

doi:10.19306/j.cnki.2095-8110.2020.02.015

# 基于 WLAN 的室内定位方法研究

任建新, 自俊林, 宋凯月

(西北工业大学自动化学院, 西安 710072)

**摘要:**室内定位技术是指当携带定位设备的人或物处于室内环境时,携带者或外部监控系统获取其室内位置信息的技术。选取了目前应用前景较为广泛的 WLAN 定位技术进行研究,阐述了 WLAN 室内定位技术的基本原理,对比分析了目前两大 WLAN 定位技术:三边定位法和指纹定位法。针对现有技术的不足提出了新算法进行优化和改进,选取实际环境设计实验验证算法性能,结果表明新算法综合现有技术优点,可在降低成本的同时提高精度并减少运算时间。

**关键词:**室内定位;WLAN 定位;三边定位法;指纹定位法;粗定位迭代校准法

中图分类号:V249.32+4 文献标志码:A 开放科学(资源服务)标识码(OSID):  
文章编号:2095-8110(2020)02-0110-07



## Indoor Positioning Method Based on WLAN

REN Jian-xin, ZI Jun-lin, SONG Kai-yue

(College of Automation, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

**Abstract:** Indoor positioning technology refers to the carrier or the external monitoring system to obtain the indoor location information when the person or thing carrying the positioning equipment is in the indoor environment. This paper selects WLAN indoor positioning technology which is widely used at present as an object of study, describes the basic principle of WLAN indoor positioning technology, compares and analyzes the current two WLAN positioning technologies, trilateral positioning method and fingerprint positioning method. In order to optimize and improve the existing technology, the new algorithm is proposed. The experiment which is used to verify the performance of the algorithm is designed based on actual environment. The result shows that the new algorithm, combining the advantages of the prior arts, can improve the accuracy and reduce the operation time and cost.

**Key words:** Indoor positioning; WLAN positioning technology; Trilateral positioning method; Fingerprint positioning method; Rough positioning iterative calibration method

### 0 引言

无线局域网(Wireless Local Area Networks, WLAN)室内定位技术属于无线局域网定位技术,是当前最主要的室内定位技术之一,具有十分广泛的

应用前景。由于 WLAN 技术的飞速发展以及网络的迅速普及,越来越多的路由器接入点(Access Point, AP)被安置在各种公共场所。只要人们携带配置了无线网卡的设备进入 AP 覆盖区域,即可扫描连接到该 AP 所在的网络,进而进行联网活动。

收稿日期:2018-06-28;修订日期:2018-07-31

作者简介:任建新(1968-),女,教授,主要从事惯性导航及组合导航技术、新型惯性器件、惯性测量系统等方面的研究。

E-mail: renjianxin@nwpu.edu.cn

随着 AP 布设范围越来越广以及人们对室内定位需求的增加,越来越多的科研人员与工作者将目光放在 AP 发出的 WLAN 信号与接入设备位置之间的关系。目前,WLAN 室内定位技术主要是基于传播模型<sup>[1]</sup>或场景分析<sup>[2]</sup>两种原理。

基于传播模型的 WLAN 室内定位技术通过获得 AP 位置和接收者与 AP 之间的距离反推接收者位置,主要利用几何学的计算方法,其中以三边定位法<sup>[3-4]</sup>为主。基于场景分析的 WLAN 室内定位技术通过事先获取定位区域不同位置点的信号特征,与接收端获取的信号特征进行匹配,进而判断接收者位置,主要方法为位置指纹定位法<sup>[5-6]</sup>。

本文介绍了三边定位法和位置指纹法,分析了上述两种 WLAN 定位方法的优缺点,结合现有方法的优点并针对实际工作条件进行改进,提出新的定位解算方法——粗定位迭代校准法。通过设计实验验证新算法的实时性和可靠性,并得到以下结论:

1)粗定位迭代校准法的定位结果能够满足行人定位需求,定点定位精度 2~3m,移动定位精度 3~5m,表明了该算法具有可靠性。

2)相比于一般加权 K 近邻算法(Weighted K-Nearest Neighborhood, WKNN),迭代算法通过控制运算量,大大降低了运行时间,单次定位所使用的时间可控制在 2ms 以内。

