

情境自适应的 RSSI 分段异构拟合定位方法^{*}

陈泳希¹, 刘任任¹, 陈益强², 王双全², 蒋鑫龙²

(1. 湘潭大学信息工程学院, 湖南 湘潭 411105; 2. 中国科学院计算技术研究所, 北京 100190)

摘 要:室内定位在公共安全、健康监护、定位服务等领域具有重要价值,提高定位精度和模型对环境的适应性已经成为室内定位的核心问题。其中通过接收信号强度指示 RSSI 值来获取距离是比较通用的方法。针对室内复杂环境中传统的对数距离损耗路径模型适用性不高的情况,提出了一种情境自适应的 RSSI 分段异构拟合定位方法。该方法利用信号在不同应用情境下传播损耗的差异性,将 RSSI 数据分为多个不同的拟合段,根据 RSSI 数据的区分特性寻找最优的分段拟合点,并为每个分段选择最优的拟合函数,使得分段数、分段位置和每个分段的拟合函数都适应相应的应用场景,从而实现高精度的 RSSI 信号拟合。实验结果表明,本文所提出的方法在 RSSI 拟合精度上均优于传统的单一拟合函数,可明显提高定位算法的精度。

关键词:接收信号强度指示;室内定位;分段曲线拟合;异构拟合;自适应性

中图分类号:TP393

文献标志码:A

doi:10.3969/j.issn.1007-130X.2017.07.013

A context-adaptive segmentation heterogeneous RSSI fitting positioning method

CHEN Yong-xi¹, LIU Ren-ren¹, CHEN Yi-qiang², WANG Shuang-quan², JIANG Xin-long²

(1. College of Information Engineering, Xiangtan University, Xiangtan 411105;

2. Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

Abstract: Indoor positioning plays an important role in many applications, such as public safety, healthcare, location-based services and so on. How to improve positioning accuracy and the model adaptivity to the environment becomes a key issue of indoor positioning, where most existing techniques generally use the value of the received signal strength indication (RSSI) to obtain the distance. Given the fact that the traditional logarithmic distance path loss model cannot adapt to the complex indoor environment very well, we propose a context-adaptive segmentation heterogeneous RSSI fitting positioning method. The proposed method firstly utilizes the difference in signal transmission under different application scenarios to divide the RSSI data into several different segments. Then it finds the optimal piecewise fitting point by RSSI's differentiated characteristics, and selects the optimum function for each segment, enabling the number of segments, segment position, and piecewise functions of all segments to adapt to corresponding application scenarios. Finally high accurate RSSI signal fitting is achieved. Experimental results show that the proposed method in RSSI fitting can achieve higher accuracy than the traditional single-fitting function, and improve the accuracy of position algorithms significantly.

Key words: RSSI; indoor position; piecewise curve fitting; heterogeneous fitting; adaptivity

^{*} 收稿日期:2016-03-10;修回日期:2016-05-05
基金项目:国家自然科学基金(61173066,61572471,61472399);广东省科技计划项目(2015B010105001);中科院计算所所创新课题(20156010)
通信地址:411105 湖南省湘潭市湘潭大学信息工程学院
Address: College of Information Engineering, Xiangtan University, Xiangtan 411105, Hunan, P. R. China

1 引言

室内定位通过构建目标位置与环境信号之间的映射关系来估计用户的位置坐标,实现对目标的实时定位和跟踪。室内定位既可用于人流较多的公共场所,如机场、车站、商场、医院等大型场所内的导航、安全管理和自动服务提供;也可用于私人空间的定位,如老人、儿童、残疾人士等弱势群体的健康监护与管理;同样,在一些特殊的场景中,如矿井及消防工作人员的应急定位和实时救助、室内重要资产设备的管理、健康监护、公共安全、位置服务等众多领域,室内定位具有广泛而重要的应用价值^[1,2]。

