

基于无线局域网的位置定位技术研究和发 展^{*}

郎昕培 许 可 赵 明

(软件开发环境国家重点实验室计算机学院 北京航空航天大学 北京 100083)

摘 要 随着无线局域网技术的飞速发展和无线局域网络在全世界范围内的广泛部署,一种基于无线局域网络覆盖的位置定位技术成为室内环境下位置服务研究的热点。基于无线局域网络的位置服务具有设施简单、覆盖范围广、服务可集成度高等特点,并能实现较高的定位精度。本文介绍了基于 WLAN 的定位技术,并结合目前国内外几个典型的定位系统研究分析了 WLAN 定位技术的特点和研究发展过程。

关键词 无线局域网络,位置服务,信号覆盖图

Research & Development of WLAN-based Location Techniques

LANG Xin-Pei XU Ke ZHAO Ming

(National Lab of Software Development Environment, Department of Computer Science, Beihang University, Beijing 100083)

Abstract In recent years, with the rapid development of WLAN techniques and the wide deployment of WLAN networks in the world, the WLAN-based location technique has become a hot topic in the research of indoor location services. This technique is simple with respect to the equipment which uses current infrastructures of WLAN to realize indoor/outdoor location services. Compared with other existing indoor location techniques, it can reach higher location accuracy, cover larger indoor/outdoor area and is much easier to be integrated into other information services. This paper gives an introduction to WLAN-based location techniques, and also analyzes their features and development by investigating several typical WLAN-based location systems.

Keywords WLAN, Location service, Radio map

1 位置服务技术和基于无线局域网(WLAN)的定位技术概述

无线局域网络(Wireless Local-Area Network,简称WLAN)技术是20世纪末发展起来的一种高速无线IP网络通信技术,技术标准号IEEE 802.11^[1]。该标准在实际应用中分别派生出802.11a、802.11b和802.11g 3种应用标准。WLAN网络具有高速通信、部署方便的特点,切合了现代社会对移动办公、移动生活娱乐的需求,快速带动整个WLAN产业链,在世界范围内被各种机构和个人在不同环境下(如机场、高档写字楼、研究机构、酒店、餐厅、校园和家庭)广泛部署。室内环境和人们活动的热点地区是WLAN主要的应用环境。基于WLAN的定位技术研究在这种应用背景下发展起来。

空间位置定位技术和相关系统的研究由来已久,其中最著名的当数全球定位系统(Global Position System,简称GPS)^[4]。GPS利用多卫星信号的方位和距离,实现室外无遮挡环境下全球位置的定位,最高的定位精度可以达到5m。但在室内环境下,GPS系统因为卫星信号被阻隔而无法使用。室内环境下以往最普遍的定位技术主要是传感器技术,该技术通过预先部署的传感器及其传输网络,感知进入特定区域的物体,从而完成定位,典型的系统如红外传感定位系统、振动/声音传感定位系统等。传感定位系统需要专门的设备和网络支持,而且受限于传感器的感知范围和传感网络部署,无法完成准确定位和大范围的定位服务覆盖。利用GSM/CDMA等电信网络提供终端位置服务是另外一种实际应用的定

位技术,该技术利用移动通讯基站的定向信号接入信息,利用多基站对终端的定向信号的识别、蜂窝覆盖的区分、覆盖区域的交叉叠加等手段,实现对无线终端的定位^[5]。该种定位技术受限于定向信号较大的覆盖角度,因此难以达到较高的精度。其典型事例是美国911紧急呼叫系统中使用的对紧急呼叫手机的定位服务功能^[19]。

和以上几种定位技术不同,无线局域网络标准20世纪末才正式制定并投入使用,而大规模应用部署则出现在2000年之后,基于WLAN的定位技术研究则在此之后产生。美国微软研究院在2000年公布了基于WLAN的Radar定位技术和实验系统^[6]。之后,基于WLAN的定位技术研究随着WLAN的快速发展而急速升温。2004年中旬,某些定制的商业性基于WLAN的定位系统产品开始进入市场。严格地说,现有的WLAN定位系统并不成熟,但是这标志着WLAN作为室内定位系统新的发展方向,同时具有着巨大的应用潜力。

