

基于 RSS 空时处理的指纹定位算法*

王 顶, 马 娟, 赵颐轩

(西北工业大学 电子信息学院, 西安 710129)

摘要: 为提高移动台定位算法的精度,研究了基于接收信号强度(received signal strength, RSS)空时处理的指纹定位算法。该算法包含指纹数据库的建立和指纹比对,在指纹数据库建立过程中,利用空时处理的方法克服无线信号的衍射、散射等影响;指纹比对时,研究了相同邻小区个数的选择对定位误差的影响,得出相同邻小区个数的最优选择。仿真结果表明,算法减小了 RSS 的波动性,具有低运算复杂度和高精度。

关键词: 移动台定位; 指纹算法; RSS 空时处理; 指纹数据库; 指纹比对

中图分类号: TN929; TP301.6 文献标志码: A 文章编号: 1001-3695(2012)12-4726-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.12.084

Fingerprint algorithm for positioning based on RSS space-time processing

WANG Ding, MA Juan, ZHAO Yi-xuan

(College of Electronic & Information, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710129, China)

Abstract: In order to improve the accuracy of the mobile station positioning algorithm, this paper studied the fingerprint algorithm for positioning based on RSS space-time processing. The algorithm which included the establishment of fingerprint database and fingerprint comparison used the RSS space-time processing method to overcome diffraction, scattering, etc of the wireless signal when creating the fingerprint database, studied the impact of the choice of same neighboring cell numbers on the positioning errors and got the best choice of same neighboring cell numbers when doing fingerprint comparison. The error simulation results show that the algorithm reduces the time variation of RSS and has low complexity and high accuracy.

Key words: mobile station positioning; fingerprint algorithm; RSS space-time processing; fingerprint database; fingerprint comparison

0 引言

1996 年,美国联邦通信委员会(FCC)公布 E911 命令,极大地推动了无线定位技术的发展。近年来,无线定位技术开始应用于蜂窝通信系统的设计、优化、维护等方面。在不增加系统负担的情况下,如何提供有效、精确的定位服务成为该领域的研究重点。

目前,国内外对无线定位方法的主要研究有 CELLID 定位法、圆周定位法、TOA/TDOA 定位法、指纹定位法等。其中,指纹定位法在精度方面有很大的潜力,成为研究的重点。

在指纹定位的研究中,文献[1]研究了基于空间分割的指纹定位算法,将需要定位的区域划分成栅格,存储距离每个栅格中心最近的前 i 个基站经纬度值,建立相应的指纹数据库,指纹比对后,得出需定位点的位置坐标,但文中指纹数据库的建立并未考虑实际无线环境。文献[2,3]研究了基于传播模型修正 RSS 的指纹算法,利用修正后的 RSS 建立指纹数据库,指纹比对后,得到定位点的位置坐标,增加了算法的运算复杂度。

本文研究了 GSM 系统中基于 RSS 空时处理的指纹定位算法,利用空间分割、聚类 and 时域滤波修正 RSS,建立指纹数据库,折中欧式距离和邻区相等的个数进行指纹比对,输出定位

结果。

1 指纹定位原理

指纹定位源于数据库定位技术(database correction method, DCM)^[4],可应用于任何蜂窝网络。图 1 为指纹定位系统模型,包括数据预处理^[5]、指纹数据库的建立、指纹比对。通过移动台在不同位置的信号特征参数建立指纹数据库,将需定位点的信号特征与数据库中存放的信号特征进行指纹比对,从而实现移动台的定位。

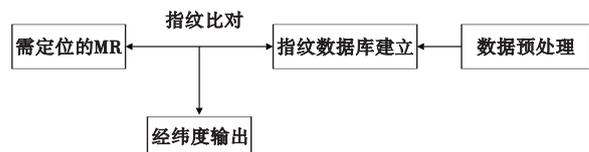


图1 指纹定位系统模型

指纹数据库技术有效地利用了多径效应,将多径效应与位置信息结合起来,在无线环境变化小的区域,由于信道的多径结构在同一个位置点具有唯一性,可将这种多径结构作为指纹^[6]。在通信过程中,移动台在业务信道上每 480 ms(信令信道上 470 ms)向基站(BTS)发送一次测量报告(measurement report, MR)帧,通过 Abis 口实时学习和解析 MR 帧,得到主服

收稿日期: 2012-05-14; 修回日期: 2012-06-28 基金项目: 航天支撑技术基金资助项目(2009XW080002);西北工业大学基础研究基金资助项目(GBKY1011)