## 1 三边定位法

三边定位法在定位过程中主要分为 2 个环节,分别是测距环节与定位环节。

### 1.1 测距环节

使用三边定位法计算位置目标,首先需要在定位区域内安装至少 3 台不共线 AP,且 3 台 AP 位置信息已知。当待定目标进入 AP 覆盖区域后,接收端分别接收来自 3 台 AP 发出的无线信号,同时获得不同信号的接收信号强度(Received Signal Strength Indication, RSSI)。根据式(1)的无线信号传播模型即可计算得到接收机端与 AP 之间的距离

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L} \quad (1)$$

其中,  $P_r(d)$  为接收机端接收到的无线电信号功率;  $P_t$  为发射端即 AP 的发射功率;  $G_t$  为发射端增益;  $G_r$  为接收端增益;  $\lambda$  为无线电波波长;  $L$  为损耗系数,由信号传播环境决定;  $d$  为接收端与发

射端之间的距离,即无线电传播距离。

然而,在实际无线电信号传播过程中,上述传播模型往往会受到路径损耗、物体遮挡<sup>[7]</sup>等因素的影响而导致计算结果不准确。因此,在实际应用中,通常采用式(2)所述模型进行测距

$$P_r(d) = K - 10\epsilon \lg(d) \quad (2)$$

其中,  $\epsilon$  为实际环境中无线电信号损耗系数;  $K$  为发射端发射功率,对于每台固定 AP 而言通常为常值。

### 1.2 定位环节

如图 1 所示,利用几何关系计算接收机位置。图 1 中, A、B、C 为 3 台 AP 位置且坐标已知,分别为  $(x_1, y_1)$ 、 $(x_2, y_2)$ 、 $(x_3, y_3)$ , D 为待定位目标位置  $(x, y)$ , AD、BD、CD 为待定位目标与 3 台 AP 间的距离,分别为  $d_1$ 、 $d_2$ 、 $d_3$ 。将方程式(3)、式(4)、式(5)联立求解出目标位置

$$(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 = d_1^2 \quad (3)$$

$$(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 = d_2^2 \quad (4)$$

$$(x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 = d_3^2 \quad (5)$$

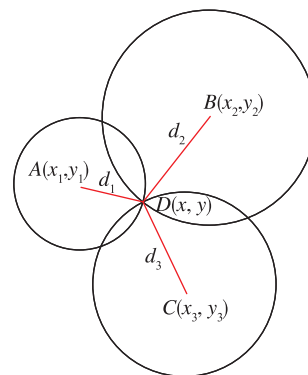


图 1 三边定位法示意图

Fig. 1 Schematic of trilateral positioning method

但是,非理想情况下,三圆很难相交于一点,极大可能出现未相交空白区域或者三圆重叠区域,导致上述方程联立求解时无解。针对三圆出现未相交空白区域或者三圆重叠区域两种情况,可以使用三圆多个交点坐标计算近似坐标作为目标位置,近似坐标求解思路如下:

根据方程式(3)和式(4)联立求解得到 A 圆与 B 圆的 2 个交点坐标  $(x_{AB1}, y_{AB1})$  和  $(x_{AB2}, y_{AB2})$ ,将交点坐标与圆心 C 坐标代入平面两点距离式(6)

$$d_{P1P2} = \sqrt{(x_{P1} - x_{P2})^2 + (y_{P1} - y_{P2})^2} \quad (6)$$

式中,  $P1(x_{P1}, y_{P1})$  和  $P2(x_{P2}, y_{P2})$  为两点坐

标; $d_{P_1P_2}$  为两点距离。计算两圆交点与圆心  $C$  之间的距离,取距离圆心  $C$  较近交点作为近似坐标计算点,记为  $(x_{AB}, y_{AB})$ 。同理,按照相同的方法,可计算出近似坐标计算点  $(x_{AC}, y_{AC})$  和  $(x_{BC}, y_{BC})$ 。3 个近似坐标计算点的均值即为定位点坐标,如式 (7) 所示

$$(x, y) = \left( \frac{x_{AB} + x_{AC} + x_{BC}}{3}, \frac{y_{AB} + y_{AC} + y_{BC}}{3} \right) \quad (7)$$

