

新一代无线定位技术研究与发展趋势分析

New Generation Wireless Location Technology: Research and Development Trend

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2018) 02-0054-005

摘要: 认为现有的无线定位技术无法满足移动互联网应用在定位网络覆盖范围、部署费用、定位精度以及终端兼容性等方面的需求。通过对无线定位产业的现状以及未来无线定位标准提案信息的分析,指出了通信定位一体化的发展趋势,并从运营商的角度提出了通信定位一体化网络发展的技术路线。

关键词: 室内定位; 位置服务; 管道化; 定位网

Abstract: Existing wireless positioning technologies cannot meet the Internet applications' requirements in terms of coverage, deployment costs, location accuracy and terminal compatibility. By analyzing the status of wireless positioning industry and standard initiative for future location technology, the integration trend of communication and positioning is demonstrated. Furthermore, the roadmap of communication and positioning integrated network is proposed from the perspective of communication carriers.

Key words: indoor positioning; location-based service; pipelining; location network

陈诗军/CHEN Shijun^{1,3}
王慧强/WANG Huiqiang²
陈大伟/CHEN Dawei¹

(1. 中兴通讯股份有限公司, 广东 深圳 518057;
2. 哈尔滨工程大学, 黑龙江 哈尔滨 150001;
3. 移动网络和移动多媒体技术国家重点实验室, 广东 深圳 518057)
(1. ZTE Corporation, Shenzhen 518057, China;
2. Harbin Engineering University, Harbin 150001, China;
3. State Key Laboratory of Mobile Network and Mobile Multimedia Technology, Shenzhen 518057, China)

随着移动互联网产业的蓬勃发展,尤其是电子地图应用的大量涌现,基于位置的服务(LBS)已成为当前研究的热点^[1]。针对人们日常生活中衣、食、住、行等各个方面,各种新兴服务行业不断推出嵌入LBS的移动应用程序,为终端用户提供了极大的便利^[2]。此外,如车辆、运输、交通管理等传统行业为完成信息化升级,主动引入LBS,以完成相关产业及其生态链的深度改造和整合^[3-4],产生了以滴滴快车、优步、ofo共享单车等为代表的形态。可以看出,无论从新兴行业还是传统行业角度观察,LBS都是强有力的增长点。

目前,虽然以全球定位系统(GPS)为代表的定位技术的发展已经能够为用户提供满意的室外定位精度,但城市化进程的加速使人们大多数时间在室内活动,来自商业、政府、通信领域的室内定位需求与日俱增。新兴应用需求对定位服务提出了更高的覆盖要求^[5],定位网络应该不仅能够覆盖室外环境,也应该能够覆盖包括室内空间在内的特殊场景,以实现室内室外定位服务的无缝衔接。从相关产业的发展趋势可判断:能否提供有效覆盖室外环境与复杂室内环境的一体化定位服务,关乎人们生活质量乃至国民经济发展,是定位服务提供商急需解决的问题。

一体化定位服务需要在覆盖范围与定位精度两方面兼顾室内、室外

场景。与宽广的室外环境不同,室内场景空间狭窄,且随着5G时代的来临,物联网和智能化对位置服务提出了更高的要求,一般认为室内定位精度需达到3 m以下,甚至小于1 m才能够满足日常使用要求,更要求无缝定位覆盖^[6];另外,区别于室外较为简单的信道环境,室内的建筑结构、材料材质将引起复杂的多径效应,无线信号传播受到非视距(NLOS)因素影响较大,上述室内环境的特性导致传统的面向室外环境的定位技术已经不能满足室内定位的精度需求,而专门的室内定位技术往往存在覆盖范围小、部署成本高等缺点^[7-8],高精度、无缝覆盖对通信网和定位网协同发展提出了迫切的新需求。

