

一种基于空间分割的无源 RFID 室内定位方法 *

高 锐,程良伦,胡 莘

(广东工业大学 自动化学院,广州 510006)

摘 要: 为了提高室内定位系统的性能,提出了一种利用无源 RFID 技术定位目标物体的算法。本算法使用双层对称分布的参考标签和空间连续分割的方法提高了室内定位的精度。实际测试结果表明,本算法可较好地实现目标的三维空间定位,与传统 LANDMARC 定位系统相比,单个平面定位精度提升了 8 倍,适合于室内人员、物资等定位应用。

关键词: 射频识别;室内定位;空间分割;无源标签

中图分类号: TN925;TP391 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2012)01-0184-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.01.052

Indoor positioning method based on space division using passive RFID

GAO Rui, CHENG Liang-lun, HU Xin

(College of Automation, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China)

Abstract: In order to improve the performance of indoor positioning system, this paper proposed a positioning method using passive RFID. The algorithm improved the precision of indoor location by using two layers of symmetric distributed reference tags then conducting continuous space division. Measurements show that the algorithm can position the target in three-dimensional space in an acceptable range. Meanwhile, to compare the algorithm with the classic LANDMARC system, it improved the positioning precision by 8 times. So it is suitable for the application of indoor staff and goods positioning.

Key words: RFID; indoor positioning; space division; passive tags

0 引言

对人员和贵重资产的有效定位在任何大型组织和场所中都是一件频繁而困难的事。例如,医院需要知道特定病人、医护人员、重要医疗设备的准确位置,对紧急医疗事故频发、人员流动性大、医疗设备出入库频繁的战时医院而言,人员、物资的准确定位对提高战时医院应对突发战争或自然灾害的快速反应能力和医护水平尤为重要;在陈列贵重物品的商场或仓库,需要判断物品的确切位置,这样就可以减少盗窃的发生。随着近年来实际应用对定位信息需求的不断增加,越来越多的高校和科研机构致力于自动定位技术的研究。RFID 技术以其响应速度快、识别距离远、低成本和非接触的特性已成为室内定位技术的研究热点^[1]。

文献[2~7]介绍了一些室内定位系统,但对地形复杂、环境多变的战时医院可操作性不强,且多数局限于二维平面应用。文献[8]提出了一种新的分析模型,它使用临近图形来解决室内定位的问题,但图形信息的冗余性和可靠性对定位效果影响较大。文献[9]所述的室内方位评估是通过一种拓扑评估的方法进行的,这种方法关注的是人员的相对位置而不是绝对位置。文献[10]中的系统使用智能天线来确定目标的信号强度,结合返回的信号方向来定位,这种方法的定位精度随距离的增加而迅速下降。文献[11]介绍了一种 ARIADNE 的新

颖系统,通过把产生的信号强度图和人工测量的强度图进行比较进行定位,但是这种方法实施起来较为繁琐,灵活性受限。

目前实际应用的 RFID 定位系统多数是根据文献[7]中的方法实施的,适用于二维平面,定位精度往往不能满足实际需求。一些改进型的 LANDMARC 定位方法虽然在一定程度上提高了定位精度,但是由于受到环境、硬件等条件的限制,目前并未得到较好的实施应用。本文提出了一种使用成本较低的无源电子标签进行定位的方法,既减少了阅读器的使用,降低了系统成本,又实现了目标的三维空间定位,且定位精度较 LANDMARC 系统得到了提升。战备应急医院测试结果显示,本方法可较好地实现紧急情况下医疗设备和人员跟踪定位,对提升战时医院应急处理能力具有现实意义。

1 邻居标签的选择

邻居标签就是指与目标标签距离相近的参考标签。首先,利用阅读器读取每个参考标签和被跟踪标签发射的功率等级,然后通过对比计算每个参考标签都会得到一个值,记为 E , E 值越小被跟踪标签的相对位置就越接近该参考标签。具体方法如下:

假设有 n 个阅读器, m 个参考标签和 u 个需要被跟踪的标签。阅读器发送查询指令,读取所有标签的 ID,并获得接收信号功率。所得参考标签的 E 值越小,说明它越接近被跟踪标

收稿日期: 2011-05-21; **修回日期:** 2011-06-30 **基金项目:** 国家基金广东省联合基金重点项目(U0935002);广东省自然科学基金团队项目(8351009001000002);广东省重大科技专项资助项目(2009A080207008);广东省科技计划项目(2009B010800010)

