

5G室内定位技术的现网部署研究

Research on On-Site Deployment of 5G Positioning Technology

陶伟宜¹, 伍林伟², 张芳², 陈云¹ (1. 华信咨询设计研究院有限公司, 浙江 杭州 310052; 2. 中国电信浙江分公司, 浙江 杭州 310001)

Tao Weiyi¹, Wu Linwei², Zhang Fang², Chen Yun¹ (1. Huaxin Consulting Co., Ltd., Hangzhou 310052, China; 2. China Telecom Zhejiang Branch, Hangzhou 310001, China)

摘要:

5G网络可以直接利用5G的定位能力或利用5G的通信能力回传定位信息,从而将通信能力和定位服务整合到一张网中,使用户可以在不同场景下无缝切换,获得连续、一致的通信和位置信息服务。首先介绍了5G定位技术的网络架构和基本原理,并与其他室内定位技术进行了对比分析;随后通过一个现网试点案例,展示了采用5G定位的实际效果;最后给出了不同场景下的网络部署建议。

关键词:

5G定位;基于位置的服务;上行到达时间差定位法;增强小区识别码定位技术

doi: 10.12045/j.issn.1007-3043.2025.06.010

文章编号: 1007-3043(2025)06-0052-05

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Abstract:

5G network can directly use the positioning capability of 5G or use the communication capability of 5G to return positioning information, so that the communication capability and positioning services can be integrated into a network, so that users can seamlessly switch in different scenarios and obtain continuous and consistent communication and location information services. It first introduces the network architecture and basic principles of 5G positioning technology, and compares and analyzes it with many indoor positioning technologies. Then it demonstrates the actual effect of using 5G positioning through a pilot case on a current network. Finally, recommendations for network deployment in different scenarios are provided.

Keywords:

Positioning technology based on 5G; LBS; UTDOA; ECID

引用格式: 陶伟宜, 伍林伟, 张芳, 等. 5G室内定位技术的现网部署研究[J]. 邮电设计技术, 2025(6): 52-56.

1 概述

定位业务的起源可以追溯到上世纪初的无线电定位技术,其最初的发展主要受第二次世界大战军事需求的推动。随着数字蜂窝移动通信系统的推广,定位业务开始进入民用领域。基于移动通信运营商的基站进行定位,获取移动手机或终端用户的位置信息,从而为各种应用提供便利^[1]。

目前,定位服务在工业、军事、农业、商业、物流等

领域都有着广泛的应用,并且其需求还在持续增长。同时,随着室内定位需求的增加,室内定位技术的研究也在不断深入。如果借助5G网络将通信和定位服务整合到一张网中,直接利用5G的定位能力或利用5G回传定位信息等,用户可以在不同场景下无缝切换,获得连续、一致的位置信息服务,这不仅可以提升用户体验,还可以为各种行业应用提供更加丰富的数据支持^[2]。

本文通过研究5G定位技术,结合5G定位精度误差,分析了5G定位技术在业务应用上的可行性。移动通信运营商的网络解决方案可以将位置信息与业务

收稿日期: 2025-05-07

数据相结合,更好地助力行业数字化转型。

2 5G室内定位技术研究

定位服务按场景可分为室外定位和室内定位。北斗等定位方式可以在全球范围内提供高精度、高精度的位置信息,但是在室内环境存在较大局限,无法满足新增的各行各业室内应用的需求^[3-4]。目前研究比较多的几种室内定位技术有蓝牙 iBeacon(低功耗蓝牙)、蓝牙 AoA(Angle of Arrival)、5G 蜂窝定位、超宽带(Ultra Wide Band, UWB)定位、Wi-Fi 定位、基于视觉的即时定位与地图构建(visual Simultaneous Localization and Mapping, vSLAM)定位等。各种室内定位技术在定位精度、网络建设成本和对环境要求方面都有不同的特点,具体如表 1 所示^[5-6]。

表 1 室内定位技术对比分析

定位技术	蓝牙 iBeacon	蓝牙 AoA	5G 蜂窝	UWB	Wi-Fi	vSLAM
定位精度	米级	亚米级	米级	分米级	亚米级	厘米级
终端支持	好	好	好	较差	好	较差
网络成本	较高	较高	低	高	较高	较低
环境要求	较低	较高	较低	高	较高	较低