本文的下一节将阐述基于WLAN的定位技术研究,并结合几个典型的研究试验系统,分析、比较其技术特点和系统实现。

2 基于无线局域网的定位系统及其特点比较

无线局域网络可以工作在多种模式下,其中最主要的一种工作模式(Infrastructure mode,简称访问点模式)是利用无线基站(Access point,简称AP,也称被访问点)承担无线网络覆盖和通信的任务。另外一种工作模式为Ad Hoc模式,常用于野外和家庭环境下组成临时的对等无线网,不需要无线基站设备。访问点模式具有更好的无线网络覆盖和容量,网

^{*} 本文受国家973计划(2005CB321901)和全国优秀博士论文专项基金(200241)资助。郎昕培 博士研究生;许 可 副教授;赵 明 硕士研究生。

络通信也更加稳定可靠,因此应用最为广泛。图1为访问点模式下的无线网络工作图。

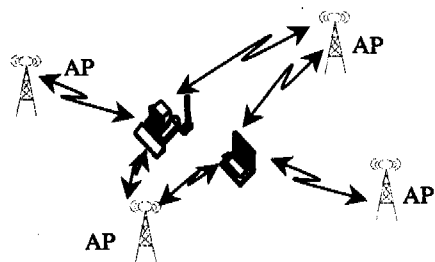


图1 工作在 Infrastructure 模式下的 WLAN

AP 在正常工作模式下将以一定的频率连续向外广播烟火信号(Beacon Signal), 标示自己的存在和网络的基本信息(如 SSID、WEP 信息等), 以便 WLAN 客户端进行扫描识别。WLAN 客户端通过扫描不同 AP 发送的烟火信号获取基本的无线网络连接信息, 同时获取从不同 AP 接受的信号强度(received signal strength, 简称 RSS)、噪音信号接收强度(Noise signal strength, 简称 Noise)和可用数据信号接收强度(signal strength, 简称 Signal)等几种信息(其中: $RSS = Noise + Signal$)。WLAN 客户端随后会按照一定的策略(如最简单的直接按照信号强度从高到低尝试建立连接, 或者选择特定的 SSID), 选择最合适的 AP 访问点, 建立无线连接。

基于 WLAN 的定位系统由两个阶段组成: 首先是空间信号覆盖模型的建立阶段, 然后是在线定位阶段。

在空间信号覆盖模型的建立阶段, 系统通过在定位服务的覆盖区域里采集 AP 正常运行时所发送的烟火信号信息, 建立 WLAN 信号在覆盖区域下的信号覆盖图(Radio Map, 或者称信号空间 Radio Space), 也可以进一步根据信号覆盖图推导出信号覆盖的覆盖模型。在定位阶段中, 无线局域网定位系统以信号覆盖图或者信号覆盖模型为基础, 在需要被定位的 WLAN 客户端进行空间信号的实时采样, 并利用 WLAN 的移动计算环境和数据传输环境传输和计算采样数据。计算过程主要是通过应用特定的信号空间的搜索和匹配算法进行空间位置的搜索和定位, 得出对采样数据的位置预测结果, 完成空间位置的定位。

