



面向智慧园区的 5G 室内高精度定位技术研究

汪保友¹, 杨景涛², 姚赛彬¹, 叶海纳³, 王志会⁴, 张祺媛³, 傅俊锋⁴, 金泰石⁵

(1. 中国联通上海市分公司, 上海 200080;

2. 光大期货有限公司, 上海 200127;

3. 中国联通智能城市研究院, 北京 100048;

4. 中国联合网络通信集团有限公司, 北京 100033;

5. 中国联通广东省分公司, 广东 广州 510660)

摘要: 5G 蜂窝网络在为终端提供无线通信功能的同时, 还可以提供定位功能。首先简要概述 3GPP 5G 定位技术, 接着提出 5G 室内定位技术路线, 包括云边协同一体化定位架构、5G+X 融合定位方案, 以及智慧园区 5G 定位解决方案, 详细分析了智慧园区 5G 定位架构和流程。这些定位方案路线可无缝解决 GNSS 信号无法到达区域的人或物的位置定位问题, 满足不同场景下的定位精度和定位时效性需求。相关技术方案已落地行业应用, 具有米级定位精度和秒级时效性, 得到客户的良好评价。

关键词: 5G; 室内定位; 融合定位; 定位方案

中图分类号: TN929.5

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2023172

Research on 5G high-precision indoor positioning technology for smart parks

WANG Baoyou¹, YANG Jingtao², YAO Saibin¹, YE Haina³,

WANG Zhihui⁴, ZHANG Qiyuan³, FU Junfeng⁴, JIN Taishi⁵

1. Shanghai Branch of China United Network Communications Co., Ltd., Shanghai 200080, China

2. Everbright Futures Co., Ltd., Shanghai 200127, China

3. China Unicom Smart City Research Institute, Beijing 100048, China

4. China United Network Communications Group Co., Ltd., Beijing 100033, China

5. Guangdong Branch of China United Network Communications Co., Ltd., Guangzhou 510660, China

Abstract: The 5G cellular network not only provides wireless communication capabilities for terminals but also offers positioning functionalities. Firstly, the 3GPP 5G positioning technology was briefly outlined, followed by the proposal of the 5G indoor positioning technology road-map. The cloud-edge collaborative integrated positioning architecture, the 5G+X fusion positioning solution, as well as the 5G positioning solution for smart parks were included, with a detailed analysis of the architecture and process. These positioning solutions seamlessly addressed the issue of

收稿日期: 2023-06-07; 修回日期: 2023-09-01

基金项目: 中国联通核心技术攻关项目 (No.2022-HXGG-AA2-017)

Foundation Item: China Unicom Core Technology Research Project (No.2022-HXGG-AA2-017)



locating people or objects in areas where GNSS signals cannot reach, which could meet the positioning accuracy and timeliness requirements in different scenarios. The technology solution has been applied in the industry with meter-level positioning accuracy and second-level timeliness, which has been well evaluated by customers.

Key words: 5G, indoor positioning, fusion positioning, positioning scheme

0 引言

据统计,人们的日常活动,有80%以上发生在室内,室内定位的需求越来越强烈。室内环境、密集城区的室内全球导航卫星系统(global navigation satellite system, GNSS)卫星信号弱,无法满足室内业务位置服务的需求。作为“新基建”之首,5G是促进经济社会数字化、网络化、智能化转型的重要引擎,工业和信息化部发布的2022年通信业统计公报显示,目前我国5G基站总量已达231.2万个,占全球比例超过60%,当之无愧是全球规模最大的5G网络,基于5G的高精度定位逐渐成为室内定位的研究热点。基于位置的服务(location-based service, LBS),从定位技术看,包括北斗等GNSS卫星定位、5G空口定位、5G室分定位、蓝牙定位、超宽带(ultrawideband, UWB)定位、Wi-Fi定位、同步定位与地图构建(simultaneous localization and mapping, SLAM)等;从服务类型看,包括援助服务(如紧急医疗服务、紧急定位等)、基于位置的行业应用服务(如智慧城市、智慧园区、车联网等)、广告服务(促销打折信息)、基于位置的计费,以及追踪服务等。定位服务需要综合考虑定位精度、定位时效性、定位稳定性、定位需求的多样性。网络部署需要根据定位业务需求选择合适的定位技术。针对室内人员定位、车辆调度业务,采用提供米级定位精度的5G定位可满足业务要求;针对智能制造和仓储定位业务,定位精度要求高(亚米级定位精度),可选择5G+X融合定位,这里的X特指一些比较成熟且定位精度比较高的定位技术,包括UWB和蓝牙定位。随着5G定位技术的发展,对于后续

高精度、低功耗终端等场景的需求,长期看可考虑使用5G蜂窝定位技术逐步满足。

1 5G 定位技术概述

3GPP Release16(Rel-16)首次在5G标准中引入定位能力,要求5G定位能力达到室内3 m@80%、室外10 m@80%的精度,以满足普通商用场景米级定位的需求。Rel-16版本中引入了一些针对5G的定位方案:下行到达时间差(downlink time difference of arrival, DL-TDOA)、上行到达时间差(uplink time difference of arrival, UL-TDOA)、下行出射角(downlink angle of departure, DL-AOD)、上行到达角(uplink angle of arrival, UL-AOA)、多轮往返时间(multi-round trip time, multi-RTT)、增强小区ID(enhanced cell-ID, E-CID)。Rel-16主要定位技术对比见表1。Rel-17取消了室内与室外定位精度的差别要求,精度要求提升到水平精度1 m@90%、垂直精度3 m@90%。此外,面向物联网(Internet of things, IoT)、车与万物互联(vehicle to everything, V2X)垂直行业,提出定位增强要求,即水平精度为0.2 m@90%,垂直精度为1 m@90%,时延为100 ms。在Rel-18中,在终端低功耗、定位高精度方面寻求突破,并研究载波聚合提升定位精度的可行性^[1-12]。