目前,室内定位系统主要采用声音定位技术^[3,4]、超声波定位技术^[5]、红外定位技术^[6]、光学定位技术^[7]、基于射频识别 RFID(Radio Frequency Identification)的定位技术^[8]、基于运动传感器的定位技术^[9]和基于 WIFI 的定位技术^[10,11]等。然而在上述定位技术中,WIFI 定位因为具有设备使用最广泛、覆盖范围最广、布设简单、成本低廉等众多优点成为最普适、最可行的方案。目前现有的研究已经提出了许多基于 WIFI 信号的室内定位方法。

在接收信号强度指示 RSSI(Received Signal Strength Indication)定位技术中,基于指纹模型的定位方法^[12,13]和基于信号传播模型的定位方法^[14,15]是目前室内定位中最常用的两种方法。前者是通过构建周围所有 AP(Access Point)的信号强度的一个 n 维度的向量,通过此向量和实际位置产生一个映射关系,进而实现室内定位。指纹定位由于是通过指纹映射的关系实现的一个位置估计,所以在 AP 比较多的环境中,向量的维度较高,所以定位精度比较高。而构建指纹的映射关系需要在应用环境中人工采集大量的位置标定数据,成为了制约室内定位系统广泛应用的核心问题。后者主要根据无线信号的传播模型将信号接收强度转换成距离,进而通过三点定位法估计用户的位置。但是,受环境复杂性、多样性以及室内无线信号多径效应的影响,常用的对数-常态分布模型不能很好地将环境等干扰因素考虑在内。尤其是当发送端和接收端间隔较远时,RSSI 的衰减情况将严重偏离对数-常态分布模型。其次,在不同的典型场景中,如工位、空旷室内环境、走廊等,RSSI 的衰减形式并不一定是对数形式。因此,用传统的单一的

模型来进行函数拟合建模,势必引入较大的干扰因素。此类方法在定位精度和模型适应性方面还有待提高。

为了有效解决在室内复杂环境下传播模型精确度不高的问题,本文提出了一种情境自适应的 RSSI 分段异构拟合定位方法。该方法综合考虑了不同距离 RSSI 的衰减速率不同、不同的室内环境 RSSI 的衰减模型不同、模型拟合精度差异等因素,通过基于 RSSI 的分段拟合,计算 RSSI 的最优分段点,用多种信号强度衰减模型进行匹配选择出最优衰减模型。实验结果表明,本文提出的自适应分段拟合方法相较传统的单一对数-常态分布模型在定位精度上有较大提高。

本文的组织如下:第 2 节介绍信号传播模型定位的相关工作;第 3 节介绍本文提出的情景自适应的 RSSI 分段异构拟合定位方法;第 4 节为实验及分析;第 5 节是总结以及对未来工作的一些展望。

2 分段拟合定位的相关工作

在基于信号传播模型的定位方法方面,国内外的研究者做了大量的研究。文献[16]通过测量室内 RSSI 的值与相应节点的位置距离,记录数据对,使用单一的函数进行传播模型的拟合,但文章只对距离较近的情况进行了拟合,在距离较远的情况下并未提出较好的方法,因此定位精度仅在较小的环境中有所保证,不具有广泛的环境适应性。文献[17]提出了对原始信号进行卡尔曼滤波,减小噪声,随后利用最小二乘法进行分段拟合。该算法的复杂度低,但分段拟合是用固定距离值作为曲线拟合的分段点,这并不能保证在不同场景中这些分段点是最优的分段点。文献[18]提出了利用最小二乘函数拟合法将采样的数据进行分段拟合,每段均采用三次多项式进行拟合。但是,在复杂的室内环境中并不是所有的场景和距离段均是三次多项式为最佳模型,且这种基于距离的分段会导致定位距离时存在一个 RSSI 对应多个距离的情况,从而导致精度不高。文献[19]讨论了因节点放置高度的原因而对距离模型拟合的影响,同时引入了在不同距离段间的分段曲线拟合,提高了定位精度,同样存在一个 RSSI 对应多个距离的情况,需要大量人工数据采集。