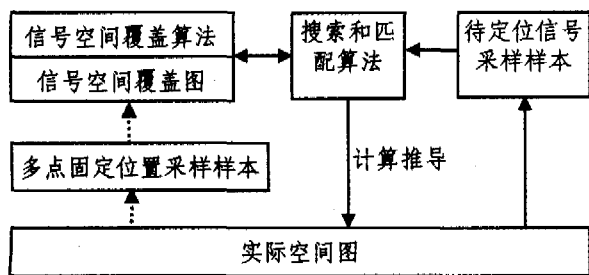


图2 基于 WLAN 的定位系统基本模块组成

以上是目目前基于 WLAN 的定位技术主流研究方向的一个基本思路, 被大多数研究机构所采用。综合来说, 以上研究中的基于 WLAN 的定位系统由两个关键部分组成: 其一是空间信号的覆盖模型, 其二是信号空间的搜索/匹配模型。空间信号的覆盖模型的目的是建立起一个尽可能接近实际无线网络覆盖的 Radio Map, 记录 WLAN 在定位服务区域的整体分布情况。一旦模型确定, 则意味着指定环境下 Radio Map 的建立方法得以确定。信号空间的搜索/匹配模型是指输入未知位置信息的无线信号采集样本, 在已知信号空间模型中

利用特定的搜索和模型匹配方法, 完成样本在信号空间中的位置计算, 并进一步演算推导出实际物理位置的定位模型。

不同的研究机构的工作差别目前主要体现在不同的空间信号的覆盖模型的建立方法上。同时, 由于采取不同的空间信号覆盖模型, 空间信号的搜索和匹配算法上也存在不同。本文选取了 3 个比较有代表性的研究机构和相应的系统, 对其特点进行阐述和分析。

• RADAR

微软雷德蒙研究院的无线网络研究组于 2000 年研究的 RADAR 实验系统中, 采用 RSS 作为构建信号空间的基本信息^[6]。RADAR 系统在定位服务的覆盖区域范围内, 选定一定数量的物理位置点, 在这些点上完成 AP 信号的收集和对应 Radio Map 的信号空间值的存储。每一个参考点上都将采集 RSS 值, 后者来源于多个指定的 AP。通过对不同 AP 的 RSS 取平均值或者中位数处理之后, 形成一组 RSS 值, 如 (rss1, rss2, ..., rssN) (N 等于 AP 的个数)。该组 RSS 值作为该物理位置点在 Radio Map 上对应参考点的样本被保存起来。

当 Radio Map 建立完毕之后, RADAR 系统在进行实时定位过程中, 首先由被定位的 WLAN 客户端采集周围可见 AP 的 RSS 信息, 形成一组 AP 的 RSS 观察值。然后通过搜索 Radio Map 来匹配计算可能存在的位置。RADAR 系统采用的搜索匹配算法有两种, 分别是 NNSS 和 NNSS-AVG^[14], 其中 NNSS 是 RADAR 系统最初提出的搜索算法, 是 Nearest Neighbor(s) in Signal Space 的缩写, 即信号空间中距离最近邻居点搜索算法。RADAR 定义信号空间中的“距离”为欧几里得距离。NNSS 算法只能计算 Radio Map 中各参考点和被定位目标位置之间的距离, 并选取距离最近的参考点坐标作为被定位目标的位置坐标。所以, NNSS 并不能计算 WLAN 客户端的实际物理位置坐标, 而是采用已知参考点中距离最近的点坐标作为近似估计坐标。NNSS-AVG 是 RADAR 系统在 NNSS 算法上的进一步改进, 它在 NNSS 计算给出的各参考点距离值的基础上, 对这些距离值进行排序, 选取其中距离值最小的 N 个参考点, 然后对这 N 个点的物理位置坐标进行平均, 得出的坐标作为被定位 WLAN 客户端的最终位置坐标, 其中 N 的数值可以根据具体系统环境进行调整。总结来说, NNSS 只能完成离散点的定位服务, 而改进后的 NNSS-AVG 能够近似完成连续空间的定位服务。

• Horus

Horus 是玛丽兰大学正在研究中的一个基于 WLAN 的定位系统^[11]。Horus 系统同样采用 RSS 作为构成信号空间的基本元素。Horus 和 RADAR 的不同之处在于 Horus 在信号空间的建立中引入了概率模型。Horus 系统在预先选定的参考点上, 采集并记录下 AP 的 RSS 数值。但 Horus 不对全部采样值进行平均或者中位数处理, 而是形成每个 AP 的 RSS 值在该点上的直方分布图, 并将直方分布数据存储在 Radio Map 中。

