

基于中心矩改进的 WiFi 室内定位算法

于 洋 陈 光 单志勇 陈 艳  
( 东华大学信息科学与技术学院 上海 201620 )

**摘 要** 基于 WiFi 指纹的定位技术是国内外室内定位领域研究的热门课题。针对室内环境的实变性而造成 RSS 值波动带来的影响,提出一种基于中心矩加权改进的 WKNN 匹配算法。离线阶段中,提取 RSS 的均值和二阶矩作为指纹存入数据库。在线阶段定位时,将 RSS 值的二阶矩特征加入到欧式距离中进行计算,以得到离定位点最近的  $K$  个参考点,从而计算出待定位点的位置。实验结果表明:不同的匹配算法的选择会使定位误差呈现出明显的差异性,所提出改进的 WKNN 算法能够有效地提高室内定位精度。

**关键词** WiFi 指纹 室内定位 中心矩 WKNN 定位精度

**中图分类号** TP3 **文献标识码** A **DOI**:10.3969/j.issn.1000-386x.2018.02.024

IMPROVED WIFI INDOOR LOCALIZATION ALGORITHM  
BASED ON CENTRAL MOMENT

Yu Yang Chen Guang Shan Zhiyong Chen Yan  
( College of Information Science and Technology, Donghua University, Shanghai 201620, China )

**Abstract** Positioning technology based on WiFi fingerprint is a hot field in the research of indoor positioning at home and abroad. In terms of the impact of the RSS value fluctuation caused by the real degeneration in indoor environment, the paper proposes an improved WKNN matching algorithm based on weighted central moment. In the offline phase, we extract the mean and the second-order central moment of the RSS as a fingerprint database, in online phase, we add the second moment characteristics of RSS values to the Euclidean distance to calculate in order to get the nearest  $K$  reference points which are close to the location point, and calculating the position to be positioned. The experimental results show that the selection of different matching algorithms will make the positioning error show obvious differences, and the improved WKNN algorithm we propose can effectively improve the indoor positioning accuracy.

**Keywords** WiFi fingerprint Indoor positioning Central moment WKNN Positioning accuracy

0 引 言

目前,影响最大、定位覆盖最广的定位系统是美国的全局卫星定位系统 GPS<sup>[1]</sup>,它以全方位、全天候、高精度、高效率作为其独特优点。但是,在室内如商场、医院、博物馆及地下停车场等公共场所,由于 GPS 卫星发射的无线电信号无法穿透建筑物墙壁,以致于使用全球卫星定位系统来进行精确的室内定位存在着很大的局限性。

针对 GPS 在室内定位中存在的问题,各种室内定

位技术如 RFID<sup>[2]</sup> 定位技术、红外线<sup>[3]</sup> 定位技术、Zig-Bee<sup>[4]</sup> 定位技术、超声波<sup>[5]</sup> 定位技术、WiFi<sup>[6-7]</sup> 定位技术、蓝牙<sup>[8]</sup> 定位技术、地磁<sup>[9]</sup> 定位技术应运而生,并已经成功地应用于民用和商业领域中。其中,比较典型的有微软研究院的 RADAR<sup>[6]</sup> 定位系统,美国马里兰大学的 Horus<sup>[7]</sup> 定位系统,加利福尼亚大学的 Nibble<sup>[10]</sup> 定位系统,麻省理工学院的 Cricket<sup>[11]</sup> 定位系统,北京航空航天大学 Weyes<sup>[12]</sup> 定位系统,以及清华大学的 WILL<sup>[13]</sup> 定位系统等。

在这些定位技术中,基于 WiFi 的室内定位技术由于 WiFi 网络的广泛普及和通信能力强优点,已经成为

收稿日期:2017-03-24。国家自然科学基金项目(61671006)。于洋,硕士生,主研领域:无线室内定位。陈光,教授。单志勇,副教授。陈艳,硕士生。

目前主流、也是未来最具发展潜力的室内定位技术。WiFi 定位技术的独特优势在于 WiFi 芯片已经在各类用户智能终端,诸如智能手机、平板电脑中得到广泛普及,并且随着“无线城市”的发展,国内各大城市的运营商在众多公共场所均已安装了大量的 WiFi 热点,通过利用现有的这些 WiFi 设施,能够显著降低建设与长期维护成本<sup>[14]</sup>。

