

Research and Implementation of Indoor Localization Method Based on Peer-to-Peer Auxiliary

Xiaojun Zhou, Peng Liu

Institute of Computer Application, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou
Email: chowxiaojun@126.com, perryliu@hdu.edu.cn

Received: Dec. 16th, 2013; revised: Jan. 10, 2014; accepted: Jan. 16th, 2014

Copyright © 2014 Xiaojun Zhou, Peng Liu. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. In accordance of the Creative Commons Attribution License all Copyrights © 2014 are reserved for Hans and the owner of the intellectual property Xiaojun Zhou, Peng Liu. All Copyright © 2014 are guarded by law and by Hans as a guardian.

Abstract: With the rapid development of mobile smart device and mobile Internet, people's demand for location-based services is increasing. Compared to the outdoor environment using GPS, precise positioning is more difficult in indoor environment. This paper describes the indoor localization method based on peer-to-peer auxiliary. The method utilizes GPS of outdoor smart devices to get accurate datum point, and implements localization by RSSI assisting the indoor smart devices. This paper analyzes the principle of the indoor localization method, and gives a detailed solution. Experimental results show that the method is of high feasibility.

Keywords: Smart Device; Indoor Localization; Peer-to-Peer Auxiliary

基于点对点辅助的室内定位方法研究与实现

周晓军, 刘 鹏

杭州电子科技大学应用研究所, 杭州
Email: chowxiaojun@126.com, perryliu@hdu.edu.cn

收稿日期: 2013 年 12 月 16 日; 修回日期: 2014 年 1 月 10 日; 录用日期: 2014 年 1 月 16 日

摘 要: 随着移动终端和移动互联网的发展, 人们对于基于位置信息的服务的需求日益增大。相比室外环境可以采用 GPS 定位方法, 在室内环境下, 精确定位比较困难。本文描述了一种基于点对点辅助室内定位方法。该方法利用室外移动智能终端的 GPS 获得精准基准点并通过 RSSI 协助室内移动智能终端实现定位。该文详细地分析了该室内定位方法的工作原理, 并给出了详细的设计方案。实验结果表明, 该方法具有较高的可行性。

关键词: 移动智能终端; 室内定位; 点对点辅助

1. 引言

随着移动智能终端的普及化以及移动互联网的发展, 人们对定位与导航的需求日益增长。尤其是在室内环境下, 例如在智能家居中, 室内的各种电器设备根据用户的位置打开或关闭。在大型超市或者商场中, 通过借助室内导航快速找到一些重要或特殊的位置, 例如某个货架、出入口、电梯口等; 通过实时定

位跟踪小孩的位置以防止小孩走失; 还可根据用户的位置向用户推送更多关于商品的介绍和广告。在地下停车场中, 如何方便快速地找到自己的停车位等等。对于室外环境而言, 目前已经有卫星或者移动基站定位, 但对于室内环境而言, 一方面卫星信号因无法穿透建筑物而失去作用, 另一方面移动基站的定位精度太低, 根本无法满足室内精度的要求, 再加上室内环

境复杂多变,因此近年来国内外研究人员对室内定位进行了大量的研究,目前已出现了多种室内定位方法,主要有以下两类:

第一类是基于 Wi-Fi 的室内定位方法,此类方法有很多种,大多数都是通过接收 Wi-Fi 接入点获得无线信号强度值 RSSI,来分析和计算人们的位置信息。常用的 Wi-Fi 室内定位方法有基于 RSSI 指纹库的定位方法^[1]、基于信号传播损耗模型的定位方法^[2]等。这类方法的优势是系统成本低,无需开发新的硬件平台,但它们一般都需要大量的前期调研工作,而且定位精度的稳定性较差。因此,有研究人员根据这两个问题提出了很多的解决方案,例如通过结合移动终端中的惯性传感器和一些盲点位置^[3,4],利用室内摄像头将视觉信号的高精度性与 Wi-Fi 信号的普遍性结合起来实现定位^[5],还有将核心定位算法布置在中心服务器上^[6],即将大量复杂的计算交给服务器。以上这些解决方案都在一定程度上解决了这两个问题,但是往往是通过增加整个系统的复杂性为代价的。第二类方法是通过在定位区域部署一些额外的设施(例如,蓝牙基站,RFID 标签)来实现定位,虽然可以获得较高的定位精度,但是这些方法的成本往往很高,例如诺基亚公司提出的基于 HAIP 技术的室内精确定位解决方案^[7],该方案采用基于蓝牙的三角定位算法,除了需要在待定目标上安装蓝牙模块外,还需要在屋顶固定位置部署蓝牙基站。