此外, 为了在一个较大的网络覆盖范围内提高定位搜索的速度, 降低定位计算量, Horus 还特别提出了一种对信号图的位置集进行分簇的方法^[11]。在一个较大的无线局域网覆盖区域中, 单个 AP 的可见区域是有限的。因此, 在进行定位计算的过程中, 并不总是需要在整个信号空间范围内进行搜索, 而只需要根据一个当前有效的 AP 列表, 在一个较小的信号空间范围内进行搜索定位, 即对整个信号空间进行分簇, 并在有效的簇中进行搜索, 从而实现快速定位计算。Horus 系统提出了两种分簇方法: 联合分簇法和增量三角测量

法^[11]。

联合分簇法存储采样地点集合中的每一个位置上各个 AP 的概率联合分布情况。因此, Horus 建立的信号图被存储为一个关于概率联合分布情况的模型的集合。为了简化计算量, Horus 进一步做一个近似处理, 假定所有 AP 的分布都是相互独立的。在这种情况下, 估计概率联合分布的问题变成了估计概率边缘分布的问题^[11]。

$$P(AP_1 = s_1, AP_2 = s_2, \dots, AP_k = s_k) = P(AP_1 = s_1)P(AP_2 = s_2) \dots P(AP_k = s_k)$$

其中, $P(AP_i = S_i)$ 的数值可以直接利用 Radio Map 中存储的直方分布图得到, S_i 代表一个特定的 RSS 数值。

$$P(AP_i = s_i) = Hist I, AP_i(s_i)$$

图 3 显示的是 Horus 在信号空间中某点存储的 AP_i 的直方分布图。

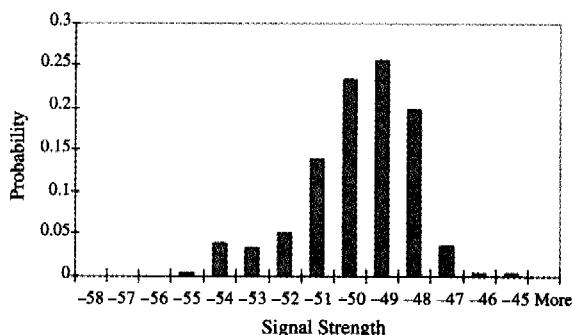


图 3 Horus 采用的 RSS 采样值直方分布图

联合分簇法能够达到较高的精度。而 Horus 系统提出的另一种增量三角测量法具有更高的计算速度。该算法使用一种不同的策略来计算概率。这种算法试图在信号空间的分簇过程中递增地使用这些可见 AP, 一个接着一个, 直到通过预定的上限来估计出一个位置, 并达到一定的精度。增量三角测量法进行了多级的隐式分簇, 从而比联合分簇法的搜索空间更小, 因此平均下来每个样本的运算次数更少。然而, 递增地使用这些 AP, 而不采用联合分布, 会导致一些信息的丢失。Horus 的实验数据表明, 增量三角测量法的测量精度将比联合分簇法低, 但是计算效率更高。

通过采用概率模型, Horus 系统给出的实验数据宣称其定位精度在大于 90% 的几率下达到 2.13m 以内, 并且计算量较低^[11]。Horus 建议, 如果对精度的关注远超过计算能力需求, 那么就应该使用联合分簇法。从另一方面来说, 如果计算能力消耗才是最关键的因素, 那么就应该选择增量三角测量法, 因为它需要的计算量较少, 并且计算能力需求也不高。