针对室内环境下接受信号强度 RSS 值波动较大问题,本文根据参考点 RP(Reference Point)信号强度分布的中心矩特征值,设计了一种改进的 WKNN 定位算法。

## 1 定位系统

基于 WiFi 指纹的定位系统如图 1 所示。它包括离线阶段和在线阶段两部分。其中,离线阶段负责采集参考点上信号强度的均值和二阶矩以建立指纹数据库;在线阶段将当前采集的数据,采用匹配算法来与数据库中的数据进行匹配,找出最相似的参考点坐标作为定位位置的估算值。

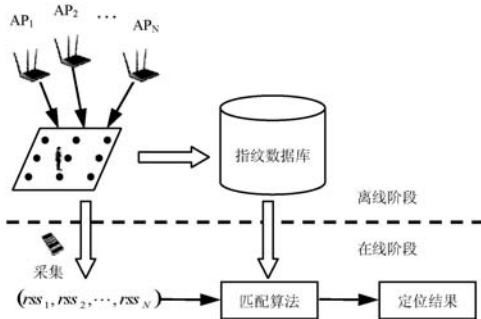


图 1 WiFi 指纹定位系统

### 1.1 指纹数据库建立

在离线阶段,首先将室内场景划分为等间距的方形网格,一般网格间距为 1~2 m,此时将各个网格相交的点作为参考点,然后在每个参考点上依次采集来自不同 AP(Access Point)的信号强度,同时记录该参考点的坐标,以建立指纹数据库。

第  $i$  个参考点 RP 测得来自第  $j$  个 AP 的信号强度可以表示成一个数集:

$$rss_{ij} = \{s_{ijt}, t = 1, 2, \dots, T\} \quad (1)$$

式中:  $t$  代表单位采样时间,由于环境的时变性,可能会出现采集来自 AP 信号强度值不稳定的情况,根据大数定律,当样本数据量很大的时候,平均结果将趋于某一稳定值。则第  $i$  个参考点 RP 来自第  $j$  个 AP 的信号强度为:

$$\overline{rss_{ij}} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T s_{ijt} \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (2)$$

式(2)表示在第  $i$  个参考点 RP 测得来自第  $j$  个接入点 AP 的信号强度的均值。则所有参考点 RP 来自每个 AP 的信号强度可以表示为一个矩阵:

$$R = \begin{pmatrix} \overline{rss_{11}} & \overline{rss_{12}} & \cdots & \overline{rss_{1N}} \\ \overline{rss_{21}} & \overline{rss_{22}} & \cdots & \overline{rss_{2N}} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \overline{rss_{M1}} & \overline{rss_{M2}} & \cdots & \overline{rss_{MN}} \end{pmatrix} \quad (3)$$

### 1.2 经典指纹匹配算法

在线定位时,用户终端在定位场景中移动并实时获取当前来自每个 AP 的信号强度值,同时将该数据上传至定位服务器与指纹数据库的数据进行在线匹配,从而获得该点的估算位置,并返回至终端。其中常见的匹配算法有最邻近 NN<sup>[15]</sup> 算法、K 最邻近 KNN<sup>[16-17]</sup> 算法、加权 K 邻近 WKNN<sup>[18]</sup> 算法。

NN 算法通过计算当前采集的信号强度向量与指纹数据库的每个参考点的信号强度向量的欧式距离度量,然后将计算结果中的最小值所对应的参考点坐标最为定位位置。

KNN 算法与 NN 算法类似,NN 算法在于找出计算结果中一个最小值,而 KNN 算法则是找出计算结果中  $K$  个( $K$  一般取 4<sup>[19]</sup>) 最小值所对应的  $K$  个参考点坐标值,然后将坐标取平均作为定位位置。

WKNN 算法是对 KNN 算法的改进,该算法不是简单地对  $K$  个位置坐标取均值,而是对于每个位置设定一个权值,权值的大小决定其在定位所占的比重<sup>[20]</sup>。

## 2 改进的 WKNN 算法

由于室内环境的时变性,因此,参考点采集的信号强度会产生一定的波动。而对发射信号功率稳定性差的 AP,这种波动尤为明显<sup>[21]</sup>。针对采集来自 AP 的信号强度不稳定问题,在已有的 WKNN 算法基础上本文提出了一种改进的 WKNN 算法以提高定位精度。