从上述相关工作中可以看出,目前的分段模型定位主要集中于基于距离的分段模型,且每段的函数形式过于单一,并不能很好地适应复杂的室内环

境。本文针对这一问题,提出了情境自适应的 RS-SI 分段异构拟合定位方法,提高了定位模型的环境适应性。

3 情境自适应的 RSSI 分段异构拟合方法

为了提高传播信号衰减模型的环境适应性,本文提出在模型拟合时融入分段和异构两种方式。情境自适应的 RSSI 分段异构拟合方法中,我们的定位场景为三个典型的场景:走廊环境、工位环境和室内开阔环境。首先,用卡尔曼滤波将采集的原始数据进行滤波处理,以减小原始数据的噪声。其次,我们将滤波后的数据进行分段异构的拟合,为了避免“碎片”式分段,设定分段点之间的跨度不小于 4 dBm。根据上述设置遍历所有可能的分段点和拟合模型,计算拟合误差,选择误差最小的分段点和对应的拟合模型作为拟合结果。其中,信号传播的拟合模型包括指数模型、线性模型、二次多项式模型和三次多项式模型。拟合函数如式(1)~式(4)所示。其中, a 、 b 、 c 、 d 均代表常数。最后,利用分段异构拟合模型估计 AP 到接收点之间的距离,再利用三点定位方法确定目标位置。

$$y = a \times 10^x + b \quad (1)$$

$$y = ax + b \quad (2)$$

$$y = ax^2 + bx + c \quad (3)$$

$$y = ax^3 + bx^2 + cx + d \quad (4)$$

具体方法流程如图 1 所示,主要步骤包括:

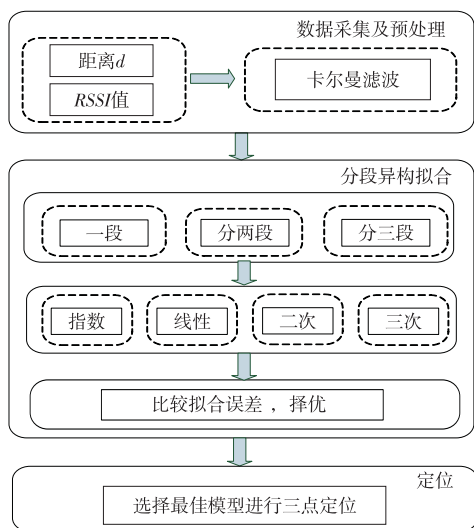


Figure 1 Framework of our fitting method

图 1 拟合方法框架图

Step 1 对离 AP 不同距离的点用 Android 手机对 AP 进行 RSSI 信号强度采集,得到的数据以

〈距离,RSSI 值〉格式存入文件中。

Step 2 对每个采样位置的 RSSI 值进行卡尔曼滤波以消除噪声,提高模型拟合精度。

Step 3 把滤波后的数据进行单一形式的函数拟合,拟合函数形式包括常见的四种函数:指数函数、线性函数、二次多项式函数和三次多项式函数。得出每种单一拟合情况下的误差。式(5)中 Dis_{true} 表示采样点的实际距离, $Dis_{estimate}$ 表示通过模型得到的估计距离, n 表示采样点数量, $Error$ 表示拟合误差。

$$Error = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{|Dis_{true_i} - Dis_{estimate_i}|}{Dis_{true_i}}}{n} \quad (5)$$

Step 4 进行分两段的情况的拟合,以 RSSI 值作为自变量,从小到大遍历 RSSI 值作为分段点,每段均用指数函数、线性函数、二次多项式函数和三次多项式函数四种形式进行函数拟合,选出误差最小时的分段点和每段的函数拟合形式作为最优拟合形式。为了避免“碎片”式分段,在拟合过程中我们设置两个分段点之间的距离不小于 4 dBm。同样,求出误差,选出误差最小的拟合情况。