• Nibble

Nibble 是加利福尼亚大学洛杉矶分校 (UCLA) 提出的一个 WLAN 定位系统^[7], 它和 RADAR、Horus 的显著区别是采用信噪比 (Signal 和 Noise 的比率, 简称 SNR) 作为信号空间的样本, 而不是采用 RSS, 原因是 Nibble 的研究人员认为 SNR 和 RSS 相比更具有位置特性。Nibble 和 Horus 一样采用概率模型来建立信号空间, 但和 Horus 不同, 采用贝叶斯网络 (Bayesian network, 也称为 belief network 或 causality network) 来建立信号空间的连续概率分布图。Nibble 系统实现的定位服务对精度的要求不高, 其定义的目标位置点粒度较大, 一般被定义为整个房间或者重要的位置附近区域。在这一前提下, Nibble 在其试验环境下能够达到 97% 的定位准

确度。

• Weyes

Weyes 是由北京航空航天大学研究的基于无线局域网的定位系统^[20]。Weyes 同样采用 RSS 作为信号空间的基本采样值, 但是和 RADAR 和 Horus 不同的是, Weyes 的信号分布图采用差值模型对 RSS 预先进行处理, 形成 RSS 差值, 然后在 Radio Map 中保存差值模型处理后的 RSS 差值序列作为信号空间的参照量。Weyes 不直接采用 RSS, 而采用差值模型。获取 RSS 差值的原因是因为 RSS 变量本身在获取过程中引入了由于采集设备的特性带来的误差, 并且从实际测试结果发现, 该设备引入误差值在不同设备之间差别较大。最坏情况下, 该误差等效于超过 20m RSS 差值。Weyes 引入差值模型的目的在于消除 RSS 中的设备引入误差, 从而使建立的信号空间与设备类型无关。

因此, Weyes 系统研究的重点是基于开放 WLAN 环境下的定位技术, 而 RADAR 和 Horus 的研究方向集中于专门设备环境下的 WLAN 定位系统。Weyes 的信号空间搜索算法是在 RADAR 系统的 NNSS-AVG 和 Horus 的概率算法上进行了改变得来的。Weyes 对 NNSS-AVG 算法做的改进主要是将 NNSS-AVG 所采用的选取欧几里得距离最小的 N 个位置点坐标进行平均的方法, 修改为选取欧几里的距离值小于等于 X 倍最小欧几里的距离的 M 个位置点。如 X 取值 1.25, 这样 M 的值不像 NNSS-AVG 中是固定的数值, 而是根据距离的比例范围进行动态调整, 防止固定 N 值状态下引入距离相差较大的位置点, 从而导致大的定位误差。在选定 M 个位置点之后, Weyes 并不采用简单的求取坐标平均值的方法, 而是根据 M 个位置点各自的欧几里得距离值, 通过归一化处理, 换算成概率值, 这一点上类似于 Horus 算法。Weyes 认为某一位置点的概率值代表了该位置点坐标和被定位目的坐标的比例。因此, Weyes 通过概率分布, 通过 M 个点坐标和各自的概率值, 计算出最终目的坐标。

表 1 显示了以上 4 个代表性 WLAN 定位系统的技术特点, 从中可以看出各自的优缺点。

表 1 WLAN 定位系统的各自研究特点比较

名称	Radio Map 模型	搜索算法	最高精度/准确度	连续定位支持	开放网络支持
Radar-1	RSS 多元组	NNSS	4 米之内	否	否
Radar-2	RSS 多元组	NNSS-AVG	3 米之内	是	否
Horus	直方分布 RSS	Center of Mass	2 - 3 米之内	是	否
Nibble	概率分布	Bayes network	97% 准确度	否	否
Weyes	RSS 差分多元组	NNSS-AVG	4 米之内	是	是

3 基于无线局域网的定位技术研究面临的问题和研究方向

以上系统的介绍中, 涉及目前 WLAN 定位技术研究中存在几个主要问题, 如无线网络环境的干扰、无线网络环境的多样性。下面对它们进行分析和说明。

1) 无线网络环境的干扰。无线网络的干扰因素很多, 后果是导致接收的无线网络信号出现抖动性问题, 进而导致定位出现误差。无线网络信号在传输过程中发生的反射、折射、