作者简介: 高锐(1986-),男,山西朔州人,硕士研究生,主要研究方向为无线射频识别、无线传感器网络(007-green@163.com);程良伦(1965-),男,湖北黄石人,教授,博导,CCF 会员,主要研究方向为智能与网络化系统、RFID 与传感器网络等;胡莘(1990-),男,湖南株洲人,主要研究方向为无线传感器网络。

签,选这样的几个标签作为邻居标签,继而由邻居标签的位置推算被跟踪标签的位置。

被跟踪标签反射回的功率等级由阅读器读到,以 S 表示, n 个阅读器就可以得到 $S = (S_1, S_2, \dots, S_n)$, 参考标签的能量等级以 θ 表示,有 $\theta = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n)$ 。这里有 m 个参考标签,取两组数据并比较,令

$$E_j = \left(\sum_{i=1}^n (\theta_i - S_i)^2 \right)^{1/2}, j \rightarrow (1, m)$$

(1)

其中: E_j 代表参考标签 j 和被跟踪标签的相对位置,计算出的 E 值越小,参考标签和被跟踪标签的距离就越近。选择 E 值最小的 k 个参考标签为邻居标签,这里 k 的选取应根据应用环境的不同而异。给每个参考标签设定一个权值,用这个权值来衡量参考标签和被跟踪标签之间的位置关系。权值有多种定义方法,常见的有一阶和二阶权值,但是采用这两种方法定义权值,目标标签的位置对某一特定参考标签对的依赖程度很大,当信号衰减严重时对定位精度影响较大,如图 1 所示。

为了使目标标签受参考标签影响最小,本文提出的算法选择了自然对数权值:

$$W_j = \left(\frac{1}{\ln E_j} \right) / \left(\sum_{i=1}^k \frac{1}{\ln E_i} \right)$$

(2)

其中: k 是邻居标签的数量,每个邻居标签都有一个权值 W_j ,权值越大代表它越接近被跟踪的标签。

2 实验环境

在 LANDMARC 系统中,采用 4 个阅读器,16 个参考标签布置一个 4 m×9 m 的区域,这些标签布置在一个水平面内,这样定位结果是二维平面中的某个区域,且精度不高。本算法采用对称式双层参考标签平面,这样被跟踪标签就能被定位到三维空间中某个较精确的位置。

本算法的实验环境选择的是某战备应急医院,房间尺寸为长 10 m、宽 10 m、高 3.5 m,室内有战时紧急医用物资陈列柜、应急药品、医疗设备、紧急手术室等,医疗物资表面都贴有物资标签,医生、护士、病人等人员身上佩戴有记录其详细信息的专用人员身份标签。分别在房间地面和顶层的对应位置布置参考标签,也就是对应参考标签具有相同的 x 和 y 坐标,同一平面内参考标签间距为 2.5 m,所有这些参考标签的位置都是已知的。由于定位精度与阅读器的数量并不成简单正相关的关系,考虑到阅读器成本问题和尽量减小对其他军用设备的干扰,根据实际需要,实验中使用的的是一个基于 IDS R902 设计的 4 通道阅读器,每个通道的增益相同,发射功率为 16 dBm~31 dBm,阅读能力是 8~12 m。参考标签布置的网络结构如图 2 所示,战备应急医院应用环境如图 3 所示。

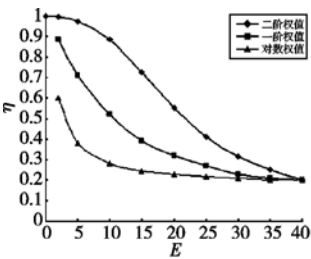


图1 不同权值定义的特标签依赖程度图

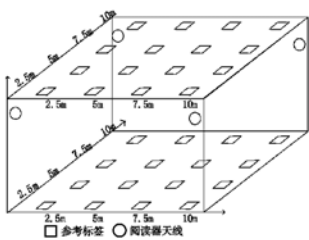


图2 对称式双层参考标签平面结构示意图

3 距离确定

实验环境中,利用本文提出的算法,地面的参考标签主要

用于确定室内高度低于层高一半的被跟踪标签在水平面的位置,顶层的参考标签主要用于确定室内高度高于层高一半的被跟踪标签在水平面的位置。同时,地面的参考标签可用于协同顶层的参考标签确定被跟踪标签的水平位置,避免因某个标签被误读或漏读造成的影响,从而可以提高定位精度和可靠性。处于对称位置的地面和顶层的参考标签可用于确定被跟踪标签在垂直平面的位置。