### 2.1 中心矩特征值的提取

指纹数据库中在第  $i$  个参考点 RP 上的信号强度可以表示为一均值向量,如式(4)所示。

$$rss_i = (\overline{rss_{i1}}, \overline{rss_{i2}}, \dots, \overline{rss_{iN}}) \quad i = 1, 2, \dots, M \quad j = 1, 2, \dots, N \quad (4)$$

式中:  $M$  表示 RP 的数量,  $N$  表示 AP 的数量,  $rss_{ij}$  表示在第  $i$  个参考点 RP 测得来自第  $j$  个 AP 的信号强度均值向量,根据式(1)和式(2),可进一步表示为:

$$rss_{ij} = (\overline{rss_{i1}}, \overline{rss_{i2}}, \dots, \overline{rss_{iN}}) \quad i = 1, 2, \dots, M \quad j = 1, 2, \dots, N \quad (5)$$

式中:  $rss_{ij}$  表示第  $i$  个参考点测得来自第  $j$  个 AP 的接受信号强度均值,可根据式(2)进行计算。

根据采集到的信号强度集合式(1)和  $n$  阶中心矩式(6) 计算参考点上的信号强度中心矩。式(6) 中,  $E(rss_{ijt})$  表示在第  $i$  个参考点测得来自第  $j$  个 AP 的信号强度均值,  $rss_{ijt}$  表示每隔单位时间  $t$  采集来自 AP 的信号强度值,  $c_{ij}$  表示信号强度的  $n$  阶中心矩。

$$c_{ij} = E\{[rss_{ijt} - E(rss_{ijt})]^n\} \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (6)$$

由于二阶中心矩是用来衡量随机变量与均值之间的偏离程度,故  $n$  取值为2,则计算第  $i$  个参考点来自第  $j$  个 AP 的信号强度二阶中心矩向量  $c_{ij}$  如式(7)。

$$c_{ij} = (c_{i1}, c_{i2}, \dots, c_{iN}) \quad i = 1, 2, \dots, M \quad j = 1, 2, \dots, N \quad (7)$$

通过式(5)和式(7),指纹数据库式(3)可以进一步表示为信号强度向量和二阶中心矩向量,如式(8)所示。

$$R = (rss_{ij}, c_{ij}) \quad i = 1, 2, \dots, M \quad j = 1, 2, \dots, N \quad (8)$$

2.2 加权距离的计算

改进 WKNN 算法采用加权欧式距离来寻找与定位点最近的  $K$  个参考点,而权值的大小取决于数据库中每个参考点上采集的信号强度的二阶中心矩。

假设移动终端在定位场景中某点  $x$  所获取的信号强度矢量为:

$$rss_{xj} = (rss_{xj1}, rss_{xj2}, \dots, rss_{xjN}) \quad j = 1, 2, \dots, N \quad (9)$$

加权欧氏距离是在已有欧氏距离的基础上对它作出的一种改进,改进的欧氏距离在  $n$  维信号强度向量的每一维度赋予了不同权重,权重与参考点上的信号强度二阶中心矩相关,则使用改进加权距离计算用户终端定位点  $x$  与参考点  $i$  的距离  $d_{xi}$  为:

$$d_{xi} = \sqrt{\sum_{k=1}^N (rss_{xk} - rss_{ik})^2 \cdot \omega_{ik}} \quad (10)$$

式中:  $\omega_{ik}$  是参考点  $i$  在第  $k$  个 AP 处的权值系数,与该参考点采集到的 AP 信号强度的中心矩有关,并以中心矩的倒数作为系数,然后将该系数归一化处理,如公式所示:

$$\omega_{ik} = \frac{\frac{1}{c_{ik}}}{\sum_{A=1}^N \frac{1}{c_{iA}}} \quad (11)$$

二阶中心矩大的参考点,说明 RSS 的波动越大,采集的信号强度与其均值相离越远;二阶中心矩小的参考点,说明 RSS 的分布越紧凑,采集的信号强度都会在其均值附近波动。

使用改进的加权欧氏距离进行在线匹配计算时,此算法将中心矩的倒数作为权系数加入到欧式距离的计算中,能大大地降低中心矩较大的 AP 的 RSS 值在欧式距离计算时所占的比重,能够在一定程度上消除大部分由于环境的实时变化而造成 RSS 值产生一定