总体来说,5G网络在定位技术方面具备一些天然的优势,如大带宽(时间分辨率高),采用大规模多输入多输出(massive multi-input multi-output, mMIMO)技术,具有更高分辨率的波束,可以实现更高精度的测距和测角。同时,5G定位有发展优势:“授权频谱无干扰,一网两用效率高;行业应用效果好,协议演进有路标”。

表 1 Rel-16 主要定位技术对比

定位技术	定位原理	优缺点
基于下行的定位技术	DL-TDOA	终端测量两个基站发送的下行定位参考信号到达时间差；利用至少 3 个基站测量得到的时间差确定两条双曲线，其交点即终端位置 优点：下行定位参考信号可以配置更大的带宽，定位精度较高。 缺点：要求基站间严格同步；需要终端支持高精度的测量和上报
	DL-AOD	基站发送多个下行定位参考信号波束，终端测量参考信号接收功率（reference signal receiving power, RSRP）；利用至少两个基站测得的波束方向，其交点即终端位置 目前标准中支持的 DL-AOD 仅能利用 RSRP 判断终端的波束信息，颗粒度较大，定位性能受限
基于上行的定位技术	UL-TDOA	原理与 DL-TDOA 相同，为终端发送上行定位参考信号，至少 3 个基站测量到达时间差 优点：仅需终端支持上行参考信号发送即可实现定位，实现复杂度低。 缺点：要求基站间严格同步；定位精度受限于终端上行资源和发送功率
	UL-AOA	原理与 DL-AOD 类似，为终端发送上行定位参考信号，至少 3 个基站测量上行到达角 优点：仅需终端支持上行参考信号发送即可实现定位，实现复杂度低。 缺点：依赖较高的天线阵子数；对多径敏感。尚未得到规模商用。适用于室外宏基站场景
上下行结合定位技术	E-CID	终端测量基站发送的下行定位 RSRP/参考信号接收质量（reference signal receiving quality, RSRQ）；或者，基站与终端互发参考信号测量 Rx-Tx 时间差以得到往返时间（round trip time），确定终端所在的圆，结合 DL-AOD 或 UL-AOA 得到的角度信息，其与圆的交点即终端位置 优点：仅靠单站即可完成定位，不受基站间同步精度的影响。 缺点：若采用基于 RSRP/RSRQ 的距离确定方案，定位精度受限；需要同时配置上下行参考信号
	multi-RTT	终端与至少 3 个基站互发参考信号，测量 Rx-Tx 时间差以得到往返时间，3 个圆的交点即终端位置 优点：不受基站间同步精度的影响。 缺点：需要同时配置上下行参考信号

考虑目前大部分用户的手机终端为 Rel-15 终端，不支持下行定位参考信号（positioning reference signal, PRS），因此现阶段应选用基于上行的定位方法。加上目前数字化室分基站的天线多为两发两收（2 transmitter/receiver, 2TR）或者四发四收（4TR），并不支持到达角（angle of arrival, AOA）估计。因此现阶段可以采用的主要是 E-CID、场强指纹及 UL-TDOA 定位方法。E-CID 是 pRRU 级别的粗定位，基本是 QCell 部署站间距的 1/2，例如，pRRU 间距为 30 m，定位精度基本在 15 m 左右；如果需求场景对定位精度要求不高，可以考虑使用这种定位。场强指纹是在 E-CID 上的增强，E-CID 按照信号强弱进行估计；场强指纹定位在定位前，离线对室内定位区域进行信号强度等特征的采集并实时录入指纹库。在在线阶段，即指纹定位阶段，测量信号特征值，将测量的信号特征值与指纹库中的预存信息进行指纹匹配，

根据匹配算法得出终端坐标位置。通过场强指纹，可提升定位精度，一般定位精度能达到站间距的 1/3~1/4；缺点是如果后期场地环境等发生变化，指纹库的维护工作量可能很大。UL-TDOA 算法使用多个位置的 pRRU 测量用户设备（user equipment, UE）发送的上行探测参考信号（sounding reference signal, SRS）的时间提前量（time advance, TA），通过计算多个参考信号时差（reference signal time difference, RSTD）测量值来求解 UE 的位置坐标。UL-TDOA 定位测量过程描述如下：UE 发送 SRS，若干个 pRRU 测量 SRS 到达 pRRU 的 TA，BBU 收集并上报测量到定位服务器，定位服务器收到基带单元（base band unit, BBU）上报的多个 TA 测量后，通过 TA 测量值的差值折算出 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，UL-TDOA 定位原理如图 1 所示。



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为 (x_i, y_i, z_i) , 待求解的 UE 的三维坐标为 (x, y, z) , 那么根据距离差求解 UE 坐标。

$$\begin{cases} \sqrt{(x-x_2)^2 + (y-y_2)^2 + (z-z_2)^2} - \\ \sqrt{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2 + (z-z_1)^2} = d_2 - d_1 \\ \sqrt{(x-x_3)^2 + (y-y_3)^2 + (z-z_3)^2} - \\ \sqrt{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2 + (z-z_1)^2} = d_3 - d_1 \\ \sqrt{(x-x_4)^2 + (y-y_4)^2 + (z-z_4)^2} - \\ \sqrt{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2 + (z-z_1)^2} = d_4 - d_1 \end{cases} \quad (1)$$

