

# 基于位置服务的研究综述\*

唐科萍, 许方恒, 沈才樑

(浙江工业职业技术学院, 浙江 绍兴 312000)

**摘要:** 基于位置的服务是指移动终端利用各种定位技术获得当前位置信息, 再通过无线通信将这些信息传输给服务提供商, 服务提供商根据用户的位置信息以及用户的上下文信息提供个性化的服务。对位置服务按照不同的方面进行了分类, 然后分析了基于位置服务中的关键技术, 包括定位、信息传输以及位置索引, 接着总结了基于位置服务的典型应用, 最后指出了存在的一些问题。

**关键词:** 基于位置的服务; 定位技术; 索引技术; 移动对象; 隐私保护

中图分类号: TP393 文献标志码: A 文章编号: 1001-3695(2012)12-4432-05

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.12.006

## Survey on location-based services

TANG Ke-ping, XU Fang-heng, SHEN Cai-liang

(Zhejiang Industry Polytechnic College, Shaoxing Zhejiang 312000, China)

**Abstract:** Location-based services means that the mobile terminals use all sorts of positioning technology for the current position information, then transfer these information to service providers through the wireless communication, and service provider provides the personalized service according to the users' location information and context information. This paper classified the location-based services according to different aspects of service, then analyzed the key technologies, including the positioning technologies, information transmission technologies and the position indexing technologies, then summarized the typical application of service based on position information, and finally pointed out the existing problems.

**Key words:** location-based services(LBS); positioning technology; indexing technology; moving objects; privacy preservation

## 0 引言

随着无线电通信技术、互联网技术、全球定位技术的发展, 由互联网与移动通信的融合形成的移动互联网使用户在任何地点、任何时间都能通过移动终端来获取各种信息服务, 这就是基于位置的信息服务产生的背景<sup>[1,2]</sup>。基于位置的服务具体是指移动终端利用各种定位技术获得当前位置信息, 再通过无线网络得到某项服务<sup>[1,3,4]</sup>。

早期的 LBS 系统主要用于在紧急情况下快速定位求助者的位置, 以实施救援, 如美国的 E911 系统和欧洲的 E112 系统。当前, LBS 已经广泛应用在军事、交通、物流、医疗、生活等领域中。例如, 用户逛街时可以利用手机查找附近有哪些感兴趣的商店; 司机可以利用内置 GPS 功能的智能手机查找最近的加油站, 也可制订行车线路; 在大型博物馆内, 游客可以借助一个能感知位置的语音导游器来欣赏对各个藏品的讲解<sup>[1]</sup>。

基于位置的服务最大的特点是上下文感知, 这些上下文信息包括位置、时间、物理环境、历史状态等<sup>[4,5]</sup>。系统根据用户上下文信息动态获取用户的位置信息, 之后将这些信息传输到信息处理中心, 再根据位置信息以及用户的其他上下文信息给用户合适的服务。本文针对这个过程中所使用的关键技术进行总结和分析, 最后指出基于位置服务存在的一些问题。

## 1 基于位置服务的分类

根据信息的获取方式不同, 位置服务分为主动获取服务和被动接收服务两种<sup>[1,5]</sup>。主动获取服务是指用户通过终端设备主动发送明确的服务请求, 服务提供商根据用户所处的位置以及用户的需求将信息返回给用户。比如用户通过手机终端发送一个请求“离我最近的加油站在哪里”给服务提供商。被动接收服务与主动获取服务相反, 用户没有明确发送服务请求, 而是当用户到达一个地点时, 服务提供商自动将相关信息返回给用户。最常见的就是在坐火车的长途旅行中, 每到一个城市, 用户就会接收到该城市的天气预报以及住宿相关的广告信息。

根据服务的查询技术不同, 又可以分为点查询服务和连续查询服务。点查询服务是指根据查询条件一次执行, 返回查询结果。主动获取服务中常采用这种查询技术, 如用户查询最近的公交站牌。连续查询是根据用户位置的持续变化更新查询结构。通常情况下, 被动接收服务通过连续查询来实现, 如天气预报短信提醒服务。

