

基于信号强度差的 RFID 室内定位研究

李军怀 贾金朋 王怀军 王志晓 张 翔

(西安理工大学 西安 710048)

摘 要 针对 RFID 室内定位中使用异种标签以及标签电量差异引起的信号强度差异的问题,提出一种新的基于 SSD(Signal Strength Difference)的 RFID 指纹定位模型。该模型引入虚拟参考点,在离线阶段根据信号传播模型计算虚拟参考点的 RSSI,建立 SSD 指纹地图,利用 SSD 消除异构定位读写器及电子标签的差异并解决由时间的变化引起的标签 RSSI 衰减问题;在在线定位阶段,采用位置匹配求交集的方法消除噪声点,然后利用 K-NN 算法估计目标位置。实验表明该模型具有较好的健壮性和较高的定位精度。

关键词 SSD, VIRE, 室内定位, 参考标签

中图分类号 TP301.6

文献标识码 A

DOI 10.11896/j.issn.1002-137X.2015.11.032

Research on SSD-based RFID Indoor Location Method

LI Jun-huai JIA Jin-peng WANG Huai-jun WANG Zhi-xiao ZHANG Xiang

(Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract Aiming at the signal strength difference caused by using different tags and power difference of tag in RFID indoor location, this paper proposed a new signal strength difference(SSD) based RFID fingerprint position model. The model introduces a virtual reference point. At the offline stage, it computes the RSSI of virtual reference point according to the signal transmission model, establishes SSD fingerprint map, and uses SSD to eliminate difference of device and overcome the attenuation of RSSI with time. At online stage, it uses the method of position matching seeking intersection to eliminate noise, and then uses the K-NN algorithm to estimate the target location. The experiment proves that the proposed location model is robust and has better accuracy.

Keywords SSD, VIRE, Indoor location, Reference tag

1 引言

随着社会的快速发展,室内定位在医疗监护、资产管理等相关领域有着广泛的应用需求。医院实时地掌握病人的位置,以便病人在出现突发状况时能得到快速救治;应用于仓库、博物馆等复杂的室内环境,提供物品的位置信息,辅助日常管理工作,减少人力成本。室内定位有 WLAN、红外线、光跟踪、RFID 等多种方法^[1-3],其中 WLAN 和 RFID 技术得到了学者的青睐,其他的技术对环境的要求比较严格,有一定的局限性。RFID 相比 WLAN 具有非接触、非视距、抗干扰能力强等优点,成为室内定位技术的一个主要研究方向^[4]。

目前,典型的 RFID 定位方法主要有基于信号强度测距的方法和指纹定位方法^[5]。信号强度测距的方法依据信号强度模型距离与信号强度关系计算出目标位置,其缺点是实时测量标签的信号强度且需要大量的参考标签,标签之间也存在信号干扰;指纹定位方法由于只需要在离线阶段采集指纹信息,在在线定位时通过匹配指纹与指纹库得到目标位置,减少了信号间的干扰和计算量,因此得到了学者的关注。

基于指纹定位方法的研究是 RFID 一种重要的室内定位

方法,但离线阶段构建指纹地图存在一些问题。第一,离线阶段和在线阶段数据必须严格一致,即要求定位设备、环境参数等一致,但实际中环境参数是实时变化的,天气变化、人员走动都会使信号产生波动^[6]。定位设备之间的差异如增益、功率的不同也会破坏数据的一致性。这些因素限制了 RFID 室内定位的应用。第二,离线阶段采集的数据越多、越接近真实的环境,在线定位的准确度就会越高。指纹定位比较适合在小范围内应用,随着定位范围的增大,离线采集的数据量急剧增多,定位的复杂度加剧,花费的成本也增加,噪声点也相应增多,定位的效果会达不到预期要求。

针对上述两个问题,本文提出一种 RFID 室内定位模型,即离线阶段引入虚拟参考点,借助实体参考标签的 RSSI,采用信号传播模型计算虚拟参考点的 RSSI,然后构建 SSD 指纹。该模型能够保证在环境发生变化和定位设备有差异时稳定的定位效果。在线阶段依据目标位置处的 SSD 指纹进行匹配,估算目标的最终位置。