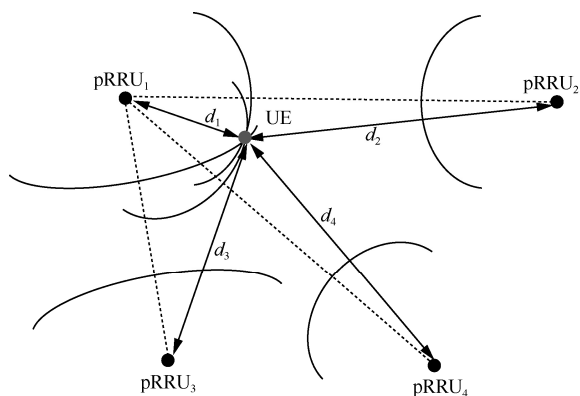


图1 UL-TDOA 定位原理

2 5G 室内定位路线

2.1 总体定位架构

面向智慧园区的定位服务, 总体定位架构可分为终端层、网络层(定位网络和通信网络)、平台层、业务层 4 层^[7-9], 如图 2 所示。

- 终端层: 核心是定位芯片, 定位芯片作为终端产品的关键部件, 极大地影响定位终端产品的核心竞争力。终端层也称感知层, 实现现实世界的数字化与智能化。
- 网络层: 指定位网络和通信网络, 目前主流的室内定位技术有 5G 室分定位、蓝牙定位、UWB 定位、Wi-Fi 定位、SLAM 定位等。
- 平台层: 主要考虑多层次定位融合能力, 基于移动边缘计算(mobile edge compu-

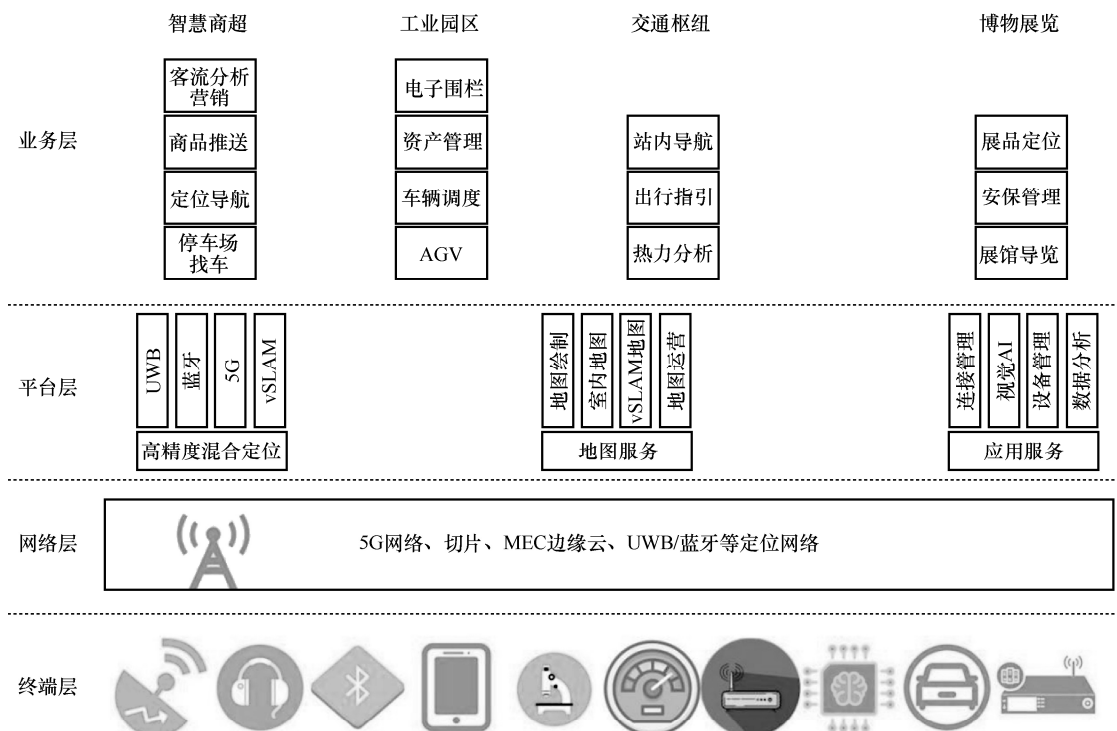
ting, MEC) 边缘云平台提供定位解算服务能力、LBS 定位能力、业务应用平台服务三方面能力, 形成融合开放系统, 提供基础定位服务, 提供统一对外接口, 将位置信息供第三方应用服务实时调用。

- 业务层: 室内场景业务纷繁, 业务层依赖于平台层提供的定位服务、地图服务等, 为各个应用场景提供丰富的服务业务。应用层是最终用户层需求的体现, 定位能力作为一个原子能力开放给各行各业的应用平台, 应用层的发展依赖于整个生态链的发展, 如终端芯片、企业平台, 直接面向最终用户, 满足需求。