根据使用服务的对象不同, 又可以分为特定服务和通用服务。特定服务是指为特定服务对象(特定用户或特定区域)提供的服务, 如博物馆中的文物讲解服务。特定服务需要维护特

收稿日期: 2012-04-21; 修回日期: 2012-05-29 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61173124); 浙江省高校优秀青年教师资助项目(浙教办高科[2010]175号); 绍兴市教育科学规划课题(SGJ12075)

作者简介: 唐科萍(1979-), 女, 讲师, 硕士, 主要研究方向为软件工程、计算机应用、网络通信(kepingtang@126.com); 许方恒(1980-), 男, 讲师, 硕士, CCF 会员, 主要研究方向为数据库与信息系统、信息安全; 沈才樑(1973-), 男, 副教授, 硕士, 主要研究方向为虚拟现实、系统仿真、视频与图像处理。

定数据集,如博物馆文物的相关信息等。通用服务是指通信提供商对其所有用户提供的通用服务。常见的通用服务有目录、网关、位置工具、路径和导航等。

位置服务的共同特点是服务提供的过程,首先用户定位,然后将位置信息以及上下文信息传输给信息处理中心,之后通过上下文信息查询相关服务,最后将服务提供给用户,如图 1 所示。

## 2 基于位置服务的关键技术

### 2.1 定位技术

基于位置的服务中,系统要动态获取用户的位置信息,并且得到的位置信息必须能够达到一定的精确度,根据应用的不同,误差要求也不同。本文针对这些定位技术解决问题的侧重点、应用场合以及各自使用的环境参数将其进行归纳总结。

#### 2.1.1 卫星定位技术

GPS(global position system)是目前在室外空间应用最为广泛的卫星定位技术。GPS 是由美国国防部于 1978 年设计研制的,起初只用于军事用途<sup>[6]</sup>。美国于 2000 年全面放开 GPS 对普通民众的使用权限,使得 GPS 广泛应用于民用交通导航。类似定位系统有欧洲的伽利略系统、俄罗斯的 GLONASS 系统。我国也已经实验开发了北斗 1 定位系统<sup>[7]</sup>,北斗 2 定位系统正在研究中。

GPS 的工作原理<sup>[6,8]</sup>是利用几何与物理上的一些基本原理:首先假定卫星的位置为已知,而又能准确测定接收机所在地点 A 至卫星之间的距离,那么 A 点一定是位于以卫星为中心、所测得距离为半径的球面上;进一步又测得点 A 至另一卫星的距离,则 A 点一定处在前后两个球面相交的圆环上;还可测得与第三个卫星的距离,就可以确定 A 点只能是在三个球面相交的两个点上。图 2 为 GPS 测距示意图。

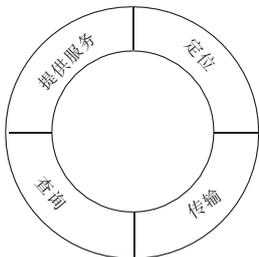


图 1 位置服务提供过程示意图

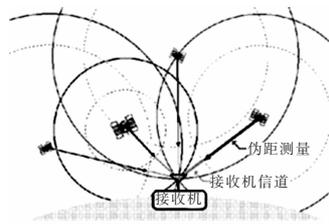


图 2 GPS 测距示意图

GPS 定位的精度能够达到 10~100 m 内,因此在户外定位中具有广泛的应用,如银行运钞车的监控、公安巡逻车的调度、出租车的调度和监控、私人高档轿车的防盗等业务。然而 GPS 定位是利用卫星信号进行测距,因此容易受到遮挡物的干扰,使测量的精度受到影响,尤其在城市高楼大厦之间会出现“城市峡谷”的效果。

#### 2.1.2 GSM 定位技术

GSM 定位技术的原理是通过测量 GSM 信号来对用户进行定位<sup>[9-12]</sup>,从技术上可分为到达时间(TOA)、增强测量时间差(E-OTD)和 GPS 辅助(A-GPS)三种方式。

TOA 定位技术的过程是<sup>[9]</sup>:a)要定位的手机发出已知信号,三个或更多于三个定位测量单元(LMU)同时接收该信号,已知信号是手机执行异步切换时发出的接入突发信号;b)各 LMU 得到信号到达时的绝对 GPS 时间后,可得到相对时间差