2 相关研究

无线信号在室内传播会产生衰减、折射、反射、绕射、多径

到稿日期:2014-10-21 返修日期:2015-01-26 本文受国家自然科学基金(61172018),西安市科技计划项目(CXY1340)资助。

李军怀(1969—),男,博士,教授,CCF 高级会员,主要研究领域为物联网、网络计算等,E-mail:lijunhuai@xaut.edu.cn;贾金朋 男,硕士生,主要研究领域为位置服务技术;王怀军 男,博士,讲师,主要研究领域为物联网技术、信息安全;王志晓 男,讲师,主要研究领域为物联网技术;张翔 男,讲师,主要研究领域为网络计算。

效应、多普勒效应等,同时信号之间还存在相互干扰问题,这些因素一直是室内定位技术的难点。室内指纹定位方法的定位精度和离线阶段指纹地图是密切相关的,指纹采集的量越大,定位的准确度就越高,但同时也增加了大量的噪声信息,指纹采集的难度和工作量都会变得很大,成本增加。Zhao Yiyang^[7]等人提出了 VIRE(Virtual Reference Elimination)算法,引入虚拟参考标签的思想,即在定位区域中增加一些虚拟的参考点,通过线性差值等方法计算出虚拟参考点的信号强度。邵成刚^[8]等人在 VIRE 的基础之上,用拉格朗日插值和二维牛顿插值改进了 VIRE 算法。在实际定位环境中,距离和 RSSI 之间并不是线性关系,用线性差值方式计算虚拟点信号强度和实际信号强度可能会有较大的差异。有学者提出基于测距的方法计算虚拟点信号强度,给定一个阈值,即虚拟参考标签范围,在阈值范围之内所有实体参考标签共同确定虚拟位置处信号强度。通过引入虚拟参考标签的思想,可以克服指纹定位中离线阶段指纹采集工作量大的问题,并减少采集过程中由信号波动引起的噪声。

在室内定位中,针对异构设备引起的定位误差问题,文献[9]在研究蜂窝定位中,提出利用信号强度差来抵消传播模型受到的环境影响。文献[10]在无线传感网络定位研究中,使用信号强度差来消除节点功率差异引起的变化,改善定位效果。文献[11]在分析信号传播模型的基础上,使用差分模型消除由于设备功率、增益的不同而产生的影响。在基于 WLAN 的定位方法研究中, A. K. M Mahtab Hossain^[12,13]等人提出了 SSD(Signal Strength Difference)方法,以信号强度的差值作为指纹。王洁、谢代军^[14,15]等人根据传播模型分析了 WLAN 环境下终端的异构性对定位的影响,并采用 SSD 方法降低异构终端因发射功率不同引起 RSSI 的变化而损失的精度。

在 RFID 定位中,有源电子标签使用内置电池,相关研究表明其电压会随时间变化而衰减,因此标签的发射功率会随之逐渐变小,读写器接收到的信号强度将逐渐减弱。同一家公司生产的定位标签也会有一定的差异(如增益、功率等),信号强度也会有差异,这都会给 RFID 定位精度带来影响。

3 基于 SSD 的 RFID 定位模型

针对上述问题,结合 WLAN、WSN 定位中 SSD 方法的研究成果,本文提出一种基于 SSD 的 RFID 室内定位方法。本文提出的定位模型如图 1 所示,包含离线阶段和在线阶段。离线阶段在定位区域中选择若干参考点,采集每个参考点和读写器之间的信号强度,由于信号受到环境的干扰存在波动,采用滤波方法去除噪声,结合 SSD 和 VIRE 方法建立整个定位区域的指纹库,包括虚拟参考点和实体标签参考点。在线阶段把实时采集到的位置指纹发送到通讯服务器,通过负载均衡等技术将定位任务分发到定位服务器集群,经过定位服务器集群根据某一定位算法计算出位置坐标并发送至通讯服务器,再返回到客户端。