上述这两类室内定位方法都忽视了当前移动智能终端高度智能化、社交化的特点,因此本文针对以上这些定位方法的不足,并结合室外移动智能终端 GPS 高精度定位的优势,本文提出了一种基于点对点辅助的室内定位方法。该定位方法利用人们普遍使用的移动智能终端,以室外终端设备的高精度 GPS 经纬度坐标为基准,室内移动设备通过无线通信手段与其通信获得该坐标并测得 RSSI 值,再结合其他的一些信息就可完成定位。该定位方法仅仅利用用户手中的终端设备和现有的成熟技术,具有成本低,且不需要大量的前期调研工作等优点。

2. 定位模型与过程

基于点对点辅助的室内定位方法的模型由如下两部分组成:1) 室内用户 $User_m = \{U_1^i, U_2^i, \dots, U_n^i\}$, 其

中 U_n^i 表示第 n 个位于室内的用户;2) 室外用户 $User_{out} = \{U_1^o, U_2^o, \dots, U_m^o\}$, 其中 U_m^o 表示第 m 个位于室外的用户。为了方便描述,以下称室内用户为未知节点,室外用户为参考节点,室内外用户均携带移动智能终端。所有参考节点的位置坐标也可用一个集合 $Position = \{(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)\}$ 来表示,其中 (x_n, y_n) 表示第 n 个参考节点的位置坐标。

在定位过程中,参考节点需要通过一定的无线通信方式将必要的定位信息数据发给未知节点,当未知节点聚集和处理一定量的数据之后,然后结合具体的定位算法即可实现定位,例如本文采用的基于 RSSI 的加权质心算法^[8],三边测量算法^[9],基于 RSSI 的局部梯度算法^[10]等等。在本文中,参考节点和未知节点采用 Wi-Fi 方式进行交互:在定位过程中,未知节点开启便携式 Wi-Fi 热点功能,并采用开放式热点的方式,参考节点无需验证即可直接连接到该热点上并向未知节点发送定位信息数据。由于此时未知节点作为热点,那么参考节点可测得此时热点的 RSSI 值,可用集合 $RSSI = \{rssi_1, rssi_2, \dots, rssi_n\}$ 表示,其中 $rssi_n$ 表示第 n 个参考节点测到热点的 RSSI 值。若参考节点 A 向未知节点 B 发送上述的定位信息数据,则该数据主要包含以下几个部分:1) 参考节点 A 的坐标位置;2) 参考节点 A 此时测得的 RSSI 值;3) 其他信息,例如时间戳等。

依据场景的不同,本文提出的定位方法有两种不同的定位过程:在第一种场景下,在室外确实存在多个参考节点用于未知节点定位,称为同步定位;在第二种场景下,在室外可能并不存在那么多的参考节点,在极端情况下,室外可能只有一个参考节点。在该场景下为了辅助未知节点完成定位,参考节点可通过不断的移动模拟同步定位的方式,称为虚拟定位。但是采用虚拟定位方式完成定位会产生一定的时延。本文的具体实验将在第二个场景下进行,在第 3 节中本文将详细分析各种影响定位精度的因素和该定位方法的性能。

3. 基于 RSSI 的加权质心算法及优化

3.1. 基于 RSSI 的加权质心算法

传统质心算法是利用多个参考节点所组成的多边形的质心作为未知节点的位置坐标。但是这种简单

叠加之后求平均值的算法的定位精度受参考节点的分布状况及参考节点个数的影响非常大。基于 RSSI 的加权质心算法^[8]是根据参考节点与未知节点之间的 RSSI 值, 计算每个参考节点坐标所对应的加权值, 这样反映出每个参考节点坐标对质心位置的影响程度。以下为加权质心算法的计算公式:

$$\begin{cases} x = \sum_{i=1}^n \omega_i x_i \\ y = \sum_{i=1}^n \omega_i y_i \end{cases} \quad (1)$$

上式中, ω_i 表示第 i 个参考节点对应的加权权值。通常, 可以直接利用 RSSI 值作为各个参考节点坐标的加权权值。本文利用公式(2)处理集合 RSSI,

$$\text{rssip}_i = \left(P_{\text{ref}} \cdot 10^{\frac{\text{rss}_i}{20}} \right)^g \quad (2)$$