(RTD);c)根据前两步的信息,服务移动定位中心进行两两比较,计算突发信号到达时间差(TDOA),得出精确位置,如图 3 所示。

E-OTD 定位方式<sup>[10,11]</sup>是从测量时间差(OTD)发展而来的,OTD 指测量所得的时间量,E-OTD 指测量的方式。手机无须增加任何硬件便可进行测量。对于同步网,手机测量几个 BTS 信号的相对到达时间;对于非同步网,信号同时还需要被一个位置已知的 LMU 接收。确定了 BTS 到手机的信号传输时间,则可确定 BTS 与手机之间的几何距离,然后再根据此距离进行计算,最终确定手机的位置。

GPS 辅助定位方式<sup>[12,13]</sup>实现步骤为:GSM 网收到 GPS 辅助信息;GSM 网将辅助信息发送到手机;手机得到 GPS 信息,计算并得出自身精确位置;手机将位置信息发送到 GSM 网。

#### 2.1.3 室内无线定位技术

与室外环境相比,室内环境要复杂得多,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。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,一般来说要求定位精度比较高才能够满足应用需要。室内定位系统<sup>[14-21]</sup>除了定位物体之外,还要求能够跟踪运动物体判断行进方向以及判断静止物体的朝向,如人员的面向位置。

目前能够用于无线定位的技术主要有红外 IR<sup>[14]</sup>、无线局域网 WLAN<sup>[15]</sup>、蓝牙(blue tooth)<sup>[8]</sup>、超声波(ultrasonic)<sup>[16]</sup>、计算机视觉(computer vision)<sup>[20]</sup>、磁场<sup>[21]</sup>等。这些定位方法一般都要先获得与位置相关的变量,然后再利用数学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<sup>[17-19]</sup>:信号传播时间 ToF、接收信号强度 RSS、信号抵达时间差 TDoA、信号抵达角度 AoA;需要确定信号强度在空间变化的数学或经验模型,得到的信号强度推算移动端、参照点的距离和角度;然后通过解三角形来确定移动单元的位置。

通过相关技术方法获得位置相关变量,之后基于这些变量来设计位置感知方法。例如,基于 TDOA 算法是测量不同基站接收到同一移动台的定位信号的时间差,并由此计算出移动台到不同基站的距离差。移动台到任何两个基站的距离差  $d$  为定值,移动台必定位于以两个基站为焦点的双曲线方程上;确定移动台的二维位置坐标需要建立两个以上的双曲线方程,两个双曲线的交点即为移动台的二维位置坐标,如图 4 所示。

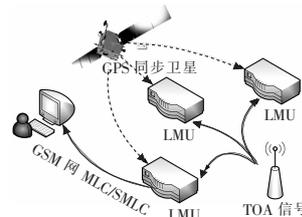


图 3 TOA 定位过程示意图

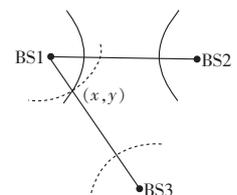


图 4 TDOA 定位算法示意图

由于室内外的环境不同,定位技术的工作原理不同,使得很难有一种定位技术能同时广泛地支持室内和室外定位。为了使服务提供商进行统一的室内外定位,需要在室内、室外定位技术之间进行切换。Priyantha 等人<sup>[21]</sup>对这一问题进行了研究,提出了针对室外 GPS 定位与室内无线定位之间的几种切换策略。相对于室外空间的成熟定位技术,近年来对室内空间的各类定位技术的研究比较集中,但大部分研究集中在如何提高某一个特定技术的定位精度。如何通过多种室内定位技术

来获得更精确的位置信息也有较高的研究价值,即提供一种通用的室内定位模型。

## 2.2 位置信息传输技术

因为用户移动性的特点,LBS 系统用户对空间信息的传输效率要求非常高。如果不能及时给用户提供实时的信息,该信息可能就变得没有意义了。

在位置信息的传输过程中最重要的是传输效率问题<sup>[8,16]</sup>。所谓传输效率是指信息传输前的平均信息量减去传输过程中损失在通道上的平均信息量。在传统的位置信息传输过程中,由于服务中心与用户是分离的,对服务中心而言不可能完全了解用户的目的,因此经过选择、分类简化后形成的位置信息不可能完全满足用户的要求,这就降低了传输效率。