指纹地图的创建分为两个步骤:一是实时采集参考点的信号强度,使用信号传播模型计算虚拟参考点的信号强度;二是依据 SSD 方法计算每个参考点(虚拟参考点和实体参考点)的差分指纹。下面分别介绍这两个步骤。

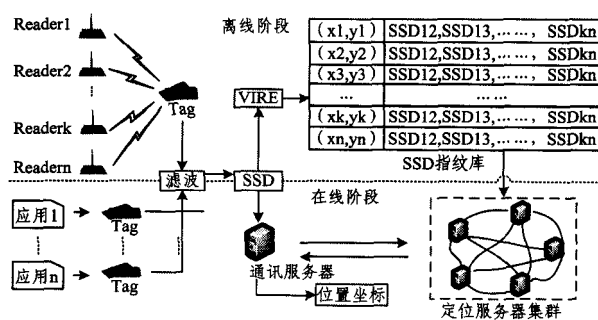


图 1 定位模型

3.1 虚拟信号强度的计算

如图 2 所示,把定位区域划分为若干矩形的子区域,分别在子区域的顶点处放置参考标签,依据信号传播模型计算虚拟参考点的信号强度。虚拟参考点的信号强度与子区域有紧密的关联,只要子区域划分得合适,那么虚拟参考点的信号强度就是稳定可靠的。

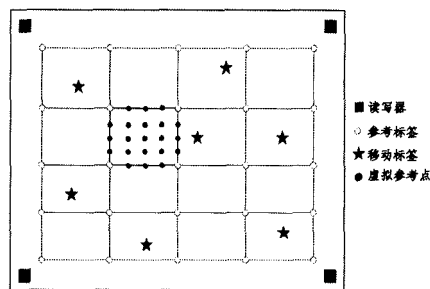


图 2 读写器与标签部署图

如图 2 所示,区域被 5×5 的实体参考标签划分为 16 个矩形的子区域,每个子区域都由 4 个实体参考标签围成。假设子区域的长度为 L ,宽度为 H ,虚拟标签在横向和纵向间隔 $Distance$ 均匀分布,那么横纵向虚拟标签数分别为 $\lfloor L/Distance \rfloor + 1$ 、 $\lfloor H/Distance \rfloor + 1$ 。由于区域内 4 个顶点处是实体参考标签不需要计算,因此总的虚拟参考标签数量为 $(\lfloor L/Distance \rfloor + 1) \times (\lfloor H/Distance \rfloor + 1) - 4$,用 VT_{ij} 表示区域内的虚拟标签,其中 i, j 定义如下:

$$\begin{aligned} i &\in \{0, \dots, \lfloor L/Distance \rfloor + 1\} \\ j &\in \{0, \dots, \lfloor H/Distance \rfloor + 1\} \\ i &\notin \{0, \lfloor L/Distance \rfloor + 1\} \\ j &\notin \{0, \lfloor H/Distance \rfloor + 1\} \end{aligned} \quad (1)$$

根据 Shadowing 传播模型的定义:

$$P(d) = P(d_0) - 10\beta \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + \mu \quad (2)$$

$P(d_0)$ 表示距离为 d_0 时的信号强度,通常 d_0 为 1m。 β 为路径损耗因子, d 为参考标签与读写器之间的距离。 μ 为一个正态随机变量 ($\mu \sim N(0, \sigma_{ab}^2)$)。本文用 RT_{ij} 表示实体参考标签与第 k 个读写器之间距离为 d_k 时的信号强度定义 $P(d_0)$,虚拟参考点 VT_{ij} 处的信号强度 $VT_{ij,k}$ 可以表示为:

$$VT_{ij,k} = RT_{ij} - 10\beta_k \log\left(\frac{d_{ij,k}}{d_k}\right) + \mu_k \quad (3)$$

