

无线室内定位技术*

张立立 钟耳顺

中国科学院地理科学与自然资源研究所 北京 100101

摘要：随着普适计算 (Ubiquitous Computation) 的发展，无线室内定位成为一个重要的研究方向。本文对国内外室内定位 (Indoor Position Location) 技术进行了综述，总结了无线室内定位的若干关键技术和主要的原理方法，并对无线室内定位技术的应用及其相关计算技术作了分析和介绍。

关键词：室内定位 Indoor Position Location LBS

Abstract: With the emerging of Ubiquitous Computation, wireless location position location, which can provide us the physical location of things, is becoming more and more important technique. The paper described some instances of Indoor position Location system, and elaborated the properties of Indoor position Location and some technique details. We also involved some of the applications of Indoor position Location and related technologies such as LBS and GIS.

Keywords: Indoor Position Location, GIS, LBS, Location Oriented Communication

1. 引言

移动计算 (Mobile Computing) 技术的一项重要应用就是向大众提供定位服务。定位服务从普通的商业活动，科学研究，直至抢险搜救等各行业都有着重要的应用。对于户外环境，GPS 是一种成熟的无线定位技术，已在很多行业得到了广泛的应用；但是在人们活动最为频繁的室内环境中是无法接收到 GPS 信号。为此，人们探索了很多技术方法以满足无线室内定位的需求。本文将详细阐述目前被广泛关注的几种无线室内定位技术，归纳其主要特点，同时给出一些典型的商业或实验性质的无线室内定位系统示例。然后我们将论述无线室内定位体系的体系结构特征，最后讨论无线室内定位系统的一些发展前景和面临的一些技术难题。需要说明的是，相对于文献 [1] 对定位系统的综述，我们的研究重点是室内定位技术和室内定位系统及其相关技术问题。虽然室内定位是定位技术的一种，和室外的无线定位技术相比有一定的共性，但是室内环境的复杂性和对定位精度和安全性的特殊要求，使得室内无线定位技术有着不同于普通定位系统的鲜明特点，而且这些特点是户外定位技术所不具备的。

2. 无线室内定位的关键技术

与户外环境相比，室内环境要复杂的多。建筑物的布局、内部结构、材料、装饰装修情况等都会对室内定位的效果产生影响。除去纯技术方面的考虑，许多人为的限制因素，如安全性，个人隐私的考虑等，也对室内定位技术体系有很大的影响。从不同的应用和需求出发，人们提出了很多种不同的可用于室内定位的技术方法，如利用红外，超声波，无线电波的传播模型等推算位置。这些方法一般都有很强的应用背景，适用的定位服务对象也不尽相同。为方便我们对不同定位技术方法进行评价，我们对目前的一些室内定位技术和定位服务需求进行了考察，总结出以下几个重要的特点。

2.1. 定位系统的坐标系配置和位置信息的表达方法

坐标系的建立是定位的前提。GPS 通过全球经纬坐标系统定位，可以给出某一点精确的经纬度。一般说来，室内定位系统是针对某一建筑物建立独立的坐标体系，并以此为定位依据。当然，我们也完全可以通过若干控制点的测量，换算建筑物独立坐标和全球坐标系统，以实现室内室外坐标系的整合。在计算目标坐标位置时，一些定位系统建立固定的坐标系统，有固定的参照点；而另一些系统则不依赖固定的参照点定位，或者虽然通过和参照点的相对位置表达信息，但参照点的位置却是动态变化的，每一个被定位对象的坐标都用它和其他物体的相对位置决定。也就是说系统并不真正建立一个坐标系统，而只是在需要的时候才进行换算。在室内环境中，人们往往不需要或者不关心定位对象的绝对坐标位置，人们更希望系统能够提供诸如“某人在一楼大厅，打印机在 309 房间”等这样的定位

* 基金项目：中国科学院领域前沿项目“面向.NET 框架的地理信息服务关键技术预研究”(CX10G-D01-01)支持

信息，这实际上是一种地址信息。地址信息是一种模糊的信息，并不能直接显示在地图上。地理信息系统（GIS）中为了解决这个问题，提出了地址编码（Geocoding）技术，用来匹配地址信息和地图位置。由于在室内定位系统中，人们普遍关注地址信息，因此地址编码在室内定位系统中将发挥重要的作用。