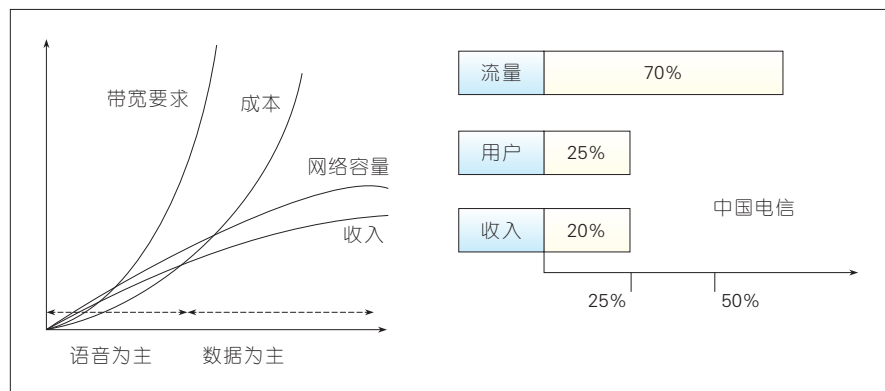
1 通信行业面临的问题

移动互联网时代,数据流量需求

收稿日期: 2017-07-22
网络出版日期: 2017-09-11

激增,运营商之间、运营商和关联行业之间的“花园围墙”不复存在,整个产业价值链主导权发生转移,主要表现为运营商的管道化困境^[9],即对业务和用户控制权日益削弱。运营商成本与收入变化如图1^[10]所示。为避免管道化命运,电信运营商虽然积极开展新业务,然而面临的竞争却日益加剧。一方面,运营商推出的新业务范围互相重叠,如:视频业务、应用商店业务等,在业务内容和业务模式方面缺乏新意,导致运营商之间的同质竞争越发激烈;另一方面,运营商介入IM、电子商务、手机支付等互联网应用领域,而不得不对传统互联网公司的正面交锋。

然而相应的努力收效甚微,其原因可以归纳为以下两点。首先,受传统思维影响,运营商难以主动放弃通信行业的核心地位,导致其产业规划主要以技术为导向,而忽视市场需求。但在消费者自我意识逐渐成熟,互联网思维被普遍接受的市场环境中,通信行业的发展必然会从以运营商主导向以消费者需求主导的模式转移,以用户需求为中心的服务模式是不可逆转的产业发展趋势。其次,技术的发展会使边际成本越来越高,而边际效益则随之降低,运营商不可能从已经高度发达的互联网应用领域攫取利益。因此,运营商为解决其面临的问题,必须准确发掘用户痛点,分享新技术起步阶段的研发红利,深耕蓝海市场。



▲ 图1 运营商管道化趋势

移动互联网浪潮为运营商带来了重大的发展机遇。以手机为代表的移动终端,已成为人们生活中不可或缺的一部分,人们的工作和生活都围绕移动终端进行,而移动终端的精准定位正在成为改善用户体验,增强应用品质的关键因素。移动终端的无缝覆盖正是运营商的传统优势领域,仅需要在传统的带内信号基础上添加必要基础设施就可以轻松完成通信定位一体化的网络,相对于GPS定位、无线传感器网络定位,在室内外融合场景下具有先天优势,且无需增添新的定位辅助设备。LBS服务可以作为新的“基础设施服务”提供给各类互联网公司使用,从在广阔的市场应用前景,从而带来新的巨大利润增长点。因此,如何针对用户对基于LBS的日常应用的使用需求,结合自身优势发展通信定位一体化网络是运营商在未来5G时代解决自身管道化问题的有效途径。

2 无线定位技术及存在问题

目前,针对不同的应用场景与需求存在多种特点各异的无线定位技术,下面我们对常见的技术做介绍。

(1) 卫星定位系统

目前手机、车载导航仪等设备的基础定位信息主要是由以GPS、GLONASS、Galileo以及北斗等卫星导航系统提供^[11-14]。

然而,由于导航卫星位于万米高空,信号衰落与障碍物的阻碍导致终

端在特定位置无法搜索到足够数量的定位卫星,难以满足定位的必要条件;同时,美国军方只开放C/A码供民用系统使用,其定位精度普遍在几十米到百米的范围内,该定位精度虽然能够支持道路导航类服务,但无法满足室内定位、车辆管理等应用的米级定位精度要求。此外,目前也产生了GPS、GLONASS、Galileo以及北斗的融合定位算法,但是精度一般仍保持在5m以上。