Step 5 同理,进行分三段的情况的拟合。在保证两个分段点之间的距离不小于 4 dBm 的条件下,选择出最优的分段点和每段的拟合函数。求出误差,选出误差最小的拟合情况。

Step 6 比较一段、分两段和分三段拟合的误差大小,选出误差最小的最优拟合方式。在拟合误差相近时,优先选择段数较少的拟合方式。

4 实验分析与验证

为了验证算法的有效性,本文取了三种室内定位中典型的场景:工位环境、室内开阔环境(室内羽毛球场)、走廊环境进行定位实验,如图 2 所示。用的实验设备是三个型号为 TL-WR742N 的 TP-Link 普通商用 AP 和一部三星 GALAXY S3 手机。

4.1 RSSI 分段异构拟合方法的拟合精度测试

4.1.1 走廊环境

我们在一个标准的宿舍长走廊选取了一段长为 18 m 的区域进行数据采集,首先,我们固定 AP 的位置,以每间隔 1.0 m 作为一个采样单位,用手机端作为接收节点,分别在两个节点相距 1.0 m、2.0 m、3.0 m、...、18.0 m 共 18 个节点处进行 RS-



Figure 2 Three typical scenes
图 2 三种典型场景

SI 值采样,每个采样点采集 100 个数据 $\langle d, RSSI \rangle$, 式中 d 代表距离。

我们从得到的每个采样节点的数据中随机选取 80% 的数据进行模型拟合。首先,针对每个采样点的这 80% 的数据进行卡尔曼滤波,卡尔曼滤波处理后的 RSSI 值和实际距离值关系如图 3 所示。

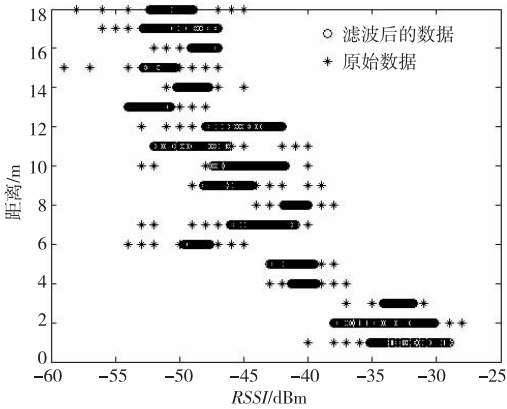


Figure 3 Original data filtering
of single AP for corridor scene

图 3 走廊环境单一 AP 原始数据滤波

接着,将这些滤波之后的数据按照前文提到的方法进行单一函数拟合和分段函数拟合,结果如表 1~3 所示。

Table 1 Single fitting error in corridor
表 1 走廊环境单一形式函数拟合误差

函数形式	误差/%
指数	0.584 4
线性	0.579 6
二次多项式	0.499 6
三次多项式	0.469 8

Table 2 Two piecewise fitting error in corridor
表 2 走廊环境分两段函数拟合误差

函数形式	分段点/dBm	函数形式	误差/%
线性	-46	线性	0.455 0

Table 3 Three piecewise fitting error in corridor
表 3 走廊环境分三段函数拟合误差

函数形式	分段点/dBm	函数形式	分段点/dBm	函数形式	误差/%
线性	-44	三次多项式	-33	指数	0.4625

由表 1~表 3 的误差对比结果可知,在走廊环境中,单一形式的函数拟合得到的估计距离误差明显大于分段拟合时的误差。

由此可见,分段拟合的模型对于估计走廊环境的距离结果精度更高。其中将模型分为两段,且每一段均采用线性模型时精度达到最高。根据这一结论,我们用以上几个模型估计剩下 20% 数据的精度。

我们将剩下 20% 的数据以同样的方式进行卡尔曼滤波处理,用以上拟合出来的函数去估计另外 20% 滤波后的数据,得到的误差如表 4 所示。

Table 4 Result of testing data in corridor
表 4 走廊测试数据结果

函数形式	误差/%
指数	0.566 5
线性	0.543 6
二次多项式	0.479 4
三次多项式	0.452 8
分两段	0.424 6
分三段	0.449 6

