

线性不稳定环境下的 WIFI 室内定位系统

郑新元 严 军 范 浩 杨其阔 王 臣

(上海大学通信与信息工程学院 上海 200072)

摘 要: 随着位置感知技术的发展,室内定位的需求变得日益强烈。目前室内定位技术在线性环境下的应用较少,本文针对线性不稳定环境下定位耗时的问题,提出了短时路径记忆辅助的加权 K 最近邻算法 SPM-WKNN(weighted K-nearest neighbor of short time path memory)来提高定位效率。针对无线访问接入点(AP-access point)变化大的问题,本文提出了基于无线 AP 相关系数的接入点分簇机制,减小无线 AP 变化所带来的影响,提高定位精度。通过理论分析及仿真表明本文提出的 SPM-WKNN 算法和接入点分簇机制相对于原有算法在线性不稳定环境下可以有效缩短定位时间,提高定位精度。

关键词: 位置感知;WIFI 定位;WKNN 算法;室内定位

中图分类号: TP393 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.5025

WIFI indoor localization system in linear unstable environment

Zheng Xinyuan Yan Jun Fan Hao Yang Qikuo Wang Chen

(Communication & Information Department of Shanghai University, Shanghai 200072, China)

Abstract: With the development of location-aware technology, the requirement of indoor localization becomes stronger. Indoor localization technology is rarely used under the linear environment so far. The SPM-WKNN algorithm (weighted K nearest neighbor of short time path memory) is proposed to improve the efficiency of positioning in linear unstable environment. And in order to solve the problem of large variation of the wireless AP (access point), a wireless AP clustering mechanism is proposed which based on wireless AP correlation coefficient. The results of theoretical analysis and simulation show that the SPM-WKNN algorithm aroused in this article effectively reduced the positioning time and improved the positioning accuracy in the linear unstable environment.

Keywords: location-aware ; WIFI location; WKNN algorithm; indoor location

1 引 言

随着位置感知技术^[1]的发展,人们已经不再满足于只能在室外享有基于位置的信息服务,室内定位的需求变得日益强烈。目前室内定位技术主要有光跟踪定位技术、A-GPS 定位技术、超声波定位技术^[2]、RFID 技术^[3]、WIFI 技术^[4-5]等。WIFI 技术因为基础设施完备而在现代生活中被广泛使用。近年来在 WIFI 室内定位技术上已经出现了很多具有代表性的研究成果,较为典型的是 RADAR^[6]系统、Eorus^[7]系统、Nibble^[8]系统与 Weyes^[9]等。

随着智能移动终端的发展与普及,使得在移动终端软件方面的创新、研究等的竞争成为必然。由于智能手机的大量普及,这方面的成本也几乎可以忽略不计。因而,如何在移动终端上实现室内外定位成为了研究的热点^[10]。

本文介绍了一种应用于线性不稳定环境的 WIFI 室内

定位系统。本文第二部分介绍了定位系统架构以及系统工作流程,第三部分详细介绍了无线访问接入点分簇机制。第四部分详细介绍了短时路径记忆辅助的加权 K 最近邻算法 SPM-WKNN。第五部分是理论分析与仿真,最后第六部分总结全文。

2 WIFI 室内定位系统

本文设计了一套线性不稳定环境下的 WIFI 室内定位系统。系统架构如图 1 所示。该定位系统的实现分为手持终端和服务端两部分的设计,在手持终端设计了一套基于 Android 系统的定位软件,使用手持终端来扫描周围的 WIFI 信号并传输至服务器端。服务器端设计了 WIFI 指纹匹配算法,通过匹配算法将扫描到的信号与数据库中的参考值进行匹配,给出定位结果,最后传输至手持终端。



图 1 WiFi 室内定位系统架构图

定位分为两个阶段：离线训练阶段和在线定位阶段。离线训练阶段需要建立位置指纹数据库。首先，选择合理的参考点分布，确保能为定位阶段的准确位置估计提供足够的信息。然后逐个检测各个参考点上接收到的不同无线 AP(access point)的信号强度，产生无线信号图。本文在产生无线信号图之后，根据无线 AP 之间的相关系数设计了无线访问接入点分簇机制，将无线 AP 进行分簇，作为最终的信号图。

在线定位阶段，手持终端设备检测周围无线 AP 信号强度并上传至服务器，服务器端利用在离线训练阶段建立的无线信号图，依据短时路径记忆辅助的加权 K 最近邻算法，寻找无线信号强度特征与待测点无线 AP 的信号强度最接近的参考点，将无线信号特征最接近的参考点位置的加权平均作为测试点位置的估计值，给出用户的位置。