为了提高传输效率,服务中心根据用户的任务和目的实时生成空间信息,因此能够完全表达用户所需的信息。此外,在 LBS 系统中,用户除了接收服务商提供的空间信息外,还从客观环境中直接获取空间信息,这就要求服务商提供的空间信息必须与用户所感受到的外部环境刺激相一致。即 LBS 用户观察到的外部环境必须与服务商提供的空间信息一致,否则用户无法获得正确的认识,也就谈不上利用空间信息作出决策,这就要求 LBS 提供空间信息的响应时间必须与移动用户所处的环境范围变化速度一致,这样就大大提高了传输效率。

为了提高传输效率,第二种方案是位置信息的多种表现形式。传统的传输模型是以地图作为整个传输过程的核心,而在 LBS 系统中,由于用户终端类型的多样性,如果还是仅采用地图的形式,必将限制用户的数量。因此,LBS 系统必须拓展其位置信息的表现形式。目前来说,对于支持矢量数据的终端,可以根据用户的任务和目的生成一定格式的矢量数据发送给用户;对于支持多媒体信息服务(multimedia messaging service, MMS)的终端,可以发送栅格数据;对于只支持短信息服务 SMS 的终端,只能发送文本信息,如“从当前位置沿劳动路向东约 300 m,然后右转到科技路,向北约 450 m 后右转到文艺路,向东约 400 m 到达省体育中心”。通过扩展位置信息的表现形式,可以大大增加用户的数量,从而使更多的人能够得到位置信息服务。

总之,LBS 系统根据用户发送的需求(如“我想到省政府,应该怎么走?”)和用户当前的位置实时生成用户所需的空间信息,然后通过通信通道发送给 LBS 用户,这些信息可以是矢量数据、栅格数据,也可以是文本数据<sup>[17]</sup>。信息的形式取决于用户终端的类型。用户得到这些信息后结合自己所处的位置,根据自己的知识和能力形成心像地图。

## 2.3 位置查询索引技术

索引技术是移动对象数据库的核心技术,决定了 LBS 的查询性能。位置空间信息的查询索引技术研究工作已经开展了多年,也形成了一些研究成果,有 KD-tree 家族<sup>[22-28]</sup>和 Quard-tree 家族<sup>[29-37]</sup>等代表性的技术。然而这些查询技术都是针对位置空间的静态信息,在位置服务中对象处在频繁移动的过程中,这些查询索引技术的查询性能显著下降。因此近期出现了移动对象轨迹查询索引技术和移动对象当前/将来位置索引技术。

### 2.3.1 当前位置索引技术

在基于位置的服务中,移动对象的位置随时间不停变换,

这就要求查询结构能够应对大量的更新操作。LUR-tree<sup>[23]</sup>通过 R-tree 索引<sup>[22]</sup>移动对象的当前位置,以满足移动对象频繁的位置更新操作。一旦移动对象的位置改变,新的位置将及时更新到 R-tree 中。如果新位置仍然在其原先节点的 MBR 内,只需更改该目录的位置;如果新的位置超出其节点的 MBR,则根据不同策略选择是将该对象的目录删除后再插入,或者是将该节点的 MBR 进行扩展以包含该对象的新位置,以便应对移动对象频繁的更新操作。

### 2.3.2 未来位置索引技术

为了查询未来时刻移动对象的位置信息,通常需要根据移动对象的速度对移动对象的未来位置进行建模。目前移动对象索引技术分为基于 B<sup>+</sup>-tree<sup>[24-26]</sup>和基于 R-tree 两类索引结构。

B<sup>+</sup>-tree 移动对象位置索引方法将整个空间划分为若干个单元格,借助于空间填充曲线,每个单元格被赋予一个标志符,移动对象所在的单元格的标志符被 B<sup>+</sup>-tree 进行索引,当进行查询时,需要通过移动对象的速度和相对时间对范围进行扩展。