我们可以从测试结果中看出,两段线性拟合模型的拟合精度最高,这与函数拟合过程的实验结果一致。

4.1.2 工位环境

我们在一块 8 m×10 m 的工位区部署了三个 AP 节点,对这三个 AP 进行数据采集,每 1.0 m 为一个采样单位,分别在每个 AP 距离接收节点 1.0 m、2.0 m、3.0 m、⋯、9.0 m 共 9 个节点处进行 RSSI 值采样,每个采样点采集 100 个数据。采用与 4.1.1 节相同的方法对原始数据进行预处理,得到的结果如图 4 所示。

接着,将这些滤波之后的数据按照前文提到的方法进行单一函数曲线拟合和分段函数曲线拟合,结果如表 5~表 7 所示。

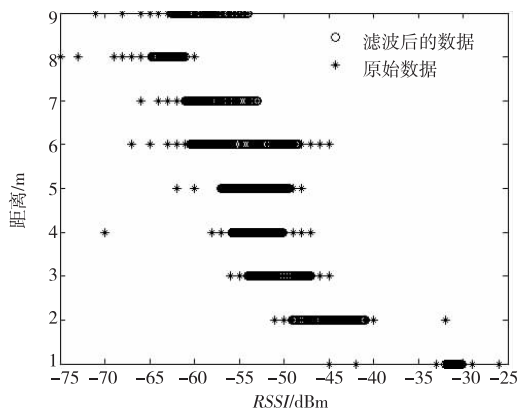


Figure 4 Original data filtering of an AP for workspace scene

图4 工位环境某一AP原始数据滤波

Table 5 Single fitting error in workspace

表5 工位环境单一形式函数拟合误差

函数形式	误差/%
指数	0.189 7
线性	0.397 3
二次多项式	0.190 0
三次多项式	0.192 2

Table 6 Two piecewise fitting error in workspace

表6 工位环境分两段函数拟合误差

函数形式	分段点/dBm	函数形式	误差/%
三次多项式	-44	三次多项式	0.170 1

Table 7 Three piecewise fitting error in workspace

表7 工位环境分三段函数拟合误差

函数形式	分段点/dBm	函数形式	分段点/dBm	函数形式	误差/%
三次多项式	-45	二次多项式	-39	二次多项式	0.167 8

由表5~表7的误差结果可知,在工位环境中,同样可以得到单一形式的函数拟合得到的估计距离误差明显大于分段拟合时的误差。由此可见,分段拟合的模型对于估计工位环境的距离结果精度更高。其中将模型分为三段(第一段为三次多项式、第二段为二次多项式、第三段为二次多项式)时精度达到最高。

我们用以上几个模型来估计剩下20%数据的拟合精度。先将剩下20%的数据以上述同样的方式进行滤波处理,然后计算不同拟合模型的拟合误差,结果如表8所示,证明剩余20%数据利用上述三段异构拟合方法的误差依然最小。

4.1.3 室内开阔环境

我们在一个室内羽毛球场内选择了一块12 m×14 m的区域进行实验,首先我们在矩形的其中三个角上部署了三个AP,对这三个AP进行

Table 8 Results of testing data in workspace

表8 工位测试数据结果

函数形式	误差/%
指数	0.198 7
线性	0.405 1
二次多项式	0.195 3
三次多项式	0.197 2
分两段	0.176 2
分三段	0.173 3

数据采集,每1.0 m为一个采样单位,分别在每个AP距离接收节点1.0 m、2.0 m、3.0 m、...、18.0 m共18个节点处进行RSSI值采样,每个采样点采集100个数据。同上进行原始数据的预处理,得到的结果如图5所示。

