NCC 方案, 该方案可以防范因不同光照条件导致的图像与模板的亮度差。本文使用的 NCC 方程为:

$$\overline{G_T}=\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m G_T(x_i, y_j)}{n \cdot m} \quad (15)$$

$$\overline{G_S}=\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m G_S(x_i, y_j)}{n \cdot m} \quad (16)$$

$$\sigma_T=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (G_T(x_i, y_j)-\overline{G_T})^2}{n \cdot m-1}} \quad (17)$$

$$\sigma_S=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (G_S(x_i, y_j)-\overline{G_S})^2}{n \cdot m-1}} \quad (18)$$

$$\sigma_{TS}=\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m [(G_T(x_i, y_j)-\overline{G_T}) \cdot (G_S(x_i, y_j)-\overline{G_S})]}{n \cdot m-1} \quad (19)$$

$$r=\frac{\sigma_{TS}}{\sigma_T \sigma_S} \quad (20)$$

其中, $G_T(x, y)$ 、 $G_S(x, y)$ 分别是目标窗口和搜索窗口的灰度图; $\overline{G_T}$ 和 $\overline{G_S}$ 分别是目标窗口和搜索窗口的灰度值; m 和 n 分别是行列数; σ_T 和 σ_S 分别是目标窗口和搜索窗口的图像模板的标准偏差; σ_{TS} 是互相关值; r 是 NCC 值, 它表示通过地标时最有可能的视频帧或时间。

2.4 ZigBee 定位系统

ZigBee 网络^[14]基于 IEEE 802.15.4, 可以在路由维护过程中, 以低传输速率、低功耗、低成本进行信息交换。图 1 给出了基于 ZigBee 网络的简单定位系统, RSS 指示器(RSSI)是接收无线电信号功率度量。ZigBee 定位系统(ZPS)包含 3 类模型(节点): 指示器、参考节点(RN)、定位节点(BN)。如图 1 所示, 协调器直接跟电脑相连; RNS 放置在已知位置点, 向 BN 发送设备 ID 地址和坐标。即 RN 放置在已知位置的静态节点; BN 节点采集来自 RN 的信号, 该信号对应于 RN 的 RSSI 值。当 BN 接收来自节点 RN 的信号时, 利用采集的 RSSI 样本和路径损失模型计算 BN 和 RN 的间距, 然后根据 RN 坐标计算得到 BN 位置。最后, 通过无线传感器网络系统向 LBS 应用发送 BN 估计位置的坐标。

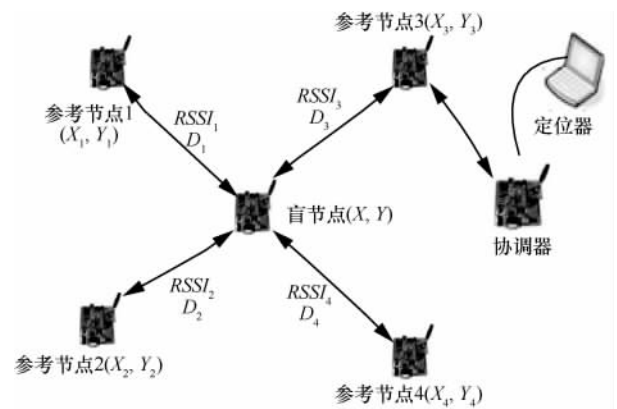


图 1 基于 ZigBee 网络的简单定位系统

3 提出的算法

WSN 中测量不确定度的方法,使用了一款流行的商业系统 ZPS,该系统基于 CC2431 定位引擎,由德克萨斯仪器(TI)公司开发。TI CC2431 具体技术介绍可以登录 <http://www.ti.com/product/cc2431>。TI CC2431 是一种针对 WSN 中基于低功耗局域网协议(ZigBee)应用的硬件定位引擎。Ad Hoc 无线网络中,它用来评估基于 RSSI 值(来自 RN,由集中式计算方法得到)的 BN 位置估计。按照 RSSI 值, TI CC2431 定位引擎分别独立输出(X,Y)坐标。本文关注在二维坐标系统中具有独立的(X,Y)群的定位跟踪方案。