基于 R-tree 的索引技术中使用时间参数的 MBR 来组织移动对象,在组织节点时不仅要考虑移动对象当前的位置,也要考虑移动对象的速度,因而 MBR 能随时间的变化而扩展。当移动对象的位置更新时,则重新计算包含该对象的 MBR。由于这类索引结构保存了速度信息,因而能预测移动对象的将来位置。还有一些索引技术针对部分移动对象长时间不更新位置信息导致 MBR 不断扩大的缺点,设定一个失效时间以删除失效的移动对象或重新计算。

### 2.3.3 基于位置历史轨迹索引技术

基于位置服务中移动对象的历史轨迹随着时间的变化不断更新,如果将这些数据存储在数据库中,那么当对象位置连续发生变化时,必须不断地向数据库发出更新的请求,要求数据库保存每次更新时移动对象的空间位置信息。这种方法是一种简单的快照数据模型,也能够描述移动对象的历史轨迹,但随着时间的推移和数据库开销的线性增长,如果要保存长时间的历史轨迹,那么查询和更新的效率会越来越低,从而导致应用不可行,因此,必须减少数据库中空间存储的开销。目前有两种解决方法<sup>[27,28]</sup>:一种是抽样方式,将移动对象的历史轨迹按照某种采样频率进行抽样存储,然后对抽样点之间的轨迹利用线性插值办法进行拟合;另一种是存储移动对象的运行行为,如起始位置、速度、路程等。只有当某些运动参数发生变化时才对数据库进行更新。根据这些思路,研究者提出了许多索引方法,典型的有基于传统空间索引方式<sup>[30-32]</sup>、基于重叠与多版本结构索引方式<sup>[33,34]</sup>及面向移动对象轨迹索引方式<sup>[35-37]</sup>。

## 3 基于位置服务的应用

位置服务逐渐成为移动运营商新业务的增长点,它是目前蓬勃发展的一种无线增值服务,是地理信息系统具体应用的典型和重要发展方向,有着良好的市场前景和发展空间。它通过定位以及查询索引技术,得到用户的位置信息,并将此信息提供给用户本人、通信系统本身或者其他请求得到该用户位置的机构或个人,以实现个性化服务。基于位置服务从用途上分为基于位置的公众安全服务<sup>[38]</sup>、基于位置的调度监控服务<sup>[13]</sup>、基于位置的计费服务<sup>[21,39]</sup>和基于位置的信息推荐服务<sup>[40,41]</sup>四类。

#### a) 基于位置的公众安全服务

目前,移动电话发起的紧急呼叫数量在全部紧急呼叫中所占的比例也不断上升。现有的蜂窝网能为移动电话紧急呼叫提供的辅助决策信息非常少。调查表明,约有 25% 的移动用户在发起紧急呼叫时不知道所处的确切位置,因此通过移动通信网的定位技术在公众安全服务中发挥了重要的作用。

基于位置的公众安全服务能够使移动用户在一定的区域内进行紧急情况的报警,如报告龙卷风、火山爆发等情况。

#### b) 基于位置的调度监控服务

调度服务主要体现在基于位置的车辆调度服务,这些服务能够使企业跟踪车辆的位置,并利用该位置优化所提供的服务。其中最典型的是路由选择服务,可以根据车辆当前的位置,以及道路信息来选择一条时间最短的路由。监控服务主要是通过公路上汽车内的移动电话位置的抽样检查来确定车辆的平均速度。具体方法是在确定的时间间隔内,对移动台的位置进行两次抽样;通过  $V = x/t$  来计算平均速度。

#### c) 基于位置的计费服务

基于位置的计费服务可以使用户在不同的地域使用不同的话费费率,费率可适用于整个通话期,也可适用于部分通话期,可适用于单个用户,也可适用于某些团体用户。例如,可以在用户经常活动的区域内,实行优惠的话费费率;在校内、市区商业中心实行不同的费率。用户采用基于位置的计费时,应首先进行注册,确定用户的不同计费区域。当用户进入不同的计费区域时,应及时得到提示。这项业务应透明地向用户提供,不影响正常的语音、数据及其他业务。