2.2 融合定位方案

(1) 云边协同一体化定位

传统的定位管理模式室内外割裂, 无法做到室内定位和室外定位两套系统互联互通。但在一些重点场景, 如交通枢纽警务联动, 对人员定位的需求已经不仅是粗略的轨迹、导航; 在紧急情况下, 需要能够持续快速准确地获取移动的位置信息。而交通枢纽环境复杂, 包括室外站广场区域、人员频繁流动的入口处、人员频繁流动的站厅和站台, 以及乘车高峰人员相对密集的车厢区域, 需要持续融合定位。再比如医疗救援, 从室外区域到医院园区、室外到地下车库, 需要融合多种室内外定位技术, 以满足持续定位服务的迫切需求。对于这类需要室内外协同的定位应用场景, 本文提出云边协同一体化定位架构, 通过控制面 LBS 平台与 UWB/蓝牙低功耗(Bluetooth low energy, BLE)/Wi-Fi 室内定位平台, 实现室内外融合定位, 室内外融合定位方案如图 3 所示。在平台侧加入室分定位判断, 即可实现室内外定位的无缝切换; 利用控制面的控制优势与多种室内定位的优势, 使北斗等 GNSS 卫星定位、5G 空口定位、5G 室分定位、UWB/蓝牙定位能力互补; 通过定位平台间的标识关联实现跨平台持续定位。



注：自动导引车（automated guided vehicle, AGV）；
基于视觉的同步定位与地图构建（visual simultaneous localization and mapping, vSLAM）。

图2 智慧园区定位分层架构

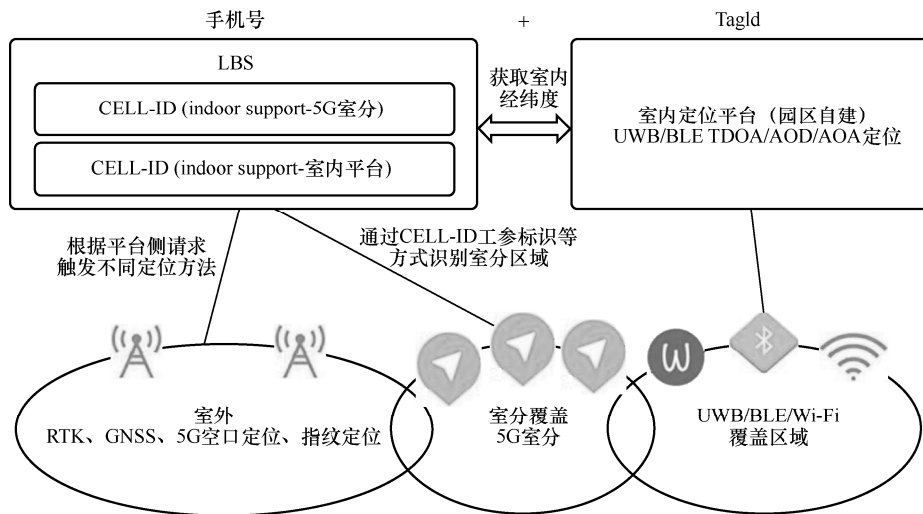


图3 室内外融合定位方案

(2) 5G+X 融合定位

一般来说，5G 空口定位主要提供公网区域室外定位能力；5G 室分定位、UWB/蓝牙定位为室内或者室外隧道、密集城区等北斗覆盖盲区提供高精度定位的补充。面向对定位精度要求比较高的应用场景，可通过 5G+X 融合定位技术，快速提供亚米

级乃至厘米级的定位精度。以 5G+UWB 融合定位为例，UWB 超宽带有脉冲无线电超宽带（impulse-radio ultra-wide band, IR-UWB）、多频带正交频分复用（multiband orthogonal frequency division multiplexing, MB-OFDM）两种主要类型，其中 IR-UWB 最适合无线电定位，IR-UWB 所发的



脉冲信号持续时间很短(1 ns 量级),在不发送数据时是完全静态的,要发送数据时才发送极窄的脉冲信号。由于这个特点,它具有很多定位优势,包括设备功耗低、不易被拦截、传输安全性高、抗干扰能力强、多径分辨能力强、穿透能力强。同时,UWB 技术具有 500 MHz 带宽,比运营商 5G 的 100 MHz 带宽有优势,从物理原理上看,无线电信号带宽越宽,定位精度就可以做得越高,受多径等环境影响就越小。由于 UWB 使用的频段资源与运营商的 5G 频段没有冲突,5G 皮基站与 UWB 基站即便放在一个外壳内,也可以独立工作互不干扰。在 5G 与 UWB-飞行时间(time offlight, TOF)/TDOA/AOA 几种技术搭配中,5G + UWB-AOA 具有最佳融合潜力,主要有如下两点原因。

- UWB-TOF/TDOA 在每个小区域至少要部署 3 个基站才能定位,而 5G 皮基站只需要 1 个就能实现通信覆盖。UWB-AOA 单区域仅需 1 个基站就能定位,与 5G 皮基站数量相同。
- UWB-TOF/TDOA 倾向于把基站部署在区域的周界,而 5G 皮基站适合部署在区域中间,以便提供最佳信号覆盖。UWB-AOA 定位基站也部署在区域中间,与 5G 皮基站位置匹配。

