

# 泛在无线信号辅助的室内外无缝定位方法与关键技术

田 辉<sup>1</sup> 夏林元<sup>1</sup> 莫志明<sup>2</sup> 吴东金<sup>1</sup>

(1 中山大学遥感与地理信息工程系, 广州市新港西路 135 号, 510275)

(2 香港理工大学土地测量与地理资讯学系, 香港九龙红 )

**摘 要:** 针对无缝定位的应用需求和亟待解决的关键技术问题, 结合城市环境下多种泛在无线信号可以充分利用的特点, 提出了一种泛在无线信号辅助的无缝定位新方法, 并对无缝定位技术的原理、特点和发展趋势进行了讨论。特别针对香港典型城市环境, 就多种泛在无线信号辅助的无缝定位进行了初步实验, 给出了一个能够满足大多数无缝定位服务应用的原型框架。

**关键词:** 无缝定位; 室内定位; 泛在无线信号; WLAN; ZigBee; UWB

**中图法分类号:** P228.41

对于传统的 GNSS 以及无线电定位技术, 由于信号容易受到遮挡和多路径等传播因素的影响, 因此在城市密集城区和室内封闭空间无法保证可靠的定位精度和可用性。针对室内定位技术而言, 已有基于红外、超声、WLAN(无线局域网)和 UWB(超宽带)等定位技术, 如 RADAR、Ekahau、Ubisense 等, 但它们仅仅局限于小范围区域, 无法采用单一的技术覆盖比较大的室内外空间。大众化的电子消费品市场, 以 Apple 为代表的移动设备厂商推出的 iPhone 等产品, 采用 Skyhook 的 WLAN 定位技术, 连同 Google Maps 的地图服务, 为移动用户提供位置服务, 推动了此技术的大众化应用, 但是现有的定位精度有待提高, 因此, 采用各种辅助的方式来增强可用性成为一个新的途径。本文结合当前城市环境下多种泛在无线信号可以充分利用的特点, 提出了一种泛在无线信号辅助的无缝定位新方法。

## 1 无缝定位

### 1.1 定义

无缝定位技术就是指在人类活动的地上、地下空间和外层空间范围内, 能够联合采用不同定位技术以达到对各种定位应用的无缝覆盖, 同时

保证各种场景下定位技术、定位算法、定位精度和覆盖范围的平滑过渡和无缝连接。

泛在计算对应的泛在定位技术, 其相对于无缝定位技术而言, 覆盖的范围偏向于城市和室内空间。集成定位技术是指两种或者两种以上不同的定位传感器或方法的集成, 如 GPS 和 INS 两种不同传感器之间的集成, 或者 GPS 和电子地图辅助定位两种不同方法之间的集成, 其覆盖的范围可以是外层空间或者某一特定环境。

常用的无线定位技术<sup>[1]</sup>有 TOA(到达时间)、TDOA(到达时间差)、AOA(到达角度)、SSR(信号强度测距)、NFER(近场电磁测距)。广泛使用的 GNSS 因为卫星时间同步采用的是高精度的原子钟, 所以基于 GNSS 的方法一般都是 TOA 技术。然而一般的无线通信系统由于基站数量多, 时间同步精度受限, 所以现有的基于无线通信的定位服务一般采用 TDOA 技术, 当然在某些特定场合下也使用 AOA 技术<sup>[2]</sup>; 现有的短距离无线通信技术一般采用 SSR 技术。多种技术的联合使用使得测距的功能上有更多的自由度, 并且增强了定位的精度、可靠性和安全性。

### 1.2 无缝定位面临的挑战

具体而言, 无缝定位技术面临以下几个主要的挑战: 难以依靠单一的无线技术实现无缝定位,

如 GNSS 技术无法在封闭空间发挥其高精度定位的特点; 各种定位信号无法覆盖多个不同区域, 需要解决室内外连接区域的无缝连接问题; 无线信号在室内外 NLOS(非视距传播)环境下的复杂传播信道; 无缝定位系统所需的统一的坐标和时间系统、基础设施和软硬件成本、合适的移动定位设备、标准化问题; 公众无线服务的定位服务模式; 其他诸如支持开放式服务的 API、电源、隐私安全等问题。