实验中阅读器和无源标签中心工作频率为 915 MHz,天线发射的射频信号有效覆盖范围大于 90°,信号强度随传播距离的增加而减小。实际应用中,天线自身的性质如极化方式和发射角度等都对射频信号的辐射和传播性能有一定影响。阅读器发出的信号经标签响应后再次反射给阅读器,接收到的信号强度和传播距离之间的关系满足式(3),可见信号强度和距离的平方成反比。

$$P_{\text{rec}} = P_r \eta G_r^2 G_r^2 \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^{2n}$$

(3)

其中: P_{rec} 是阅读器接收到的功率; P_r 是标签发送功率; G_r 是阅读器天线增益; G_r 是标签天线增益; λ 是载波波长; d 是阅读器与标签之间的距离。经大量实验测量可知, η 的典型值为 1/3 或 -5 dB,在室内视距环境下 n 取值为 1.6~1.8。 P_{rec} 由阅读器读到,其余参数已知,那么采用多次测量取平均值的方法就可以根据式(3)得到 d 。

由于所有标签和阅读器处在相同的环境下,且同样的环境符合长期的统计分布,因而环境因素对各标签的影响可以相互抵消。

4 分割区域

LANDMARC 系统结合每个参考标签和被跟踪标签之间的距离,在执行算法的时候给每个标签设定一个权值,权值越高则其越接近被跟踪标签。本算法首先由阅读器读取所有标签的 ID 和反射功率值,利用式(2)计算所有标签的权值,然后将两个参考平面的标签各自按顺序排列,结合式(3)找出与被跟踪标签最邻近的 8 个参考标签为邻居标签,每个参考面上各取与另一个参考面相对应的 4 个邻居标签。假设地面的 4 个邻居标签权值分别是 a 、 b 、 c 、 d ,与之相对应的顶层参考标签为 a' 、 b' 、 c' 、 d' 。以下分析中假设地面参考标签层的 4 个邻居标签权值顺序为 $W_a > W_b > W_c > W_d$,如图 4 所示。

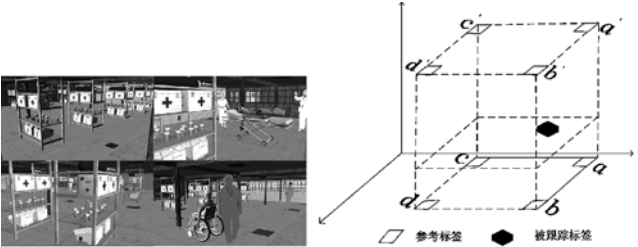


图3 战备应急医院应用环境 图4 被跟踪标签和邻居标签

本算法利用连续空间分割的方法,分步确定被跟踪标签在水平面和垂直面的位置,最终实现对被跟踪目标的三维空间定位。

1) 水平参考标签平面层的选择 取相邻的两对位于对称位置的邻居标签,如 a 与 a' 、 b 与 b' 。比较对应的权值,若某平面的两个相邻邻居标签的权值都大于与其相对称的标签,则可判断被跟踪标签更接近于该层,用于确定其水平位置的参考标

签平面层也选做此层。例如,若 $W_a > W'_a$ 且 $W_b > W'_b$,则可判断被跟踪标签位于层高一半以下的空间,判断水平位置时参考边标签应选用地面的参考标签平面。若因环境影响,阅读错误等偶然因素引起两对邻居标签的权值大小不一致,可通过增加邻居标签对判断或阅读器重新阅读的办法解决。

2)水平位置的确定 假设已判断出被跟踪标签位于整个空间的下半部分,邻居标签 a 、 b 、 c 、 d 构成一个水平面上的矩形,由于 a 标签的权值最大,可视为在水平位置上 a 最接近被跟踪的标签。 b 和 c 是参考标签 a 的邻居节点,在 b 和 c 之间画一条对角线,这就形成了两个三角形,三角形 abc 和 dbc ,如图 5 所示。这个矩形的大小是 $2.5\text{ m} \times 2.5\text{ m}$ 。