3 无线访问接入点分簇机制

基于无线 AP 相关系数的接入点分簇机制实现步骤具体如下所述。

1)无线 AP 筛选。在线性环境下，每个无线 AP 都只有少数几个相邻无线 AP，因而首先筛选已设置好的无线将物理相邻的无线 AP 对存储进数据库。

2)无线 AP 的相关系数计算。假设两个相邻无线 AP 对分别为 AP_1 和 AP_2 ，两个相邻无线 AP 对在参考点 i 处的接收信号强度 RSS(received signal strength)分别为 RSS_{i1} 和 RSS_{i2} ，令接收信号强度差为 D_i ，则：

$$D_i = |RSS_{i1} - RSS_{i2}| \quad (1)$$

定义 AP_1 和 AP_2 之间的相关系数 δ_{12} ，则公式为：

$$\delta_{12} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n D_i \quad (2)$$

式中： n 为设置的参考点的数量， $i = 1, 2, \dots, n$ 。

3)分簇。设置相关系数 δ 的阈值为 E (通过模拟退火法求得最优解)，当 $\delta_{12} < E$ 时，将两个无线 AP 分为一簇。若有 3 个相邻无线 AP 分别为 AP_1 ， AP_2 和 AP_3 ，相关系数分别为 δ_{12} 、 δ_{13} 、 δ_{23} ，当且仅当 δ_{12} ， δ_{13} ， $\delta_{23} < E$ 时，3 个 AP 才会分为一簇，即簇中所有无线 AP 之间的相关系数均必须小于阈值。如果某个无线 AP 没有与任何一个无线 AP 结合成簇则将该点称为独立点，将所有独立点移除。3 个无线 AP 分簇机制如图 2 所示。

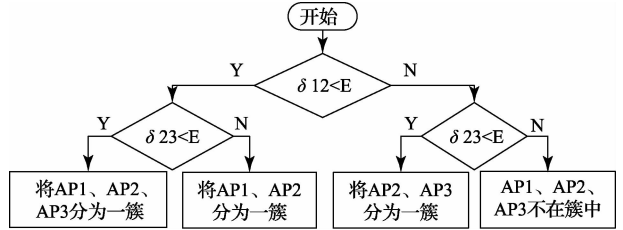


图 2 三个无线 AP 分簇机制图

4)筛选参考 AP。分簇结束后，根据参考点上的接收信号强度的大小选择前四个强度最大的无线 AP 作为参考点上的位置指纹存储进数据库，前提是四个无线 AP 在不同的簇中以保证每个无线 AP 都有可替换的无线 AP。

上述所得相关系数 δ 的阈值 E 的计算方法如图 3 所示。

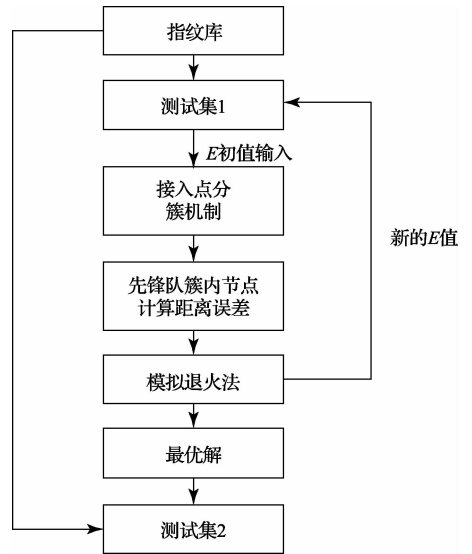


图 3 阈值 E 计算流程图

首先从指纹库中选取两个没有交集的测试集 1 和测试集 2，设置阈值初值为 1，通过接入点分簇机制将测试集 1 中的节点进行分簇。得到分簇结果后移除一个簇内节点计算定位误差，将定位误差作为初始解状态通过模拟退火法计算得到新的 E 值，继续使用迭代法将得到的新的 E 值输入到测试集 1 中，直至得到最优解。最后用测试集 2 来验证得到的 E 值的正确性。

采用接入点分簇机制后，如果在线定位阶段时簇中有某个无线 AP 被移除或者检测不到时，则可用簇中其他无线 AP 替换。解决了无线 AP 变化大，网络不稳定的问题。

4 SPM-WKNN 算法

4.1 K 最近邻匹配算法

最近邻法^[11](nearest neighbour, NN)是最基本的确定

性指纹匹配算法,最早在 RADAR 定位系统中提出。该方法是基于类比学习的匹配方法,使用定位阶段的采样样例和训练阶段的采样样例进行相似度匹配。将训练阶段的 RSS 均值称为位置指纹,使用欧式距离描述定位指纹与位置指纹间的相似度,最后取相似度最高的位置指纹的坐标作为估计位置。而 K 最近邻(K-nearest neighbour, KNN)算法^[1]是对 NN 算法的一个改进,将相似度最高的 K 个位置指纹的坐标的平均作为位置估计。