2.2. 位置信息通信和室内位置信息计算的安全性

人或物体在室内的位置是敏感的。除非在特定的环境下，人们并不希望把自己的位置信息透露给不相干的人，这就出现了位置信息的安全性问题。这个问题包括两个方面：一是位置信息的计算方式，二是位置信息传输的安全性。目前存在两种位置的计算方式：一种是定位信息在被定位者一端计算（本地计算），被定位者获得自己的位置信息后，决定如何公布自己的位置信息。另一种则是由中心服务器集中处理所有被定位者的信息（集中计算），并按照一定的方式向相关人员广播。一般认为本地计算是更安全的方式，系统应至少能够允许进行本地计算。而位置信息传输则是通信安全的范畴，我们就不多讨论了。

2.3. 定位精度

不同的应用对定位精度有着不同的要求。室内环境本身比较小，一般说来要求定位精度比较高才能够满足应用需要。但是室内定位需要回答的往往是这样的问题：“某人在哪个房间？”而被定位者在房间中的位置我们大部分情况下并不关心，因此实际上只要能够达到定位到房间就可以满足很多实际需要了。定位精度可以通过改进设备来不断提高，但是我们需要在精度和经济效益之间作出权衡。

2.4. 位跟踪和方向判别

方向判别是定位系统中常见的问题。行进方向是很重要的信息，如 GPS 车辆导航中对车辆行进方向的判别。室内定位系统除了要求能够跟踪运动物体，判断行进方向外，我们往往还要求能够判断静止物体的朝向，例如人员的面向位置。静止时物体朝向是室内定位中所特有的一个问题，也是一个很重要的问题。这个功能在文献[2]中介绍的 RADAR 室内定位系统中有所涉及。

2.5. 素识别能力

实际应用往往要求定位系统具备一定的自动识别能力。这种识别能力一般可以通过把身份识别系统和室内定位系统集成起来，如胸卡识别和条形码识别。我们还可以把成像系统或语音系统和定位系统结合，这样就可以具备更复杂的识别能力。

2.6. 备依赖性

室内定位系统虽然出现的很早，但是一直没有能够得到比较广泛的使用。原因之一就是目前的室内定位系统往往需要安装特定的设备，而这些设备要么十分昂贵，要么就只能特定的建筑内安装，如监狱，保密室等。而且设备只能用于定位，没有任何别的用途，这大大限制了室内定位系统的应用。近年来，随着无线局域网（WLAN）的兴起，人们开始研究把无线网络信号用于室内定位。文献[2]，[3]中论述了使用 WLAN 来进行室内定位的试验情况。由于 WLAN 的发展是计算机网络的趋势，越来越多的建筑内将安装 WLAN，如果能够借助 WLAN 来室内定位，就可以摆脱对特定设备的依赖，降低成本，使室内定位有可能得到广泛的使用。

2.7. 系统稳定性

无线室内定位技术走向实用的关键之一是必须达到一定的稳定性，维护维修要比较容易，有一定的冗余度，对于室内环境的变化能够有一定的自我调节或适应能力。由于室内环境的格局，物品的摆放，装饰装修都有可能频繁变化，这要求定位技术必须具备一定抵抗环境变化干扰的能力。如房屋的格局如果发生了有限的变动，或用于定位的设备部分发生故障，我们希望系统仍然能够继续正常工作，或能够通过人工或自适应的方式进行调节，保证定位系统的可用性。从目前的技术来看，室内定位系统的抗环境干扰能力，稳定性都存在一定的问题，这是无线室内定位技术需要着重研究解决的一个问题。

3. 主要的无线室内定位技术和定位系统概述

3.1. 室内定位技术的基本原理和方法

目前能够用于无线定位的技术主要有以下几种：

红外技术 IR

无线局域网 WLAN

蓝牙技术 (Blue Tooth)

超声波 (Ultrasonic)
 计算机视觉(Computer Vision)
 磁场

这其中的一部分技术已经得到开发利用，形成了比较系统的定位服务解决方案或成形的商业产品，但很多技术还处于研究试验阶段。在文献[7]中论述了使用计算机视觉方法进行定位的试验，文献[8]则介绍了一个使用磁场压力感应的智能地板的研制试验。由于这种方法所依赖的特定设备很昂贵，目前看来实用性较低，所以文中不做讨论。我们主要讨论使用电磁波和超声波通信来实现定位的技术。