上式中, P_{ref} 是参考功率, 本文中的取值为 1 mW。通过该公式, 可以将 RSSI 值(单位: dBm)转换为功率(单位: mW)的 g 次方。其中, g 是一个常数, 它定义了最大 RSSI 值与最小 RSSI 值之间的权重差额的大小。因此, 通过公式(2)处理后得到一个新集合 $\text{RSSIP} = \{\text{rssip}_1, \text{rssip}_2, \dots, \text{rssip}_n\}$ 。此时, 加权权值 ω_i 可通过公式(3)计算可得。

$$\omega_i = \frac{\text{rssip}_i}{\sum_{i=1}^n \text{rssip}_i} \quad (3)$$

以上对算法及对加权权值选择进行了较为详细的描述, 下面是该算法的具体步骤:

1) 建立 RSSI 值和参考节点坐标的集合及两者的对应关系, 并处理 RSSI 值集合:

①RSSI 值集合: $\text{RSSI} = \{\text{rss}_1, \text{rss}_2, \dots, \text{rss}_n\}$;

②相应的参考节点坐标集合: $\text{Position} = \{(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)\}$;

③按照公式(2)处理 RSSI 集合: $\text{RSSIP} = \{\text{rssip}_1, \text{rssip}_2, \dots, \text{rssip}_n\}$ 。

2) 参考节点的选择: 在上述已经建立的集合中, 通过一些优化, 筛选出能使定位精度提高的参考节点, 建立新的 RSSIP 集合和参考节点位置坐标集合, 本文将在 2.2 中详细描述如何做优化;

3) 按公式(1)计算未知节点的坐标;

4) 计算定位误差: 通过计算真实坐标与计算所得坐标之间距离即可。

3.2. 存在问题及优化

综上所述, 基于 RSSI 的加权质心算法简单且容易实现。然而, 在实际应用中利用该算法会遇到两个问题: 1) 常数 g 的取值问题, 即如何取得常数 g 的最优值; 2) 参考节点的选择, 即如何选择合适的参考节点的坐标参与计算。

对于常数 g 的取值问题, 由于常数 g 间接地定义参考节点的位置坐标对质心位置的影响程度。因此, 常数 g 的选择对定位结果的精度有很大的影响。实验结果表明, 在本文的测试环境中 g 取值为 1.3 的时候, 定位的精度最高。

对于参考节点的选择, 已在该算法的步骤 2 中提到, 在这里将详细分析为什么要选择合适地参考节点, 并提出了一个优化方案。由于质心定位算法原理可知, 未知节点的位置坐标只能位于这些参考节点的范围内。所以, 选择合适的未知节点是非常重要的。最好的选择就是对于未知节点来说, 所选参考节点的分布是均匀的, 而且是分布在未知节点的四周。该文优化方案为: 利用聚类算法对集合 Position 进行处理, 例如 k-mean 聚类算法^[11], 将集合 Position 聚类为四个集合, 然后在这四个集合再选择那些 RSSI 值较大的参考节点, 最后将所选的参考节点重新建立参考节点与 RSSI 值两者之间的映射关系。通过上述的优化所得到的参考节点组合对于未知节点来说是均匀分布在其周围的, 使得定位结果的精度有一定的提高。

4. 实验结果

为了验证本文提出方法的可行性, 本文在一个真实的实验场地进行一系列相关实验。本文选择的实验场地为某教学科研楼一楼大厅, 图 1 为实验场地的平面图。具体实验设置如下: 首先, 在室外固定 10 个点作为参考点, 这 10 个点的位置坐标信息可通过 GPS 获得。然后, 一个实验人员手持智能手机位于室内的某个点, 另一个实验人员也手持智能手机分别在室外 10 参考点上采集室内未知节点的 RSSI 值。最后, 在室内也取 10 个点作为未知点, 用相同的步骤处理。位于室外的 10 参考点分布在室内各个未知点的周围且分布比较均匀。对于室内 10 个未知点的真实位置