相比较而言, Wi-Fi、蓝牙、UWB 等定位方式需部署定位信标或对已有网络进行信号采集形成指纹库^[7], vSLAM 需要采集并构建点云图,而 5G 定位无需单独建网,可通过已有移动网络能力升级引入米级定位能力。

综合对比分析以上定位技术可知, 5G 蜂窝定位既可以通过宏基站实现室外粗定位,也可以通过室内小基站实现室内精定位,在提供移动通信服务的同时实现室内外定位同步。当然,为了适应更加广泛的定位场景,在实践中还可以叠加 5G+北斗、5G+蓝牙或 5G+UWB 等利用 5G 回传的融合定位技术来满足更多不同的要求。这样可以充分发挥 5G 通信和定位“一张网”的综合优势,大幅拓展定位场景,为各种定位需求提供更多的选择^[8-9]。

2.1 5G粗定位技术

5G 粗定位技术包括蜂窝小区识别码(Cell Identity, Cell ID)和增强蜂窝小区识别码(enhanced Cell ID, ECID)技术,当前它们均有一些商用的场景。

2.1.1 Cell ID 定位技术

Cell ID 定位技术是基于移动通信网络中每个小区都有一个全球唯一的标识符(即 Cell ID)来区分不

同的蜂窝小区,且 Cell ID 在整个小区的生命周期内保持不变来实现定位。

Cell ID 定位技术的实现机制为:定位平台向核心网发送信令,查询终端所在小区 Cell ID,无线网络上报终端所处的小区号,定位平台基于小区号和服务基站之间的对应关系,可翻译成经纬度坐标,即可估算出用户大致位置。

基于 Cell ID 的粗定位几乎不受终端和定位区域的限制,虽然定位方法简单且易于实现,但是其定位精度却受到基站分布密度和信号覆盖范围的限制,通常约为 1/2 站间距,即几百米到几公里之间^[10]。

虽然 Cell ID 技术在室外广域场景下定位精度不高,但是在某些特殊场景下(如核电厂的室内辐射区)的存在性定位,即需要确定定位终端是否在某个房间或封闭空间的情况,可以借助 Cell ID 技术来实现。比如,需要定位精度到某个房间级/楼层级的存在性定位,在每个房间/楼层部署一个 pRRU,定位平台建立小区 ID 和房间/楼层的映射关系,根据终端 Cell ID 信息即可展示终端所处的房间/楼层。

2.1.2 ECID 技术

为了进一步提高定位的精度, Cell ID 定位技术还可以结合信号强度测量、到达时间差测量等,来获得更详细的位置信息,从而实现对终端位置的更精确估计。

ECID 技术的实现原理是通过服务小区和邻区的无线资源管理(Radio Resource Management, RRM)测量信息来估计目标 UE 的位置,它包括以下 2 种实现方式。

a) 下行增强蜂窝小区识别码(DL-ECID)。终端基于 RRM 的测量结果反馈 SSB(Synchronization Signal Block)、CSI-RS(Channel-State-Information Reference Signal)的 RSRP 和 RSRQ,该方式需要终端支持。

b) 上行增强蜂窝小区识别码(UL-ECID)。除了支持基站反馈 SSB、CSI-RS 的 RSRP 和 RSRQ,还支持测量服务基站的 UL-AOA。此方式对 5G 终端无特殊要求。