因为 a 点在 a 、 b 、 c 、 d 四点中权值最大,所以可以判断被跟踪标签的水平位置在包含 a 点的三角形 abc 内,可以由几何学证明这个推论。

假设有点 m 和 n 两点,如图 6 所示, l 是直线 mn 的垂直平分线, l 上的点到 m 和 n 的距离相等。假设有一点 t ,如果 $mt < nt$,那么就可以确定 t 落在 l 靠近 m 的部分,而不可能落在 n 和 l 之间的区域。同样,因为 a 参考标签的权值相对较大,即 a 和被跟踪标签的距离要小于 d 标签,图 5 中 bc 与图 6 中的 l 类似,被跟踪标签在水平面上必然会落在三角形 abc 内。

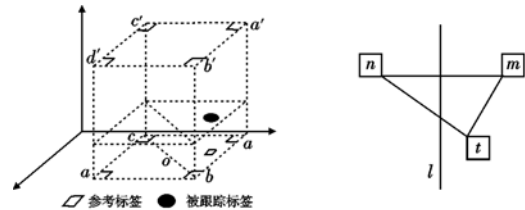


图5 一次分割示意图

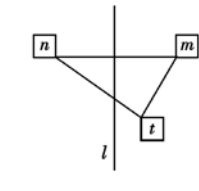


图6 三角形位置判定法

同理,因为 b 的权值大于 c 的权值,那么取 b 和 c 点以及角线 ad ,这样就会得到三角形 abd 和 acd 。同样结合前面的结论可以确定被跟踪标签落在三角形 aob 之内,如图 7 所示。

这样已经把被跟踪标签可能的位置定位到原水平区域的四分之一。过 ad 和 bc 的交点 o 作平行于 ac 和 bd 的直线 ef ,如图 8 所示。

在三角形 aof 和 bof 中,已得到权值 $W_a > W_b$,由前面的证明可以得出被跟踪标签一定位于三角形 aof 之内。这样在不增加阅读器和标签的情况下,就能把目标的水平位置缩小到区域的八分之一。

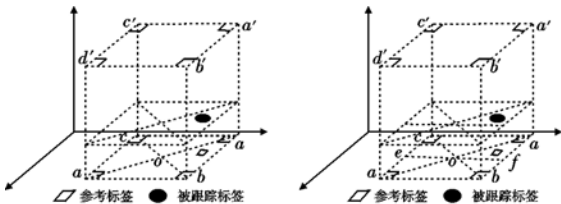


图7 二次分割示意图

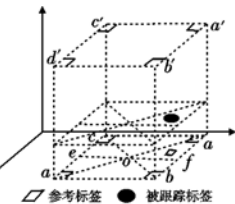


图8 三次分割示意图

3)垂直位置的确定 在确定垂直位置的时候,选择权值最大的两对邻居标签作为辅助平面。按照上文的假设,这里选择参考平面 $abb'a'$,根据确定水平位置的定位原理就可以确定被跟踪标签在垂直面内的位置。这样,在得到目标的水平位置和垂直位置后,就可以确定其在三维空间中的位置。

5 实验分析

本算法的性能与应用环境、参考标签数量、参考标签密度

都有关系。参考标签太多时,容易影响邻居标签的选择及其权值;参考标签太少时,定位结果易受单个标签影响。标签间距太小时,由于阅读器硬件的限制无法分辨各标签信号强度差异,邻居标签的选择也会受到影响;间距太大时,定位误差较大。在实验中改变参考标签数量和其密度,大量实验的结果统计如图 9 所示。由图 9 可见,参考标签数量选择为 40 个左右,标签间距 2 m 左右时,采用本算法的定位准确率最高。

为了更好地评估本算法的性能,这里引入坐标分析。每对参考标签的位置都是固定的,设它们的坐标已知,参考标签 i 的坐标为 (x_i, y_i, z_i) ,与其对称的参考标签 i' 的坐标为 $(x_{i'}, y_{i'}, z_{i'})$,显然根据本算法有 $x_i = x_{i'}, y_i = y_{i'}$ 。设被跟踪标签的坐标为 (x_t, y_t, z_t) ,采用本算法确定出目标的可能位置在水平和垂直平面内都在一个直角三角形区域内,取由它们组成的四面体的内心为被跟踪标签的估算位置,则很容易由几何关系得到其估算坐标 (x, y, z) 。定义估算线性误差为 $e = \sqrt{(x - x_t)^2 + (y - y_t)^2 + (z - z_t)^2}$,记 l 为线性误差对比值,对比本算法和传统 LANDMARC 系统,在相同实验环境下考察 $e < l$ 发生的概率,经大量实验,统计结果如图 10 所示。

