



5G 定位关键技术与标准进展

李健翔¹, 贾艺楠¹, 田晓阳¹, 任斌¹, 任晓涛¹, 全海洋²

(1. 中信科移动通信技术股份有限公司, 北京 100083;

2. 无线移动通信国家重点实验室(电信科学技术研究院有限公司), 北京 100191)

摘要: 5G 网络在多种场景下提供位置服务, 并对定位性能提出严格的要求。首先, 结合 3GPP 5G 高精度定位的标准制定过程, 介绍了 3GPP 定位性能需求和 5G 定位各个标准版本的定位功能规划; 其次, 重点介绍了 5G 网络辅助北斗全球卫星导航定位关键技术和标准进展; 然后, 分析了基于 5G 侧行链路信号定位的网络架构、关键技术和标准进展; 最后, 对 6G 定位标准演进发展方向进行了展望。

关键词: 网络辅助北斗卫星导航; 侧行链路定位; 3GPP; 5G 定位标准

中图分类号: TP393

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2023236

Key technologies and standards progress for 5G positioning

LI Jianxiang¹, JIA Yinan¹, TIAN Xiaoyang¹, REN Bin¹, REN Xiaotao¹, QUAN Haiyang²

1. CICT Mobile Communications Technology Co., Ltd., Beijing 100083, China

2. State Key Laboratory of Wireless Mobile Communications, China Academy of Telecommunications Technology (CATT), Beijing 100191, China

Abstract: Location service features are enabled in 5G to allow new and innovative location-based services to be developed for kinds of scenarios and the key performance requirements are identified by 3GPP. Firstly, the planning of location service feature in each standard release of 5G was introduced based on the standard process of 5G high-accuracy positioning in 3GPP. Secondly, 5G network-assisted BeiDou navigation satellite system was studied, including the positioning technologies and the standard progress of A-BDS in 3GPP. Thirdly, the network architecture, key technologies and the standards progress for sidelink positioning in 5G were introduced. Finally, the evolution of 6G positioning was analyzed.

Key words: A-BDS, sidelink positioning, 3GPP, 5G positioning standards

0 引言

支持 5G 各行业中基于位置的服务和应用, 提供可靠和准确的 UE 位置, 一直是第三代合作伙伴计划(3GPP)制定标准的关键目标之一。在 5G

网络发展初期, 针对各种 5G 可能支持的定位服务和应用, 3GPP 制定了相应的定位要求, 例如, 对于商业用例室内场景下, 水平和垂直定位误差均小于 3 m^[1]; 面向 5G 垂直领域的高精度定位, 重点解决 5G 新应用和行业垂直领域带来的更高精



度、更低时延定位、高完好性和可靠性要求^[2]。在车联网（vehicle-to-everything, V2X）场景下，要求终端至少支持水平 1.5 m、垂直 3 m 的定位精度；在工业物联网（industrial Internet of things, IIoT）场景下，水平定位误差至少小于 1 m^[3]。随着北斗三号全球卫星导航系统的全面建成并开通服务，3GPP 支持辅助卫星定位也支持了北斗三号导航定位标准，包括技术标准、性能标准和一致性测试标准^[4-8]，从移动终端层面大力促进我国北斗定位应用的发展。

1 5G 定位标准规划

3GPP 在 2017 年完成了第一个版本的 5G 标准规范 Release 15 (Rel-15)，主要完成增强移动宽带（enhanced mobile broadband, eMBB）业务和超可靠超低时延通信（ultra-reliable and low-latency communication, URLLC）基本业务，满足部分 5G 需求，并未引入基于 5G 新空口（new radio, NR）信号的定位技术。因此 Rel-15 定位项目面向的是独立于蜂窝网的网络辅助全球导航卫星系统（assisted global navigation satellite system, A-GNSS）定位技术增强，包括全球卫星导航系统（GNSS）定位增强和定位辅助数据广播等功能，使得 UE 能够在 5G 网络辅助下支持 GNSS 高精度定位。