3.1 问题公式化

为了提高跟踪的定位精度,可将位置跟踪方法化为滤波问题。在使用跟踪算法的位置估计系统中引入基于 KF 的方法,用于提高定位系统的估算精度。就滤波方法而言,虽然状态和测量模型是基于线性高斯系统的二维模型,但易于将方案扩展为三维模型。本文二维模型向量 $\mathbf{x}_k = [\mathbf{x}_{1,k} \quad \mathbf{x}_{2,k} \quad \dot{\mathbf{x}}_{1,k} \quad \dot{\mathbf{x}}_{2,k}]^T$ 表示 k 时刻 MT 的状态,其中, $\mathbf{x}_{1,k}$ 和 $\mathbf{x}_{2,k}$ 分别表示 X、Y 方向坐标。 $\dot{\mathbf{x}}_{1,k} = s_{1,k}$ 和 $\dot{\mathbf{x}}_{2,k} = s_{2,k}$ 分别为 X、Y 方向的速度。MT 速度模型基于速度噪声;MT 通过添加随机分量,二维模型描述了 MT 的运动和观测位置,计算式为:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{x}_{1,k+1} \\ \mathbf{x}_{2,k+1} \\ \dot{\mathbf{x}}_{1,k+1} \\ \dot{\mathbf{x}}_{2,k+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{x}_{1,k} \\ \mathbf{x}_{2,k} \\ s_{1,k} \\ s_{2,k} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \Delta_k & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \Delta_k \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{x}_{1,k} \\ \mathbf{x}_{2,k} \\ \dot{\mathbf{x}}_{1,k} \\ \dot{\mathbf{x}}_{2,k} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} u_{1,k} \\ u_{2,k} \\ u_{3,k} \\ u_{4,k} \end{bmatrix} \quad (21)$$

$$\begin{bmatrix} z_{1,k} \\ z_{2,k} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{x}_{1,k} \\ \mathbf{x}_{2,k} \\ \dot{\mathbf{x}}_{1,k} \\ \dot{\mathbf{x}}_{2,k} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_{1,k} \\ \varepsilon_{2,k} \end{bmatrix} \quad (22)$$

其中, Δ_k 是 k 与 $k+1$ 间的测量周期。如式(3)和式(5)与式(21)和式(22)的区别,可用 $u_k = [u_{1,k}, u_{2,k}, u_{3,k}, u_{4,k}]^T$ 表示过程噪声; $z_k = [z_{1,k}, z_{2,k}]^T$ 和 $\varepsilon_k = [\varepsilon_{1,k}, \varepsilon_{2,k}]^T$ 分别表示 k 时刻 MT 的观测信息和测量噪声。

3.2 基于视觉辅助的位置估计

在 WSN 环境中,信号受到反射、衍射、散射和传播过程中遮蔽衰减效应的影响,并且 RSSI 值的不稳定性也会影响定位精度。TI CC2431 定位引擎的信号反馈受 RSSI 信

息影响波动很大,这会降低定位精度。为了提高定位精度,采用基于辅助标记的方法,以克服不同环境状态下的动态时间变化系统因滤波和跟踪方法导致的角效应,从而能够校准和定位基于传感地标位置的位置。通过 NCC 方法从视频特征中提取 RN 地标,进行位置估计。此外,为了减少能量损耗和延长基于 NCC 方法进行位置估计的智能移动终端的生命周期,该方案允许视觉辅助概念基于同一阈值,同时操作两种模式:睡眠模式和活动模式;阈值即 RSSI 和 ZPS 测试平台的阈值。如图 2 所示,如果 RSSI 小于阈值,视觉辅助算法进入活动模式。即当 BN 接近 RN 时,智能移动终端的视频相机开始录制路径,然后通过 NCC 方法检测地标。相反,当 RSSI 大于阈值时,视觉辅助算法进入睡眠模式,视频相机停止录制路径。图 3 给出了基于 NCC 方法的视觉辅助方案的例子。实验结果表明,可以用 NCC 方法从视频特征中提取 RN,作为正确的地标。