除此之外,三边定位法还存在 AP 的选择问题。在实际应用中,观测到的 AP 数量往往多于 3 个,如果直接选择信号最强的 3 台 AP 进行三边定位,有可能导致 DOP 不佳,并且丢失信息。在 AP 数量多于 3 个的情况下可以基于信息增益<sup>[8]</sup> (Information Gain, InfoGain) 方法,选择最能反映待定位点信息的 AP,根据 InfoGain 准则估计每一个 AP 的区分度能力  $D$ ,并选择区分度能力最高的 3 个 AP 用于三边定位。

三边定位法的精度主要由测距环节得到的 3 个距离精度决定,而距离精度又由无线电信号传播模型精度决定。在实际环境中,传播模型中的损耗系数难以准确确定,不同室内环境中的信号传播模型均不一样。所以,在实际应用中使用三边定位法难以实现较为准确的定位目的,但是该方法根据 3 个信号强度值及 3 台 AP 坐标即可推算自身坐标位置,具有运算速度快的优点。

## 2 位置指纹定位法

位置指纹定位法利用接收机端 RSSI 与接收端物理位置之间的关联性进行定位,指纹定位工作流程主要分为离线数据采集建立指纹库环节和在线位置解算环节<sup>[9]</sup>。

### 2.1 离线环节

离线环节的主要工作是对定位区域进行指纹网格划分,确定指纹点坐标,采集指纹点 (Finger Point, FP) 处 WLAN 信息,包括 MAC 地址和 RSSI 值,将三者合并作为一条指纹信息保存起来,所有指纹信息将构成定位所需的指纹数据库。离线环节中对定位区域进行指纹网格划分,确定指纹点坐标如图 2 所示。在图 2 中,AP1、AP2、AP3 及 AP4 是在定位区域内布设的 4 台 AP,其坐标已知;FP1、FP2、FP3、…、FP16 为通过网格划分得到的指纹点。将每个指纹点分别接收到 4 台 AP 的 RSSI 记为  $RSSI_1$ 、 $RSSI_2$ 、 $RSSI_3$ 、 $RSSI_4$ ,则指纹的信息

采集如图 3 所示。

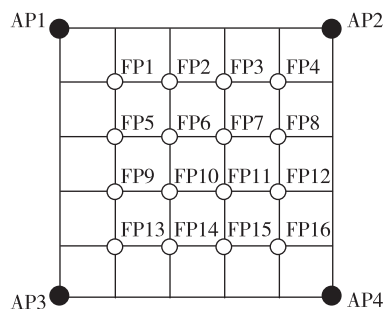


图 2 指纹网格划分示意图

Fig. 2 Fingerprint grid division diagram

| 指纹点      | 坐标                 | RSSI                               |
|----------|--------------------|------------------------------------|
| FP1      | $(x_1, y_1)$       | $(RSSI_1, RSSI_2, RSSI_3, RSSI_4)$ |
| FP2      | $(x_2, y_2)$       | $(RSSI_1, RSSI_2, RSSI_3, RSSI_4)$ |
| $\vdots$ | $\vdots$           | $\vdots$                           |
| FP16     | $(x_{16}, y_{16})$ | $(RSSI_1, RSSI_2, RSSI_3, RSSI_4)$ |

图 3 指纹点信息采集

Fig. 3 Fingerprint points information collection

### 2.2 在线环节

指纹库建立完成后,接收端进入定位区域并采集所处位置接收到的所有 WLAN 信号的 MAC 地址及 RSSI 值。采集完毕后,首先筛选有效定位 AP 信息,将不在指纹库内或者强度非常低的 AP 滤除,以免干扰指纹匹配导致指纹点漏选或错选。筛选完毕后,将剩余 AP 信息与指纹库内指纹点信息进行比较,选出相似程度最大的指纹点,即最接近当前所处位置的指纹点。指纹定位流程如图 4 所示。