3.1.1. 定位系统的一般体系结构

一般的，我们可以把定位系统的组成部分分为两类：移动单元和固定单元。固定单元是定位系统的基础设施，相当于移动通信中的基站，它的位置是不能轻易变动的；移动单元是被定位的人或物所携带的设备，通常是轻便的信号发射或接收装置。移动单元通过和固定单元通信来确定它相对于固定单元的位置，从而得到它在真实世界中的坐标。有一些定位系统不需要额外的移动端设备，如使用计算机视觉技术就能够直接感知人或物所在位置而无需再携带移动设备，但是这种定位技术往往只能适用非常有限的环境中。

在使用红外，WLAN，超声波等技术的定位系统中，都存在着信号发射单位和接收单位。移动端和固定端都有可能接收或发射信号，这取决于定位系统的工作模式。一般的，定位系统有下列几种工作模式：

第一，单一发射器，多个时间同步接收器

信号从一个移动单元发射，并由多个位置已知的、有物理网络连接且时间一致的信号接收器来接收。这种工作模式可以很容易的获得信号到达各站点的时间差，从而根据数学模型求解出移动端的坐标。

第二，单一接收器，多个时间同步发射器

脉冲信号由多个已知位置的时间同步装置发射，移动端接收脉冲信号，并根据信号计算自己的位置。这种工作模式比较容易实现本地化计算方式，也就是说由移动端自主进行定位计算和位置信息公布。这两种工作模式如图 1 所示。

第三，多种同步信号发射器

两种或两种以上的信号从一个已知位置的发射单元同时发出，但是这几种信号在空间的传播规律差别很大，例如电磁波和超声波。移动端具备同时接收这几种信号的能力，并根据接收到的几种信号的时间差和速度来确定位置，如图 2 所示。

3.1.2. 位置相关变量

一般来讲，无论使用何种技术方法，定位系统对位置的计算一般都要先获得和位置相关的变量，然后再利用数学物理模型来求算位置坐标。常用的位置相关变量主要有以下几个：

第一，信号传播时间 ToF (Time of Flight)

ToF 是信号从发送到被接收所经历的时间。如果信号的传播速度是已知的，那么根据 ToF 容易得出移动端和固定端的距离。但是如果信号速度非常快，这就对时间的测量精度和同步要求很高。即使使用低速信号的话，也需要根据定位精度来设定同步时间。但是移动端和固定端有时难以做到时钟一致，所以 ToF 的使用是有一定局限的。

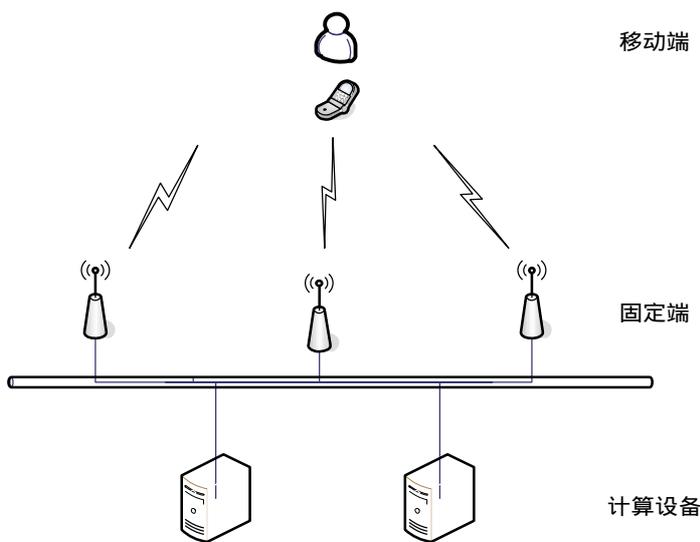


图 1 室内定位系统的体系机构和工作模式



图 2 多种同步信号

第二，接收信号强度 RSS(Received Signal Strength)

信号强度和空间位置的关系十分密切，因此 RSS 是一个重要的位置相关变量。人们已经构造了一些电波强度在室内变化的模型，如果我们能够方便的测得信号强度，那么根据这些模型我们是容易确定移动端位置的。但是这些模型往往在小范围内比较准确，范围一旦变大，或者环境比较复杂，就无法利用模型来进行求解了。