透射等现象导致客户端接受来自多个传输路径的叠加信号。另外,人员的活动,温度、湿度的变化等因素也能影响无线网络覆盖,导致 RSS 值波动。以上大部分情况下,该种波动并不剧烈,但是该种干扰对信号图建立阶段和定位阶段都有影响。目前各种针对该问题的最主要的解决方案是加大采样样本数量,然后通过对大样本取平均值或者取中位数方式,或者计算出概率分布,来减轻信号抖动对信号空间样本的干扰,如 RADAR, Weyes 和 Horus 系统所采取的策略。当然,这些解决措施所需要的采样样本数量更大,信号空间的建立时间也更长。

2) 无线环境的多样性问题。开放无线网络环境是指目前实际应用中的无线局域网环境,其特点是不限定时间、不限定地点、不限定所使用的网络基础设备。在开放 WLAN 环境下,网络设施存在多样性,特别是无线网络客户端。由于不同无线客户端之间的物理性能和软件差异,导致 RSS 特性在不同无线客户端之间存在非常大的差异。这就要求信号空间在建立过程中必须消除无线环境的多样性问题,才能满足开放 WLAN 环境下的应用需求。目前只有 Weyes 系统利用差值模型建立的信号空间能够满足该要求。

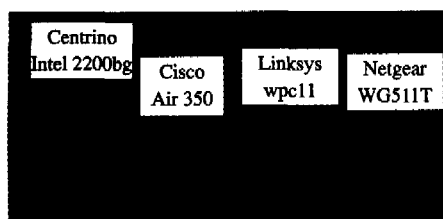


图4 同等 WLAN 环境下,不同类型 WLAN 客户端在同一位置点测量所得 RSS 数值的比较图。

4 其它基于 WLAN 的定位技术研究

除了以上主流的基于信号空间和搜索匹配算法的定位技术研究之外,基于 WLAN 的定位技术研究也存在其它一些分支,比较重要的有定向方位角度技术(Angle Of Arrival,简称 AOA)和信号到达延迟时间技术(Time Of Arrival,简称 TOA)^[19]。

AOA 技术的前提是能够识别信号到达的方位角。AOA 技术通过预先知道位置坐标的多个参考点(参考点数量一般大于等于 2),以及通过信号接收获取的被定位点和参考点之间的方位夹角,利用几何原理,完成位置点定位。TOA 技术的前提是能够检测信号到达的传输延迟时间,利用点到点的传输延迟就能够进一步计算出参考点到被定位位置点之间的直线距离。TOA 利用多个已知坐标位置的参考点(参考点数量一般大于等于 3),以及计算得出的相对参考点的直线距离,然后利用三角定位法来完成对终端的物理位置定位。

AOA 和 TOA 都需要专门的设备支持,能够协助完成角度计算和延时计算。这两种技术在以往的 GPS、GSM/CDMA 网络定位等传统定位系统中应用较为广泛,在无线局域网中的应用较少,主要原因是普通的 WLAN 环境不具有方向性特点。此外,WLAN 信号的作用距离较短,测量传输延迟的技术难度较大,更重要的是 AOA 和 TOA 都需要专门设备支持,这对 WLAN 网络本身是一种额外的负担。采用类似 AOA 技术的 WLAN 定位系统也有存在,如应用于 Ad-Hoc 网络环境下 Ad-Hoc Position System(APS)^[12]、利用 AP Scanning 和定向天线(Directional antenna)实现的 WLAN 定位