式中, $VT_{ij,k}$ 表示区域中虚拟参考点 VT_{ij} 与第 k 个读写器之间的信号强度, RT_{ij} 表示 (i, j) 位置的标签与第 k 个读写器之间的信号强度, d_k 表示实体参考标签与第 k 个读写器之间的距离, $d_{ij,k}$ 表示虚拟参考标签与读写器之间的距离, β_k 表示实体参考标签与第 k 个读写器之间的路径损耗因子。

虚拟参考标签的信号强度会受到构建区域的实体参考标签的影响,距离虚拟参考标签越近的实体受参考标签的影响越大,越远的则越小。依据距离的不同,不同实体参考标签权值不同,叠加形成虚拟点的 RSSI 值。

$$VT_{ij} = \sum_{n=1}^4 w_n \times VT_{ij,n} \quad (4)$$

式中, w_n 为实体标签 n 与虚拟参考点之间的权重,如式(5)所示:

$$w_n = \frac{1/d_n^2}{\sum_{n=1}^4 1/d_n^2}, 1 \leq n \leq 4 \quad (5)$$

式中, d_n 表示虚拟标签与第 n 个实体参考标签的欧氏距离。

3.2 SSD 指纹地图的构建

3.2.1 信号强度差

无线信号在室内传播符合 Shadowing 模型如式(2),也可以表示为:

$$P(d) = 10 \log \left(\frac{P_R G_R G_T \lambda^2}{16 \pi^2 d_0^2 \gamma} \right) - 10 \beta \log \left(\frac{d}{d_0} \right) + \mu \quad (6)$$

式中, P_R 表示读写器的发射功率, G_R 是读写器的天线增益, G_T 是标签的天线增益, λ 是无线信号的波长, γ 是损耗因子。从式(6)可以看出,读写器与标签之间的信号强度与标签参数有着很大的关系,即使是同一家公司的标签,由于天线增益等不同,读写器读取相同位置的两个标签的 RSSI 也会不一样,那么在数据采集时和定位时 RSSI 就可能不一样,最终就导致定位精度不准确。

同时 Active Tag 相比于 Passive Tag 有着识别距离远、稳定性高、读取速度快等优点,在 RFID 室内定位中得到了广泛的研究。但是大多数的研究忽略了 Active Tag 随着时间的推移,标签电池电量的下降会引起其功率的逐渐减小,使得读写器接收到的信号强度变弱,定位的精度也会下降,SSD 算法可以很好地消除标签不同所带来的差异。

SSD 的思想就是把相同位置处不同读写器获得的 RSSI 进行差值,把差值作为位置指纹。假设在位置 i 处标签距离读写器 Reader1 和 Reader2 的距离为 s_1 和 s_2 ,那么根据式(6)有:

$$P(d_1) = 10 \log \left(\frac{P_{R1} G_{R1} G_T \lambda^2}{16 \pi^2 d_0^2 \gamma_1} \right) - 10 \beta \log \left(\frac{d_1}{d_0} \right) + \mu_1 \quad (7)$$

$$P(d_2) = 10 \log \left(\frac{P_{R2} G_{R2} G_T \lambda^2}{16 \pi^2 d_0^2 \gamma_2} \right) - 10 \beta \log \left(\frac{d_2}{d_0} \right) + \mu_2 \quad (8)$$

由式(7)、式(8)有:

$$P(d_1) - P(d_2) = 10 \log \left(\frac{P_{R1} G_{R1} \lambda_1^2 \gamma_2}{P_{R2} G_{R2} \lambda_2^2 \gamma_1} \right) - 10 \beta \log \left(\frac{d_1}{d_2} \right) + \mu_1 - \mu_2 \quad (9)$$

上式即为 SSD 产生式,可以看出其已经与 G_T 没有关系,即标签的硬件参数不会影响 RSSI。虽然不同的读写器配置参数不同,如读写器的发射功率、增益等也会影响 RSSI,但在采样阶段和定位阶段读写器的配置不发生改变,差值产生的 RSSI 是稳定的,不会影响最后的定位效果。