第三，信号抵达时间差 TDoA

第四，TDoA (Time Difference of Arrival) 是在单一接收器，多个时间同步发射器和多种同步信号发射器的工作模式下，信号接收端对连续抵达的多个信号所记录下的时间差。根据 TDoA 我们容易推算移动端和固定端的距离，从而确定移动端的坐标。

第五，信号抵达角度 AoA(Angle of Arrival)

根据 RSS、TDoA 和小范围内的信号传播模型，我们可以解算出信号到达接收端时，相对于事先确定的某一方向的角度。根据 AoA，可以使我们的几何定位方法变得简便。

3.1.3. 位置计算方法

一般的，位置坐标的推算方法可以分为两类：数学物理模型方法和统计近似方法。

数学物理模型法是从研究电波或声波在室内传播的规律入手，分析 TDoA, AoA, RSS 等参数,推算目标对象和参照点的距离和角度，从而推算出目标对象的坐标。具体说来，首先我们需要确定信号强度在空间变化的数学或经验模型，和得到的信号强度推算移动端和参照点的距离和角度；然后通过解三角形来确定移动单元位置。同一平面内，如果已知移动单元和三个不在同一直线上的固定单元的距离；在三维空间，如果已知移动单元和四个不在同一平面上的固定单元的距离，我们就可以计算出移动单元的位置了；

统计近似方法是一种基于统计经验的拟和方法。其做法是先确定一些对位置敏感的参数，如强度，信噪比；然后对室内环境进行电波强度普查，测得有限个点的电波参数。然后根据目标对象接收到的电波参数和已知点比较，推算出目标对象的坐标。

例如我们只使用 RSS 这个参数来推算移动端的位置。对于一个移动设备，我们假定有 n 个固定的信号接受/发射设备，并用 v 比表示 RSS 的值那么我们就可以得到一个关于 RSS 的向量：

$v = [v_1, v_2, \dots, v_n]$ 。我们设移动设备所在的位置为 $P(x, y, z)$ ，于是我们有：

$$f(P) = v$$

也就是说，对于移动端所处的任意一个位置都有一组信号强度与之对应。如果我们把事先的信号测量结果使用如下形式记录下来：

	坐标	信号强度矢量
1	$P_1(x_1, y_1, z_1)$	$v_1 = [v_{11}, v_{12}, \dots, v_{1n}]$
2	$P_2(x_2, y_2, z_2)$	$v_2 = [v_{21}, v_{22}, \dots, v_{2n}]$
.....
M	$P_m(x_m, y_m, z_m)$	$v_m = [v_{m1}, v_{m2}, \dots, v_{mn}]$

这样我们就得到了一个信号强度分布的采样库。实际定位计算是已知信号强度矢量求位置坐标的过程，即 $P = f^{-1}(v)$ 。利用信号强度分布的采样库，我们可以使用统计方法来求出移动单元的坐标。例如我们设 $D = \sqrt{\sum_{i=1}^n (v_i - v_i')^2}$ ，对于采样库中的 m 个样本， $D_j = \min(D_1, D_2, \dots, D_m)$ ，我们就可以认为移动单元所在位置坐标是 $P_j(x_j, y_j, z_j)$ ，这是最简捷直观的一种方法。实际操作中我们可以建立更完善和复杂的模型，从而推算出更精确的位置。文献[4]中对这种方法作了比较详细的论述。

4. 商业和试验室内定位系统概述

20 世纪 90 年代人们开始使用现代科技进行了室内定位系统的研制和开发。早期的系统一般对环境的要求比较苛刻，还要布设特定的设备，比较有影响力的定位系统是 Active Badge。

Active Badge 是 AT&T Cambridge 于 1993 年开发的一个室内定位系统，是基于红外感应技术原理开发的。Active Badge 首先要在各个房间安装一个红外接收器，移动端要携带一个红外发射器，这

个发射器每隔 15 秒就向所有的接收器广播一次自己的 GID (globally unique identifier)。接收到信号的红外接收器所在的房间也就是移动端所在的房间。Active Badge 是较早的室内定位系统，定位只能局限在一个房间内，功能和精度都有限。详细的内容可以参考文献[6]。