Rel-16 是 5G 标准的第二个版本，支持的定位技术包含基于蜂窝网定位和独立于蜂窝网定位两大定位技术方向。其中基于 5G 网络辅助支持卫星定位是面向我国独立设计的北斗三号全球卫星导航新信号 B1C。3GPP Rel-16 是基于 NR 信号的第一个蜂窝网定位版本，由于大规模天线系统（大规模多输入多输出（multiple input multiple output, MIMO）技术）的最新发展可以通过利用传播信道的空间和角度域，结合时间测量提供额外的自由度，因此基于 NR 信号相较于 LTE 信号得以实现更准确的用户定位，可以支持多种应用场景（如室内办公室、UMi 和 UMa 通道模型^[9]）

和多种定位技术（如下行链路到达时间差（downlink time difference of arrival, DL-TDOA）定位方法和下行链路离开角（downlink angle-of-departure, DL-AoD）定位方法，上行链路到达时间差（uplink time difference of arrival, UL-TDOA）定位方法和上行链路到达角（uplink angle-of-arrival, UL-AoA）定位方法，多小区往返行程时间（multiple-round trip time, Multi-RTT）定位方法，以及增强小区标识定位技术）^[10]。

5G 标准演进到 Rel-17 时，5G 的工作目标是提升蜂窝网定位技术的精度、降低时延和提升效率。同时又进一步支持了我国北斗三号全球导航信号的双频信号 B2a 和 B3I。面向蜂窝网的定位技术精度提升，主要有减轻群时延（定时时延）误差、增强角度计算精度，多路径缓解。提升定位效率的方案包含更灵活的按需配置下行定位参考信号（downlink positioning reference signal, DL-PRS）资源，以及支持非激活态下的定位。

3GPP 在 2023 年完成了 Rel-18 定位研究项目^[3]，标准化工作将支持更多定位应用场景和需求：第一，定位性能进一步增强，如载波相位定位、低功耗高精度定位和定位信号的载波聚合；第二，支持蜂窝网完好性和定位应用场景扩展到侧行链路（sidelink, SL）定位、低能力等级终端（RedCap UE）定位。

2 网络辅助北斗全球卫星导航定位技术

网络辅助北斗卫星导航系统（assisted BeiDou navigation satellite system, A-BDS），是指通过移动通信网络将北斗导航电文信息和辅助信息提供给终端，帮助用户设备快速地检测和锁定卫星信号，减小定位时延，提升定位精度。与没有网络辅助的北斗卫星导航系统（BDS）相比，A-BDS 卫星导航信号的搜索跟踪性能与速度都获得了改善，并且可以在半开阔区域或在受到一定遮挡的情况下实现卫星导航定位。A-BDS 具有定位时间

短、耗电量低、灵敏度高显著优势。

2.1 关键技术

长期演进定位协议 (LTE positioning protocol, LPP) 作为 4G/5G 通用定位通信协议, 主要功能在于在网络与终端之间交互定位辅助数据和定位测量等信息。LPP 架构如图 1 所示^[11]。

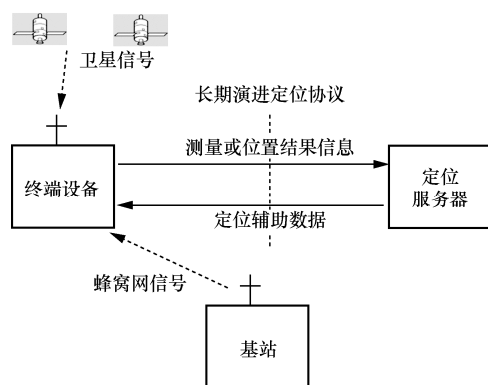


图 1 LPP 架构^[11]

目前 LPP 支持多种定位方法: 网络辅助的全球卫星导航系统定位、基于惯性导航定位、基于无线局域网定位、基于蓝牙定位, 以及基于蜂窝网的 DL-TDOA 定位、DL-AoD 定位、UL-TDOA 定位、UL-AoA 定位、Multi-RTT 定位和增强小区标识定位等。现在的 LPP 已经全面支持基于北斗三号信号的 A-GNSS 服务。