波动带来的影响,进而提高用户终端的定位精度。

3 实验测试

3.1 测试环境

实验环境选择了室内  $8\text{ m} \times 8\text{ m}$  区域,首先在该区域划分若干个网格,然后选择其中有 16 个点作为参考点 RP,3 个点作为接入点 AP,其中,图 2 为实际场景,图 3 为仿真场景。



图2 定位场景

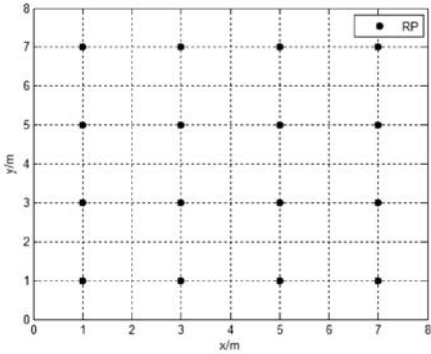


图3 仿真场景

离线阶段,用户终端依次在每个参考点 RP 每隔 1 秒钟采集一次信号强度,共采集 50 次来自每个接入点 AP 的信号强度,然后将原始数据进行预处理,得到信号强度的均值和二阶中心矩以建立指纹数据库。

在线定位阶段时,在上述  $8\text{ m} \times 8\text{ m}$  区域内随机选定 10 个点作为定位测试点,如图 4 所示。

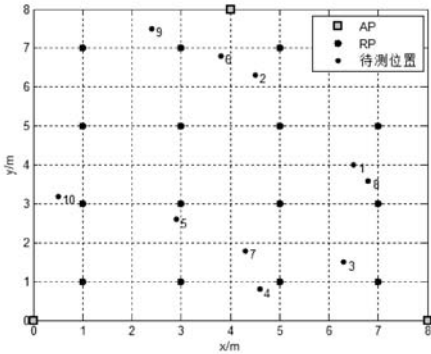


图4 AP=3 的场景分布

然后依次将该场景中分布的 AP 分别增加至 5 个和 7 个。其中,AP 分布如图 5 和图 6 所示,最后在上述 10 个同样的测试点再次进行在线定位。

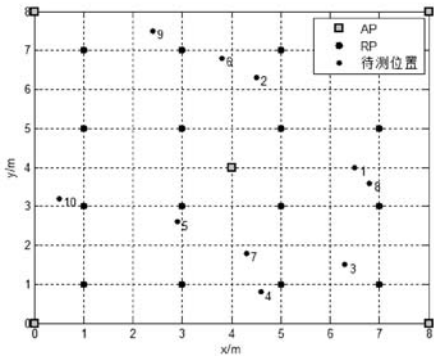


图 5 AP=5 的场景分布

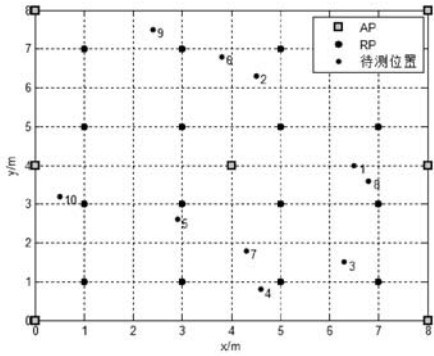


图 6 AP=7 的场景分布

3.2 性能分析

在上述三种不同 AP 数量分布的场景下,通过定位结果分析,当 AP 的数量为 5 时,定位误差达到最小。其中,各测试点的定位结果见表 1 和表 2,场景定位结果如图 7 所示。

表 1 定位结果

待测位置编号	1	2	3	4	5
待测位置实际 x 值	6.50	4.50	6.30	4.60	2.90
待测位置测量 x 值	6.25	4.50	6.16	4.66	2.88
待测位置实际 y 值	4.00	6.30	1.50	0.80	2.60
待测位置测量 y 值	4.00	6.25	1.83	1.16	2.67
各点误差值	0.25	0.05	0.80	0.42	0.09

表 2 定位结果

待测位置编号	6	7	8	9	10
待测位置实际 x 值	3.80	4.30	6.80	2.40	0.50
待测位置测量 x 值	3.75	4.25	6.75	2.50	1.00
待测位置实际 y 值	6.80	1.80	3.60	7.50	3.20
待测位置测量 y 值	6.50	2.00	3.50	7.00	3.24
各点误差值	0.35	0.25	0.15	0.60	0.54