2000 年左右，随着 WLAN 的发展，有人开始研究把 WLAN 应用于室内定位，RADAR 系统是一个代表。RADAR 定位系统是微软研究组成员于 2000 年基于 IEEE802.11 无线网络技术开发的室内定位试验系统。RADAR 系统的定位是使用无线网络的基础设施，通过对无线网卡和无线接入器(Access Point)所收到的信号强度，信噪比等参数推算移动目标的位置。具体的定位方法既可以使用电波传播的物理模型，也可以使用统计估算方法。由于 RADAR 系统的定位所依赖的设备是无线网络的基础设施，而无线网络是今后计算机网络的发展趋势，因此这种室内定位技术有一定的优势。

Cricket 是和 RADAR 同时期的一个室内实验定位系统。Cricket 的一个重要特点就是所谓“非中心计算”(Decentralization Computation)。

除了使用红外、声波来定位外，人们也考虑了一些其他的方法。这些技术在无线室内定位中的应用特点可以见表 1。需要说明的是，虽然目前还没有见诸文献的基于蓝牙的室内定位系统，但是蓝牙技术在无线室内定位中的应用是完全可以预见的，因此表 1 中将蓝牙技术作为一项单独列出。

5. 无线室内定位的相关计算技术与应用系统

无线室内定位系统从逻辑上可以分为两大部分：定位技术和建立在定位上的应用服务。上文论述了室内定位技术的主要特点。在实际应用中，除了需要稳定实用的无线室内定位技术外，定位结果在各种终端的显示，位置信息通信和安全控制，定位服务的提供方法等都是无线室内定位系统的重要组成部分。这些组成部分的实现依赖于不同的软硬件，涉及到 GIS，无线通信，移动设备开发等领域；而它们在逻辑上的相互依赖性则构成了无线室内定位系统的体系结构。室内定位技术可以和多种计算机和自动化技术结合，既可以直接为人们服务，也可以帮助解决其它科研领域的问题。例如拥有室内定位能力的机器人可以在建筑物内按指令行动。同时，定位服务的提供需要相关的软硬件支持，也需要专业应用系统的开发，这就涉及到许多其它的相关技术。下面我们将详细阐述。

表 1 主要无线室内定位技术的对比

室内定位系统	定位技术	坐标描述	信息安全	定位精度	方向判别	要素识别	局限性
Active badge	红外技术 IR	局部任意坐标系	集中计算	房间大小	N	Y	必须特定的红外发送接收设备
RADAR	无线局域网 WLAN	局部任意坐标系	集中计算	3-4.3m	Y	Y	完全依赖无线局域网，网络传输对系统的定位精度影响较大。
蓝牙技术							
Cricket	超声波 (ultrasonic)	局部变化相对坐标系	本地化计算	4*4 英尺区域	N	N	要配备多种信号发射接收设备
Smart Floor	磁场 (Magnetic fields)	局部任意坐标系	集中计算	压力感应器的布设范围	Y	Y	压力感应地板铺设和建立识别数据库的成本太高。
Easy living	计算机视觉	无独立坐标系	集中计算	不确定的精度	Y	Y	必须要有足够数量的摄像机，成本很高

5.1. 无线室内定位和 LBS (Location Based Service)

室内定位系统的体系结构和户外的定位系统如 (GPS) 是很类似的。从形式上，我们可以把室内定位技术看成是 GPS 等户外定位技术的扩展，如图 3 所示。

我们日常使用的大部分信息都与位置存在某种关系。LBS 是一种依赖于移动设备位置信息的服务，它通过空间定位系统确定移动设备的地理位置，并利用 GIS 数据库和无线通讯向用户提供所需的基于这个位置的信息服务^[11]。从移动通信的角度看，LBS 就是移动通信部门结合通信基础设施所获得的地理位置信息，向大众提供的一种增值服务。目前 LBS 所依赖的定位技术主要是 GPS 和移动通信基站，其典型的应用是提供紧急援助和车辆导航。而室内定位技术极大丰富了 LBS 的内容。LBS 有可能提供除了紧急援助，路径选择等之外的像“我在哪个办公室”，“打印机在哪个房间”等真正意义上的位置服务。服务的对象也不再只能限于公安，消防等社会部门，而是真正拓展到我们每一个人。