作者简介:王顶(1973-),男,陕西西安人,副教授,博士,主要研究方向为宽带无线通信的高速数据传输技术(wangd@nwpu.edu.cn);马娟(1988-),女,河南平舆县人,硕士研究生,主要研究方向为无线移动通信系统;赵颐轩(1983-),男,安徽合肥人,硕士研究生,主要研究方向为无人机组网。

务小区和六个最强邻小区的 RSS 值。此时, RSS 可作为某位置点的特征信号,从而实现指纹定位。

2 RSS 空时处理

Okumura-Hata 模型可用式(1)表示为

$$L = K_1 + K_2 \lg f + K_3 \lg d + K_4 \lg h_b \lg d + K_5 \lg h_m + A(h_m) \quad (1)$$

其中: L 为功率损耗,通过 RSS 与基站功率相减得到; K_1, \dots, K_5 为待修正的系数; f 是无线电波工作频段; d 为收发天线之间的距离; h_b 是基站发射机的有效天线高度(基站相对海平面高度减去距离 3~15 km 之间的平均地形高度); h_m 是移动台接收机的有效天线高度; $A(h_m)$ 为移动台天线修正因子。

Okumura-Hata 模型中, $A(h_m)$ 与实际无线环境中建筑物的高度、密度以及天线的增益等因素有关,校正后的传播模型^[7]系数的偏差将导致 RSS 误差增大,且算法复杂度较高。

由于同一服务小区 RSS 具有空间相似性,采用空间分割的方法对数据区域进行处理,并用 K-means 算法^[8]对各栅格的 RSS 进行聚类,样本多的聚类作为正常样本;反之,作为噪声点,并将其 RSS 置为缺失值,对正常样本平均后,修补缺失值,最后,根据时域相关性进行平均值滤波。

2.1 RSS 空间分割和聚类

根据数据的最大和最小经纬度值,对区域进行空间分割,分成 $n_x \times n_y$ 的栅格。假设栅格的经度范围为 (Lon_{\min}, Lon_{\max}), 纬度范围为 (Lat_{\min}, Lat_{\max}), 设数据的经纬度值为 (Lon, Lat), 且

$$\begin{aligned} Lon_{\min} < Lon < Lon_{\max} \\ Lat_{\min} < Lat < Lat_{\max} \end{aligned} \quad (2)$$

则将此数据点归类于此栅格中,每个点所包含的信息为 LAC、CELL_ID、RSS、GPS 测得的经纬度值。利用 K-means 算法对各栅格非空 RSS 值进行以下聚类:

a) 选取 $K=2$, 假设初始聚类中心为 (x_0, x_1) , 样本数为 n , (x_0, x_1) 分别为最小和最大的 RSS, 即

$$\begin{aligned} x_0 &= \min(\text{RSS}) \\ x_1 &= \max(\text{RSS}) \end{aligned} \quad (3)$$

b) 对每一个样本 $X_i (1 \leq i \leq n)$, 比较 X_i 与 x_i 的欧式距离, 将 X_i 划分到与其距离最近的类 C_i 中, 形成初始聚类。

c) 重新计算步骤 b) 中每个聚类的中心 c_i , 使每类 C_i 的中心点得以更新。

$$c_i = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_i \quad (4)$$

d) 循环 b)c) 直到标准测度函数

$$D = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n |X_i^{(j)} - c_i| \quad (5)$$

开始收敛为止。

2.2 时域平滑

聚类后,置噪声点的 RSS 为空,对正常样本中的 N 个 RSS 进行平均

$$\text{Level}_{\text{aver}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \text{Level}_i \quad (6)$$

其中: $\text{Level}_{\text{aver}}$ 为 N 个 RSS 的平均值; Level_i 为样本中的某个 RSS,用 $\text{Level}_{\text{aver}}$ 代替每个空值,对 RSS 进行时域平滑。

$$\text{Level} = \frac{\text{Level}_{i-1} + \text{Level}_i + \text{Level}_{i+1}}{3} \quad (7)$$

其中: Level 为某时刻平滑后的电平值; Level_i 为某时刻需要平滑的电平值; Level_{i-1} 为小于该时刻且与 Level_i 属于同一小区的电平; Level_{i+1} 为大于该时刻且与 Level_i 属于同一小区的电平。

3 指纹数据库的建立

MR 帧解析是信号指纹提取和指纹数据库建立的关键步骤。通过基站和基站控制器之间的 Abis 接口实时解析 MR 帧,分析提取用于移动台定位的有效字段信息,作为指纹参照,筛选路测数据的消息类型,建立相应的指纹数据库。MR 帧的解析实例如下:

Measurement Results

```
1... .. = BA-USED;1
.0... .. = DTX-USED;DTX was not used
..10 1101 = RXLEV-FULL-SERVING-CELL;66 < = X < -65 dBm
(45)
0... .. = 3G-BA-USEDL;0
.0... .. = MEAS-VALID;The measurement results are valid
..10 1111 = RXLEV-SUB-SERVING-CELL; -64 < = X < -63
dBm(47)
..001 ... = RXQUAL-FULL-SERVING-CELL;0.2% < = BER <
0.4% ,Mean value 0.28% (1)
..... 000. = RXQUAL-SUB-SERVING-CELL; BER < 0.2% , Mean
Value 0.14% (0)
..... ..1 10... .. = NO-NCCELL-M;6neighbour cell meas-
urement result(6)
..10 1111 = RXLEV-NCCELL;47
1000 1... = BCCH-FREQ-NCCELL;17
..... 111 111. .... = BSIC-NCCELL;63
...1 0011 0... .. = RXLEV-NCCELL;38
..101 01.. = BCCH-FREQ-NCCELL;21
..... ..00 1110... = BSIC-NCCELL;14
..... 1011 10... .. = RXLEV-NCCELL;46
```

MR 帧解析后,可得到的有效字段信息为:

a) 主服务小区和六个最强邻小区的位置区号码 LAC 和小区号码 CELL_ID。

b) 主服务小区和六个最强邻小区的接收信号强度 RSS。

c) 广播控制信道 (BCCH) 载频、网络色码 (NCC) 和基站色码 (BCC)。

将路测数据消息类型为 MR 的数据提取出,按上述有效字段存储数据,并解析小区信息。对主服务小区和六个邻小区进行 RSS 空时处理后,利用各小区 LAC、CELL_ID、RSS、GPS 测得的经纬度值来建立指纹数据库。

4 指纹比对

对需定位的 MR,在指纹数据库中筛选与此条 MR 具有相同主服务小区的数据,得到与此条 MR 具有大于且等于 I (相同邻小区的个数) 的多个指纹数据,进行 RSS 矢量距离比较,并得出定位点的经纬度值。

设 MR 的 RSS 组成的特征向量 $V_1 = (\text{Level}_{\text{mr}_0}, \text{Level}_{\text{mr}_1}, \dots, \text{Level}_{\text{mr}_6})$, 指纹数据库中筛选的特征向量 $V_2 = (\text{Level}_{\text{print}_0}, \text{Level}_{\text{print}_1}, \dots, \text{Level}_{\text{print}_6})$, 则 V_1, V_2 的欧式距离为

$$D = \sqrt{\sum_{i=0}^6 (\text{Level}_{\text{mr}_i} - \text{Level}_{\text{print}_i})^2} \quad (8)$$

取相同邻小区的个数 $I = J (0 \leq J \leq 6)$, 指纹数据库中可筛选出与 I 取值对应的多个相似点,根据 K-最邻近算法 (K-nearest neighbor, KNN), 分别求相似点 RSS 与需定位的 MR 的 RSS

之间的欧式距离 D , 将 D 按从小到大排序, 选取 D 最小的前 N 个相似点的经纬度值进行平均, 得到定位结果, 分析定位结果的误差 $Error_i (0 \leq i \leq 6)$, 得到合理的 I 值选择方法。

5 结果分析

实验中, 采用两个测试移动台分别作为主叫和被叫, 沿特定的网格进行路测, 存储数据的 LOG 文件。路测数据线路如图 2 所示。相隔一段时间后, 选取部分路线再次进行路测。通过解析相应数据的 LOG 文件, 得到实验数据。



图2 用于建立指纹数据库的数据

图 3 比较了参数 I 取值变化时, 基于 RSS 空时处理的指纹定位算法的误差结果。由仿真结果可知, 选择主服务小区相同 ($I \geq 0$), 不考虑邻小区的情况下, 在 200 m 精度范围内, 准确度能达到 67%; 当选择相同邻小区的个数 $I \geq 4$ 时, 在 100 m 精度范围内, 准确度能达到 67%, 相比于文献 [2,3] 中的算法, 在满足同等精度的情况下, 避免了算法的复杂性。

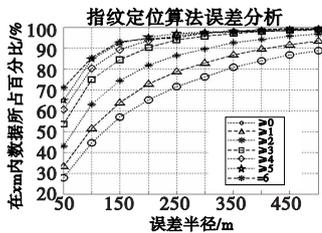


图3 参数 I 的选择对基于 RSS 空时处理的指纹定位结果的影响

(上接第 4725 页) 接收信号强度高于来自当前 MAP 的接收信号强度就触发切换的话, 则可能会导致 MMS 发生假切换或乒乓切换。而采用基于 MMS 位置触发的切换方法, 则能有效避免假切换和乒乓切换的发生。