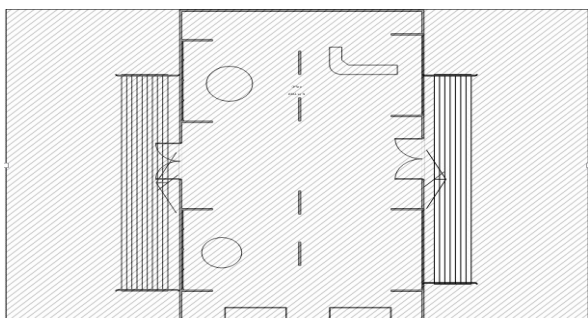


Figure 1. The plan of experimental site
图 1. 实验场地平面图

坐标, 本文利用室外参考点的位置信息加上皮尺的实际测量得到, 通过与实验得到的位置坐标进行比较, 就可以得到该定位方法的误差。

在基于 RSSI 的加权质心算法中, 本文采用 RSSIP 作为权值, 因此需要确定该算法中的唯一参数——常数 g 。为了得到在实验场地中常数 g 的最优值, 在实验中, 我们设置 g 的取值范围在 $[0.1 - 5]$ 之间, 并以 0.1 作为间隔。以室外 10 个参考节点都作为基准位置, 计算在实验场地中室内各个未知节点的位置坐标和误差。实验结果如图 2 所示, 常数 g 在实验场地中的最优值为 1.3。从图中可看出, 在较理想的情况下, 该定位方法的平均误差在 3 m 左右。

除了得到常数 g 的最优值, 还要考虑一个问题: 利用常数 g 处理 RSSI, 是否对定位精度有一定的提升? 所以, 本文分别采用 RSSIP 和 RSSI 作为权值计算未知节点的位置坐标, 然后比较两者的定位误差, 如图 3 所示, 当采用 RSSIP 作为权值时, 各个未知节点的位置坐标精度较高。

当 g 取最优值的时候, 室内各个未知节点的定位误差是最小的。但是相同情况下(常数 g 为 1.3, 取室外 10 个参考节点作为基准点), 每个未知节点的定位误差差距非常大, 如图 4 所示。

为什么在相同情况下各个点的误差会出现这么大差距? 其实, 对于不同的室内未知节点来说, 室外参考节点的分布情况是不一样的。所以, 室外参考节点的分布情况对定位精度有较大的影响。除此之外, 室外参考节点的个数也是影响定位精度的一个因素。

为了得到定位误差与室外参考节点个数、室外参考节点分布情况的关系, 本文分别选取 10 个参考节点中的 9 个、7 个、5 个和 3 个作为基准点, 并且每种情况各取 9 种不同的组合, 常数 g 为 1.3。实验结