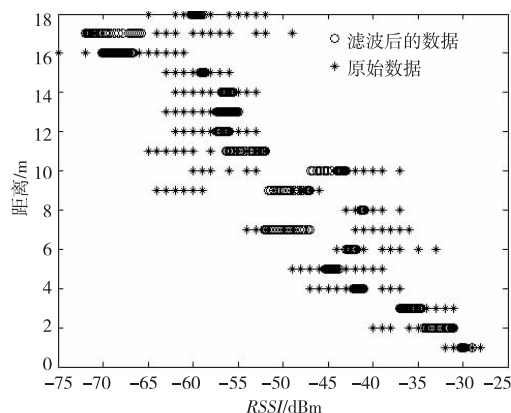


Figure 5 Original data filtering of an AP for indoor open scene

图5 室内开阔环境某一AP原始数据滤波

接着,将这些滤波之后的数据按照前文提到的方法进行单一函数曲线拟合和分段函数曲线的拟合,结果如表9~表11所示。

Table 9 Single fitting error in indoor open scene

表9 室内羽毛球场环境单一形式函数拟合误差

函数形式	误差/%
指数	0.452 9
线性	0.265 8
二次多项式	0.287 6
三次多项式	0.272 1

Table 10 Two piecewise fitting error in indoor open scene

表10 室内羽毛球场环境分两段函数拟合误差

函数形式	分段点/dBm	函数形式	误差/%
指数	-51	三次多项式	0.232 9

Table 11 Three piecewise fitting error in indoor open scene

表11 室内羽毛球场环境分三段函数拟合误差

函数形式	分段点/dBm	函数形式	分段点/dBm	函数形式	误差/%
二次多项式	-46	三次多项式	-35	指数	0.240 2

由表 9~表 11 的误差结果可知,在室内开放环境中,单一形式的函数拟合得到的估计距离误差明显大于分段拟合时的误差。其中将模型分为两段时精度达到最高(第一段采用指数函数、第二段采用三次多项式模型)。

我们利用剩下的 20% 数据,在进行上述同样的滤波处理之后,进行不同拟合函数的误差估计,结果如表 12 所示。与之前的实验结果类似,利用得到的分段异构拟合方法的误差依然最小。

Table 12 Result of testing data in indoor open scene

表 12 室内羽毛球测试数据结果

函数形式	误差/%
指数	0.429 2
线性	0.255 2
二次多项式	0.274 3
三次多项式	0.269 1
分两段	0.238 8
分三段	0.242 2

通过以上三种典型场景的实验,我们可以发现在复杂的室内环境中,单一的衰减函数并不能很好地适应各种室内环境,情境自适应的 RSSI 分段异构拟合定位方法对距离精度估计有很好的提高。