3.2.2 SSD 指纹地图构建

根据 3.1 节的方法,可以计算得到虚拟参考点的信号强度。这里,假设定位区域中有 N 个读写器以及 m 个实体参考标签,读写器分别对 m 个标签进行采样。在一定时间内连续采集,标签与读写器之间有一组 RSSI 信号中夹杂了噪声信号,使用高斯滤波或均值滤波方法进行处理。整个定位区域被实体参考标签划分为 R 个子区域,每个子区域包含 4 个实体参考标签。在子区域中选择一个合适的虚拟标签间隔

Distance,那么有 $SubArea = (\lfloor L/Distance \rfloor + 1) \times (\lfloor H/Distance \rfloor + 1) - 4$ 个虚拟参考点,整个定位区域有 $SubArea \times R + m$ 个参考点。参考点处的指纹可表示为:

$$L_i = \{RSSI_1, \dots, RSSI_j, \dots, RSSI_N\} \quad (10)$$

$$1 \leq i \leq SubArea \times R + m, 1 \leq j \leq N$$

指纹地图表示为:

$$Map = \{L_i | 1 \leq i \leq SubArea \times R + m\} \quad (11)$$

设 SSD 指纹为 F_i ,可表示为:

$$F_i = \{SSD_1, \dots, SSD_j, SSD_{N-1}\} \quad (12)$$

$$1 \leq i \leq SubArea \times R + m, 1 \leq j \leq N - 1$$

其中, SSD_j 表示参考点 i 处任意两个读写器 RSSI 的差值。根据随机组合有 C_N^2 个 SSD_j ,其中只有 $N-1$ 个是相互独立的,因此 SSD 指纹的维数是 $N-1$,比传统指纹 L_i 减少了。SSD 指纹构造公式如下:

$$SSD_j = RSSI_{k+1} - RSSI_k, 1 \leq k \leq N-1 \quad (13)$$

则基于 SSD 的指纹地图可以表示为:

$$MapSSD = \{F_i | 1 \leq i \leq SubArea \times R + m\} \quad (14)$$

离线阶段建立指纹地图;在线阶段进行指纹匹配分为两个步骤。第一步匹配相近点,消除噪声点。目标标签与每个读写器之间都有一个信号强度值 $RSSI_i$,每个读写器都有一张信号强度覆盖图 $MapRSSI$,根据目标标签与读写器之间的信号强度,找到与目标标签信号强度距离为 V 的位置 P_k ,即满足式(16)的 P_k 的集合 SM_i ,如式(17)所示。所有读写器 SM_i 的交集 SF 就是与目标标签最接近的位置,同时消除了噪声点。第二步计算目标位置。根据上一步得到的集合 SF ,采用 K-NN 算法计算出目标的位置。

$$MapRSSI = \{RSSI_i | 1 \leq i \leq SubArea \times R + m\} \quad (15)$$

$$RSSI_i - V \leq RSSI_k \leq RSSI_i + V \quad (16)$$

式中, V 为信号波动值,信号强度最大的偏移距离为 V 。

$$SM_i = \{P_k | 1 \leq k \leq SubArea \times R + m\} \quad (17)$$

$$P_k \in MapSSD_i, 1 \leq i \leq N \quad (18)$$

$$SF = SM_i \cap SM_j, 1 \leq i, j \leq N \text{ 且 } i \neq j$$

4 实验分析

实验是在一个 $7.6\text{m} \times 7.6\text{m}$ 的房间(如图 3 所示的办公室)中进行的,在房间的 4 个角分别放置读写器,间隔 1.2m 设置参考点并放置参考标签。读写器采用 RF Code 250 Fixed Reader,标签是有源标签 M100 和 M150。实验主要分为 3 个部分,首先分别测量相同类型和不同类型标签在同一时间的信号强度,观察 RSSI 的变化;其次基于 VIRE 方法建立指纹库以及基于本文提出的模型建立 SSD 指纹库,比较不同时间、不同类型标签的指纹;最后定位阶段根据不同的指纹地图进行定位。