### 1.3 无缝定位的关键技术

#### 1.3.1 无缝定位的框架和软硬件

1) 无缝定位基础设施是指各种定位传感器网络基础设施的集合, 包括 GNSS 的地面增强和连续跟踪站构成全球一体化的网络基础设施, 城市的各种无线通信与电视广播基站, 室内环境下已有的各种定位传感器网络设施等。这既包括利用现有的定位基础设施, 也包括城市环境下的多种泛在无线信号源以及根据实际需要专门布设的各种小规模定位传感器网络。

2) 统一坐标系。按照现有的无缝定位基础设施层次, 可以划分出若干个层级: 全球框架、区域框架、城市框架、街区学校框架、单体建筑框架和楼层平面框架, 依次由上一层坐标框架为下一层提供坐标基准, 也可以采用空间信息网格作为支持。

3) 时间系统。时间作为定位中重要的信息, 可以按照统一坐标系的层级将 GNSS 提供的时间基准通过无缝定位基础设施进行分层时间传递服务, 依次向下一级传感器网络提供时间基准。

4) 通信设施。采用现有的各种通信网络设施以及无缝定位系统自身的通信功能, 为各种服务应用和各种定位辅助信息的传递提供稳定的通信保障。

5) 软硬件的框架。无缝定位硬件层面指不同接口之间的协同与集成, 软件层面主要是定位软件的框架结构。

#### 1.3.2 无缝定位算法

无缝定位算法主要是针对多种无线定位技术(GPS、WLAN、ZigBee 和 UWB 等)中多源定位观测量(RSSI、TOA、TDOA 和 Cell-ID 等)以及其他类型的定位传感器(加速度和高度计等)的定位观测量构建统一的融合定位模型, 包括多种技术共用模式下的自动切换、选择、集成以及平稳过渡等相关技术的研究; 针对城市和室内复杂非视线传播环境下对各种无线信号定位产生影响的误差源进行鉴别和消除技术; 以及在定位解算过程

中需要运用到的数据处理技术, 如最小二乘算法、各种滤波技术以及相位模糊度解算等。具体可分为以下几类: ①测时、测距和测信号强度相关的定位算法(TOA、TDOA 和 RSSI 等)。②非无线定位传感器定位算法(航迹推测、加速度和高度计等)。③NLOS 环境下各种误差源鉴别和消除算法(多路径消除技术、NLOS 环境下的无线信道建模)。④定位解算与精度评定算法(最小二乘算法、滤波技术、模糊度解算、精度评定等)。⑤无缝定位算法(不同定位技术的无缝融合与集成算法)。

#### 1.3.3 无缝定位服务与应用模式

无缝定位服务面向的是广大的空间信息社会化用户群, 无缝定位系统一旦构建实施, 需要有足够的用户群体来支撑。无缝定位一方面在系统服务层面要考虑到终端用户的各种需求, 包括合适的定位精度和与之相匹配的电子地图显示模式; 还要考虑定位服务和各种空间数据的服务与收费模式。目前比较成熟的网络地理数据服务, 如 Google Earth/Maps 等产品充分考虑到了用户的多元化和需求的多样性, 为所有用户提供快捷、简便、有效的地理空间信息服务。

无缝定位应针对用户群体多样化的特征, 要求在相应的电子地图显示模式和终端服务模式方面考虑到用户的实际需求, 以最简单有效的可视化方式、快捷便利的定位技术来为用户提供可靠的空间信息数据服务。终端的接入模式也可以根据需求以用户终端为主, 或者充分利用现有的无线通信网络的优势, 将部分的数据服务以网络的形式提供给用户使用。此外, 还应针对定位技术和服务进行一系列的标准化、组件化、网络化、自适应化、集成化、智能化等方面的研究。

### 1.4 典型的室内外定位技术<sup>[3-6]</sup>

基于定位传感器的室内外定位技术主要有超声波传感器定位系统(如 Active Bat、Cricket)、红外传感器定位系统(如 Active Badge)、嵌入式压力传感器定位系统(如 Smart Floor)、电磁场定位系统(如 AURORA)、计算机视觉定位系统、移动通信网络定位系统(如 gpsOne)、射频识别定位系统(如 SpotON)、WLAN 定位系统(如 RADAR、Ekahau)、电视信号定位系统(如 Rosum)、GPS(HSGPS、AGPS)和 Indoor GPS(伪卫星、转发器)、超宽带定位系统(如 Ubisense)。