(2) 地面伪卫星解决方案

为弥补卫星定位系统的缺陷,NextNav等公司提出了在地面布设伪卫星(PL)的补充方案。所谓伪卫星,是一种地面定位信号发射装置,发射的信号格式、带宽、电文等一般都和GPS一致^[15]。伪卫星定位的基本原理与GPS相同,排除硬件设备对定位精度的影响,其准确性主要由伪卫星的几何分布决定^[16]。虽然PL部署位置灵活,缺陷也与GPS相同,难以满足室内定位的需求。

(3) 辅助GPS技术(A-GPS)技术

GPS设备利用卫星发出的无线电信号进行定位,但在实际使用过程中,地理环境和人文建筑常常会对信号造出一定的影响,使得定位信号被削弱,而不能完成定位的请求。在这种情况下,可以利用A-GPS系统完成快速定位。A-GPS以GPS为基础,是一种利用移动通信网络基站信息辅助GPS实现移动设备定位的技术,能够在各种制式的2G、3G乃至4G网络中使用。

利用A-GPS进行定位,除需要一部拥有GPS定位功能的手机外,还需要电信运营商为通信网络增加位置服务器、差分GPS基准站等设备^[17]。简单地说,A-GPS是借助手机基站来为GPS提供前期位置调星服务与后期位置校准服务,以提高GPS的定位精度^[18]。

(4) Wi-Fi定位技术

基于无线局域网的解决方案是室内定位问题研究的一个重要方向,

该方案需要按照定位需求设置相应数量的Wi-Fi热点,利用基于信号强度的指纹定位技术,对移动终端进行定位^[19]。首先需要建立Wi-Fi信号强度的指纹库^[20],在定位过程中终端设备将实时监测的Wi-Fi热点信号强度与指纹库中记录进行比对,确定定位结果。

(5) 无线射频识别(RFID)定位技术

基于RFID的定位系统通常将信号强度作为定位依据。定位系统主要由RFID标签、参考标签以及读卡器3部分组成^[20]。其中,读卡器能够发出特定频率的信号,以激活休眠状态的标签,同时也能读取标签的识别码信息与信号强度。RFID标签被激活后,能够利用标签内置天线发送包含自身识别码的信息。当待定位的RFID标签处于读卡器作用范围内时,读卡器读取该标签识别码,并将其信号强度与参考标签比对,以计算待定位标签位置。

(6) 超宽带(UWB)定位技术

UWB是一种无载波通信技术,利用纳秒至皮秒级的非正弦波窄脉冲传输数据。通过在较宽的频谱上传送极低功率的信号,UWB能在10 m左右的范围内实现每秒数百兆至数吉比特的数据传输速率。与蓝牙、Wi-Fi等带宽相对较窄的无线技术相比,UWB具有抗干扰能力强、带宽极宽、耗能低、发送功率小、保密性好等优点,特别适合在室内定位系统中应用^[21]。然而UWB受通信距离的限制,部署密度较高,在诸如首都国际机场这类大型室内场景中需要部署数百万计的节点,系统部署开销较大,这也限制了UWB的广泛应用。

(7) 其他室内定位解决方案

此外,针对特定环境与应用需求,还有很多其他室内定位技术,如:红外室内定位^[22]、蓝牙室内定位^[23]以及超声波室内定位^[24]等。这些定位技术只适合某些特定场合,无法为用户提供一个适应性一致收敛的全网

解决方案。

(8) 现有定位技术存在的问题

现有定位技术存在的问题可以归纳为以下4个方面:

- 适应性问题:融合不同定位技术是普遍采用的方案,但是这些技术都无法做到普适于各类室内场景。例如:A-GPS基本能够覆盖室外环境,但不能应用于室内定位场景。

- 覆盖问题:无法提供大范围覆盖和无缝覆盖,如UWB和蓝牙。

- 成本问题:有些技术原理上可行,但真正建设时会涉及大量的建设成本和维护成本。

- 精度问题:精度动态范围大,很难提供一致质量的定位服务。

同时,可以看出无线定位网在室内定位方面还处于从属、补充的地位,无法充分发挥蜂窝网覆盖范围大、已有基础设施完善的特点。

3 室内定位产业发展及无线定位标准

导航与位置服务关键技术已成为国家安全和国民经济发展的坚实基础,广域高精度室内定位技术更是支撑导航与位置服务的关键。据估计2015年之后,中国位置服务应用行业市场规模将以大于50%速率增长,到2020年,室内位置服务市场规模将超2万亿。因此,很多著名互联网公司都重点布局了室内定位业务。其中,Google室内定位服务目前拥有1万多个场所的地图,已经进入了包括美、英、法、日等10多个国家,在机场、商城、火车站、体育馆和博物馆等公共场所提供室内导航服务;苹果公司也已经意识到地图、室内定位对未来应用和商业形态的巨大影响力,于2013年收购Wi-FiSLAM公司,以获取该公司的室内定位技术;Nokia、三星、Sony Mobile及Broadcom等22家手机厂商及芯片领域厂商共同成立室内定位联盟,携手建立室内定位的系统解决方案,并已经完成技术架构白皮书。

同时,为了适应高精度室内定位的需求,美国联邦通信委员会(FCC)、第3代合作伙伴项目(3GPP)、电气与电子工程师协会(IEEE)等国际组织已将广域高精度室内定位确立为下一代移动通信技术的基础功能。其中,在蜂窝移动通信网定位技术的国际标准方面,IEEE 802.11成立了NGP研究下一代高精度室内定位。目前3GPP标准中的定位方法如表1所示。从表中可以看出:相比3G时代通信网定位方式,定位方法更加丰富,要求更高的定位精度;通信网开始努力增强自身定位能力,以及融合其他定位技术。其中,3GPP LTE Release 9规范了通过测量两个或更多的基站参考信号(RS)的到达时间差(RSTD)来计算手机位置的技术观察到到达时间差法(OTDOA),在物理层的协议中增加了定位参考信号的特性,弥补了全球导航卫星系统(GNSS)在室内无法定位的缺陷^[25]。在2016年6月,3GPP公布了5G标准的首个版本Release 15的计划,描述了各工作组的协调项目和检查重点,并计划于2018年6月之前完成标准发布,其中高精度定位被列为一项内容。此外,国际电信联盟(ITU)也已正式启动5G标准研究工作,于2015年6月提出IMT-2020计划,确定5G愿景、时间表等关键内容,到2020年完成5G技术标准化,5G进入到技术突破及标准研究的关键阶段。

此外,以高通为代表的传统通信技术公司,在芯片方面也已经进行了大量先期研发。由于各标准化组织对室内定位立项时间较短,绝大多数室内定位技术方案仍处于非公开状态,只能通过其专利涉及领域分析各公司提案内容,见表2。中国IMT-2020(5G)推进组2015年2月发布的《5G概念白皮书》中把“移动互联网和物联网将成为5G发展的主要驱动力”作为5G系统需求基础,而高精度室内定位技术是未来移动互联网和

▼表1 目前3GPP标准中的定位方法

方法	UE-based	UE-assisted, E-SMLC-based	eNB-assisted	LMU-assisted/ E-SMLC-based
A-GNSS	Yes	Yes	No	No
Downlink ¹	No	Yes	No	No
E-CID	No	Yes	Yes	No
Uplink	No	No	No	Yes
Barometric	Yes	Yes	No	No
WLAN	Yes	Yes	No	No
Bluetooth	No	Yes	No	No
TBS ²	Yes	Yes	No	No

注1:包括基于PRS的TBS定位方法

注2:此处仅包含基于MBS信号的TBS定位方式

A-GNSS: 辅助定位全球导航卫星系统
E-CID: 增强小区识别
eNB: 演进型基站
E-SMLC: 演进型业务移动定位中心

LUM: 定位测量单元
MBS: 都会信标系统
PRS: 定位参考信号
TBS: 地面信标系统

UE: 客户端
WLAN: 无线局域网

▼表2 各公司专利涉及领域

公司	涉及领域
爱立信	PRS 增强
高通	PRS 增强, TBS, DL-LMU
nextnav	TBS
LG	prs-Beacon, D2D
朗讯	unlicensed prs-Beacon, D2D
intel	D2D, prs-Beacon, TBS