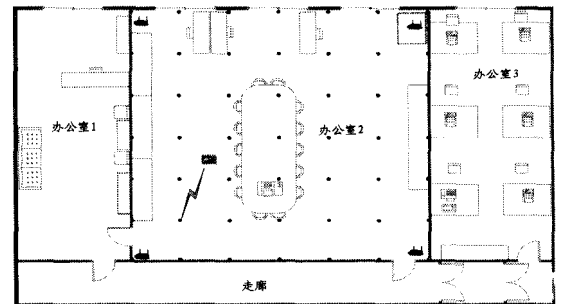


图 3 实验环境平面图

4.1 相同和不同类型标签的信号强度变化

如图3所示的实验环境中,在每个参考点处放置3个标签,分别为2个LOCATE型和1个TMPRCK型。测量时间为1min,间隔为10s,得到每个读写器与标签之间的信号强度变化曲线。图4和图5所示为两个读写器分别读取49个位置的信号强度,两个LOCATE类型的标签信号强度差异较大,不同类型标签的信号强度差异也较大,那么在离线阶段和在线阶段使用不同的标签,对定位的精度就会产生较大的影响。

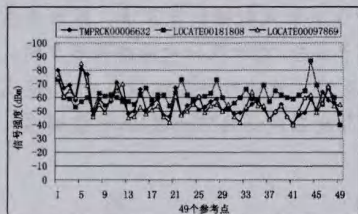


图4 Reader1与不同电子标签的RSSI

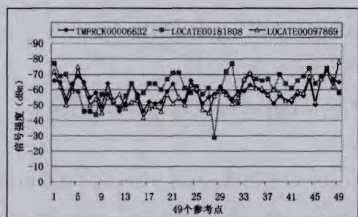


图5 Reader2与不同电子标签的RSSI

4.2 同种类型和不同类型标签的SSD指纹对比

由于标签硬件参数(如增益、噪声、电量等)的差异,在不同时间得到的信号强度会有所不同,SSD指纹方法能有效降低硬件差异和环境的影响。实验中使用了4个读写器,按照图3所示位置部署采集信号强度,分别按照传统方法和本文提出的方法建立指纹地图,从地图中任意选择49个点对比传统指纹和SSD指纹。图6和图7示出标签与读写器Reader1和Reader2之间的信号强度曲线,即对于传统方法建立的指纹,无论是不同类型还是相同类型的标签,在相同位置的指纹变化趋势是不一样的,信号强度变化较大。图8和图9示出49个位置处标签与读写器Reader1和Reader2之间的信号强度差曲线,即SSD指纹,同种类型和不同类型标签的SSD指纹变化趋势是一致的,这一规律可以保证在离线阶段和在线阶段使用不同标签定位时的精度相对稳定。

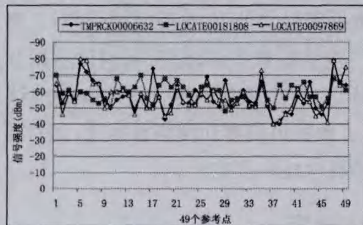


图6 Reader1与标签信号强度曲线

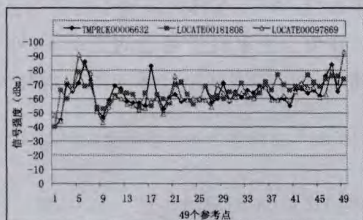


图7 Reader2与标签信号强度曲线

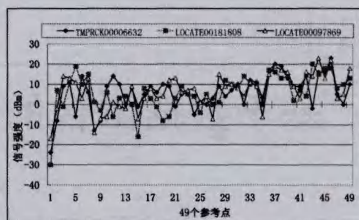


图8 Reader1与标签SSD指纹曲线

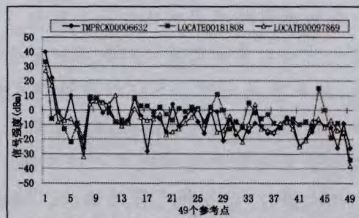


图9 Reader2与标签SSD指纹曲线

4.3 基于不同指纹库的定位误差对比

分别基于传统指纹库和SSD指纹库定位,采用K-NN估算出目标的最终位置。离线阶段使用RFCODE公司LOCATE类型标签,在图3所示的定位区域中采集信号强度,分别基于传统方法和本文提出的指纹模型建立指纹地图。在线定位时使用LOCATE类型和TMPRCK类型的标签定位,图10示出在线阶段使用LOCATE类型标签的累积概率误差分布,图11示出在线阶段使用TMPRCK类型标签的累积概率误差分布。