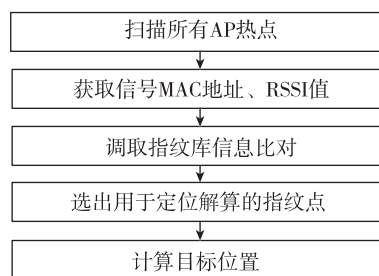


图 4 指纹定位流程

Fig. 4 Fingerprint location process

当接收端获取扫描到 AP 信号的 MAC 地址及 RSSI 值后,需要从指纹库中寻找到最为相似的指纹点用于坐标解算。目前所应用的指纹点匹配方法很

多,包括:最近邻法(Nearest Neighborhood, NN)、K 近邻算法(K-Nearest Neighborhood, KNN)、WKNN 神经网络法、支持向量回归法<sup>[10]</sup>等。由于本文以手机作为接收端实现 WLAN 定位,从程序运算量及手机处理器运算性能考虑,所选方法运算量和数据量不能过大,所以本文对前三种方法进行对比介绍<sup>[11-12]</sup>。

### 2.2.1 最近邻法

最邻近法首先根据接收端实时采集到的 RSSI 值与指纹库内的指纹点 RSSI 值,计算二者之间的欧氏距离,如式(8)所示

$$d_i = \sqrt{\sum_{j=1}^d (RSSI_i^j - RSSI^j)^2} \quad (8)$$

其中,  $RSSI_i^j$  为第  $i$  个指纹点上来自第  $j$  台 AP 信号的 RSSI 值;  $RSSI^j$  为接收端实时采集到的第  $j$  台 AP 信号的 RSSI 值。最邻近法通过计算所有指纹点到接收机端的欧氏距离,选择距离最小的指纹点坐标作为接收端位置结果。该方法定位精度取决于指纹点密集程度及最邻近点匹配情况。

### 2.2.2 K 近邻算法

K 近邻法是最近邻法的改进,利用式(8)计算得到所有指纹点的欧氏距离后,选取  $K$  ( $K \geq 2$ ) 个距离最小的指纹点,将这  $K$  个指纹点坐标进行均值计算得到接收端位置坐标,如式(9)所示

$$(x, y) = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K (x_i, y_i) \quad (9)$$

最近邻法可以看成是  $K=1$  时的 K 近邻法,相比于最近邻法, K 近邻法提高了定位精度。

### 2.2.3 加权 K 近邻算法

考虑到 K 近邻算法中所选取的  $K$  个指纹点 RSSI 值与实测 RSSI 值之间的差别,相应地,最终计算坐标时的贡献也有所不同,与实测点距离更近的指纹点 RSSI 值匹配程度更高。因此,在坐标计算时权重更高。式(9)中的均值计算方法导致更有利于定位的指纹点没有被充分利用。加权 K 近邻算法坐标计算如式(10)所示

$$(x, y) = \sum_{i=1}^K \left( \frac{\eta}{d_i + \epsilon} (x_i, y_i) \right) \quad (10)$$

其中,  $d_i$  为第  $i$  个指纹点与实测点间的欧式距离;  $\eta$  为归一化加权系数;  $\epsilon$  为避免分母为 0 而设计的很小的常值。式中,加权系数与欧式距离成反比,保证距离实测点越近的指纹点在计算坐标时贡献越大,从而在一定程度上提高了系统的定位精度。

最近邻法、K 近邻算法和加权 K 近邻算法在定

位精度上逐步提高,但运算量也相对增大,目前主要以加权 K 近邻算法作为指纹匹配算法。

## 3 粗定位迭代校准法

三边定位法定位迅速、计算量小,但由于环境因素对无线信号影响的不确定性导致其精度降低;位置指纹定位法事先采集环境中的信号特征,在一定程度上弱化了环境因素的影响,提高了定位精度,但随着定位区域的扩大,指纹点数量激增,利用指纹法计算位置时会存在大量无关指纹点计算,增大了计算量,影响实时性。考虑两种方法的工作原理,若将两种方法进行融合,利用三边定位法确定大致区域范围,再从指纹库中提取出该范围内的相关指纹点,进而利用指纹法进行定位,则可以大大提高精度且减少运算时间。但如果三边定位法所确定范围偏差较大,则直接影响后续指纹法的定位精度。因此,本文提出了利用多次定位迭代校准的方法修正初始定位偏差,将三边定位法、指纹定位加权 K 近邻算法和迭代校准三部分融合成新的定位算法——粗定位迭代校准法。