假设一个具有 n 个参考位置的待测区域,待测点与 n 个参考位置之间的欧式距离为:

$$dis = (\sum_{i=1}^n |s_j - S_{ij}|)^+ \quad (3)$$

式中: $i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m$ 。 n 为参考位置数量, m 为待测区域内的无线 AP 的数量。 s_j 表示在待测点接收到来自第 j 个无线 AP 的接收信号强度值。 S_{ij} 表示在第 i 个参考点接收到来自第 j 个无线 AP 的接收信号强度值。

将计算得到测试点与参考点之间的距离 dis 从小到大排序。选择其中的额 K 个最小值作为参考值。最后求出匹配坐标:

$$(\hat{x}, \hat{y}) = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (x_i, y_i) \quad (4)$$

式中: (\hat{x}, \hat{y}) 为待测点坐标, (x_i, y_i) 为第 i 个参考点坐标。

4.2 SPM-WKNN 算法

在线实时定位阶段,手持终端会将短时内服务器返回的定位结果缓存在手持终端上,称之为短时路径记忆数据,手持终端会将短时路径记忆数据和采集到的测试点的 WIFI 信息一起发送回服务器。服务器首先进行起始点判断,流程图如图 4 所示。

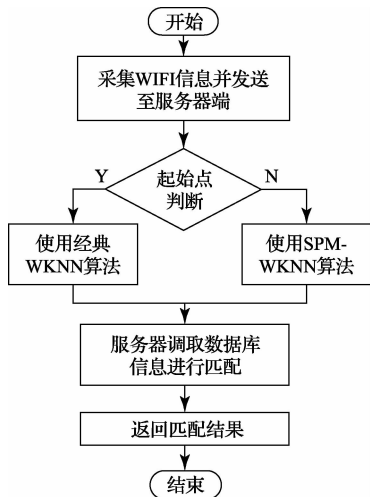


图 4 算法流程图

服务器接收手持终端采集到的实时 WIFI 数据,判断接收到的 WIFI 数据中是否包含短时路径记忆数据。如果数据中不包含短时路径记忆数据,则说明目前处于起始点上,则利用经典 WKNN 算法进行指纹匹配。如果数据中包含了

短时路径记忆数据,则说明目前不是在起始点上,那么服务器端首先将短时路径记忆数据提取出来。将接收到的已知定位结果的临近参考点提取出来,统计临近参考点个数 t 并按照定位时间先后分配权重 w 。求出提取出来的各个临近参考点与测试点之间的欧几里德距离 dis ,如公式(3)所示。

将 t 个求到的欧几里德距离从小到大进行排序并取前 k 个值作为定位参考点。根据权重求出匹配坐标:

$$(\hat{x}, \hat{y}) = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k w_i (x_i, y_i) \quad (5)$$

式中: (\hat{x}, \hat{y}) 为待测点坐标, (x_i, y_i) 为第 i 个参考点坐标, w_i 是根据上述根据定位时间先后分配的权重。

5 仿真与测试

本文仿真环境为 MATLAB,在一个线性区域 C 中设置 60 个参考点,10 个无线 AP,如图 5 所示。

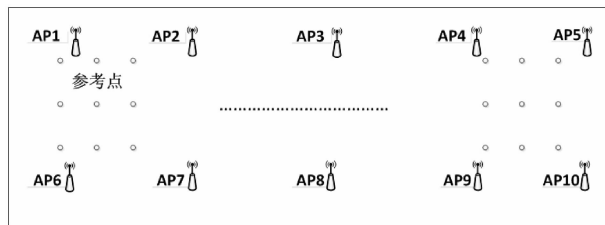


图 5 仿真环境布置图

本实验的评价指标为误差距离的累积分布函数。误差距离即为估计坐标与实际坐标之间的差值。

$$E = \sqrt{(x - \hat{x})^2 + (y - \hat{y})^2} \quad (6)$$

式中: (\hat{x}, \hat{y}) 为待估计坐标, (x_i, y_i) 为实际坐标。

接入点分簇机制仿真结果如图 6 所示。

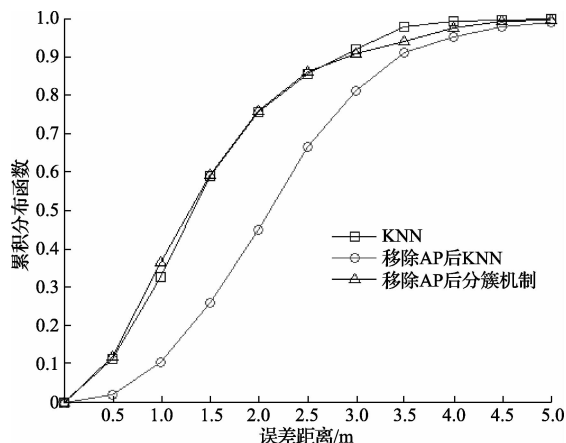


图 6 接入点分簇机制仿真结果

以正方形图案标注的线条为使用经典 KNN 算法的定位结果,以圆形图案标注的线条为经典 KNN 算法下移除一个无线 AP 之后的定位结果,以三角形图案标注的线条为加入了接入点分簇机制后移除一个无线 AP 的定位结