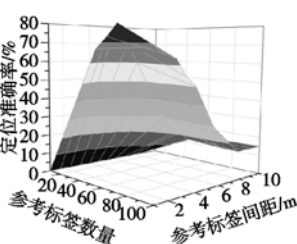


图9 不同参考标签数量与间距的定位效果统计

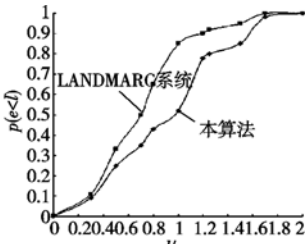


图10 LANDMARC和本算法的线性误差统计对比

6 结束语

本文提出的算法,通过在水平面和垂直面各经过三次连续分割后,可以实现目标物体的三维空间定位。在单个平面内本算法的定位精度是传统 LANDMARC 系统的 8 倍。在战备应急医院的实测中,定位精度为空间中 0.325 m^3 的空间,完全可以满足对战备物资和人员的定位需求。将战备重要物资建立 RFID 联网控制,可实现战时物资集中监控与调度,定位精度高、响应速度快,具有重要的应用价值。

参考文献:

[1] HUNT V D, PUGLIA A, PUGLIA M. RFID: a guide to radio frequency identification [M]. [S. l.]: Wiley-Interscience, 2007.

[2] PAPAPOSTOLOU A, CHAOUCHI H. RFID-assisted indoor localization and the impact of interference on its performance [J]. Journal of Network and Computer Applications, 2011, 34 (3): 902-913.

[3] 杜新恒,程良伦. 无线传感器网络中距离无关定位算法的研究 [J]. 计算机工程与应用, 2008, 44 (33): 119-121.

[4] BAH L P, PADMANABHAN V N. RADAR: an in-building RF based user location and tracking system [C]//Proc of Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. 2000: 775-784.

[5] SHIRAIISHI T, KOMURO N, UEDA H. Indoor location estimation technique using UHF band RFID [C]//Proc of International Conference on Information Networking. 2008: 1-5.

[6] HIGHTOWER J, WANT R. SpotON: an indoor 3D location sensing technology based on RF signal strength [R]. Washington DC: UW CSE, 2000.

编码的高三位表示 PC 增量值,低两位表示代码类型,具体的程序状态类型如表 1 所示。程序顺序执行情况下的新 PC 值等于 PC 增量值加一再乘以二,与旧 PC 值的和。3 bit 调试事件消息则主要用于指示仿真器上文所述的调试事件类型,并与程序状态消息保持同步。

表 1 程序状态类型

状态	描述
000 00	流水线空闲
001 00	陷阱
010 00	中断
xxx 01	顺序执行代码
xxx 10	相对跳转/相对程序调用
xxx 11	间接跳转/间接程序调用与返回

3.2 跟踪同步

除非仿真器从系统复位即开始跟踪程序流,否则均需要实现与内核跟踪消息的同步。跟踪同步操作具体可分为与程序状态的同步以及与间接 PC 的同步两部分。

绝大部分程序状态均具有唯一的确定值,仿真器只需检测到其中任意一个唯一值即可实现与程序状态流的同步。一旦完成上述同步,仿真器只需等待第一个间接跳转或类似状态的出现,就能够实现与间接 PC 的同步。间接 PC 同步过程中,五位程序状态用做间接同步格式,如表 2 所示。若跟踪 FIFO 溢出,则导致溢出的间接 PC 丢失,仿真器失去与间接 PC 的同步直到下一个间接跳转或类似状态的出现。跟踪同步完成后,32 bit 的 PC 值可在四个时钟周期内以每周期单个字节的速率发送出去。

表 2 间接同步格式

位	描述
[4]	0: FIFO 溢出 1: FIFO 未溢出
[3:0]	1100: FIFO 溢出; 其余值:发送间接跳转目标 PC 首字节前所需等待的时钟周期数。

3.3 跟踪实例

考虑文本框内的代码片段并假设所有指令均为 32 bit 格式,则程序状态与间接跳转目标 PC 值的变化如图 6 所示。从左至右第一个周期的程序状态表示间接跳转 1 的发生。第二个周期为间接同步格式,表示跟踪 FIFO 未溢出且目标 PC 值的输出无须停顿。相应地,间接 PC 总线从第二个周期到第五个周期连续输出目标地址 1 的四个字节。第三个周期的程序状态表示间接跳转 2 的发生。由于目标地址 1 正在输出,则第四个周期的间接同步格式指示目标地址 2 的输出需等待两个周期。相应地,目标地址 2 的输出从第六个周期开始,持续四个周期。完成目标地址 2 的同步后,程序开始顺序执行,第五个周期的程序状态表示代码顺序执行情况下的 PC 增量值为 3。仿真器依据此信息以及上文所述的 PC 计算方式便可算出