4.2 基于 RSSI 分段异构拟合方法的定位精度测试

为了验证算法性能,我们分别在工位和羽毛球场这两个环境用三点定位算法做了定位实验。场景布置和以上描述相同,以验证该算法在定位中对定位精度提升的效果。

在工位环境,我们分别用单一曲线拟合中最优的结果与我们所提出的异构分段拟合方法的定位结果比较,图 6 中给出了实际路径、单一曲线拟合的路径和异构分段拟合的路径。

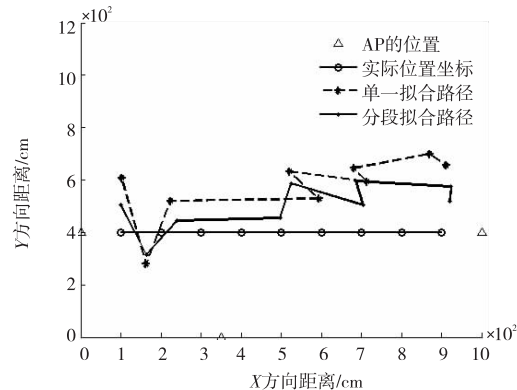


Figure 6 Path fitting results in workspace scene

图 6 工位环境轨迹拟合图

从图 6 中可以看出,分段曲线拟合得到的路径

相比单一曲线拟合得到的路径更加接近实际路径。通过计算每个点的误差,我们可以得到单一曲线拟合的平均误差为 2.34 m,分段曲线拟合的平均误差为 1.57 m。

同样,室内羽毛球场中,我们分别用单一曲线拟合中最优的结果与分段拟合定位比较,图 7 中给出了实际路径、单一曲线拟合的路径和分段曲线拟合的路径。

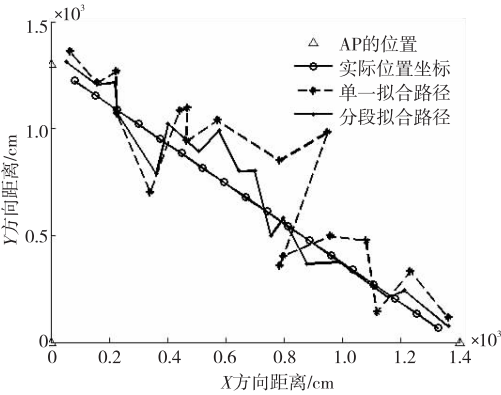


Figure 7 Path fitting results in indoor open scene

图 7 室内开阔环境轨迹拟合图

从图 7 中同样可以看出,分段曲线拟合得到的路径相比单一曲线拟合得到的路径更加接近实际路径。通过计算每个点的误差,我们可以得到单一曲线拟合的平均误差为 3.22 m,分段曲线拟合的平均误差为 2.26 m。

通过两组定位实验可以发现,相比传统的单一曲线拟合,自适应分段拟合算法在定位精度上有显著提高。

5 结束语

本文提出了一种情境自适应的 RSSI 分段异构拟合方法。利用卡尔曼滤波抑制原始数据的噪声,在指定约束条件下对分段点进行遍历,用不同的函数形式进行信号衰减模型的匹配,最后比较误差筛选出最优拟合形式。通过在不同的环境中进行距离估计实验和定位实验,表明基于不同环境的自适应异构分段拟合算法在进行距离估计和定位计算时均使精度有显著提升。

虽然本文提高了信号衰减拟合模型的环境适应性,但在模型中并没有融入人体遮挡等干扰因素,后续研究中,我们计划在距离模型中引入人体遮挡等因素,使定位模型精度进一步提升。

参考文献:

[1] Vaughan-Nichols S J. Will mobile computing's future be lo-

- cation, location, location? [J]. Computer, 2009, 42(2): 14-17.
- [2] Bellavista P, Kupper A, Helal S. Location-based services: Back to the future[J]. IEEE Pervasive Computing, 2008, 7(2): 85-89.
- [3] Tarzia S P, Dinda P A, Dick R P, et al. Indoor localization without infrastructure using the acoustic background spectrum[C]//Proc of ACM MobiSys, 2011: 155-168.
- [4] Liu K, Liu X, Li X. Guoguo: Enabling fine-grained indoor localization via smartphone[C]//Proc of ACM MobiSys, 2013: 235-248.
- [5] Lazik P, Rowe A. Indoor pseudo-ranging of mobile devices using ultrasonic chirps[C]//Proc of ACM SenSys, 2012: 391-392.
- [6] Hsieh C H, Wang M L, Kao L W, et al. Mobile robot localization and path planning using an omnidirectional camera and infrared sensors[C]//Proc of IEEE SMC, 2009: 1947-1952.
- [7] Liu X, Makino H, Mase K. Improved indoor location estimation using fluorescent light communication system with a nine-channel receiver[J]. IEICE Transactions on Communications, 2010, 93(11): 2936-2944.
- [8] Wang J, Katabi D. Dude, where's my card?: RFID positioning that works with multipath and non-line of sight[J]. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 2013, 43(4): 51-62.
- [9] Li F, Zhao C S, Ding G Z, et al. A reliable and accurate indoor localization method using phone inertial sensors[C]//Proc of ACM UbiComp, 2012: 421-430.
- [10] Sen S, Lee J, Kim K, et al. Avoiding multipath to revive in-building WiFi localization[C]//Proc of ACM MobiSys, 2013: 249-262.
- [11] Chen Z Y. Mining individual behavior pattern based on significant locations and spatial trajectories[C]//Proc of IEEE PerCom Workshops, 2012: 540-541.
- [12] Chen Z Y, Zhou J Y, Chen Y Q, et al. Combining multiple linear regression and manifold regularization for indoor positioning from unique radio signal[C]//Proc of ICPCA, 2009: 611-614.
- [13] Chen Z Y, Chen Y Q, Wang S Q, et al. A supervised learning based semantic location extraction method using mobile phone data[C]//Proc of IEEE CSAE, 2012: 548-551.
- [14] Akyildiz I F, Sun Z, Vuran M C. Signal propagation techniques for wireless underground communication networks [J]. Physical Communication, 2009, 2(3): 167-183.
- [15] Chen Z Y, Wang S Q, Chen Y Q, et al. InferLoc: Calibration free based location inference for temporal and spatial fine-granularity magnitude[C]//Proc of IEEE EUC, 2012: 453-460.
- [16] Sun Pei-gang, Zhao Hai, Luo Ding-ding, et al. Research on RSSI-based location in smart space [J]. Journal of Electronics, 2007, 35(7): 1240-1245. (in Chinese)
- [17] Zhu Ming-qiang, Hou Jian-jun, Liu Ying, et al. An indoor locating algorithm based on Kalman smoothing filter and