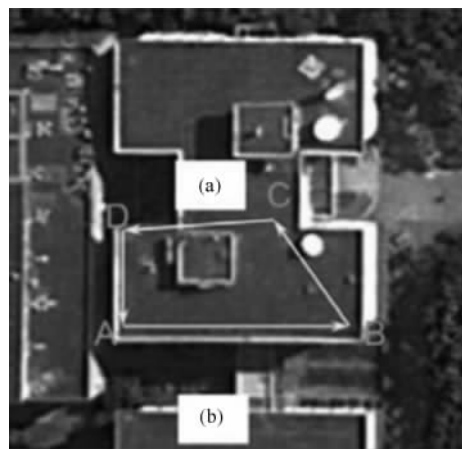


图 2 楼层平面布局

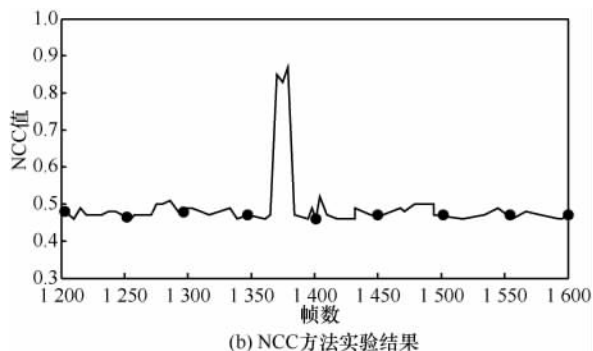
4 实验结果

4.1 实验设置

实验平台位于遥感研究中心顶层,采样位置间距为 1 m, RN(1~26)广泛地分布于屋顶,15 个 RN 分布于采样位置的闭环路径中。此外,为了获得采样点的最佳精确位置,在定位系统中增强天线的各向同性辐射特性。因此,为了更精确地测量 RSSI 信息,采用了简单的天线辐射图测绘方法,BN 置于转盘中,可以旋转,以便 RN 辐射天线可以连续地指向北、西、南和东,测量 4 个方向上不同距离(RN 与 BN 间距,1~10 m)的 RSSI 信息。将信息输入 TI CC2431 系



(a) 例图



(b) NCC方法实验结果

图3 提取RN作为地标的例子

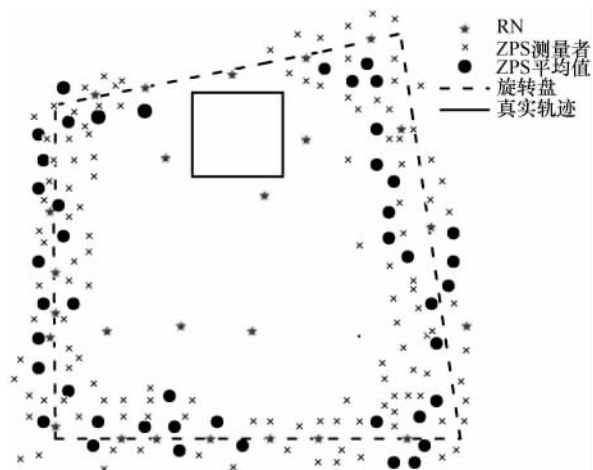


图4 TI ZPS平台中MT(BN)沿着测试路径运动的位置估计结果

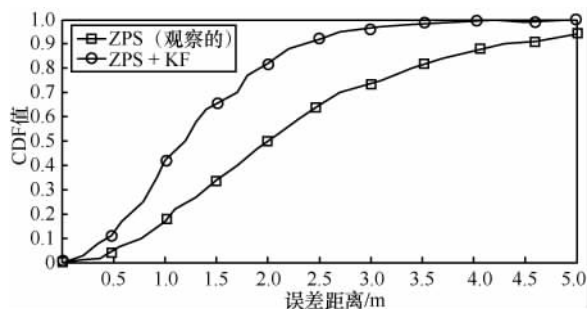


图5 ZPS(观测)和基于KF的跟踪方法误差距离的CDF

统,用于估算位置。然而,在无线网络系统中,位置误差取决于信息环境、RN部署模式和密度。通常,在相同给定区域内,可用RN越多,则定位越精确。

4.2 ZigBee 定位系统

在无线网络系统,ZPS使用TI CC2431定位引擎的RSSI值定位。本文实验采用了视觉辅助方案与TI CC2431 ZPS相结合的平台,用于位置估计和轨迹跟踪。图2中,MT沿着测试路径移动;图4给出了基于TI ZPS平台的位置估计实验结果,用“×”表示估测位置,即ZPS测量者。为了验证所提方案实验结果的优劣,图4给出了对应估计结果的位置参数。不失一般性,假定式(21)中的MT具有稳定的状态, Δ_k 表示 k 与 $k+1$ 间的测量周期(样本时间),设置为1s。此外,图4还给出了式(22)中的视觉位置。

4.3 基于卡尔曼滤波的位置估计

根据误差距离的累积误差分布函数,图5给出了跟踪方案中位置估计的模拟结果。结果表明:跟踪方案的位置精度优于非跟踪方案。事实上,KF算法是基于线性高斯模型的最优跟踪方案,并且它通常是均方差误差中的最佳线性估值。因此,KF跟踪方案中的定位精度可认为是高斯环

境中位置估计系统的CDF上界。

结果表明:TI ZPS方案有超过56%的估计位置误差距离小于2.3m;基于KF的方案有超过56%的估计位置误差距离小于1.9m。根据图6的实验结果,KF跟踪算法的精度优于ZPS非跟踪算法。事实上,基于KF方法的特性是一种递归的最小均方差状态算法。所以,KF跟踪算法的位置误差可作为本文各种位置估计方法的CDF上界。