现有的比较成熟的商业化定位技术对于城市定位而言, 有基于无线通信网络的定位技术, 如 Qualcomm 的 gpsOne 等, 定位精度在 50~100

m,但要求和通信基站进行时间同步;大范围的移动定位应用服务,如 Apple 和 Google 等基于城市的 WLAN 信号进行移动定位,Apple 采用 Skyhook 的技术,通过预先扫描得到城市 WLAN 信号源数据库,在定位阶段,对实测数据进行指纹匹配后给出移动端实时的位置,精度取决于区域信号源的分布密度,通常在 40 m 左右;至于采用电视信号进行定位的 Rosum 公司,有统一的时间同步设备,可以利用多个频段的电视信号进行定位,精度在 3.2~23.3 m 左右<sup>[7]</sup>。对于室内环境,相应的技术有基于 GNSS 信号转发、室内布设伪卫星等,但是受硬件系统成本过高所制约而无法大规模应用;日本基于 GNSS 增强和定位信标技术的 IMES 系统以及 NOKIA 在芬兰推广的基于 WLAN 技术的室内定位系统,还有待进一步发展。

## 2 泛在无线信号

### 2.1 定义

Signals of Opportunity 简单定义为非专门用于导航定位的无线信号,如数字电视信号、模拟电视信号和调幅广播信号等,主要是原本不用作导航和定位的无线信号(如商业通信卫星、商业电台及电视台广播基站和移动电话基站传输的信号),但也可以扩展到紧急情况下布设的主动式信标,本文亦将 IEEE 802.11 (Wireless LAN & Mesh,无线局域网和网状网络)、IEEE 802.15 (Wireless PAN,无线个人网络)等协议下的各种无线网络信号归到此类,并统称为泛在无线信号。

### 2.2 信号频谱与特征

泛在无线信号大部分集中在微波频段。广播信号和电视信号拥有多个频段的优势,而且适合穿透建筑物;而 UWB 和 WiMAX 在 SHF 频段属于高频信号,因此时间分辨率很高,并且受多路径的影响小;像 WLAN 和 ZigBee 等无线网络信号则集中分布在 ISM 频段,即工业、科学和医用频段,属于无需许可证的免费频段。按照波长分布来看,远距离传输的长波信号适合于 TDOA 定位,而位于 ISM 频段的短距离传输短波无线通信信号适合采用 SSR 测距。

### 2.3 无线传播信道的特性

信道是信源和信宿之间信息传递的通路,它是通过传输媒体或传输介质来实现的,它的特征可以反映在与传播距离的函数关系上。对于不同的传输媒体、不同的工作频率和传输环境,信道有

不同的特性。一般来讲,信号通过信道传输后,会受到三大损耗:衰减、延迟失真和噪声。城区和室内信号要考虑建筑物墙壁及其他物体对电磁波的反射、散射或漫反射、绕射或衍射以及折射或透射影响,造成发射信号通过多条路径到达接收机,这类信道叫多路径信道,其特性称为衰落特性。无线传播信道建模是泛在无线信号定位中的重要环节,通常采用已有的传播模型或者实地实验数据建模的方式来确定合适的信号强度与距离(RSSI-Range)函数模型。

### 2.4 泛在无线信号的测距方式

泛在无线信号要求在不占用原有信号功能的条件下,能够为定位测距工作,定位测距不影响诸如通信和广播等网络自身的工作。大多数泛在无线信号只需在软件层面做一些简单的基本测距信号的提取,无需增加或修改原有协议层的内容。在硬件方面,尽可能利用原有的接口协议,在信号处理方面,尽可能地不干扰或者影响原有的系统性能。就现有研究来看,TV/AM/FM 大多采用 TOA/TDOA 技术,需要时间同步;WLAN 和 ZigBee 等无线网络信号可以直接在软件层面提取信号强度等信息,无需对硬件层和协议层进行修改,时间同步也可不作要求。

### 2.5 泛在无线信号的优缺点

泛在无线信号的功率比 GNSS 强,可穿透建筑物;大部分泛在无线信号无需另外布设专门的基础设施;无线技术的进步使得泛在无线信号具有很高的可行性。但是泛在无线信号不是为定位所特别设计的信号,定位测距精度有待提高;因地区的不同而分布密度不均匀;基站的位置需事先确定;受多路径和 NLOS 的影响。