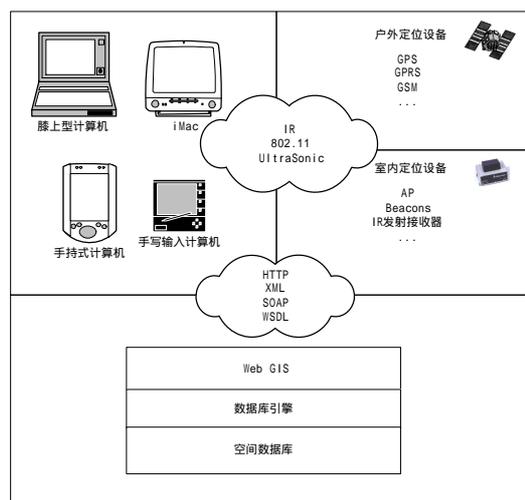


图 3 包含室内定位功能的 LBS

5.2. 面向位置的移动通信 (Location Oriented Mobile Communication)

90 年代以来，面向语音 (Voice Oriented) 的移动通信技术得到了空前的发展，移动电话已经形成了一个巨大的市场，并向人们提供成熟的服务。与此同时，多媒体通信也有所起步。但是这并没有能够提供我们所关心的位置信息。面向位置的移动通信 (Location Oriented Mobile Communication) 是以地理位置数据传输为中心的移动通信手段，我们可以把它看作是 LBS 发展的高级形式。利用 GPS，我们已经能够为城市车辆提供即时的导航、地图服务；但我们目前所能达到的定位精度限制了位置服务的对象，只能满足一些社会紧急救援部门对事故发生地点定位的要求，对于普通人出行、约会等所需的定位需求是无法满足的。随着室内定位技术的发展，室内户外就可以融为一体，位置信息服务的对象就扩充到任意一个拥有手持电子设备的普通人身上，这将彻底改变我们的某些生活方式。

6. 结论

无线室内定位是人们一直以来十分关注的一项技术，实际中也有着非常重要的意义。客观的讲，无线室内定位技术和实际需求相比，本身还不太成熟，还不能称之为是一门十分实用的技术。但是随着 802.1x 无线通信协议、红外通信协议和 WLAN 的发展和各方面的技术突破，我们有理由认为室内定位技术在未来的几年内能够走向成熟。如通过多种定位技术的综合使用，可以大大提高定位精度，也能够提高系统的稳定性。另一方面，定位技术的发展要面向不同层次的需要，和 GIS、GPS 等技术融合，以满足多种应用需求。另外，室内环境的表现和定位结果的表达和通信 (多层楼房的地图显示、三维环境、地图传输等) 也是定位技术走向实用的必要组成部分。

参考文献

- [1] J. Hightower and G. Borriello. Locationsystems for ubiquitous computing . Computer, 34(8), IEEE Computer Society Press, 2001
- [2] P. Bahl and V. N. Padmanabhan . Radar: An In-Building RF-based User Location and Tracking System Proc. IEEE INFOCOM 2000:775-784, 2000.
- [3] P. Bahl and V. N. Padmanabhan . Enhancements to the Radar User Location and Tracking System . Technical Report MSR-TR-2000-12,Microsoft Research,2000
- [4] P. Prasithsangaree , P. Krishnamurthy, P.K. Chrysanthis . On Indoor Position Location with Wireless LANS . Proc. Of IEEE PIMRC, 2002
- [5] T.W. Chist, P.A. Godwin ..A Prison Guard Duress Alarm Location System . Proc. IEEE International Carnahan Conference on Security Technology, 1993
- [6] R. Want, A. Hopper, V. Falcao, J. Gibbons . The Active Badge Location System . ACM Transactions on Information Systems , .40(1):91-102 , 1992

- [7] Krumm J., Harris S., Meyers B., Brumitt B., Hale M. and Shafer S. . Multi-cameraMulti-person Tracking for EasyLiving. 3rd IEEE International Workshop on Visual Surveillance,Dublin, Ireland, 2000
- [8] Robert J. Orr and Gregory D. Abowd . The Smart Floor: A Mechanism for Natural User Identification and Tracking . Proceedings of the 2000 Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2000), The Hague, Netherlands, 2000.
- [9] Nissanka B. Priyantha, Anit Chakraborty, Hari Balakrishnan .The Cricket Location-Support system . Proc. 6th ACM MobiCom, Boston, MA, 2000.
- [10] T. D. Hodes, R. H. Katz, E. S. Schreiber, and L. Rowe . Composable ad hoc mobile services for universal interaction . MobiCom ' 97 Proceedings: 1-12, 1997.
- [11] Christopher Ververides and George C. Polyzos . Mobile Marketing Using A Location Based Service . <http://mm.aueb.gr>