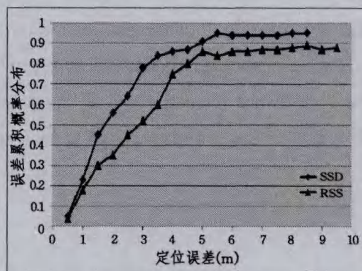


图10 同类型标签定位累积概率误差对比

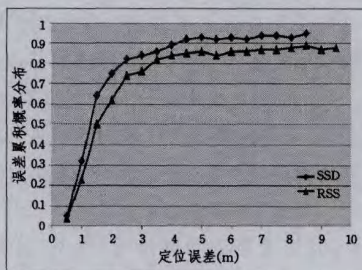


图11 不同类型标签定位累积概率误差对比

如图10所示,离线阶段和在线阶段使用同种类型的定位标签,基于SSD指纹地图的平均定位误差为2.91m,而基于传统指纹地图的平均定位误差为3.29m。图11为离线阶段和在线阶段使用不同类型定位标签的累积误差分布,基于SSD指纹地图的平均定位误差为2.97m,而基于传统指纹地图的平均定位误差为3.46m。对比图10和图11,离线和在线阶段使用不同类型的标签,基于传统指纹地图不同类型标签的平均定位误差增加了0.17m,而基于SSD指纹地图的平

(下转第169页)

- [12] Yang J, Ulukus S. Optimal packet scheduling in a multiple access channel with energy harvesting transmitters[J]. Journal of Communications and Networks, 2012, 14(2): 140-150
- [13] Tutuncuoglu K, Yener A. Sum-rate optimal power policies for energy harvesting transmitters in an interference channel[J]. Journal of Communications and Networks, 2012, 14(2): 151-161
- [14] Devillers B, Gunduz D. A general framework for the optimization of energy harvesting communication systems with battery imperfections[J]. Journal of Communications and Networks,

- [15] Orhan O, Gunduz D, Erkip E. Throughput maximization for an energy harvesting communication system with processing cost [C]// IEEE Information Theory Workshop (ITW). Lausanne, 2012: 84-88
- [16] Han T. A general coding scheme for the two-way channel[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1984, 30(1): 35-44
- [17] Sudevalayam S, Kulkarni P. Energy harvesting sensor nodes: Survey and implications[J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2011, 13(3): 443-461

(上接第 157 页)

均定位误差只增加了 0.06m, 平均定位误差减少了 0.11m。这说明本文提出的定位模型能有效降低在线和离线阶段使用不同标签产生的差异。随着时间的推移, 有源标签电池衰减信号强度减弱, 本文提出的模型也比较好地降低了这种影响。

结束语 本文提出的室内定位模型以差分的方法构建指纹, 解决了指纹方法定位中离线阶段和在线阶段因异构设备引起的信号强度差异带来的精度下降问题。同时引入了虚拟参考点, 根据信号传播模型计算信号强度, 减少了指纹采集的工作量, 降低了信号之间的干扰, 有效地抵抗了环境的干扰, 为目标提供了更加准确的位置。实验对比分析了在相同环境下异构标签信号强度的变化, 分别建立传统指纹库和本文提出的差分指纹库, 基于 K-NN 方法进行定位, 证明本文提出的定位模型有较高的定位精度。定位环境中可能存在强烈电磁干扰导致信号强度产生剧烈变化, 未来将更深入地研究室内的其他干扰因素, 以应对复杂的室内环境, 提高模型的健壮性。