## 3 实验分析及原型

根据实际情况和初步需求分析,选择室外公众 WLAN 信号、校园和室内 WLAN 信号以及根据环境需要布设的 ZigBee 和 UWB 系统来辅助 HSGPS 进行无缝导航实验。因电视信号和广播信号需要专门的接收和同步设备,故暂未采用这两种基于 TDOA 的定位技术。

香港尖沙咀和红磡地区包括了实验所需的开放空间、密集城区、校园以及大型建筑物群和室内环境,是一个理想的实验场地。将香港尖沙咀东部地区(长 500 m、宽 250 m)、香港理工大学校园(长 500 m、宽 250 m)和电子及资讯工程学系实验室(EIE 实验室)(长 12 m、宽 10 m)分别作为密

集城区、校园和室内环境的代表区域。

针对不同的实验环境,对相应的泛在无线信号源进行了先期的数据采集分析,见表 1。可以看到,此区域覆盖 WLAN 信号、移动通信信号和 GNSS 信号,另外布设了 ZigBee 和 UWB 节点,以满足热点区域和室内环境下的高精度无缝定位的应用需求。

表 1 不同场景下的泛在无线信号和 GPS 卫星分布情况

信号(个数)	密集城区	校园	室内
GPS	3	4	2
WLAN	42	61	66
移动通信基站	9	7	5
ZigBee	-	-	8
UWB	-	-	8

在具体实验阶段,泛在无线信号和 GPS 信号采集使用一台 IBM ThinkPad T40 便携式计算机,内置一块 Intel PRO 2100 3B PCI 无线网卡(兼容 IEEE 802.11 a/b),并通过 USB 接口连接一台 ublox AEK-4T 高灵敏度单频 GPS 接收机。另外,在室内和校园环境下,便携式计算机通过计算机串口与 Chipcon 的 ZigBee CC2431 开发套件进行通信,并通过普通网线连接 Time Domain 的 PulsON 210 UWB 开发套件,室内环境下则通过一台具有自动路由功能的 NETGEAR FS116P 交换机与 Ubisense 的定位系统连接;手机基站信息则使用一部内置基站信息提取软件的 NOKIA 8250 移动电话采集。

香港尖沙咀东部地区总共采样点个数为 85 个,采样点间距为 10~15 m,采样得到的 WLAN 和 GPS 信息通过文件存储并进行事后处理;香港理工大学校园内实验区域依次进行了 HSGPS、WLAN、ZigBee 定位和 UWB 测距实验。随后在 EIE 实验室进行了 UWB、ZigBee 和 WLAN 定位实验。实验基本上覆盖了选定的室内外空间多种环境,在 GPS 信号遮挡或者封闭空间,采用 WLAN 信号进行辅助定位;在热点区域和室内环境,通过布设一定数量的 ZigBee 和 UWB 网络节点,以增强定位的可靠性,提高定位精度。

针对实验采集的泛在无线信号数据,分别采用以下处理方式对 ZigBee 信号采用 RSSI-Range 的建模方法构建相应的定位模型;对室外的公共 WLAN 信号和室内的 WLAN 信号,采用两步法<sup>[8]</sup>进行定位,先采用 Cell-ID 的方式进行初步定位,然后采用 RSSI-Range 的简单算法进行第二

步的精确定位;UWB 定位是通过 Ubisense 系统提供的 TDOA 和 AOA 技术(利用 Ubisense 提供基于 .NET 的 API 提取 UWB 定位信息)实现室内环境下的精密定位。GPS 数据则选择部分时段的有效数据进行定位解算。在便携式计算机的 Windows 平台开发了部分通信接口和数据处理程序,同时对这几种泛在无线信号辅助定位技术进行联合处理。初步定位结果见表 2。

表 2 室内外多个场景下的各种信号定位精度/m

信号	定位方式	密集城区	校园	单体建筑	室内
WLAN	Cell-ID	< 20	< 20	< 10	< 10
	RSSI-Range	5~ 10	5~ 10	4~ 10	3~ 5
ZigBee	RSSI	-	-	2~ 4.2	0.2~ 3
HSGPS	TOA	4~ 25	3~ 20	-	-
UWB	TDOA+ AOA	-	-	0.1~ 1	0.1~ 0.7