4.4 基于视觉辅助的位置估计

根据TI公司给出的经验值,TI CC2431定位引擎将ZPS平台中RSSI的阈值设置为60。如果 $RSSI > 60$,视觉辅助算法将进入活动模式,然后通过NCC方法检测地标。图7给出了基于NCC的视觉辅助方案的实验结果。 r 值表示经过地标点时最可能的视频帧。根据图7的实验结果, r 值在0.6左右时,可明显区分大多数高峰值,这里估计最佳值为0.62,故将NCC方法中 r 值的阈值设为0.62,此时,RN能够正确检测出地标,获得较好的结果。

结果表明:超过56%的估计位置误差距离小于1.5m。图7实验结果表明提出的方案定位精度优于非视觉辅助

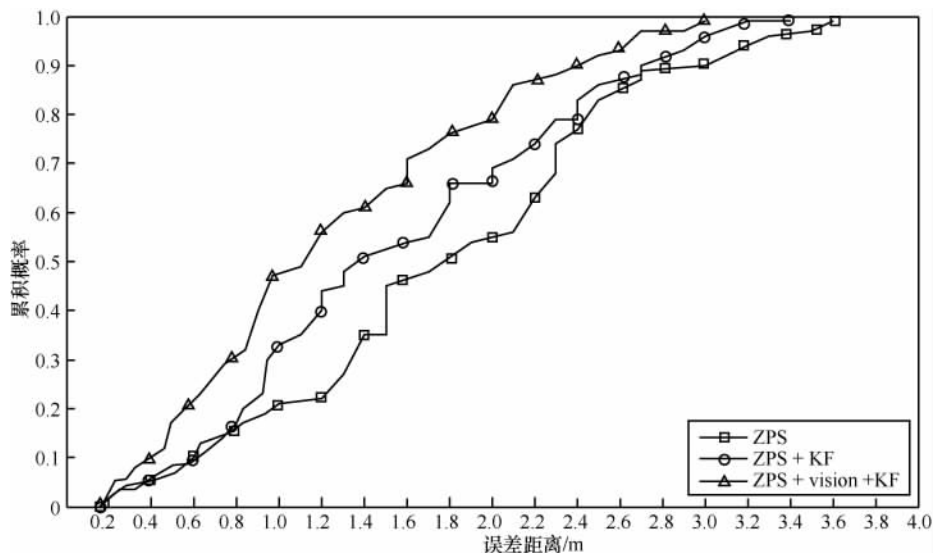


图6 ZPS(观测)、基于KF和具有视觉辅助的KF轨迹跟踪方法比较

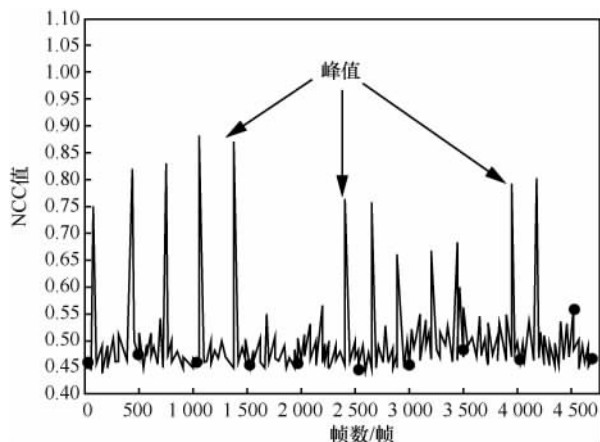


图7 MT(BN)沿测试路径运动时, 基于NCC方法的RN图像匹配结果

方法。视觉辅助方法能够提供高精度的定位估计和轨迹跟踪。结合基于NCC的视觉技术和基于KF的算法表明:提出的跟踪方案结果接近MT的跟踪定位,即基于NCC方法的视觉辅助方法能够有效解决和克服动态时间变化环境对路径的影响。由于该位置跟踪平台适用于多种实际应用。例如,在室内或室外环境中,当GPS信息失锁后,它可以提供持续的实时位置跟踪。因此,结合多种不同策略的位置估计系统是提高定位精度的重要技术。即结合视觉辅助方法与位置跟踪技术的位置估计方案可作为多传感器定位系统的熔断器,用于改进LBS应用中MT的位置估计。