D2D: 设备到设备
DL-LMU: 下行链路定位测量单元
PRS: 定位参考信号
TBS: 地面信标系统

物联网的重要核心业务之一。未来移动通信论坛是在中国发改委、科技部、工信部的共同支持下,由移动通信运营企业、设备制造企业、科研机构、高等院校等26家单位共同发起成立的非营利性国际社团组织,其在2016年末发布了以中国联通、中兴通讯、清华大学和哈尔滨工程大学等单位撰稿的文章,专门论述5G高精度定位的关键技术。

从现有资料分析,在下一代无线通信网络标准中十分可能加入对定位功能支持,未来移动通信网络将和定位网相结合,发展出具有通信定位一体化功能的新一代网络。

4 通信定位一体化网络

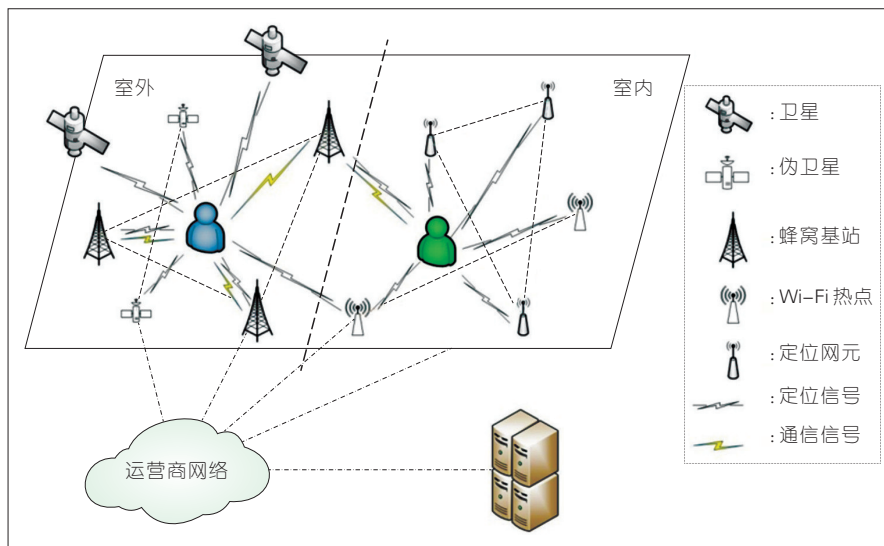
根据定位系统覆盖的范围可大

致将定位网络的发展划分为球域空间定位、地面基础定位以及局部精确定位三个维度。其中,球域空间定位技术主要针对特殊定位需求,提供能够覆盖全部近地空间的海、陆、空天一体化的立体定位服务;地面基础定位技术能够满足人们日常工作、生活中大部分需求,具有较大的地面定位覆盖范围;局部精确定位技术为迎合特定场合对定位精度的需求,只能覆盖较小的范围。移动通信网络是一种常见的地面基础定位系统,借助运营商部署的大量基站,通信网络具有室内外一体化覆盖、相对部署成本低

以及终端设备兼容性高等优点,是构建未来通信定位一体化网络的基础。

通信定位一体化网络是一种结合通信与定位功能的网络新型态,能够提供室内室外一体化的高精度定位服务,如图2所示。一般认为通信定位一体化技术的演进路线包括以下几种:(1)通信网与伪卫星系统、TC-OFDM定位系统等异构地面定位融合;(2)通信网与Wi-Fi定位系统、蓝牙定位系统等局部定位网络融合;(3)具有带内高精度定位技术的新一代通信网络。通信定位一体化网络是解决现有定位技术存在问题的有效手段,在提供室内室外一体化的定位服务覆盖的基础上,兼顾了室内高精度定位精度的要求,同时以现有移动通信系统为基础,能够最大限度地降低定位网络的部署成本,提高定位终端的兼容性。