5G + UWB 的部署方式有如下 4 种。

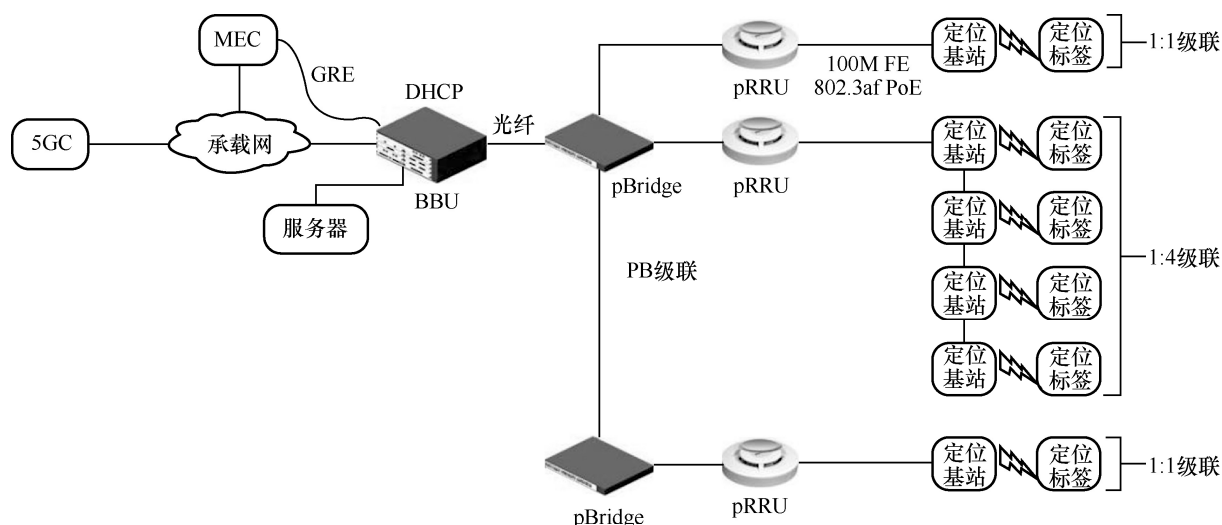
- 第一方式:把各个局部区域的 UWB 定位基站通过以太网供电(power over Ethernet, PoE)交换机汇聚连接,再把各个交换机通过 5G 客户处所设备(customer premise equipment, CPE)汇聚到中央定位服务器。在这种方式中,5G 和 UWB 为独立设备,是一种松耦合,UWB 仅借用 5G 的无线数据传输通道。定位服务器可以部署在云端,也可以通过 MEC 部署在本地服务器。这种方式现阶段比较成熟。
- 第二方式:在 UWB 基站内部增加 5G 通信的板卡(及对应用户标志模块(user identify

module, UIM)卡)。UWB 基站只供电,不连网线,每个 UWB 基站直接通过内置 5G 模组将定位数据连接到定位服务器。

- 第三方式(5G + UWB-AOA 独立部署):这种方法需要 UWB 供应商和 5G 皮基站供应商做联合开发,将 UWB 定位基站以级联串行方式或并行方式通过 PoE 交换机连到 5G 皮基站的定制 PoE 网络接口上。5G 皮基站实现 5G 信号的室内覆盖,同时提供 UWB 基站的供电和数据回传通路。定位服务器可以单独存在,也可以部署在 MEC 上。在这种方式中,UWB 定位基站借用了 5G 皮基站的供电和供网,此方式可被看作两种技术的管道级融合。
- 第四方式(5G + UWB-AOA 集成部署):是两种技术的设备级融合。将 UWB-AOA 与 5G 皮基站集成在同一设备中,定位数据通过 5G 皮基站回传到 MEC 或定位服务器。

UWB 室内定位精度可达厘米级,但设备供电、控制维护、数据上传等都是 UWB 室内定位网络发展面临的挑战。5G 通信网络包含设备侧、传输侧、网络侧等一整套设备,基础设施完备。5G+UWB 融合定位的意义在于:复用通信网络的基础设施架构,一方面可为 UWB 定位网络的数据回传提供数据通道和供电,大幅降低部署成本;另一方面可提高 5G 通信网络设备的使用效率,一网多用。此外,在实际应用及复杂室内场景下,基于成本和性能的综合考虑,需要高精度+低精度定位技术的融合,例如在工厂人员定位场景,大部分区域(过道、公共场所等)只需要 2 m 级的定位精度即可,在一些特殊的区域(危化、有毒、登高等区域)则需要亚米级的定位精度。需要在算法层面对多种定位技术做融合,开发基于多种定位算法的融合定位系统。

5G+X 融合定位系统网络拓扑如图 4 所示。定位基站连接 5G 智能室分的级联接口,获取供电



注：通用路由封装（generic routing encapsulation, GRE）；
动态主机配置协议（dynamic host configuration protocol, DHCP）；
快速以太网（fast Ethernet, FE）。

图4 5G+X 融合定位系统网络拓扑

以及数据传输通道，定位基站的定位测量数据经过5G智能室分系统（BBU、pBridge和pRRU），最终传输到MEC边缘云服务器进行定位解算。

2.3 智慧园区5G定位架构和流程

随着智慧园区5G专网业务的快速发展，5G定位业务成为众多垂直行业客户的刚性需求。考虑网络数据安全，首先，在5G专网业务中严控统一数据管理（unified data management, UDM）下沉至园区；其次，园区有数据不出园区的安全需求。现有标准定位方法需要迂回到大网，主要存在以下缺点。

- UDM网元通常部署在客户园区外，园区终端的定位请求需要与运营商远端UDM进行交互，传输时延通常增加数百毫秒，无法满足专网客户低时延的定位业务需求。
- 专网场景多数客户倾向于选用自己或第三方的定位平台以满足高精灵活的定位需求，在该场景下，专网园区客户定位平台需要与运营商大网核心网UDM和接入和移动性管理功能（access and mobility management function, AMF）交互，服务化接口的暴露增加了双边的网络安全风险。