#### d) 基于位置的信息推荐服务

在普适计算中,许多的个性化服务都是基于位置信息的推荐服务。例如,城市观光服务能够将与位置有关的信息发送到游客手机上,包括名胜古迹的介绍、各景点之间的旅游路线;可以帮助游客找到离当前位置最近的餐馆、银行、公共汽车站、酒店等信息。

国外也有很多关于基于位置信息的活动识别推荐服务。文献[42]是一个 GPS 数据驱动的社交网络服务,人们可以通过共享历史位置信息来分享生活经验。通过挖掘人的位置历史,GeoLife 可以衡量用户之间的相似性和个人进行个性化的朋友推荐。基于组的位置信息,一些应用程序可以预测在某些领域的社会活动,如人群的预测和控制。文献[43]使用基于位置的技术,针对校园用户,利用移动、无线连接的设备构建了一个 X 射线眼镜,让每个用户能够看到附近的人群和建筑物,这样能够方便用户发现附近的朋友、部门、实验室或者有趣的活动。

## 4 基于位置服务中存在的问题分析

基于位置服务的技术以及应用已经做了大量的工作,也出现了许多成果,然而还存在以下几个问题亟待解决:

#### a) 隐私保护

基于位置服务中的隐私内容涉及两个方面<sup>[44]</sup>,即位置隐私和查询隐私。位置隐私中的位置指用户过去或现在的位置,查询隐私指涉及敏感信息的查询内容。目前也有一些技术来保护隐私,如假位置<sup>[45]</sup>、时空匿名<sup>[46]</sup>、空间加密<sup>[47]</sup>等。然而位置隐私研究中还面临着下面几个方面的挑战:(a) 隐私保护与位置服务是一对矛盾;(b) 基于位置服务的请求,具有在线

处理的特点,故位置匿名具有实时性要求;(c) 不同用户的隐私要求大相径庭,所以隐私保护需要满足个性化的需求。

#### b) 个性化和环境敏感

基于位置服务的应用大部分针对群体用户,如导航系统;然而基于位置服务的个性化需求越来越突出,因此这类服务需要匹配用户个人爱好以及用户上下文信息,实现高效精准的服务。

#### c) 开发新的应用

目前,随着普适计算的发展,基于位置服务急需新的应用,主要是基于位置的社会化网络信息服务,将这些服务无缝地集成到生活应用当中。

#### d) 技术的挑战

有多种方法来确定用户位置,这些包括全球定位系统、无线网络(无线局域网)、传感器和 RFID 等。这些技术必须一起使用,支持多种应用。例如从室内移动到室外的位置,可能需从一个室内定位技术切换至 GPS 定位技术。

## 5 结束语

随着无线通信技术和智能移动终端的快速发展,基于位置的服务在公众安全服务、交通、娱乐等诸多领域得到了广泛应用,它能够根据移动对象的位置信息提供个性化服务。基于位置服务为移动用户展现了一个广阔的市场,蕴涵着巨大的商机。可以相信,随着移动用户的逐步增多,这一市场也将逐步发展壮大,而其中围绕移动用户服务中与位置相关服务的定位、信息传输、位置索引等相关技术也必将得到更深层次的研究。随着空间数据和信息可实时获取、通信技术突飞猛进,定位技术日趋精确,相信基于位置服务的应用也会越来越多。