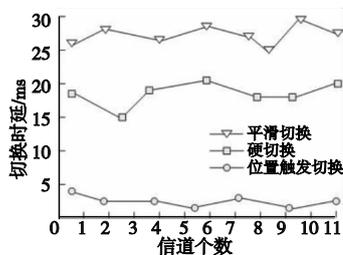


图7 三种方案的切换时延比较

5 结束语

本文研究了无线 Mesh 网在城轨车地通信系统中的应用, 设计了基于无线 Mesh 的城轨车地通信架构。仿真结果表明, 无线 Mesh 组网方案比传统的 WLAN 组网方案有较高的吞吐量和较小的端到端延时。针对车地通信存在的越区切换问题, 本文根据新型组网方案的特点, 提出了基于车载 MMS 位置触发的切换方案, 与传统的以接收到的 AP 信号质量等状态信息作为触发条件的切换方案相比, 该方案有效避免了假切换和乒

6 结束语

本文研究的基于 RSS 空时处理的指纹定位算法也可应用于 3G 和 LTE 等具有蜂窝网络结构的系统中, 但指纹数据库需随环境的改变而变化。该算法利用实际无线环境建立指纹数据库, 在不增加系统负担和避免算法复杂性的条件下, 能满足实际定位。

参考文献:

- [1] SIMIC M, PEJOVIC P. An algorithm for determining mobile station location based on space segmentation [J]. *IEEE Communications Letters*, 2008, 12(7):499-501.
- [2] WIJESINGHE P, DIAS D. Novel approach for RSS calibration in DCM-based mobile positioning using propagation models [C]//Proc of the 4th International Conference on Information and Automation for Sustainability. 2008:29-34.
- [3] 王浩, 王芙蓉, 李可维, 等. 移动通信网络 MR 帧解析及信号指纹定位方法 [J]. *计算机工程与应用*, 2009, 45(17):16-18.
- [4] JUURAKKO S, BACKMAN W. Database correlation method with error correction for emergency location [J]. *Wireless Personal Communications*, 2004, 30(2-4):183-194.
- [5] 柴炜晨, 毛京丽. GSM 网络的一种实用定位技术 [J]. *计算机与信息技术*, 2010, 17(1):1-4.
- [6] CHEN M Y, SOHN T, CHMELE D, et al. Practical metropolitan-scale positioning for GSM phones [C]//Proc of the 8th International Conference on Ubiquitous Computing. Berlin: Springer-Verlay, 2006: 225-242.
- [7] 高鹏, 周胜, 涂国防. 一种基于路测数据的传播模型校正方法 [J]. *华中科技大学学报: 自然科学版*, 2010, 38(3):72-75.
- [8] 戴文华, 焦翠珍, 何婷婷. 基于并行遗传算法的 K-means 聚类研究 [J]. *计算机科学*, 2008, 35(6):171-174.

乓切换的发生。仿真结果表明, 本文所提出的切换方案可以将延时降到 5 ms 以内, 甚至更短, 能够满足城市轨道交通高速移动环境下车地通信的要求。

参考文献:

- [1] 程谦云. 基于无线 Mesh 网络的移动车地通信技术研究 [D]. 成都: 西南交通大学, 2009.
- [2] 刘支援. 无线网状网在城轨交通中的应用 [J]. *信息化研究*, 2010.
- [3] 余海, 曹蕾. 基于 WiFi 的无线网状 (Mesh) 组网技术 [J]. *现代电子技术*, 2011, 34(10):120-122.
- [4] JIANG Hai-lin, ZHAO Hong-li, ZHAO Bo-bo. A novel handover scheme in wireless LAN in CBTC system [C]//Proc of IEEE International Conference on SOLL. 2011:473-477.
- [5] XU Dong-wang, AMAN O L. IEEE 802.11s wireless Mesh networks-framework and challenges [J]. *Ad hoc Networks*, 2008, 6(6):970-984.
- [6] ZHANG Li-li, WANG Hui-bin, XU Li-zhong, et al. Fault tolerance and transmission delay in wireless Mesh networks [C]//Proc of International Conference on Networks Security, Wireless Communications and Trusted Computing. 2009:193-196.
- [7] 陈敏. OPNET 网络仿真 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [8] 刘春艳. 无线 Mesh 网络的建模与仿真分析 [D]. 重庆: 重庆大学, 2010.