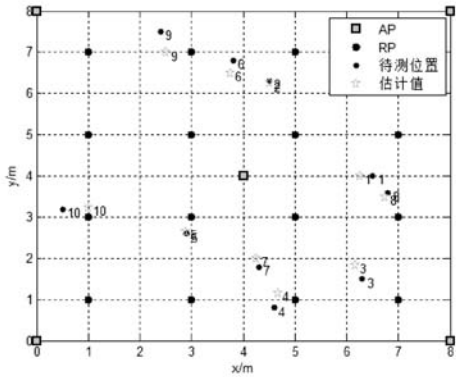


图 7 AP=5 的定位结果

在上述 10 个同样的测试点分别进行在线定位,三中不同场景下的 AP 分布的定位误差如图 8 所示。从定位误差分析,当场景中 AP 的数量为 5 时,定位误差最小。

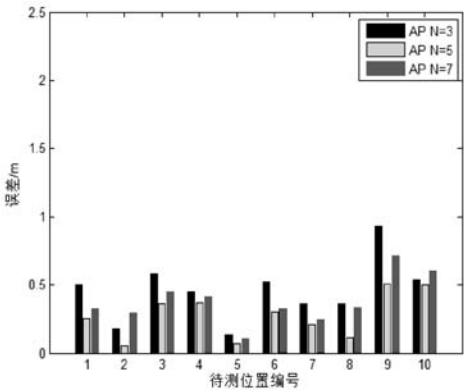


图 8 定位误差比较

图 9 是 NN 算法,KNN 算法,WKNN 算法与改进 WKNN 算法的实验仿真的累计误差分布直方图,其中,  $K = 4$ 。从图中可明显看出采用改进 WKNN 算法的累计误差距离是最小的。因此,实验证明采用改进 WKNN 算法进行在线匹配能够有效提高室内定位精度。

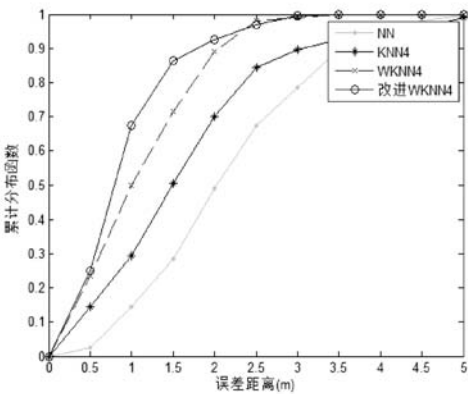


图 9 不同算法的 CDF 比较

tional Asia Conference on Industrial Engineering and Management Innovation. Atlantis Press, 2016.

- [ 8 ] Messaoudi F, Simon G, Ksentini A. Dissecting games engines: The case of Unity3D [ C ] // 2015 International Workshop on Network and Systems Support for Games ( Net Games ). Zagreb, CROATIA. 2015, 12, 03 - 04.
- [ 9 ] 陈勇,张灿灿,刘洲,等. WebGL 在网页室内房型展示中的应用 [ J ]. 物联网技术, 2016, 6(11): 74 - 75.
- [ 10 ] Zhang Feng, Wang Weiwei. Research of Product Virtual Digital Model Design Based on TurnTool [ C ] // 2nd International Conference on Engineering Design and Optimization ( ICEDO 2011 ). Zhejiang Univ, Ningbo Inst Technol, Ningbo, China. 2011. 8.
- [ 11 ] Hwan Kim Jeong. A Study on a Technology of Building Experiment 3D Model House by Experience in Cyberspace of Virtual Reality [ J ]. The Korean Journal of Art and Media, 2011, 10(1): 25 - 35.
- [ 12 ] Reimers Stian, Stewart Neil. Presentation and response timing accuracy in Adobe Flash and HTML5/JavaScript Web experiments [ J ]. Behavior Research Methods, 2015, 47(2): 309 - 327.