粗定位迭代校准法的思想是,首先使用三边定位法粗略确定接收机位置,然后多次利用小范围指纹定位不断将计算坐标向真实坐标逼近。此种方法既可以弥补初始三边定位误差较大的缺陷,又可以节约直接使用指纹法时计算大量无关指纹点消耗的时间。粗定位迭代校准法示意图如图 5 所示。图 5 中,矩形框为整体定位区域,四角黑色实心圆点为 4 台定位 AP,矩形框内空心圆和交叉线圆点为指纹点,其中交叉圆点代表迭代定位区域圆心,黑色五角星为行人实际位置,黑色三角形为三边定位法定位结果。

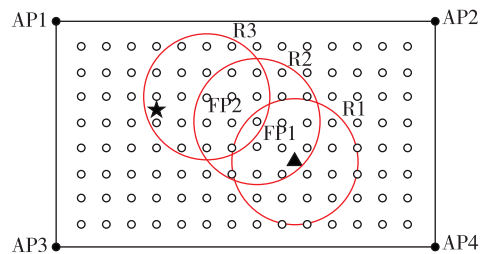


图 5 粗定位迭代校准法示意图

Fig. 5 Rough positioning iterative calibration method diagram

首先,利用三边定位法计算得到初始坐标,即

黑色三角形位置。以该初始坐标为圆心确定初始定位区域 R1,只选用该区域内的指纹点做 WKNN 算法计算,该次计算结果落于 R1 范围内,但位于接近五角星方向。该次计算除了得到坐标值,同时还保留了 WKNN 法计算时权重最高的指纹点,权重越高代表距离实际距离越近,即图 5 中的交叉圆点 FP1。以 FP1 作为圆心确定新的定位区域 R2,R2 相比 R1 距离实际距离更近,重复上述工作得到 FP2、R3、FP3、R4……直到某 2 次 WKNN 法计算结果差值小于设定阈值,则认为所选定位区域覆盖实际位置,定位完成。

由于粗定位迭代校准法中迭代校准环节可有效弥补三边定位法初始坐标计算误差较大的缺陷,所以在使用三边定位法粗略计算接收机位置时可不用式(1)或式(2)所述模型,根据式(11)和式(12)进行三边定位法计算初始坐标

$$X = \sum_{i=1}^K \left( \frac{1}{RSSI_i^2} \cdot X_i \right) \quad (11)$$

$$Y = \sum_{i=1}^K \left( \frac{1}{RSSI_i^2} \cdot Y_i \right) \quad (12)$$

式中,  $(X,Y)$  为初始定位坐标;  $(X_i,Y_i)$  为用于计算的 AP 坐标;  $K$  为 AP 数量;  $RSSI_i$  为接收机收到每台 AP 的信号强度。在式(11)、式(12)中只使用了信号强度一个参数,而式(1)或式(2)所述模型均需要已知大量如发射功率、接收功率等相关参数。因此,利用式(11)、式(12)计算初始坐标降低了运算的复杂度,减少了运算时间。

## 4 实验验证与分析

为了验证本文所提出的粗定位迭代校准法的可行性,进行了包括定点定位实验、行走定位实验以及运算速度检测 3 个部分的实验,以验证该定位算法下 WLAN 定位的定位精度以及该定位算法的实时性。实验过程中以手机作为信号接收端。

### 4.1 WLAN 定点定位实验

用于定点定位实验的实验室平面图如图 6 所示。实验室长 7.5m,宽 7.5m,在四角布置 4 台家用普通 AP,实验室内摆放有金属柜、桌椅、金属实验器材等物件,对 WLAN 信号有一定干扰作用,可认为实验室接近或等同真实使用环境,定位结果具有实际参考意义。