A-GNSS 需要定位服务器, 通过 LPP 发送辅助数据, 用于终端完成卫星定位或卫星增强定位。LPP 提供的具体辅助数据内容根据终端是处于终端辅助定位模式还是基于终端自主解算位置模式而有所不同。定位服务器发送的辅助数据可以大致分为以下 3 类: 第一类, 辅助终端测量卫星信号的数据, 如北斗系统时间、可见卫星列表、卫星信号多普勒、码相位、多普勒和码相位搜索窗口等信息; 第二类, 用于终端位置计算的数据, 如参考位置、卫星星历、历书、时钟校正等参数; 第三类, 用于提高位置精度的校正数据, 如电离层模型参数、伪距和伪距率校正、实时动态定位参考站和辅助站数据、卫星编码偏差、卫星轨道

改正、卫星时钟改正、大气模型、实时动态 (real-time kinematic, RTK) 残差和梯度等。

其中第三类数据是 A-GNSS 增强服务, 是监测参考站持续接收到的 GNSS 信号生成的校正参数, 借助实时校正服务, 提供给终端, 使定位误差降低到厘米级甚至毫米级, 第三类数据可分为观测域 (observation space representation, OSR) 增强参数和状态空间域 (state space representation, SSR) 增强参数两大类。OSR 增强指的是通过参考站计算用户所处位置的观测误差, 然后将误差改正数传输给用户。SSR 增强是使用参考站接收到的 GNSS 数据进行状态空间的物理建模, 模拟整个地区误差, 通过建模可以描述任何给定时间的状态空间模型参数, 然后发送给区域用户。

3GPP Rel-16 版本与中国卫星导航系统管理办公室公布的《北斗卫星导航系统空间信号接口控制文件公开服务信号 B1C (1.0 版)》^[12]保持一致。B2a 是北斗三号的第二个公开服务信号, 可用于生命安全和高精度测量等高性能服务, 也可用于对性能要求较高的消费类服务, 主要用于双频或三频接收设备。B2 单独使用的电离层误差大, 但与 B1 构成 B1+B2 的双频组合, 接收效果最好; B2a 针对高精度和抗干扰进行优化, 确保与 B1 的联合使用可在测绘、航空及精准农业等领域时具有最优的整体性能。B3I 信号由“测距码+导航电文”调制在载波上构成。同一颗卫星发射的导航信号的载波频率在卫星上由共同的基准时钟源产生。北斗信号 B1C、B2a、B3I 的导航电文信息在定位服务器发送的辅助数据中提供给移动终端^[12-14]。

2.2 标准进展

3GPP 支持辅助卫星定位, 目前完成了对全球定位系统 (global positioning system, GPS)、GPS 改进型、欧盟伽利略卫星导航系统 (Galileo satellite navigation system, GSNS)、星基增强系统 (space based augmentation system, SBAS)、日本



准天顶卫星系统 (quasi-zenith satellite system, QZSS)、俄罗斯格洛纳斯卫星导航系统 (global navigation satellite system, GLONASS) 和北斗卫星导航系统 (BeiDou navigation satellite system, BDS) 等多种卫星导航系统的支持。2004 年, 由于其他全球卫星导航系统 (如 GALILEO) 和区域星基增强系统 (如欧洲地球同步导航覆盖服务 (european geostationary navigation overlay service, EGNOS)) 的出现, 3GPP 逐步开展了 GNSS 相关标准化工作。2007 年, 陆地无线接入网络 (UMTS terrestrial radio access network, UTRAN) 完成了对 GPS 和 GALILEO 两种导航系统的支持。2008 年 3GPP 标准支持了 GLONASS、SBAS 以及 QZSS 等卫星定位系统。2014 年, 北斗二号 B1I 信号^[15]在 Rel-12 进入 3GPP 国际标准。2020 年 7 月 31 日, 随着北斗三号全球卫星导航系统的全面建成并开通服务, 我国成为世界上第三个独立拥有全球卫星导航系统的国家。目前在轨服务卫星共计 45 颗, 包括北斗二号卫星 15 颗和北斗三号卫星 30 颗。移动通信领域北斗国际标准的推进工作, 也于 2018 年在 3GPP 领域展开。2018 年 9 月, 3GPP 无线接入网络组全会启动 B1C 信号标准化工作。2020 年 7 月, 技术标准制定完成, 3 项支持 B1C 信号的 3GPP 标准随 Rel-16 发布。2021 年 9 月, B1C 信号一致性测试标准制定工作完成。2022 年 6 月, RAN 全会通过北斗三号 B2a 和 B3I 信号全套技术标准和性能标准, 随 3GPP 标准 Rel-17 发布。2022 年 8 月, 启动北斗三号 B2a 和 B3I 信号一致性测试标准制定工作。