- 针对AMF不在客户园区部署的专网场景，现有定位流程终端的原始位置信息测量报告经过基站→运营商大网AMF→客户定位平台，存在信息泄露风险，不满足“专网客户数据不出园区”的诉求。

为解决上述缺点，本文提出了一种高效、安全且灵活的5G定位解决方案，园区5G专网定位拓扑如图5所示。

在图5中，园区5G专网定位体系主要包括如下网元。

- 5G UE：5G手机终端或行业定制模组/终端，在客户园区使用，接入园区5G基站。
- 5G基站：在客户园区部署的5G基站支持5G定位功能，提供无线资源管理、调度等功能。通过N2接口采用下一代应用协议（next generation application protocol, NG-AP）与核心网AMF对接，通过N3接口采用用户面的GPRS隧道协议（GPRS tunnelling protocol for the user plane, GTP-U）与园区用户面功能（user plane function, UPF）对接。

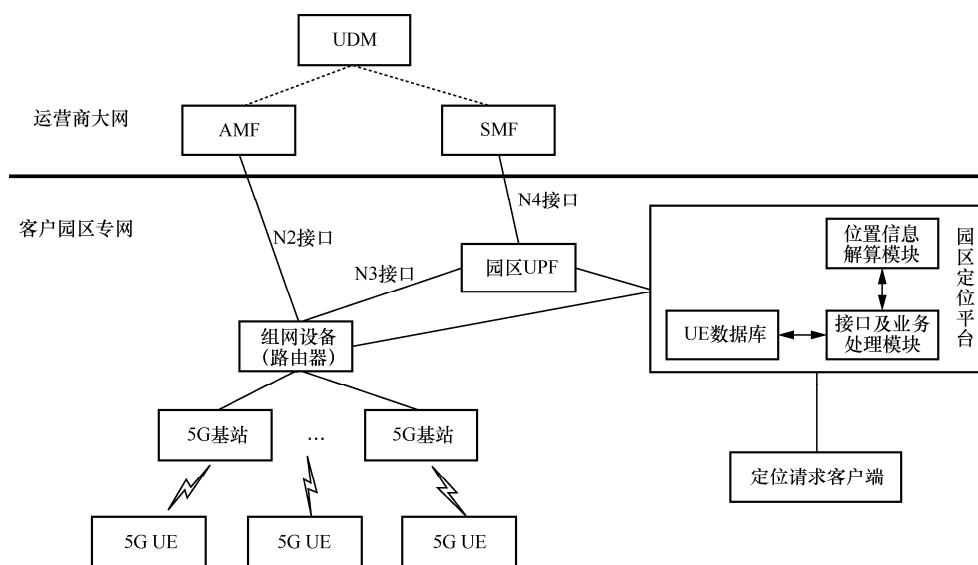


图5 园区 5G 专网定位拓扑

- 园区 UPF：在客户园区下沉部署，与园区 5G 基站通过 N3 接口对接，通过 N4 接口采用包转发控制协议（packet forwarding control protocol, PFCP）与核心网会话管理功能（session management function, SMF）对接。UPF 数据库保存有本园区所有终端 PDU 会话（session）上下文的相关信息，包括 5G 下一代用户面功能（5G next generation user plane function, NG-U）IP、隧道端点标识（tunnel endpoint identifier, TEID）、国际移动用户标志（international mobile subscriber identity, IMSI）等信息。
- 园区定位平台：负责接收处理用户定位请求，向请求端输出 UE 位置信息，在客户园区部署。接口及业务处理模块负责接收用户发起的位置请求信息、检索本端的 UE 数据库并返回对应的 UE IP、向基站发起位置报告请求、将基站返回的位置信息发送给位置信息解算模块、接收位置信息解算模块的结果并反馈给定位请求端，与基站之间通过 RESTful 协议对接，与 UPF 之间也通过 RESTful 协议对接。UE 数据库存储专网客户终端手机号、IMSI、UE IP 信息。

位置信息解算模块负责根据无线侧返回的位置测量信息解算出终端的位置。

- 定位请求客户端：开放给客户的 UE 位置信息查询客户端，可以通过多种灵活的形式（如终端 App、Web 页面等）部署，可以通过互联网或移动蜂窝网络与园区定位平台对接。
- AMF：负责 UE 的接入注册管理，通常在运营商大网部署。
- SMF：负责 UE 的会话管理，通常在运营商大网部署。
- UDM：负责 UE 的签约及鉴权数据管理，通常在运营商大网部署。