技术研究^[18]。

总结 基于 WLAN 的定位技术研究在 21 世纪伴随着无线局域网网络在全世界范围内的大范围部署将逐渐成为一个研究热点,并且作为传统的室外定位系统(如 GPS 系统)在室内环境下的衍生。随着移动计算环境的逐渐成熟,以及 WLAN 网络目前在移动计算环境中承担的重要地位,可以预见基于 WLAN 环境的定位技术和定位服务系统将成为移动计算的一个重要应用组成部分。

现有的 WLAN 定位技术研究通过几年的发展,已经初具规模。但是依然存在一些和实际应用直接相关的技术问题没有得到完善的解决,如多路径传输、天气和活动人员对无线定位系统的干扰,以及开放 WLAN 环境下的定位。现有的定位系统抗干扰能力不够强,定位精度的提高面临比较多的技术问题。因此,基于 WLAN 的室内定位技术的研究还会不断深入下去。

参考文献

- 1 ANSI/IEEE, Std 802.11, 1999 Edition
- 2 Want R, Hopper A, Falcao V, et al. The Active Badge Location System. ACM Transactions on Information Systems, 1992, 40(1):91~102
- 3 Christ T W, Godwin P A. A Prison Guard Duress Alarm Location System. Proc. IEEE International Carnahan Conference on Security Technology, October 1993
- 4 Enge P, Misra P. Scanning the Special Issue/Technology on the Global Positioning System. Proceedings of the IEEE(Special Issue on GPS), 1999, 87(1):3~15
- 5 Liu Tong, Bahl P, Chlamtac I. Mobility Modeling, Location Tracking, and Trajectory Prediction in Wireless ATM Networks. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1998, 16(6)
- 6 Bahl P, Venkata N. Padmanabhan V N. RADAR: An In-Building RF-based User Location and Tracking System. Infocom 2000
- 7 Castro P, Chiu P, Kremenek T, et al. A probabilistic room location service for wireless networked environments. In: UbiComp 2001, 2001. 18~34
- 8 Maass H. Location-Aware Mobile Applications Based on Directory Services. In: MobiCom'97, 1997. 23~33
- 9 O'Reilly. 802.11 Wireless Networks - Definitive Guide. April 2002
- 10 O'Reilly. Rob Flickenger, Wireless Hacks, 2003
- 11 Youssef M, Agrawala A, Shankar A U. WLAN Location Determination via Clustering and Probability Distributions. IEEE PerCom 2003, March 2003
- 12 Niculescu D, Nath B. Ad Hoc Positioning System (APS) Using AoA. INFOCOM, 2003
- 13 Youssef M, Agrawala A. On the Optimality of WLAN Location Determination Systems. Communication Networks and Distributed Systems Modeling and Simulation Conference, 2004
- 14 Bahl P, Padmanabhan V N, Balachandran A. A Software System for Locating Mobile Users; Design, Evaluation and Lessons; [Technical Report]. MSR-TR-2000-12, 2000
- 15 Kaemarungsi K, Krishnamurthy P. Modeling of Indoor Positioning Systems Based on Location Fingerprinting. IEEE Infocom, Hong Kong, March 2004
- 16 Ganu S, Krishnakumar A S, Krishnan P. Infrastructure-based Location Estimation in WLAN Networks. IEEE Wireless Communications and Networking Conference(WCNC 2004), 2004
- 17 Krishnan P, Krishnakumar A S, Ju Wen-Hua, et al. A System for LEASE; Location Estimation Assisted by Stationary Emitters for Indoor RF Wireless Networks. IEEE Infocom, Hong Kong, March 2004
- 18 Victor Lang, Cynthia Gu. A Locating Method for WLAN based Location Service. Accepted by ICEBE, Beijing, Oct. 2005
- 19 Zagami J M, Parl S A, Busgang J J, et al. Providing Universal Location Services using a Wireless E911 Location Network. IEEE Communications Magazine, 1998, 36(4):66~71
- 20 Victor Lang, Xu Ke, Cynthia Gu. A Difference Model For Open WLAN Environment Based Location Service. submitted to IEEE Infocom, 2006