从运营性角度分析,高精度的一体化付费定位服务能够成为新兴的业务增长点,也是摆脱管道化困境的机遇。以移动通信网络为基础发展通信定位网络需要解决定位精度的问题,可从以下两个方面着手:(1)增强移动通信网络自身的定位功能,可以通过构建地面高精度无线定位网解决通信网定位的关键瓶颈,同时引入基于设备到设备(D2D)辅助定



▲图2 通信定位一体化网络

位技术进一步增强定位精度;(2)异构定位系统的融合,引入地面伪卫星、Wi-Fi定位、UWB定位以及RFID定位等技术,为其设计相应的接口使其能够与通信网络交互信息,融合定位结果以提高定位精度。

5 结束语

随着移动互联网的兴起与不断发展,定位产业迎来了前所未有的发展机遇。为了满足未来智能化社会需求,解决定位精度和定位覆盖两大核心问题,从未来5G的多种演进途径可以看到未来定位技术的两个趋势:融合定位趋势和通信定位一体化趋势。现有的各种定位技术都无法同时满足覆盖范围与定位精度的需求,而现有移动通信网络具有覆盖范围大、设备兼容性高等特点,通过构建融合的地面定位网有助于提高定位精度和室内区域定位覆盖。同时,移动通信网不仅是管道,将有机形成地面定位网,并在网络结构和定位技术层面和通信网一体化发展。室内外一体化覆盖的高精度定位服务不但将在室内导航、商品索引、特殊人员照理等新兴市场有巨大的需求,而且对传统行业的改造升级具有巨大的促进作用,如:能在智能社会中的智能交通、动物管理、智能环保等方面创造巨大的社会和经济效益。现有的定位技术都无法同时满足覆盖范围与定位精度的需求,而现有移动通信网络具有覆盖范围大、设备兼容性高等特点。因此,以移动通信网络为基础,构建覆盖室内外环境的通信定位一体化网络是满足未来移动互联网中定位需求的最佳解决方案。

参考文献

- [1] ZICKUHR K. Location-Based Services[EB/OL]. (2013-09-12)[2017-07-15]. <http://www.pewinternet.org/2013/09/12/location-based-services/>

- [2] 翟红生,于海鹏. 在线社交网络中的位置服务研究进展与趋势[J]. 计算机应用研究, 2013, 30(11): 3221-3227. DOI: 10.3969/j.issn.1001-3695.2013.11.004
- [3] 周傲英,杨彬,金淑清,等. 基于位置的服务:架构与进展[J]. 计算机学报, 2011, 34(7): 1155-1171. DOI: 10.3724/SP.J.1016.2011.01155
- [4] 唐科萍,许方恒,沈才樑. 基于位置服务的综述[J]. 计算机应用研究, 2012, 29(12): 4432-4436. DOI: 10.3969/j.issn.1001-3695.2012.12.006
- [5] BENSKY A. Wireless Positioning Technologies and Applications[M]. USA: Artech House, 2016
- [6] SAYED A H, TARIGHAT A, KHAJEHNOURI N. Network-Based Wireless Location: Challenges Faced in Developing Techniques for Accurate Wireless Location Information [J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2005, 22(4): 24-40. DOI: 10.1109/MSP.2005.1458275
- [7] CONTI M, WILLEMSSEN J, CRISPO B. Providing Source Location Privacy in Wireless Sensor Networks: A Survey[J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2013, 15(3): 1238-1280. DOI: 10.1109/SURV.2013.011413.00118
- [8] ZENG Y, CAO J, HONG J, et al. Secure Localization and Location Verification in Wireless Sensor Networks: A Survey[J]. The Journal of Supercomputing, 2013, 64(3): 685-701. DOI: 10.1007/s11227-010-0501-4
- [9] 吴翠先,张功国,杨映红. 从网络层架构论运营商管道化趋势[J]. 数字通信, 2013 40(1): 48-51. DOI: 10.3969/j.issn.1001-3824.2013.01.011
- [10] 韦乐平. 电信业的未来与去电信化的思考[J]. 现代电信科技, 2013, (03): 1-6
- [11] HOFMANN-WELLENHOF B, LICHTENEGGER H, COLLINS J. Global Positioning System: Theory and Practice[M]. New York: Springer Science & Business Media, 2012.
- [12] NOURELDIN A, KARAMAT T B, GEORGY J. Fundamentals of Inertial Navigation, Satellite-Based Positioning and Their Integration [M]// Global Positioning System. Berlin: Springer, 2013: 65-123
- [13] GOSWAMI S. Indoor Location Technologies [M]// Global Positioning System. New York: Springer, 2013: 51-63
- [14] DUBEY A K. Understanding An Orogenic Belt[M]// Global Positioning System. New York: Springer, 2014: 215-230
- [15] TAKAHASHI S. Transmission Power Control of Terrestrial Pseudo Satellite Signal for Global Navigation Satellite Systems[C]// TENCON 2012-2012 IEEE Region 10 Conference. USA: IEEE, 2012: 1-5. DOI: 10.1109/TENCON.2012.6412250
- [16] FENG J H, DENG L. Research on Geometric Layout of Pseudo-Satellite in the Small Airport[J]. Applied Mechanics and Materials, 2014, 651: 495-498. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.651-653.495
- [17] CHAN E C L, BACIU G. Differential GPS and Assisted GPS[M]// Introduction to Wireless Localization: With iPhone SDK Examples. New Jersey: John Wiley & Sons, Ltd, 2012: 157-184
- [18] PATEL V. Are We Living In a World Full of Lies?-Can We Trust Assisted GPS