piecewise curve fitting [J]. Journal of Beijing Jiaotong University, 2012, 36(5): 95-99. (in Chinese)

- [18] Zou Dong-yao, Zheng Dao-li, Li Chen. Error analysis and ranging algorithm of RSSI polynomial piecewise fitting[J]. Journal of Zhengzhou University of Light Industry (Natural Science), 2014, 29(2): 62-66. (in Chinese)
- [19] Xin Zhao-jian, Hu Ping, Wang Ling, et al. Improvement and positioning achievement of WSNs node ranging algorithm based on RSSI value [J]. Transducer and Microsystem Technologies, 2014, 33(6): 133-136. (in Chinese)

附中文参考文献:

- [16] 孙佩刚, 赵海, 罗玓玓, 等. 智能空间中 RSSI 定位问题研究 [J]. 电子学报, 2007, 35(7): 1240-1245.
- [17] 朱明强, 侯建军, 刘颖, 等. 一种基于卡尔曼数据平滑的分段曲线拟合室内定位算法 [J]. 北京交通大学学报, 2012, 36(5): 95-99.
- [18] 邹东尧, 郑道理, 李晨. RSSI 曲线拟合的误差分析与分段方法 [J]. 郑州轻工业学院学报(自然科学版), 2014, 29(2): 62-66.
- [19] 信召建, 胡屏, 王玲, 等. 基于 RSSI 值的 WSNs 节点测距算法改进与定位实现 [J]. 传感器与微系统, 2014, 33(6): 133-136.

作者简介:



陈泳希(1990 -), 男, 湖南株洲人, 硕士, CCF 会员(34450G), 研究方向为普适计算和无线定位。E-mail: 1004018139@qq.com

CHEN Yong-xi, born in 1990, MS, CCF member(34450G), his research interests include ubiquitous computing, and wireless localization.



刘任任(1959 -), 男, 湖南醴陵人, 博士, 教授, CCF 会员(E200007303S), 研究方向为多值逻辑和信息安全。E-mail: lrr863@163.com

LIU Ren-ren, born in 1959, PhD, professor, CCF member(E200007303S), his research interests include multiple-valued logic, and information security.



陈益强(1973 -), 男, 湖南湘潭人, 博士, 研究员, 研究方向为普适计算和人机交互。E-mail: yqchen@ict.ac.cn

CHEN Yi-qiang, born in 1973, PhD, research fellow, his research interests include ubiquitous computing, and human-computer interaction.