ECID 技术的定位精度取决于 pRRU 间距和密度,相对 Cell ID 技术有较大幅度的提升,精度可以缩小至 1/3 站间距。

2.2 5G精定位技术

5G 精定位技术包括 DL-TDOA、UL-TDOA(UTDOA)、UL-AOA、DL-AOD、Multi-RTT 等,从当前

产业链的发展来看,受需求和自身技术限制,仅UTDOA技术在室内场景下具备商用推广的能力^[11]。

2.2.1 5G定位网络架构

3GPP TS 23.273定义了5G定位的相关架构,它由UE终端、5G无线接入网和5G核心网组成(见图1)。

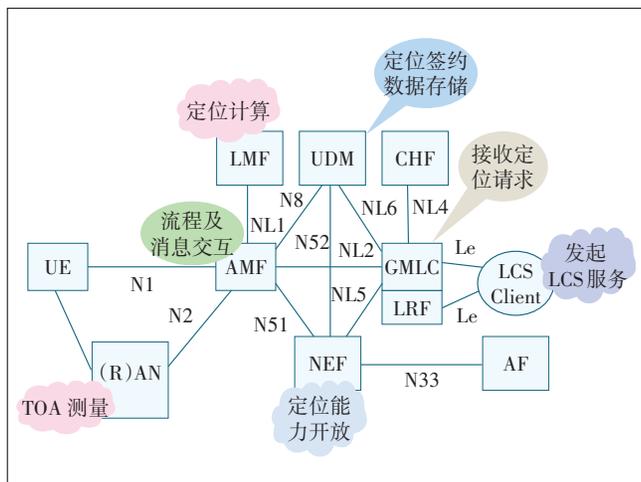


图1 5G定位的网络架构

相对5G标准网络架构,5G定位网络架构新增的网元及功能如表2所示^[12]。

表2 5G定位网络架构网元功能

网元	功能
位置服务(Location Service, LCS)-Client	定位业务端,负责定位上层业务,包括地图显示、定位结果呈现和历史位置存储等功能。网络提供定位结果,LCS-Client负责位置业务的上层应用
GMLC	定位业务网关,负责处理LCS-Client的定位请求,并反馈定位的结果
AMF	对于定位,AMF主要负责选择LMF,并触发LCS定位的流程,负责各个接口的消息转发和透传
LMF	定位服务器,主要负责定位方法的选择,触发定位测量流程,从基站或者终端获得测量结果,进行位置解算。然后将定位结果向AMF/GMLC反馈
RAN	无线接入网,下行负责定位参考信号发送,上行负责检测UE的SRS信号,进行TOA/AOA测量。根据LMF的要求进行测量量上报,比如:SRP/TOA/AOA等
UE	上行定位终端发送SRS信号,下行定位终端接收基站发送的定位参考信号并测量,将测量结果通过LPP消息上传LMF

5G室内定位解决方案基于3GPP TS 38.455协议标准架构实现UTDOA定位流程,其中gNB完成无线信号特征的测量和上报,LMF负责用户位置的解算,并通过GMLC对外能力开放,LCS Client向上为第三方APP提供位置服务,向下从GMLC处订阅位置服务^[13]。