Technology to Provide Accurate Data When Using Location Based Services?[EB/OL]. (2016-10-20)[2017-07-14]. <https://computing.darby.ac.uk/c/wp-content/uploads/2015/10/V-Patel.pdf>

- [19] 魏菲,李允俊,金华. 使用位置指纹算法的WiFi定位系统设计[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2014, 14(5): 29-32.
- [20] LIU H, YANG J, SIDHOM S, et al. Accurate WiFi Based Localization for Smartphones Using Peer Assistance[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2014, 13(10): 2199-2214. DOI: 10.1109/TMC.2013.140
- [21] LAI Y L, CHENG J. A Cloud-Storage RFID Location Tracking System[J]. IEEE Transactions on Magnetics, 2014, 50(7): 1-4. DOI: 10.1109/TMAG.2014.2303810
- [22] LEE S, HA K N, LEE K C. A Pyroelectric Infrared Sensor-Based Indoor Location-Aware System for the Smart Home[J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2006, 52(4): 1311-1317. DOI: 10.1109/TCE.2006.273150
- [23] 苏松,胡引翠,卢光耀,等. 低功耗蓝牙手机终端室内定位方法[J]. 测绘通报, 2015 (12): 81-84. DOI: 10.13474/j.cnki.11-2246.2015.385
- [24] 王凡,彭勇. 基于TDOA的室内超声波定位方法的改进[J]. 计算机技术与发展, 2014, 24(6): 250-252. DOI: 10.3969/j.issn.1673-629X.2014.06.063
- [25] 3GPP. Release 9[EB/OL]. (2010-03)[2017-07]. [http://www.3gpp.org/specifications/releases/71-release-9\[EB/OL\].](http://www.3gpp.org/specifications/releases/71-release-9[EB/OL].)

作者简介



陈诗军,中兴通讯股份有限公司高级工程师,CCSA ST7副主席、室内定位工作组组长,北斗技术与应用委员会副主席;主要研究方向为5G、室内定位技术、MIMO等;曾获深圳科技贡献奖、广东省科技进步奖二等奖、深圳科技进步一等奖、中国通信学会科技奖等10项科技奖;已发表论文30余篇。



王慧强,哈尔滨工程大学教授、博士生导师;主要研究方向为未来网络、网络安全和室内定位等;曾获省部级以上奖励11项;已发表论文400余篇,其中SCI检索20余篇,EI检索160余篇。



陈大为,中兴通讯股份有限公司高级工程师;主要研究方向为5G、室内定位等。