园区 5G 专网定位业务流程如图 6 所示。

图 6 的前置条件是：UE 完成开机注册，成功建立 PDU 会话。定位业务流程描述如下。

步骤 1 打开 App。

步骤 1.1 用户通过手机或计算机等客户端将 UE 的手机号/IP 地址/IMSI 作为标识，发起定位请求。

步骤 2 请求端 App 与服务端（园区定位平台）建立连接。

步骤 3 园区定位平台查询内部数据库得到 UE IP 地址，携带该参数向 UPF 发起终端位置查询请求。

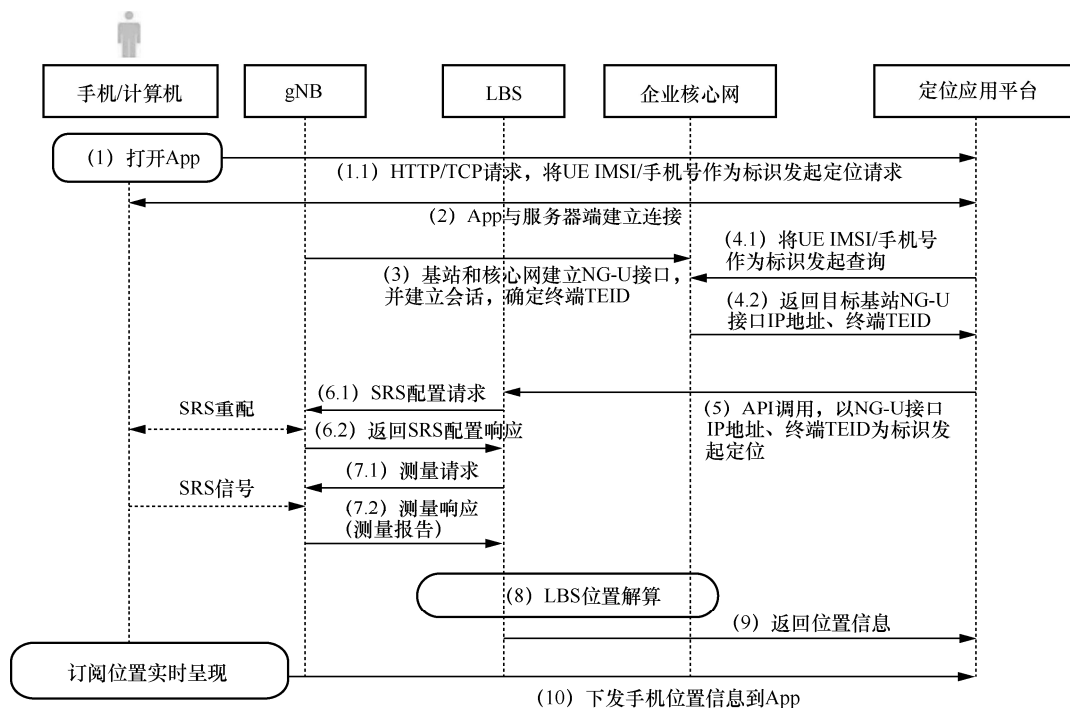


图6 园区5G专网定位业务流程

步骤4 UPF根据UE IP地址查询本端数据库,并返回UE所在基站的NG-U IP地址及终端TEID。

步骤5 API调用,以NG-U接口IP地址、终端TEID为标识发起定位

步骤6.1 园区定位平台携带NG-U IP地址及终端TEID向基站发起SRS配置请求(以基于SRS信息实现定位为例)。

步骤6.2 基站基于TEID返回对应终端的SRS配置响应。

步骤7.1 园区定位平台根据基站回复信息进一步发起测量请求。

步骤7.2 基站返回SRS测量报告(信道矩阵)。

步骤8 园区定位平台根据测量报告进行TA估计,TA代表UE与基站之间的时间信息,时域上的时间变化对应着频域上的相位旋转,因此,在全频带上,在基站侧对相邻的参考信号估计出相位差,两两估计出一个,然后对所有的相位差取平均,得到TA值。将多个基站测量的TA值发送给位置信息解算模块进行位置解算。

步骤9 园区定位平台向定位请求客户端返回UE位置信息。

2.4 5G室内定位行业应用示范

选择某展厅场馆进行5G室内定位部署试验。在展厅场景的业务管理流程中,对工作人员、访客、物资的管理,通常依靠现场业务人员和保安等进行人工监管,不仅耗时耗力,还存在人为疏忽出错等隐患。在展厅部署5G室分系统与定位平台,利用访客自身携带的5G智能手机,可实现较高精度的实时定位;配合多样化的位置服务功能,便能够在没有专人监护的情况下,对展厅内的工作人员、访客及物资进行精细化管理,在后台实时查看管控对象所在的位置及移动轨迹等,便于进行调度管理、岗位管理、物资管理及优化工作管理。可以为室内人员提供导航、室内查物等服务,可记录用户的活动轨迹,并对相关数据进行大数据分析,为其他增值业务的开发提供数据支撑。

具体实现过程:首先为需被定位的人员在定



位平台创建数字化对象,并将人员的 5G 智能手机与数字化对象绑定,用作被定位人员的定位终端。对现场人员按岗位职务不同,进行分组及个性化的命名呈现,如“业务员 1”“业务员 2”“前台 1”“访客 1”“访客 2”等。同时,为相关资产在定位平台创建对应的数字化对象(如“固定资产-计算机 1”“固定资产-计算机 2”等),并绑定用于模拟资产定位终端的 5G 智能手机。当定位平台已注册的定位终端进入定位平台的业务覆盖网络后,被定位对象的实时位置将被准确地呈现在专门绘制的室内地图上,所有对象都有一个虚拟化数字对象图标标识,实时定位功能界面如图 7 所示。在本试验场景中,通过室分基站初定位;事先进行了一些 5G NR 定位数据的指纹采集,配合 RSRP/信干噪比(signal to interference plus noise ratio, SINR)的监测,提升 5G 定位的精准度;进一步结合 5G Rel-16 版本中 UL-TDOA 的定位技术,利用定位终端上行信号传输到室分基站的时间差值,依照 TDOA 的算法做双曲线,最后分析得出定位终端的实际位置。定位精度和时效性都