### 参考文献:

- [1] 周傲英,杨彬,金澈清,等. 基于位置的服务:架构与进展[J]. 计算机学报,2011,34(7):1154-1170.
- [2] 林兵,陈晓翔. LBS 服务中的位置感知计算体系研究[J]. 中山大学学报:自然科学版,2005,44(B06):318-321.
- [3] JING Bing, YAO Xiao-bai. Location-based services and GIS in perspective computers[J]. Environment and Urban Systems, 2006, 30(6):712-725.
- [4] D' ROZA T, BILCHEV G. An overview of location-based services[J]. BT Technology Journal, 2003, 21(1):20-27.
- [5] SCHILLER J H, VOISARD A. Location-based services[M]. San Francisco: Morgan Kaufmann, 2004:112-124.
- [6] HARTER A, HOPPER A, STEGGLES P, et al. The anatomy of a context-aware application[C]//Proc of the 5th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking. New York: ACM Press, 1999:59-68.
- [7] 王青,吴一红. 北斗系统在基于位置服务中的应用[J]. 卫星与网络, 2010(4):40-42.
- [8] WANT R, HOPPER A, FALCAO V, et al. The active badge location system[J]. ACM Trans on Information Systems, 1992, 10(1):91-102.
- [9] BAHL P, PADMANABHAN V N. RADAR: an in-building RF-based user location and tracking system[C]//Proc of the 19th Annual Joint Conference on the IEEE Computer and Communications Societies. Los Alamitos: IEEE CS Press, 2000:775-784.
- [10] 范平志,邓平,刘林. 蜂窝网无线定位[M]. 北京:电子工业出版社