图 6 中,黑色实心圆点代表 4 台 AP,分别布置在 4 个角落。室内坐标系以左下角为原点,  $X$  轴正

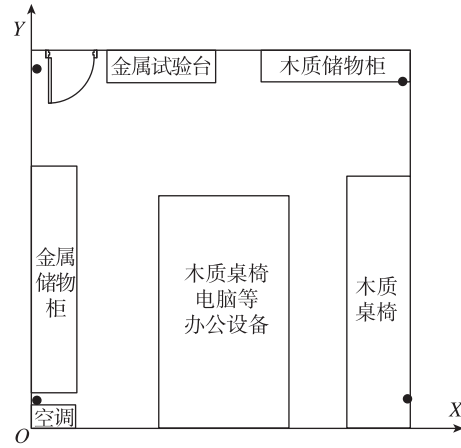


图 6 实验室平面示意图

Fig. 6 Laboratory plan diagram

向向右,  $Y$  轴正向向上。

在实验室内以 1.8m 为间隔选取指纹点,共 25 个指纹点。实验室内随机设立 10 个测试点,覆盖实验室角落、边缘和中心地带,每个测试点采集 100 组有效定位数据,共 1000 组有效数据。以实验室选取的测试点真实坐标值为实际坐标,每一测试点的 100 组计算坐标的均值作为定位坐标,定位坐标与实际坐标间的距离为坐标误差,100 组定位误差的均值为误差平均值。得到的定点定位实验数据见表 1。

表 1 定点定位坐标及误差

Tab. 1 Fixed points positioning coordinates and errors

| cm        |           |      |       |
|-----------|-----------|------|-------|
| 实际坐标      | 定位坐标      | 坐标误差 | 误差平均值 |
| (420,600) | (270,350) | 291  | 311   |
| (60,390)  | (235,423) | 178  | 195   |
| (120,600) | (194,562) | 83   | 178   |
| (480,390) | (488,400) | 13   | 114   |
| (180,270) | (278,466) | 219  | 229   |
| (540,210) | (383,294) | 177  | 192   |
| (540,420) | (432,359) | 124  | 127   |
| (540,600) | (473,353) | 255  | 268   |
| (180,630) | (192,572) | 59   | 199   |
| (360,270) | (297,356) | 107  | 126   |

1000 组定位误差累积分布曲线如图 7 所示。由表 1 的定位误差数据可得,10 组测试数据的单次定位误差主要集中在 2~3m,而每一测试点 100 组数据平均后的定位误差,即表 1 中的坐标误差主要在 2m 以内。同时,由图 7 的累积分布曲线可得,1000 次定位结果中 95% 的定位误差在 3.3m 以内,67% 在 2m 以内,50% 在 1.5m 以内,定位精度较高。

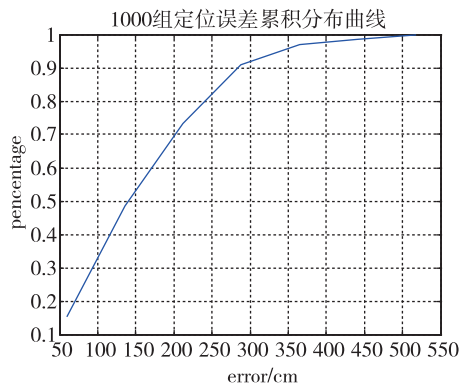


图 7 定位误差累积分布曲线

Fig. 7 Positioning error cumulative distribution curve

综上所述,对于移动缓慢或者静止状态的定位对象,可以通过多次定位求平均值的方法提高定位精度。

#### 4.2 WLAN 行走定位实验

行走定位实验的实验场地为实验室所在地的主楼,主楼定位区域由 3 条室内走廊及 1 条室外走廊构成。每条走廊长约 64m,宽约 2.3m,室内走廊每间隔 15m 安装 1 台吸顶 AP,共 11 台。图 8 所示为主楼平面示意图,黑心实圆点代表 11 台 AP,主楼坐标系以左下角为原点, X 轴正向向右, Y 轴正向向上。