具有较好的实验效果,达到米级精度、秒级时延,得到客户的良好评价。

3 结束语

工厂园区普遍存在一些管理难题,如查找监管难、盘点清查难、越界防盗难、记录追溯难、遇险告警难、超员缺员管控难。这些问题如单靠人工监管,往往耗时耗力且易出错,还存在人为疏忽出错等隐患。解决这些问题的关键在于高精度室内定位。本文对 5G 定位技术进行系统研究,提出 5G 室内定位技术路线和网络部署策略,满足不同场景的定位服务需求,可无缝解决 GNSS 信号无法到达区域的人或物的室内定位需求;相关技术方案可实现米级定位精度和秒级时效性。将本文方案应用于智慧园区管理,可大幅提升园区管理效率,减少管理疏漏和差错。

参考文献:

- [1] 王慧强,高凯旋,吕宏武.高精度室内定位研究评述及未来演进展望[J].通信学报,2021,42(7):198-210.



图 7 实时定位功能界面

- WANG H Q, GAO K X, LYU H W. Survey of high-precision localization and the prospect of future evolution[J]. Journal on Communications, 2021, 42(7): 198-210.
- [2] 万潇阳, 孙耀华, 王则予. 6G 室内定位技术原理与展望[J]. 电信科学, 2021, 37(6): 91-104.
- WAN X Y, SUN Y H, WANG Z Y. Principle and future trends of indoor positioning in 6G[J]. Telecommunications Science, 2021, 37(6): 91-104.
- [3] SHAMAEI K, KASSAS Z M. A joint TOA and DOA acquisition and tracking approach for positioning with LTE signals[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2021(69): 2689-2705.
- [4] 张琳, 张涛, 郭希蕊, 等. 智能室内定位系统研究[J]. 邮电设计技术, 2020(3): 28-32.
- ZHANG L, ZHANG T, GUO X R, et al. Research on intelligent indoor positioning system[J]. Designing Techniques of Posts and Telecommunications, 2020(3): 28-32.
- [5] 范绍帅, 荣志强, 田辉, 等. 基于载波相位的高精度室内快速定位算法[J]. 通信学报, 2022, 43(1): 172-181.
- FAN S S, RONG Z Q, TIAN H, et al. High-precision indoor fast positioning algorithm based on carrier phase[J]. Journal on Communications, 2022, 43(1): 172-181.
- [6] 纪文清. 基于 5G 的多维信息融合定位算法研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2022.
- JI W Q. Research on multi-dimensional information fusion positioning algorithm based on 5G[D]. Shanghai: East China Normal University, 2022.
- [7] 中兴通讯股份有限公司, 中国移动通信有限公司研究院, 清研讯科(北京)科技有限公司, 等. 5G 室内融合定位白皮书[R]. 2020.
- ZTE, China Mobile, TSINGOAL, et al. White paper of 5G indoor fusion positioning[R]. 2020.
- [8] ETSI. 5G; NG radio access network (NG-RAN); stage 2 functional specification of user equipment (UE) positioning in NG-RAN (V16.4.0; 3GPP TS 38.305 version 16.4.0 Release 16): ETSI TS 138 305-2021[S]. 2021.
- [9] 3GPP. 3GPP specification status report[EB]. 2022.
- [10] 王天荆, 李秀琴, 白光伟, 等. 无线传感器网络中基于自适应网格的多目标定位算法[J]. 通信学报, 2019, 40(7): 197-207.
- WANG T J, LI X Q, BAI G W, et al. Multi-target localization algorithm based on adaptive grid in wireless sensor network[J]. Journal on Communications, 2019, 40(7): 197-207.
- [11] 张梦丹, 卢光跃, 王宏刚, 等. 基于指纹算法的无线室内定位技术[J]. 电信科学, 2016, 32(10): 77-86.
- ZHANG M D, LU G Y, WANG H G, et al. Wireless indoor localization technology based on fingerprint algorithm[J]. Telecommunications Science, 2016, 32(10): 77-86.
- [12] 赵红梅, 赵杰磊. 超宽带室内定位算法综述[J]. 电信科学,

2018, 34(9): 130-142.

ZHAO H M, ZHAO J L. An overview of ultra-wideband indoor positioning algorithms[J]. Telecommunications Science, 2018, 34(9): 130-142.

[作者简介]



汪保友(1968—), 男, 博士, 中国联通上海市分公司正高级工程师, 主要研究方向为 5G 室内定位、无线新技术研究、人工智能。



杨景涛(1972—), 男, 博士, 光大期货有限公司技术总监, 主要研究方向为多媒体和人工智能、大数据分析。



姚赛彬(1982—), 男, 中国联通上海市分公司无线网优化中心总经理、高级工程师, 主要研究方向为无线通信前沿技术研究、通信网络规划、无线网优化。

叶海纳(1987—), 女, 博士, 中国联通智能城市研究院高级工程师, 主要研究方向为 5G 室内定位、物联网、大数据分析。

王志会(1988—), 女, 中国联合网络通信集团有限公司高级工程师, 主要研究方向为移动核心网新技术研究、网络规划。

张祺媛(1995—), 女, 中国联通智能城市研究院工程师, 主要研究方向为 5G 专网行业支撑、网络与数据安全。

傅俊峰(1983—), 男, 中国联合网络通信集团有限公司高级工程师, 主要研究方向为 5G 新技术研究、PCC 平台运营管理、5G 专网行业支撑。

金泰石(1990—), 男, 中国联通广东省分公司工程师, 主要研究方向为 5G 室内定位、5G 专网行业支撑。