5G定位通常是由外部的定位应用向定位平台发

起位置服务请求,希望获取终端的位置信息。在网络侧通过如图2所示信令流程来获取位置信息。

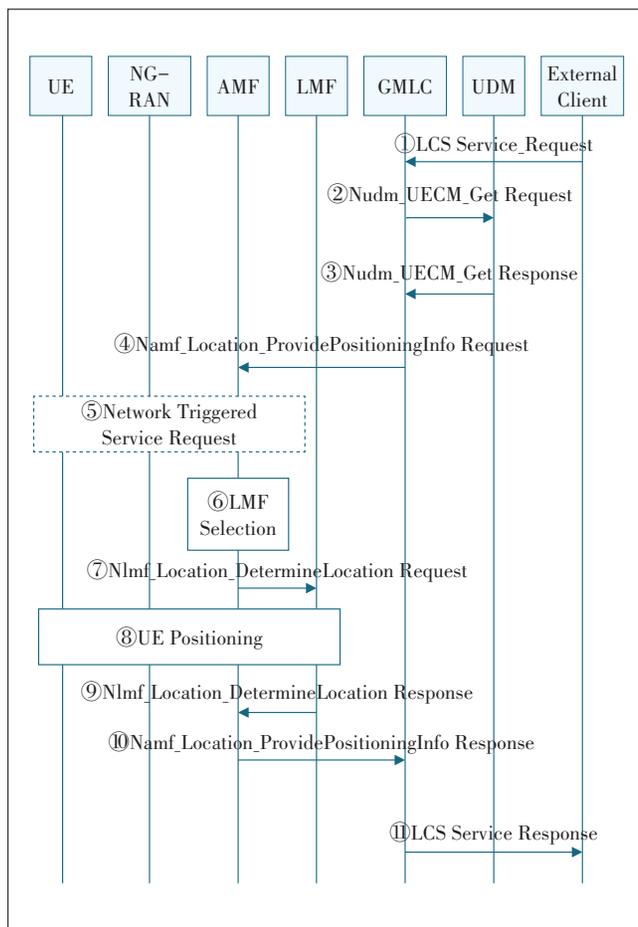


图2 5G定位信令流程

基于5G定位信令流程,定位平台向定位应用返回位置结果,定位应用就可以提供各种位置相关服务。

2.2.2 5G UTDOA定位技术原理

UTDOA是基于上行到达时间差(TDOA)的定位方法,使用多个位置的pRRU测量UE发送的上行参考信号SRS的到达时间,来求解UE的位置坐标。UE发送SRS信号,若干个pRRU测量SRS信号到达pRRU的时间,并上报到LMF,LMF通过多个到达时间的差值折算出UE到几个pRRU之间的距离差,进而确定若干条双曲线,利用这些双曲线的交点定位出UE的位置(见图3)^[14]。

具体到计算上,以4个基站联合定位为例,如果已知的各个基站的三维坐标表示为 (x_i, y_i, z_i) ,待求解的UE的三维坐标表示为 (x, y, z) ,那么根据距离差求解UE坐标的计算公式如下:

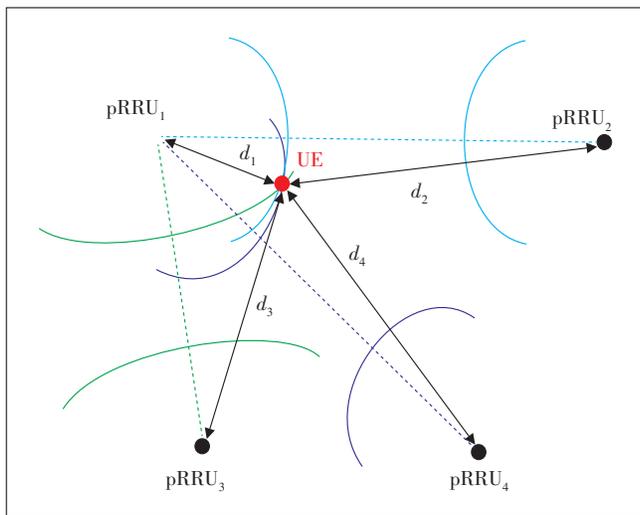


图3 UTDOA技术原理

$$\sqrt{(x-x_2)^2+(y-y_2)^2+(z-z_2)^2}-\sqrt{(x-x_1)^2+(y-y_1)^2+(z-z_1)^2}=d_2-d_1 \quad (1)$$

$$\sqrt{(x-x_3)^2+(y-y_3)^2+(z-z_3)^2}-\sqrt{(x-x_1)^2+(y-y_1)^2+(z-z_1)^2}=d_3-d_1 \quad (2)$$

$$\sqrt{(x-x_4)^2+(y-y_4)^2+(z-z_4)^2}-\sqrt{(x-x_1)^2+(y-y_1)^2+(z-z_1)^2}=d_4-d_1 \quad (3)$$

其中, d_2-d_1 、 d_3-d_1 、 d_4-d_1 距离差是利用SRS信号的到达时间进行测算的。由于SRS信号的到达时间是在基带计算的,即图4中的TA,TA既包含了信号在空间中的传播时间 T ,又包含了接收机天线到基带的通道时延 R 。