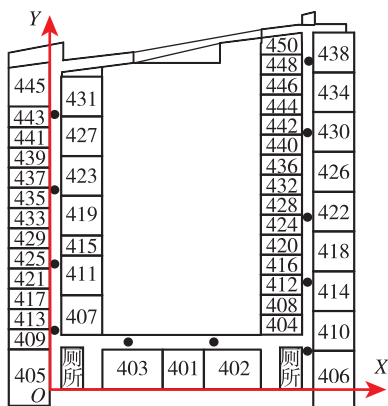


图 8 主楼平面示意图

Fig. 8 Main building floor plan diagram

在行走定位实验时,主楼走廊以 2.5m 间隔选取指纹点,共 102 个。移动实验路线为 U 型走廊一端至另一端,为计算并分析定位精度,在移动路线上选取 20 个位置作为测试点,且每次定位解算为单次扫描,即每个测试点只采集 1 组数据。20 个测试点定位解算结果及对应误差数据见表 2。根据表 1 和表 2 的误差数据可知,在移动过程中,坐标误差要

大于定点实验的坐标误差。如表 2 所示,行走定位实验的坐标误差一般为 3~5m。

表 2 定位测试点坐标及误差

Tab. 2 Positioning test point coordinates and error

| cm          |             |      |
|-------------|-------------|------|
| 实际坐标        | 定位坐标        | 坐标误差 |
| (120,5760)  | (166,5589)  | 177  |
| (120,5160)  | (154,5460)  | 302  |
| (120,4560)  | (210,4295)  | 280  |
| (120,3360)  | (86,2930)   | 431  |
| (120,2760)  | (84,2736)   | 43   |
| (120,1560)  | (98,1974)   | 415  |
| (120,960)   | (30,1160)   | 219  |
| (240,790)   | (578,832)   | 341  |
| (1440,790)  | (1904,757)  | 465  |
| (2040,790)  | (2038,773)  | 17   |
| (2640,790)  | (3143,879)  | 511  |
| (3240,790)  | (3572,813)  | 333  |
| (3840,790)  | (3933,837)  | 104  |
| (4780,900)  | (4741,934)  | 52   |
| (4780,1500) | (4818,1114) | 388  |
| (4780,2700) | (4870,3384) | 689  |
| (4780,3900) | (4738,4170) | 273  |
| (4780,5100) | (4870,5171) | 114  |
| (4780,5700) | (4820,6155) | 457  |
| (4780,6300) | (4817,6394) | 101  |

#### 4.3 WLAN 定位算法速度检测

为了验证迭代算法与一般 WKNN 算法的计算速度,本文在已有指纹库的基础上利用插值方法进行扩充,得到粗定位迭代校准法与一般 WKNN 法的运行时间见表 3。

表 3 迭代算法与一般 WKNN 法运行时间

Tab. 3 Iterative algorithm and general WKNN method running time

| 指纹点数量/个 | 迭代算法运行时间/ms | 一般 WKNN 法运行时间/ms |
|---------|-------------|------------------|
| 200     | 1.213       | 1.962            |
| 500     | 1.342       | 4.913            |
| 1000    | 1.677       | 9.745            |
| 1500    | 2.012       | 14.421           |
| 2000    | 2.164       | 18.537           |

由表 3 可以看出,相比于一般 WKNN 法,迭代算法有效地控制了运算量,极大程度地降低了运算时间。

## 5 结论

本文首先介绍了 WLAN 室内定位技术的两种

基本原理以及基于不同原理的定位方法,主要是:三边定位法和位置指纹定位法;阐述了两种主要方法的工作原理并对比分析其优缺点;结合现有方法的优点并针对实际工作条件进行改进,提出了新的定位解算方法:粗定位迭代校准法。通过设置合适的实验环境,利用已有 WLAN 设备或铺设 WLAN 设备设计实验验证算法的可行性。实验共分为定点定位实验、行走定位实验以及运算速度检测 3 个部分。综合上述 3 个部分的实验数据结果表明,本文提出的粗定位迭代校准法在初始阶段使用三边定位法确定粗略位置可以大大减少无关指纹点的计算量,引入迭代校准定位方式可以有效降低初始三边定位大误差对最终结果的影响。从定位结果来看,定点定位精度 2~3m,移动定位精度 3~5m,不存在定位失效情况,满足行人定位需求。并且此种定位思想大大减少了计算量,降低了运算时间,单次定位所使用的时间可控制在 2ms 以内,大大降低了运行时间。