新的 PC 值,从而实现对程序流的同步与跟踪。

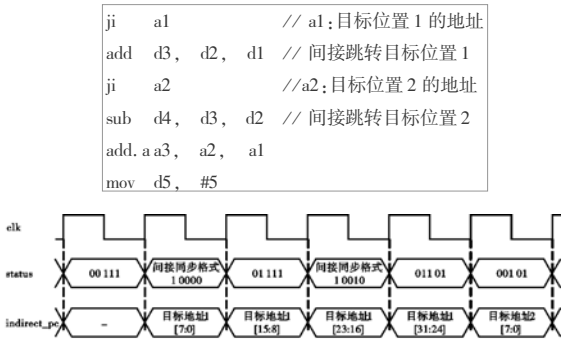


图6 跟踪实例

4 结束语

本文提出并实现了一种基于 32 bit 超标量 DSP 内核的片上调试与实时跟踪架构。该架构通过组合多种精心定义的调试事件和调试动作,在最小化对内核侵扰的前提下,实现对多种典型调试特征的高效且低开销支持。并同时提供对程序流的实时跟踪能力,作为对片上调试功能的补充,从而使该架构能够有效地支持基于该超标量 DSP 内核的嵌入式系统的开发、调试与诊断。

参考文献:

[1] JACOBI G. Software Ist im auto ein knackpunkt [N/OL]. VDI Nachrichten, 2003-02-28 [2011-06-18]. <http://www.vdi-nachrichten.com/vdi-nachrichten/archiv/vdi-nachrichten.asp>.

[2] KAO Chung-fu, HUANG Ing-er, CHEN Hsin-ming. Hardware- software approaches to in-circuit emulation for embedded processors [J]. IEEE Design and Test of Computers, 2008,25(5):462-477.

[3] MAYER A, SIEBERT H, MCDONALD-MAIER K D. Boosting debugging support for complex systems on chip [J]. Computer, 2007, 40(4): 76-81.

[4] MAYER A, SIEBERT H, MCDONALD-MAIER K D. Debug support, calibration and emulation for multiple processor and powertrain control SoCs [C]//Proc of Conference on Design, Automation and Test in Europe. Washingeon DC: IEEE Computer Society, 2005: 148-152.

[5] MIPS technologies. MIPS EJTAG specification, revision 5.04 [R]. Sunnyvale: MIPS Technologies Inc, 2010.

[6] ARM Limited. CoreSight technology system design guide, revision D [R]. Cambridge: ARM Limited, 2010.

[7] IEEE Test Technology Standards Committee. IEEE std 1149.1-2001, IEEE standard test access port and boundary-scan architecture [S]. Washington DC: IEEE Computer Society, 2001.

[8] NEAL stollon. On-chip instrumentation; design and debug for systems on chip [M]. New York: Springer Press, 2010: 32-48.

(上接第 186 页)

[7] LIONEL M N, YUNHAO L, YIU C L, LANDMARC. indoor location sensing using active RFID [C]//Proc of the 1st IEEE International Conference on Pervasiue Computing and Communications. 2003:407-415.

[8] SWANGMUANG N, KRISHNAMURTHY P. Location fingerprint analyses toward efficient indoor positioning [C]//Proc of the 6th Annual IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications. Hong Kong: Institute of Electrical and Electronics Engineers Computer Society, 2008: 100-109.

[9] NAKAMURA Y, KOBAYASHI R, MINAMI M, et al. Implementation of indoor location and orientation estimation system using ultrasonic and radio [C]//Proc of Annual Conference on SICE. 2007:2468-2472.

[10] LIM Chin-Heng, NG B, DA Duan. Robust methods for AOA geolocation in a real-time indoor WiFi system [J]. Journal of Location Based Services, 2008,2(2):112-121.

[11] JI Yi-ming, BIAZ S. ARIADNE: a dynamic indoor signal map construction and localization system [C]//Proc of the 4th International Conference on Mobile Systems. 2006:151-164.