- 社,2002.
- [11] 赵冬青,吕志平,张西光. 基于位置的服务中定位信息的传输[J]. 测绘通报, 2006(5):27-40.
- [12] 刘长征,李纬,丁早晨,等. 多种定位技术融合构建LBS体系[J]. 地理信息世界,2003,1(3):24-27.
- [13] ORR R J,ABOWD G D. The smart floor;a mechanism for natural user identification and tracking[C]//Proc of Conference on Human Factors in Computing Systems. New York:ACM Press,2000:1-6.
- [14] CHUNG W C,SAM D. An accurate ultra wideband ranging for precision asset location[C]//Proc of International Conference on Ultra Wideband Systems and Technologies. 2003:389-393.
- [15] PRASITHSANGAREE P, KRISHNAMURTHY P, CHRYSANTHIS P K. On indoor position location with wireless LANS[C]//Proc of IEEE PIMRC. 2002.
- [16] HODES T D,KATZ R H,SCHREIBER E S, *et al.* Compostable Ad hoc mobile services for universal interaction [C]//Proc of MobiCom'97 Proceedings. 1997:1-12.
- [17] 梁韵基,周兴社,於志文,等. 普适环境室内定位系统研究[J]. 计算机科学,2010,37(3):112-116,124.
- [18] 周千里. 室内定位技术在公共安全领域的应用探讨和技术实践[J]. 中国人民公安大学学报:自然科学版,2010(2):76-82.
- [19] 韩霜,罗海勇,陈颖,等. 基于TDOA的超声波室内定位系统的设计与实现[J]. 传感技术学报,2010,23(3):347-353.
- [20] 杜海涛,全春来,周翔. 基于无线传感器和视频融合的室内定位技术研究[J]. 计算机工程与设计,2011,32(1):347-350.
- [21] PRIYANTHA N B, CHAKRABORTY A, BALAKRISHNAN H. The cricket location-support system[C]//Proc of the 6th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking. New York:ACM Press,2000:32-43.
- [22] CHAKKA V P,EVERSPAUGH A,PATEL J M. Indexing large trajectory data sets with SETI[C]//Proc of the 1st Biennial Conference on Innovative Data Systems Research. 2003.
- [23] SONG Zhe-xuan,ROUSSOPOULOS N. Hashing moving objects[C]//Proc of the 2nd International Conference on Mobile Data Management. 2001:161-172.
- [24] SONG Zhe-xuan,ROUSSOPOULOS N. SEB-tree:an approach to index continuously moving objects[C]//Proc of the 4th International Conference on Mobile Data Management. 2003:340-344.
- [25] NASCIMENTO M A, SILV J R O, THEODORIDIS Y. Evaluation of access structures for discretely moving points[C]//Proc of the International Workshop on Spatio-Temporal Database Management. 1999:171-188.
- [26] KWON D,LEE S. Indexing the current positions of moving objects using the lazy update R-tree[C]//Proc of the 3rd International Conference on Mobile Data Management. 2002:113-120.
- [27] XIONG Xiao-peng, AREF W G. R-tress with update memos[C]//Proc of the 22nd International Conferences on Data Engineering. 2006:22.
- [28] SALTENIS S,JENSEN C S,LEUTENEGGER S T, *et al.* Indexing the positions of continuously moving objects[C]//Proc of ACM SIGMOD International Conferences on Management of Data. 2000:331-342.
- [29] TAO Y,PAPADIAS D,SUN Ji-meng. The TPR<sup>\*</sup>-tree:an optimized spatio-temporal access method for predictive queries[C]//Proc of the 29th International Conferences on Very Large Data Bases. 2003:790-801.
- [30] SALTENIS S,JENSEN C S. Indexing of moving objects for locaiton-based service[C]//Proc of the 18th International Conference on Data Engineering. 2002:463-472.
- [31] PRABHAKAR S,XIA Yun-ni,KALASHNIKOV D V, *et al.* Query indexing and velocity constrained indexing:scalable techniques for continuous queries on moving objects[J]. IEEE Trans on Computers, 2002,51(10):1124-1140.
- [32] JENSEN C S,LIN Dan,OOI B C. Query and update efficient B<sup>+</sup>-tree based indexing of moving objects[C]//Proc of the 30th International Conference on Very Large Data Bases. 2004:768-779.
- [33] JENSEN C S, TIESYTE D, TRADISAUSKAS N. Robust B<sup>+</sup>-tree based indexing of moving objects[C]//Proc of the 7th International Conference on Mobile Data Management. 2006:12.
- [34] YIU M L,TAO Yu-fei,MAMOULIS N. The B<sup>dual</sup>-tree:indexing moving objects by space filling curves in the dual space[J]. The International Journal of Very Large Data Bases,2008,17(3):379-400.
- [35] CHEN Su,OOI B C,TAN K L, *et al.* ST<sup>2</sup>B-tree:a self-tunable spatio-temporal B<sup>+</sup>-tree index for moving objects[C]//Proc of ACM SIGMOD International Conference on Management of Data. 2008:29-42.
- [36] PATEL J M,CHEN Yun,CHAKKA V P. STRIPES:an efficient index for predicted trajectories[C]//Proc of ACM SIGMOD International Conference on Management of Data. 2004:635-646.
- [37] CHEN Su,JENSEN C S,LIN Dan. Abenchmark for evaluating moving object indexes[C]//Proc of VLDB Endowment. 2008:1574-1585.
- [38] KRUMM J,HARRIS S,MEYERS B, *et al.* Multi-camera multi-person tracking for easy living[C]//Proc of the 3rd IEEE International Workshop on Visual Surveillance. 2000.
- [39] 赵俊刚,范世东. 移动增值业务LBS的设计与应用[J]. 交通与计算机,2003,21(4):78-81.
- [40] 王立才,孟祥武,张玉洁. 上下文感知推荐系统[J]. 软件学报,2012,23(1):1-20.
- [41] 刘韩,叶剑,朱珍民,等. LCESM:位置敏感的上下文事件订阅机制[J]. 计算机科学,2011,38(7):80-84.
- [42] ZHENG Yu,WANG Long-hao,ZHANG Ruo-chi, *et al.* GeoLife:managing and understanding your past life over maps[C]//Proc of the 9th International Conference on Mobile Data Management. [S. l.]:IEEE Press,2008:211-212.
- [43] GRUTESER M,GRUNWALD D. Anonymous usage of location-based services through spatial and emporal cloaking[C]//Proc of International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services. 2003:163-168.
- [44] GEDIK B,LIU Ling. Location privacy in mobile systems;a personalized anonymization model[C]//Proc of the 25th IEEE International Conference on Distributed Computing Systems. 2005:620-629.
- [45] MOKBEL M F,CHOW C Y,AREF W G. The new casper:query processing for location services without compromising privacy[C]//Proc of the 32nd International Conference on Very Large Data Bases. 2006:763-774.
- [46] KHOSHGOZARAN A, SHAHABI C. Blind evaluation of nearest neighbor queries using space transformation to preserve location privacy[C]//Proc of the 10th International Conference on Advances in Spatial and Temporal Databases. 2007:239-257.
- [47] KIDO H,YANAGISAWA Y,SATOH T. Protection of location privacy using dummies for location-based services[C]//Proc of the 25th International Conference on Distributed Computing Systems. 2005.