### 参考文献

- [1] 陈泳希. 基 WIFI 传播模型的室内定位技术研究[D]. 长沙: 湘潭大学, 2016.  
Chen Yongxi. Research on indoor positioning technology of WIFI propagation model[D]. Changsha: Xiangtan University, 2016(in Chinese).
- [2] 周薇. 一种高效的指纹库构建方法及其在 WiFi 定位中的应用[D]. 北京: 北京工业大学, 2013.  
Zhou Wei. An efficient fingerprint database construction method and its application in WiFi location[D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2013 (in Chinese).
- [3] Lim C H, Ng B P, Da D. Robust methods for AOA geo-location in a real-time indoor WiFi system[J]. Journal of Location Based Services, 2008, 2(2): 112-121.
- [4] 卢恒惠, 刘兴川, 张超, 等. 基于三角形与位置指纹识别算法的 WiFi 定位比较[J]. 移动通信, 2010, 34(10): 72-76.  
Lu Henghui, Liu Xingchuan, Zhang Chao, et al. WiFi location comparison based on triangle and location fingerprint recognition algorithm[J]. Mobile Communications, 2010, 34(10): 72-76(in Chinese).
- [5] Liu H H. The quick radio fingerprint collection method for a WiFi-based indoor positioning system [J]. Mobile Networks and Applications, 2017, 22(1): 61-71.
- [6] 陈斌涛, 刘任任, 陈益强, 等. 动态环境中的 WiFi 指纹自适应室内定位方法[J]. 传感技术学报, 2015(5): 729-738.  
Chen Bintao, Liu Renren, Chen Yiqiang, et al. WiFi fingerprint based self-adaptive indoor localization in the dynamic environment[J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 2015(5): 729-738(in Chinese).
- [7] 陈岭, 许晓龙, 杨清, 等. 基于三次样条插值的无线信号强度衰减模型[J]. 浙江大学学报(工学版), 2011(9): 1521-1527.  
Chen Ling, Xu Xiaolong, Yang Qing, et al. Wireless signal intensity attenuation model based on cubic spline interpolation[J]. Journal of Zhejiang University(Engineering Science), 2011(9): 1521-1527 (in Chinese).
- [8] 郑学伟. 基于权值参数的 WiFi 定位算法研究[J]. 国外电子测量技术, 2014, 33(3): 35-37.  
Zheng Xuewei. Research of WiFi position algorithm based on weight parameters[J]. Foreign Electronic Measurement Technology, 2014, 33(3): 35-37 (in Chinese).
- [9] 陈空, 宁春雷, 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.  
Chen Kong, Ning Chunlei, Chen Jiabin, et al. An indoor location fingerprint algorithm based on improved WKNN [J]. Navigation Positioning and Timing, 2016, 3(4): 58-64(in Chinese).
- [10] Yin J, Yang Q, Ni L M. Learning adaptive temporal radio maps for signal-strength-based location estimation[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2008, 7(7): 869-883.
- [11] 胡伟娅. 基于惯性测量和 RSSI 的个人室内定位系统 [D]. 上海: 上海交通大学, 2013.  
Hu Weiya. Personal indoor positioning system based on inertial measurement and RSSI [D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2013(in Chinese).
- [12] 赵龙, 陶冶. 基于 WiFi 指纹库的室内定位研究进展和展望[J]. 导航定位与授时, 2018, 5(3): 6-13.  
Zhao Long, Tao Ye. Research progress and prospect of indoor positioning based on WiFi fingerprint database[J]. Navigation Positioning and Timing, 2018, 5(3): 6-13(in Chinese).