中国企业牵头推动的北斗二代和北斗三代 3GPP 国际化工作, 在相关产业中产生重大影响。基于北斗系统的导航服务已被电子商务、移动智能终端制造、位置服务等厂商采用, 广泛进入中国大众消费、共享经济和民生领域, 应用的新模式、新业态、新经济不断涌现, 深刻改变着人们的生产生活方式。中国将持续推进北斗应用

与产业化发展, 服务国家现代化建设和百姓日常生活, 为全球科技、经济和社会发展作出贡献。

3 基于 5GSL 信号的定位技术

随着车联网、工业物联网等垂直行业的发展, 现有的定位技术无法满足其复杂且快速变化场景下的定位需求。基于 SL 的车联网定位具有低时延、高可靠的直通链路通信特性, 该技术不受地面蜂窝网络和全球导航卫星覆盖的限制, 能够支持 V2X、IIoT 等场景的定位需求^[16]。

3.1 网络架构

基于 SL 信号的定位技术在车联网的场景下, 由于车辆处于高速运动的状态, 时常出现移出无线网络覆盖的情况, 此外车辆间的相对位置关系也不断发生变化, 无法保持稳定的连接。根据终端所处环境的无线网络覆盖情况, SL 定位场景分为 3 种情况: 无线蜂窝网覆盖范围内 (in-coverage)、部分覆盖 (partial coverage) 和覆盖范围外 (out-of-coverage)^[3]。由于产生新的端到端的定位/测距请求, 相对于传统基于网络的位置服务业务有所区别, 基于 SL 信号的车联网定位流程和架构有所变化, 因此需要设计新的系统架构、端到端信令流程以及新的定位测量上报、位置计算, 来满足基于 SL 信号的定位业务。SL 信号定位候选架构如图 2 所示。

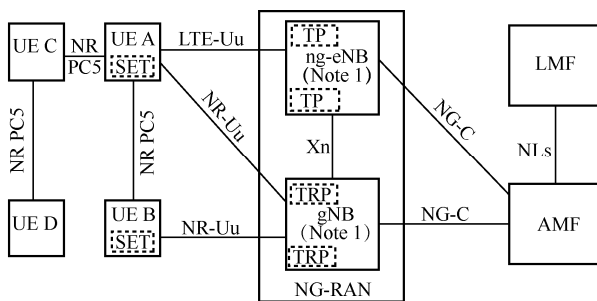


图 2 SL 信号定位候选架构

SL 定位协议 (sidelink positioning protocol, SLPP) 作为基于 SL 信号的通用定位通信协议, 主要功能在于终端与终端之间交互 SL 定位测量、能

力等信息。SLPP作为端到端的定位协议作用于图2中的UE A、UE B、UE C、UE D之间,由NR PC5接口承载。同时SLPP还在UE与定位管理功能(location management function, LMF)之间直接传输,由NR-Uu承载。其中SLPP功能可以包括SL定位能力传输、SL定位辅助数据交换、SL测量及位置信息传输、错误处理以及终止等功能。图2中UE A与UE B为在网终端,能够与基站通信,但UE C与UE D处于脱网状态,无法与基站通信,只能通过NR PC5信号与UE通信。图2中其余网元节点沿用3GPP定位网络架构定义^[10],其中NG-C为基站与接入和移动性管理单元(access and mobility management function, AMF)之间接口,Xn为基站之间接口。

3.2 关键技术

如何在复杂的条件下支持低时延、高可靠以及高精度的定位是车联网定位技术亟须解决的问题,包括SL定位方法/定位测量量、SL信号资源池、SL定位信号的定义以及定位流程,这些都是实现基于SL信号的车联网定位的关键技术。首先是定位方法,基于单向或者双向的SL定位参考信

号往返时间差、基于到达角的,以及基于SL定位信号的传统TDOA定位方法经过仿真评估,都能在一定条件下满足车联网定位精度要求。基于上述定位方法,基于SL定位信号的测量量应该包含如下测量:SL定位参考信号的收发时间差(SL Rx-Tx time difference)、SL定位参考信号接收时间差(SL RSTD)、SL定位参考信号接收功率(SL RSRP)、SL定位参考信号子径接收功率(SL RSRPP)、SL定位参考信号相对到达时间(SL RTOA)、SL定位参考信号到达角测量量(SL AoA/ZoA)。