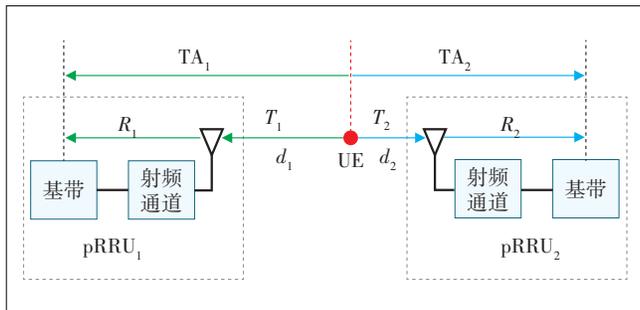


图4 TA测量结果与距离差关系说明

由上述定位原理可以看出,UTDOA技术的定位精度主要取决于距离差测量的准确性,因此基站在上报测量结果(RTOA)前,要对其进行校准,去除通道时延

R ,避免其带来的定位误差。目前业界主要采用通道时延拉齐技术进行时延校准,通道时延拉齐技术的原理为:各pRRU按照一定的周期互发信号,BBU计算出各信号的到达时间,根据pRRU的位置信息(已知)计算出各通道时延差值。后续在定位测量中,用通道时延差值对SRS到达时间进行补齐,即可保证各通道时延相同。在计算时,通过距离差的计算方式可以将其抵消,可消除内部时延导致的定位误差,如式(4)所示,当 R_2 和 R_1 相等时,两者可抵消。

$$d_2-d_1=c(T_2-T_1)=c[(TA_2-RA_1)-(R_2-R_1)] \quad (4)$$

2.2.3 5G定位精度误差

5G室内单次定位精度误差指的是每次通过5G网络定位得到的用户位置与用户真实坐标位置的偏差。针对某一次定位,假设5G网络定位输出的用户坐标为 $(pos\ x, pos\ y)$,用户真实坐标位置为 $(Real\ x, Real\ y)$,则该次定位的误差计算公式为:

$$error(m)=\sqrt{[(pos\ x-Real\ x)^2+(pos\ y-Real\ y)^2]}/100 \quad (5)$$

由于空口无线环境的不确定性,定位精度允许存在一定概率的误差,即定位的“精确度”,对定位精度误差的评定,一般使用 $x\ m@90\%$,指的是对某一个固定用户位置重复多次测试,分别计算每次定位的误差,然后进行分布统计,90%的样本落在以目标位置为圆心、半径为 $x\ m$ 的圆内。

网络建设的规模直接影响定位的精度,在实际网络部署时,应基于定位精度与成本之间的平衡,根据业务需求来确定一个合理的精度范围。

3 基于5G的定位业务网络验证及部署建议

为了验证室内定位的效果,本文选择了一些典型的室内场地进行测试。具体情况如下。

- 定位区域采用3.5 GHz数字化室分覆盖。
- 定位区域达到3个pRRU视距(Line of Sight, LOS)可视。
- 在边界区域,有pRRU沿定位区域边界部署。
- 定位区域中间有立柱的,pRRU设置在距离立柱3 m以外。

具体选择了3个室内场地,部署4个以上室分站,采用Sub 6 GHz频段100 MHz带宽,基于UTDOA定位方法,对定位精度进行了测试,具体测试数据如表3所

表3 5G室内定位测试对比分析

参数	测试1	测试2	测试3	测试4
场地类型	某商场B4停车场	某大厦8楼办公区	某机房4楼实验室	
场地描述	环境空旷,层高约2.5 m	层高约3.5 m	机房外(无遮挡)	机房内(遮挡环境,放置有2排机柜)
定位区域/m	17×35	46×42	15×10	
pRRU	6	7	4	
pRRU间距/m	小于20	约15	小于10	
无遮挡(90%定位精度)/m	1.2	1	1.2	-
有遮挡(90%定位精度)/m	5.2	3.7	-	1层机架3.9 2层机架5.4

示。

从现场测试情况看,在无线环境较好的情况下,室内定位精度能达到1~5 m,能够满足大多数场景下的定位需求。

根据经验推而广之,针对有定位需求的典型场景,如园区、交通枢纽以及地下停车场等,建议采用如表4所示的部署方式。

表4 不同场景5G室内定位部署建议

场景	业务场景	定位精度/m	部署建议
园区/厂区	人员定位、安全围栏、工具查找等定位业务需求	1~3	相邻pRRU的部署间距要求12~15 m;存在信号衰减严重的遮挡区域,相邻pRRU的部署间距要求为10~12 m
	人员调度、在岗考勤、人员巡更、资产监查、入库盘点等定位需求	3~5	相邻pRRU的部署间距建议为18~20 m;存在信号衰减严重的遮挡区域,相邻pRRU的部署间距要求为15~18 m
交通枢纽	个人导航等定位业务需求	3~5	相邻pRRU的部署间距要求为20~24 m。阻断有遮挡区域,相邻pRRU的部署间距要求为15~20 m
地下停车场	个人导航、车辆定位等业务需求	3~5	相邻pRRU的部署间距要求为20~24 m