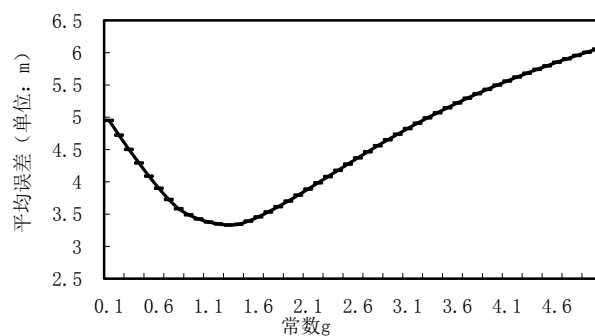


Figure 2. Relationship between average error and parameter g
图 2. 参数 g 与平均误差的关系

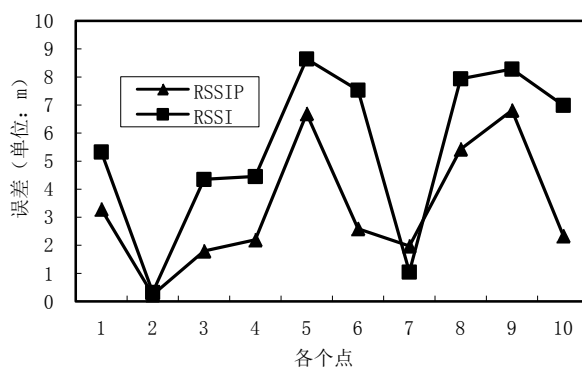


Figure 3. The error with RSSIP and RSSI
图 3. 采用 RSSIP 和 RSSI 作为权值时, 各个点的误差

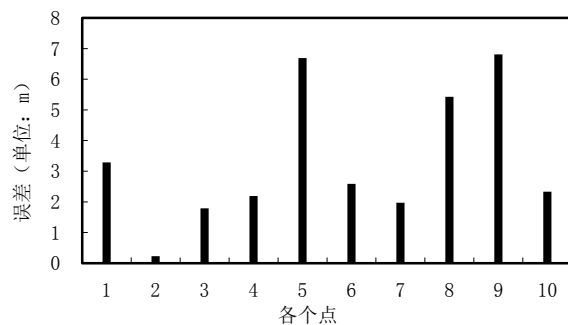


Figure 4. The error of each point with the same conditions
图 4. 在相同情况下, 室内各个点的误差

果如图 5 所示, 随着参考节点个数的增加, 平均定位误差有一定的减小。但是, 当参考节点的个数增加到一定数量以后, 平均定位误差的减小的趋势没有那么明显, 从图中可知, 已知点为 3 个的情况与已知点为 9 个的情况相比, 后者的平均误差明显小于前者, 而已知点为 7 个时, 与已知点为 9 个的情况相比, 两者的平均误差比较相近。该实验结果说明一个结论: 参考节点组合的不同或参考节点的分布情况不同, 平均

定位误差也会有很大的差别。

由上述可知，在定位过程中，若室外存在多个参考节点时，选择合适的参考节点会对定位精度产生较大的影响。因此本文在 2.2 中，提出了一种优化方案，即在具体定位之前，先对参考节点进行筛选分类，选择那些有利于提高定位精度的参考节点进行计算。为了验证本文提出的优化方案的可行性，我们分别采用优化方案和随机选择两种处理方式从 10 个参考节点选择 6 个作为基准点，分别计算各个未知节点的定位误差。部分实验结果如表 1 所示，经过优化处理后各个未知节点的定位精度有了较大的提升。在本实验中，与随机处理相比，定位精度平均提升了 30%。

为了形象地显示该定位方法的性能，本文以室外的 10 个参考节点作为基准点的情况下，通过实验得到室内各个点的实验坐标，实验结果如图 6 所示。图 6 表示实验所得坐标点与真实位置点的相对位置从图中可以看出，这 10 个点的平均定位误差在 3 m 左右，

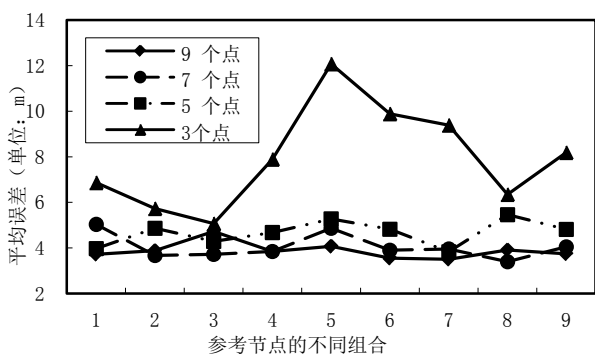


Figure 5. Relationship between error and the number of point, distribution

图 5. 已知点个数、分布情况与定位误差的关系

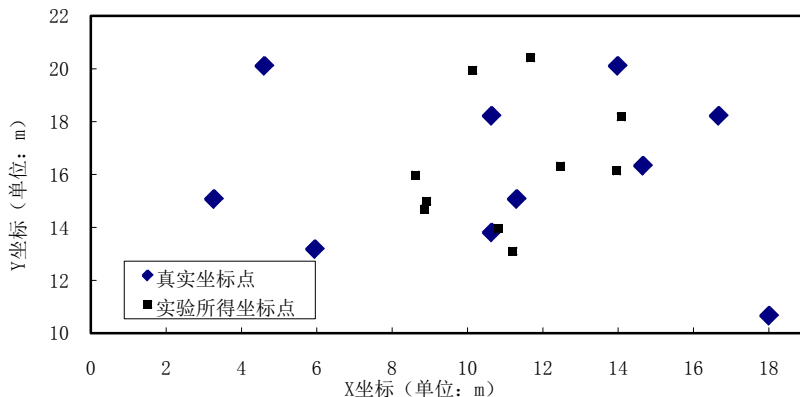


Figure 6. The real and experimental position of each point

图 6. 各未知点的真实位置、实验位置

而某些点的误差甚至在 1 m 左右。与现有的一些室内定位方法相比，该方法的定位精度具有一定优势，如表 2 所示。除此之外，该方法的系统成本较低，而且不需要大量的前期调研工作。

但是，由于上述实验在第二个场景下进行，因此需要考虑定位过程中产生的额外的开销——时延(参考第 1 节)。通常，人的正常步行速度在 1.4 m/s~1.9 m/s 之间，假设相邻两个参考节点之间的平均距离为 5 m，则虚拟参考节点个数与定位时延的关系如表 3 所示。