为了实现终端与终端基于SL定位信号的相对定位业务,需要端到端流程设计。SL信号定位候选流程如图3所示。

目标终端接收到基于SL的定位请求后,将启动发现流程,用以探测周围可以参与本次SL定位的候选锚点终端以及服务器终端。通过下述SLPP流程的设计,能够确定参与本次SL定位的所有终端,并通过发送信号和测量信号完成本次定位需求。首先,各个参与终端将建立起SL通信连接,被定位终端和候选锚点终端将提供自己的定位能

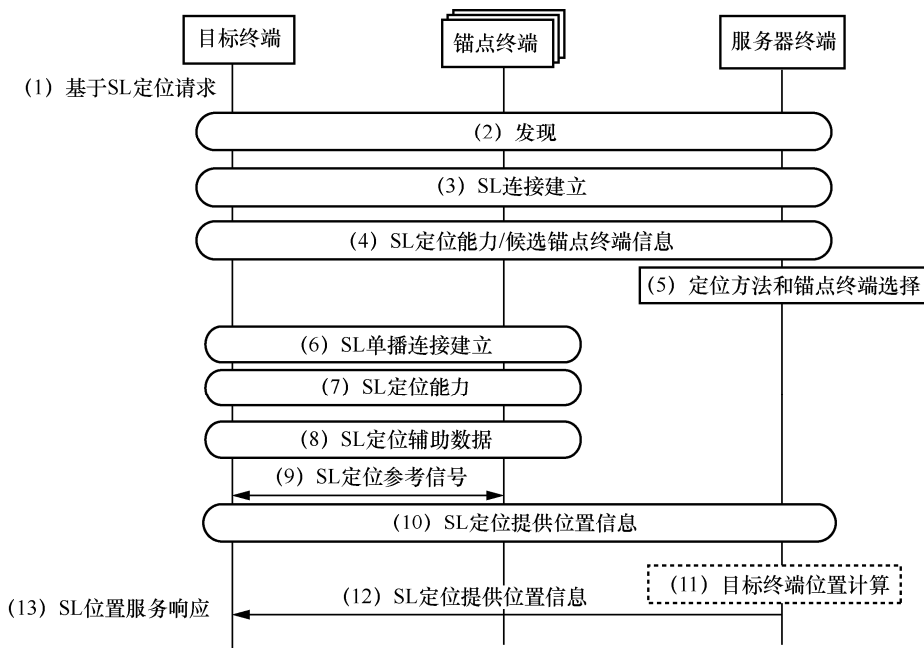


图3 侧行链路信号定位候选流程



力给服务器终端，便于服务器终端确定本次定位方法和参与定位的锚点终端。然后，当确定好本次定位负责发送 SL 定位参考 (sidelink positioning reference signal, SL-PRS) 信号的终端和负责测量的终端，负责测量终端将与发送 SL 信号终端交互，获得本次 SL 定位信号配置，同时开启接收测量 SL 定位参考信号。发送终端也按照要求携带指定目标终端信息，发送 SL 定位参考信号。最后，测量终端完成测量后，将提供测量信息给服务器终端，进一步完成位置解算。服务器终端将解算的位置信息返回给目标终端，完成本次 SL 定位过程。其中，服务器终端可以是被定位终端，也可以是锚点终端，也可以是任意第三方终端。

3.3 标准进展

目前 3GPP Rel-18 正在进行 SL 信号的标准化工作，SL 定位信号相关的标准化工作已基本完成，包括定位信号的设计、传输以及资源配置方式等。

SL-PRS 采用 Gold 序列，支持完全交错的图案以及部分交错的图案，还支持完全交错情况下的 $M > N$ 的图案 (M 是 SL-PRS 占用的正交频分复用调制 (orthogonal frequency division multiplexing, OFDM) 符号数量， N 是 SL-PRS 的梳子尺寸 (comb size))。

对于 SL-PRS 信号传输，可以使用唯一的 SL 信号带宽部分 (sidelink bandwidth part, SL BWP) 中 (预) 配置专用资源池或共享资源池，也可以两者同时配置。