5 结束语

本文基于WSN环境提出了一种视觉辅助进行位置估

计和轨迹跟踪的方法。在ZPS平台中,基于KF方法,MT能够正确地跟踪位置变化,并改善定位精度。此外,NCC过程匹配RN图像,从视频特征中提取RN作为地标。因此,KF跟踪方案可利用RN信息校正位置估计和减小角效应。在稳态环境中,实验结果表明提出的方案比非跟踪方案和非视觉辅助方案的精度更高,超过56%的估计位置的误差距离小于1.5m。与无辅助的方案比较,提出的定位跟踪平台在WSN的ZPS平台中结合了视觉辅助方案和KF跟踪方法,对各种LBS应用都很具有较强的优势。

本文只考虑了静态WSN,主要是为了使问题便于形式化描述,未来将考虑更具挑战的动态WSN跟踪定位问题。

参考文献:

- [1] 黄毅,胡爱群.无线传感器网络定位算法综述[J].电信科学,2010,26(7):69-75.
HUANG Y, HU A Q. Survey on location algorithm for wireless sensor networks [J]. Telecommunications Science, 2010, 26(7): 69-75.
- [2] 王鑫,徐立中.图像目标跟踪技术[M].北京:人民邮电出版社,2012.
WANG X, XU L Z. Technology of target tracking [M]. Beijing: Posts and Telecom Press, 2012.
- [3] VILLASENOR L. Mean receiver power prediction for indoors 802.11 WLANs using the ray tracing technique [J]. Journal of Applied Research and Technology, 2007, 5(1): 33-48.
- [4] 丁伟,李树泉,李思维,等.面向智慧园区的WSN路由优化算法[J].电信科学,2016,32(3):171-175.



- DING W, LI S Q, LI S W, et al. An optimized routing algorithm in WSN for smart park [J]. Telecommunication Science, 2016, 32(3): 171-175.
- [5] 林方旭. 基于无线传感网的室内定位技术研究 [D]. 上海: 华东师范大学, 2015.
- LIN F X. Indoor location technology research based on wireless sensor network [D]. Shanghai: East China Normal University, 2015.
- [6] MOON T K, STIRLING W C. Mathematical methods and algorithms for signal processing [M]. New Jersey: Prentice Hall, 2000.
- [7] YAZDIAN-DEHKORDI M, AZIMIFAR Z. Adaptive visual target detection and tracking using weakly supervised incremental appearance learning and RGM-PHD tracker[J]. Journal of Visual Communication & Image Representation, 2015, 35(2): 1-11.
- [8] 陈宝全, 毛永毅. 小波分析法解决无线定位跟踪问题 [J]. 电信科学, 2013, 29(10): 98-102.
- CHEN B Q, MAO Y Y. Wavelet analysis method to solve the problem of wireless location tracking [J]. Telecommunications Science, 2013, 29(10): 98-102.
- [9] 田丰, 郭巍, 刘晓露, 等. 基于自适应抗差滤波的 WSNs 节点跟踪算法[J]. 传感技术学报, 2011, 24(1): 100-105.
- TIAN F, GUO W, LIU X L, et al. Tracking algorithm based on adaptively robust filtering for WSNs [J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 2011, 24(1): 100-105.
- [10] CHIOU Y S, WANG C L, YEH S C. An adaptive location estimator using tracking algorithms for indoor WLANs [J]. Wireless Networks, 2010, 16(7): 1987-2012.
- [11] CHIOU Y S, TSAI F, YEH S C, et al. A low-complexity data-fusion algorithm based on adaptive weighting for location estimation [C]//The IEEE International Conference on Information Security and Intelligent Control (ISIC), July 6, 2012, Yunlin, China. New Jersey: IEEE Press, 2012: 296-299.
- [12] 罗小川, 叶东, 车仁生, 等. 分布式测量系统状态空间描述方法研究[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2003, 35(2): 188-194.
- LUO X C, YE D, CHE R S, et al. Research on the description of status space in distributed measurement system[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2003, 35(2): 188-194.
- [13] 谢维达, 周宇恒, 寇若岚. 一种改进的快速归一化互相关算法[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2011, 39(8): 1233-1237.
- XIE W D, ZHOU Y H, KOU R L. An improved fast normalized cross correlation algorithm [J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2011, 39(8): 1233-1237.
- [14] 钱志鸿, 朱爽, 王雪. 基于分簇机制的 ZigBee 混合路由能量优化算法[J]. 计算机学报, 2013, 36(3): 485-493.
- QIAN Z H, ZHU S, WANG X. An cluster-based ZigBee routing algorithm for network energy optimization[J]. Chinese Journal of Computers, 2013, 36(3): 485-493.

[作者简介]



邹永艳(1979-),女,四川工程职业技术学院讲师,主要研究方向为计算机网络等。



张衍志(1982-),男,四川工程职业技术学院讲师,主要研究方向为计算机网络、计算机安全等。