参 考 文 献

- [1] Doufexi A. A comparison of the HIPERLAN/2 and IEEE 802.11a wireless LAN standards [M]// IEEE Communications Magazine, 2002: 172-180
- [2] Park N, Song You-jun. Policy and role based mobile RFID user privacy data management system [C]// IEEE Network Operations and Management Symposium, NOMS 2008, 2008: 1003-1006
- [3] Moewin S T. RFID-based intelligent bookshelves shelving system [C]// 2007 1st Annual RFID Eurasia, 2007: 1-5
- [4] Li S C, Hussein C, Wan Y. An RFID location tracking system based on SIP [C]// 2008 IEEE International Conference on RFID, 2008: 173-182
- [5] 李军怀, 孙转宜, 王一乐, 等. 基于虚拟参考标签的 RFID 定位系统构建方法[J]. 计算机科学, 2011, 38(4): 107-110
Li Jun-huai, Sun Zhuan-yi, Wang Yi-le, et al. RFID Positioning System Construction Method Based on Virtual Reference Tags [J]. Computer Science, 2011, 38(4): 107-110
- [6] Hyochang Ahn Y-H L, Cho Han-Jin, Rhee S-B, et al. A RSSI-Based Approach for Localization of Wireless Sensor Network in Indoor [M]// Proceedings of the International Conference on IT Convergence and Security 2011. Springer Netherlands, 2012: 123-127

- [7] Yi-yang Z, Yun-hao L, Ni L M. VIRE: Active RFID-based Localization Using Virtual Reference Elimination [C]// 2007 ICPP 2007 International Conference on Parallel Processing, Sept 2007: 56-56
- [8] 邵成刚. 基于 RFID 虚拟标签的室内定位算法研究 [D]. 北京: 北京邮电大学, 2013
Shao Cheng-gang. The Study of Indoor Location Algorithm Based on RFID Technology [D]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications, 2013
- [9] 赵小荣, 钱秀芳. 基于 SSDOA 定位算法研究 [J]. 数据通信, 2009(5): 23-26
Zhao Xiao-rong, Qian Xiu-fang. Research on Signal Strength Difference of Arrival Based Indoor Outdoor Geolocation [J]. New Technology, 2009(5): 23-26
- [10] 刘辉亚, 徐建波. 无线传感器网络分布式的移动节点定位研究 [J]. 计算机工程与应用, 2010, 46(17): 72-76
Liu Hui-ya, Xu Jian-bo. Study of distributed mobile localization in wireless sensor network [J]. Computer Engineering and Applications, 2010, 46(17): 72-76
- [11] 孔德强, 刘作学, 冯树芳. 室内无源定位算法研究 [C]// 全国第三届信号和智能信息处理与应用学术交流会, 2009. 2009: 20-22
Kong De-qiang, Liu Zuo-xue, Feng Shu-fang. Study on indoor passive location algorithm [C]// Computer Engineering and Applications, 2009: 20-22
- [12] Hossain A K M M, Hien Nguyen V, Yunye J, et al. Indoor Localization Using Multiple Wireless Technologies [C]// IEEE International Conference on Mobile Adhoc and Sensor Systems (MASS 2007). 2007: 1-8
- [13] Mahtab Hossain A K M, Yunye J, Wee-Seng S, et al. SSD: A Robust RF Location Fingerprint Addressing Mobile Devices' Heterogeneity [J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2013, 12(1): 65-77
- [14] 王洁. 基于贝叶斯估计方法的无线定位跟踪技术研究 [D]. 大连: 大连理工大学, 2011
Wang Jie. Wireless Localization and Tracking Based on Bayesian Estimation [D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2011
- [15] 谢代军. 无线局域网室内定位技术研究 [D]. 郑州: 解放军信息工程大学, 2013
Xie Dai-jun. Research on WLAN Indoor Location Estimation Technology [D]. Zhengzhou: The PLA Information Engineering University, 2013