4 总结

未来定位业务应用在大众市场与政企市场的需求将逐渐增多,公众用户有位置信息查询、路线规划、周边搜索、导航服务、监控关爱等需求,利用5G定位技术可以提供高效的引导服务和动态分析手段,帮助管理者提升运营效率,有助于推动各行业的智能化和数字化转型;政企用户有对外营销、考核/考勤管理、移动资源监控管理、人员安全监控、地图导航等需求,5G定

位技术可以提升管理效率和作业效率,实现智能仓储、生产过程追踪、自动货物搬运与加工,从而达到降本增效的目的^[15]。

随着定位需求的逐渐增多,位置服务将受到越来越多的追捧,这也为运营商5G室内室外定位新业务的开展与收入增长打下了基础。

参考文献:

- [1] 许伟,郭晓娜,陈康,等.移动蜂窝网络定位技术综述[J].湘潭大学学报(自然科学版),2024,46(1):44-57.
- [2] 司福强.5G+泛无线融合技术在地铁施工人员定位中的研究[J].铁路通信信号工程技术,2024,21(2):89-95.
- [3] 王婷婷.5G非地面网络技术研究[J].广播与电视技术,2024,51(2):31-34.
- [4] 邓中亮,王翰华,刘京融.通信导航融合定位技术发展综述[J].导航定位与授时,2022,9(2):15-25.
- [5] 宋大为,袁少春,马良斌,等.基于5G物联网卡的通信与定位一体化解决方案及应用[J].无线互联科技,2024,21(1):17-20.
- [6] 张琳.基于5G+UWB+激光雷达信息融合的室内定位研究[J].长江信息通信,2023,36(10):126-128.
- [7] 魏果,罗向阳,王博,等.室内无线传感器网络定位技术的研究与发展[J].工业信息安全,2022(1):58-70.
- [8] 金耀,周又眉,张贺,等.北斗+5G融合定位技术研究及应用进展[J].全球定位系统,2023,48(4):12-18.
- [9] 赵存,肖子玉,韩研,等.面向5G的定位技术发展及融合演进研究[J].电信工程技术与标准化,2022,35(7):77-82.
- [10] 李健翔.5G移动通信网的定位技术发展态势[J].移动通信,2022,46(1):96-100,106.
- [11] 宋伟伟,林巍,楼益栋,等.北斗+5G时空基准的TDOA定位方法研究[J].武汉大学学报(信息科学版),2023,48(7):1170-1179.
- [12] 洪雪敏,许雪婷,彭敖,等.基于5G移动通信系统融合定位的关键技术与系统架构演进[J].厦门大学学报(自然科学版),2021,60(3):571-585.
- [13] 张诗壮,李俊强,陈诗军.5G NR定位技术及其部署方案[J].中兴通讯技术,2021,27(2):49-53.
- [14] 李娜娜.面向5G移动通信网的高精度定位技术探讨[J].通信电源技术,2021,38(1):235-237,240.
- [15] 赵军辉,李一博,王海明,等.6G定位的潜力与挑战[J].移动通信,2020,44(6):75-81.

作者简介:

陶伟宜,毕业于浙江大学,正高级工程师,硕士,主要从事核心网网络规划设计及软课题研究工作;伍林伟,毕业于杭州电子科技大学,高级工程师,学士,主要从事4G/5G核心网维护及演进优化研究工作;张芳,毕业于北京邮电大学,高级工程师,硕士,主要从事核心网网络规划建设;陈云,毕业于伯明翰大学,高级工程师,硕士,主要从事无线网网络规划设计及软课题研究工作。