根据实验结果,初步设计的基于泛在无线信号的无缝定位服务框架原型,通过采用室内外的 WLAN 信号以及布设的 ZigBee 和 UWB 无线网络节点,辅助 HSGPS 在室内外环境下进行了无缝定位实验,实现城市环境下 5~10 m、室内环境下 3~5 m 以及热点区域通过布设增强型无线网络可达到 0.1~1 m 的定位精度。这种定位模式和精度能够满足诸如室内外环境下的人员物品跟踪监控与定位以及各种基于移动设备的空间信息服务,基本上可以作为室内外环境下一种比较可靠的无缝定位模式。在以后还将增加移动通信基站信号、电视信号、广播信号等城市泛在无线信号的研究,希望最终实现大众化的无缝定位服务。

## 4 结 语

在香港这种复杂城市环境下,通过采用多种泛在无线信号源开展了一系列的泛在无线信号辅助的无缝定位实验。初步结果表明,此技术能够满足大部分空间信息的应用需求,这为无缝定位技术的发展提供了新的途径,有利地促进了多种无线技术辅助定位技术的进一步发展。未来无缝定位将会向多模式化、智能化方向发展,一是在移动设备硬件层集成了多种无线定位传感器,二是实现系统的软件层替代原本硬件完成的功能,即硬件功能的软件无线化。当然,利用各种认知的无线电技术,如无线频谱感知技术,也将会提升泛在无线信号在无缝定位中所发挥的作用。

致谢:感谢香港理工大学电子及资讯工程学

系的 Francis C. M. LAU 教授以及 T. Y. Tse 先生对本文实验的支持与帮助。

### 参 考 文 献

- [1] Roberts R. Ranging Subcommittee Final Report [R]. IEEE 802.15 WPAN Documents, 15-04-0581-07-004a, 2004
- [2] Niculescu D., Nath B. Ad Hoc Positioning System (APS) Using AOA [C]. IEEE INFOCOM, Piscataway, USA, 2003
- [3] Djuknic G M., Richton R E. Geolocation and Assisted GPS[J]. IEEE Computer, 2001, 34(2): 123-125
- [4] Pahlavan K., Li X, Makela J P. Indoor Geolocation Science and Technology[J]. IEEE Commun Mag, 2002, 40(2): 112-118
- [5] Jan R H., Lee Y R. An Indoor Geo-Location System

for Wireless LANS[J]. IEEE Commun Mag, 1998, 36(4): 60-65

- [6] 田辉. 基于无线局域网的室内定位技术研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2006
- [7] Rabinowitz M., Spilker J J. A New Positioning System Using Television Synchronization Signals [J]. IEEE Transactions on Broadcasting, 2005, 51(1): 51-61
- [8] Tian H., Esmond M. A New Pedestrian Geolocation Technique Based on Outdoor Public WiFi Signals in Hong Kong[C]. ASSIST08, Hong Kong, China, 2008

第一作者简介: 田辉, 博士生, 研究方向为无线室内定位技术和泛在无线信号辅助的无缝定位技术。

E-mail: tian.hui@gmail.com

## Signals of Opportunity Assisted Ubiquitous Positioning and Its Key Elements for Outdoor Indoor Environment

TIAN Hui<sup>1</sup> XIA Linyuan<sup>1</sup> Esmond MOK<sup>2</sup> WU Dongjin<sup>1</sup>

(1 Department of Remote Sensing and Geographic Information Engineering, Sun Yat-sat University, 135 Xingang Road, Guangzhou 510275, China)

(2 Department of LSGI, Hong Kong Polytechnic University, Kowloon, Hong Kong, China)

**Abstract:** Ubiquitous positioning shows great potential for wireless applications but confronts lots of fundamentally technical problems. Recent advanced positioning systems and emerging technologies are described, and a novel ubiquitous positioning technology by using the widely available and economically signals of opportunity in urban is proposed. It also include the principles, characteristics, and trends issues in ubiquitous positioning. An initial investigation test was conducted at a typical urban canyon area in Hong Kong. The result shows that the signals of opportunity assisted ubiquitous positioning demonstration prototypes facilitate a variety of wireless and geoinformatics applications.

**Key words:** ubiquitous positioning; indoor positioning; signals of opportunity; WLAN; ZigBee; UWB

**About the first author:** TIAN Hui, Ph. D candidate, majors in wireless indoor geolocation and signals of opportunity assisted ubiquitous positioning.

E-mail: tian.hui@gmail.com