果。由图6可知,在线定位时,如果数据库中保存的参考AP在定位时被移除,定位精度将大大降低(圆形)。但是加入了接入点分簇机制后,由于每个无线AP都有各自的替换无线AP,即使参考AP被移除对定位精度的影响也是很小的(三角形)。

SPM-WKNN算法仿真结果如图7所示,以正方形图案标注的线条为经典WKNN算法,以圆形图案标注的线条为SPM-WKNN算法。从仿真结果可知,在定位误差方面SPM-WKNN算法相对于WKNN算法得到了一定的改进,最重要的是,SPM-WKNN算法大大降低了计算复杂度,提高定位效率。

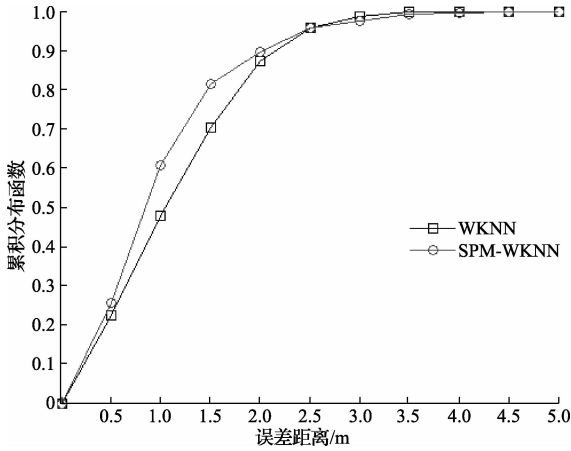


图7 短时路径WKNN算法仿真结果

经典WKNN算法在计算时需要将待测点与数据库中的60个参考点一一匹配计算,SPM-WKNN算法在计算时只需要计算上一参考点的临近参考点(最多为9个)。表1是记录的连续7次定位的匹配次数。由表1可知SPM-WKNN大大降低了计算成本。

表1 连续7次定位匹配次数对比

参考点	起始点	1	2	3	4	5	6
匹配次数 (WKNN)	60	60	60	60	60	60	60
匹配次数 (SPM-WKNN)	60	5	9	9	3	5	9

6 结 论

本文讨论线性不稳定环境下的WIFI室内定位算法。

针对不稳定环境下定位耗时的问题,本文提出了加入短时路径记忆辅助的加权K最近邻法SPM-WKNN来提高定位效率,缩短定位时间。针对WIFI信号不稳定,无线访问接入点变化大的问题,本文提出了基于无线AP相关系数的接入点分簇机制,减小了无线AP变化所带来的影响,提高定位精度。本文提出的SPM-WKNN算法和接入点分簇机制相对于原有算法在线性不稳定环境下可以有效缩短定位时间,提高定位精度。

参考文献

- [1] 杨帆,赵东东.基于Android平台的WiFi定位[J].电子测量技术,2012,35(9):116-124.
- [2] 原玉磊,王安健,蒋理兴.一种使用红外线和超声波的定位技术[J].电子测量技术,2008,31(10):14-17.
- [3] 石欣,印爱民,陈曦.基于RSSI的多维标度室内定位算法[J].仪器仪表学报,2014,35(2):261-268.
- [4] 王忠民,陈振,潘春华.一种改进的位置指纹智能手机室内定位算法[J].西安邮电大学学报,2014,19(1):323-326.
- [5] 朱剑,赵海,孙佩刚,等.基于RSSI均值的等边三角形定位算法[J].东北大学学报,2007,28(8):1094-1097.
- [6] BRUNATO M, BATTITI R. Statistical learning theory for location fingerprinting in wireless LANs [J]. Computer Networks, 2005, 47(6): 825-845.
- [7] FU X, ZHANG N, PINGLEY A, et al. The digital marauder's map: A WiFi forensic positioning tool[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2012, 11(3): 377-389.
- [8] BRUNATO M, BATTITI R. Statistical learning theory for location fingerprinting in wireless LANs [J]. Computer Networks, 2005, 47(6): 825-845.
- [9] 李巍,王琪全,陈鑫玮.面向校园无线网的位置服务系统[J].中山大学学报(自然科学版),2009(S1):65-68.
- [10] 丁琳,管小卫,朱霞.基于RSSI的集群实时定位系统设计[J].国外电子测量技术,2014,33(12):69-73.

作者简介

郑新元,1990年出生,上海大学通信与信息工程学院工学硕士,主要研究方向为物联网等。

E-mail:emma0926@163.com