5. 结束语

本文提出的基于点对点辅助的室内定位方法利

Table 1. The accuracy before and after optimization

表 1. 定位算法优化前后的定位精度

未知节点	优化前	优化后	百分比
1	3.03 m	1.09 m	64%
2	4.03 m	1.84 m	54%
3	2.9 m	1.16 m	60%
4	5.25 m	3.15 m	40%
5	4.39 m	3.43	22%

Table 2. Accuracy of representative localization techniques^[5]

表 2. 现有一些定位方法的定位精度^[5]

方法	依赖技术	定位精度
RADAR	Wi-Fi	5.9 m
Horus	Wi-Fi	2 m
EZ-Loc	Wi-Fi	2 m, 7 m
V-Compass	Wi-Fi	3.2 m

Table 3. Relationship between the number of virtual reference node and positioning delay
表 3. 虚拟参考节点个数与定位时延的关系

个数	3	4	5	6
最大时延(s)	7.14	10.71	14.29	17.86
最小时延(s)	5.26	7.89	10.53	13.16
平均时延(s)	6.20	9.30	12.41	15.51

用室外移动智能终端(参考节点)的高精度 GPS 经纬度坐标为基准, 室内移动智能终端(未知节点)通过无线通信手段与其通信获得该坐标并测得 RSSI 值, 再结合其他的一些信息实现定位。该定位方法仅仅利用用户手中的终端设备和现有的成熟技术, 具有成本低, 且不需要大量的前期调研工作等优点, 但该定位方法无法实现连续地定位。因此, 在未来的工作中可以结合其它室内方法实现一种连续、成本较低和精度较高的室内定位系统, 例如基于惯性导航的室内定位方法 [12]。

参考文献 (References)

- [1] 王赛伟 (2009) 基于位置指纹的 WLAN 室内定位方法研究. 硕士学位论文, 哈尔滨工业大学, 哈尔滨.
- [2] 何山 (2011) 基于 RSSI 的精确室内定位算法. *现代电信科技*, 3, 34-37.
- [3] Wu, C., Yang, Z. and Liu, Y. (2012) WILL: Wireless indoor localization without site survey. *2012 Proceedings IEEE INFOCOM*, Orlando, 25-30 March 2012, 64-72.
- [4] Wang, H., Sen, S. and Elgohary, A. (2012) No need to war-drive: Unsupervised indoor localization. *Proceedings of the 10th International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services*, Lake District, June 2012, 197-210.
- [5] Zhang, B., Teng, J. and Zhu, J. (2012) EV-Loc: Integrating electronic and visual signals for accurate localization. *Proceedings of the Thirteenth ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing*, 11-14 June 2012, 25-34.
- [6] Chintalapudi, K., Padmanabha Iyer, A. and Padmanabhan, V.N. (2010) Indoor localization without the pain. *Proceedings of the Sixteenth Annual International Conference on Mobile Computing and Networking*, Istanbul, 22-26 August 2012, 173-184.
- [7] High accuracy indoor positioning technology solution and business implications (2012) <http://www.cwins.wpi.edu/>
- [8] Schuhmann, S., Herrmann, K. and Rothermel, K. (2008) Improved weighted centroid localization in smart ubiquitous environments. *Ubiquitous Intelligence and Computing*. Springer Berlin Heidelberg, 20-34.
- [9] Li, B.H., Slier, J., Dempster, A.G. and Rizos, C. (2006) Indoor positioning techniques based on wireless LAN. *The 1st IEEE International Conference on Wireless Broadband and Ultra Wideband Communications*, Sydney, 13-16 March 2006, 13-16.
- [10] Han, D.S., Andersen, D.G., Kaminsky, M., et al. (2009) Access point localization using local signal strength gradient. *10th International Conference of Passive and Active Network Measurement*, Seoul, 1-3 April 2009, 99-108.
- [11] Altintas, B. and Serif, T. (2011) Improving RSS-based indoor positioning algorithm via K-means clustering. *11th European Wireless Conference 2011-Sustainable Wireless Technologies (European Wireless)*, 27-29 April 2011, 1-5.
- [12] Zhang, R., Bannoura, A. and Hoflinger, F. (2013) Indoor localization using a smart phone. *2013 IEEE Sensors Applications Symposium (SAS)*, Galveston, 19-21 February 2013, 38-42.