(上接第 133 页)

## 4 结 语

本文针对 WiFi 室内定位系统在线阶段匹配精度低问题,在已有的 WKNN 算法基础上,提出了一种改进的 WKNN 算法。并通过理论分析和实验测试,在不同 AP 数量的分布以及不同定位算法的选择下对定位结果进行了分析。实验结果证明:采用改进的 WKNN 算法将信号强度的二阶矩作为权值加入到计算欧式距离中,有效地降低了室内环境实变性而造成 RSS 值产生一定波动带来的影响,提高了定位的精度。此外,该系统无需增加额外的硬件设备,易于实现,具有潜在的实用价值。

## 参 考 文 献

- [ 1 ] Enge P, Misra P. Special Issue on Global Positioning System [ J ]. Proceedings of the IEEE, 1999, 87(1): 3 - 15.
- [ 2 ] Ni L M, Liu Y, Lau Y C, et al. LANDMARC: Indoor Location Sensing Using Active RFID [ C ] // IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications. IEEE, 2003: 407 - 415.
- [ 3 ] Want R, Hopper A, Gibbons J. The active badge location system [ J ]. Acm Transactions on Information Systems, 1992, 10(1): 91 - 102.
- [ 4 ] Sugano M, Kawazoe T, Ohta Y, et al. Indoor Localization System using RSSI Measurement of Wireless Sensor Network based on ZigBee Standard [ C ] // The 6th IASTED International Multi-Conference on Wireless and Optical Communications, Wireless Sensor Networks. DBLP, 2006: 1 - 6.
- [ 5 ] Ward A, Jones A, Hopper A. A new location technique for the active office [ J ]. Personal Communications IEEE, 1997, 4(5): 42 - 47.
- [ 6 ] Bahl P, Padmanabhan V N. RADAR: an in-building RF-based user location and tracking system [ C ] // INFOCOM 2000. Nineteenth Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings. IEEE. IEEE Xplore, 2000: 775 - 784.
- [ 7 ] Youssef M, Agrawala A. The Horus WLAN location determination system [ C ] // International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services. ACM, 2005: 205 - 218.
- [ 8 ] Hallberg J, Nilsson M, Synnes K. Positioning with Bluetooth [ C ] // International Conference on Telecommunications. IEEE, 2003, 2: 954 - 958.
- [ 9 ] Boles L C, Lohmann K J. True navigation and magnetic maps in spiny lobsters [ J ]. Nature, 2003, 421(6918): 60.
- [ 10 ] Castro P, Chiu P, Kremenek T, et al. A Probabilistic Room Location Service for Wireless Networked Environments [ C ] // International Conference on Ubiquitous Computing. Springer-Verlag, 2001: 18 - 34.
- [ 11 ] Priyantha N B. The Cricket indoor location system [ J ]. Architecture, 2005, 16(2001): 199.
- [ 12 ] 郎昕培, 许可, 赵明. 基于无线局域网的位置定位技术研究和发 展 [ J ]. 计算机科学, 2006, 33(6): 21 - 24.
- [ 13 ] Wu C, Yang Z, Liu Y, et al. WILL: Wireless Indoor Localization without Site Survey [ J ]. IEEE Transactions on Parallel & Distributed Systems, 2013, 24(4): 839 - 848.
- [ 14 ] 杜晓黎. 基于 WIFI 的室内定位系统 [ D ]. 东南大学, 2015.
- [ 15 ] Cover T M. Rates of convergence for nearest neighbor procedures [ C ] // Hawaii International Conference on System Sciences, 1968.
- [ 16 ] Short R D, Fukunaga K. A new nearest neighbor distance measure [ C ] // 1980.
- [ 17 ] Hastie T, Tibshirani R. Discriminant Adaptive Nearest Neighbor Classification [ J ]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 1996, 18(6): 607 - 616.
- [ 18 ] Brown T, Koplowitz J. The weighted nearest neighbor rule for class dependent sample sizes ( Corresp. ) [ J ]. IEEE Transactions on Information Theory, 1979, 25(5): 617 - 619.
- [ 19 ] Mitchell H B, Schaefer P A. A "soft" K-Nearest Neighbor voting scheme [ J ]. International Journal of Intelligent Systems, 2001, 16(4): 459 - 468.
- [ 20 ] 任睿. 基于数据库相关算法的位置指纹定位技术 [ J ]. 铁道通信信号, 2012, 48(3): 49 - 51.
- [ 21 ] 陈空, 宋春雷, 陈家斌, 等. 基于改进 WKNN 的位置指纹室内定位算法 [ J ]. 导航定位与授时, 2016, 3(4): 58 - 64.