在 SL 定位专用资源池中，不包含 SL 物理共享信道 (physical sidelink shared channel PSSCH) 和 SL 物理反馈信道 (physical sidelink feedback channel, PSFCH) 两种信道。对于 SL 定位专用资源池，仅使用单级 SL 控制信息 (sidelink control information, SCI)，并且 SL 物理控制信道 (physical sidelink control channel, PSCCH) 和其相关联的 SL-PRS 是在同一时隙中时分复用 (time division

multiplexing, TDM)。在专用资源池中不支持用户间协调 (inter-UE coordination, IUC) 信令。

在共享资源池中，关于 PSCCH 和 SL-PRS 的复用方式，仅支持 TDM。在共享资源池中，当 SL-PRS、相关联的 PSCCH 和由 PSCCH 调度的 PSSCH 被包括在同一时隙中时，仅支持 PSSCH 和 SL-PRS 之间 TDM。在共享资源池中，当 SL-PRS、相关联的 PSCCH 和由 PSCCH 调度的 PSSCH 被包括在同一时隙中时，PSSCH 用于传输第二级 SCI 和 SL 共享信道 (sidelink shared channel, SL-SCH)。关于共享资源池中的 SCI 信令，UE 传输 SCI1-A 和 2nd SCI 用于 SL-PRS 指示。关于共享资源池中的 SCI 信令，支持一种新格式的 2nd SCI 用于指示 SL-PRS 传输。对于共享资源池，复用 SL 增强中定义的 Scheme 1 和 Scheme 2 的现有 IUC 信令。

对于 SL-PRS 资源分配，SL-PRS 支持由基站进行 SL-PRS 资源调度的 Scheme 1 资源分配方式和由 UE 进行自主 SL-PRS 资源选择的 Scheme 2 资源分配方式。对于 Scheme 1 的 SL-PRS 资源分配方式，发送 UE 可以从 gNB 接收 SL-PRS 资源分配信令，包括有动态授权或通过配置授权类型 1/类型 2。对于 Scheme 2 的 SL-PRS 资源分配方式，支持在同一个资源池中同时配置基于感知的资源分配方式以及基于随机选择的资源分配方式。对于共享资源池的基于感知的资源分配，SL-PRS 重用基于感知的 PSSCH 资源选择过程。对于专用资源池的基于感知的资源分配，支持具有周期预约或无周期预约的资源选择机制作为初始方案。

4 结束语

3GPP 目前正在进行 Rel-18 定位的标准化工作，从 2024 年开始，预计将会进行 Rel-19 定位的标准化工作。Rel-19 定位预计将会在载波相位定位增强、SL 定位增强、人工智能/机器学习定位增

强、扩展现实 (extended reality, XR) 定位、通信定位一体化以及非授权频谱定位等方面考虑继续进行定位标准的增强工作。

未来在 6G 无线通信系统中将会继续进行定位标准的演进工作。6G 将是一个高度智能化的无线系统, 将引入比 5G 更高频率范围、更大带宽以及更大规模的天线阵列, 不仅将提供超高速数据通信, 还将提供超高精度定位和超高分辨率感知服务。6G 网络将拥有非常精细的位置识别、距离识别、角度识别和速度分辨率的传感系统, 将达到厘米级定位精度。AI/ML 技术将广泛地应用于 6G 中, 帮助充分利用 6G 的大数据和丰富的时频资源解决 6G 无线通信系统中遇到的问题。

6G 系统的设计需要充分考虑通信、定位和感知如何共存、共享相同的时频空间资源。高精度定位和感知将是推动许多 6G 应用的关键, 包括汽车自动驾驶、未来工厂、智慧城市、虚拟现实/增强现实和公共安全等。将通信、定位和感知完整地融合为一体, 需要解决一系列 5G 系统中未考虑和未解决的问题。丰富的射频频谱、智能反射表面增强映射、精确波束空间处理和 AI/ML 智能定位和感知有可能成为 6G 感知通信系统的主要使能技术^[17]。同步定位和映射 (simultaneous localization and mapping, SLAM) 方法将能够实现多样化的高级 XR 应用以及自动驾驶汽车和无人机的导航^[18]。高分辨率角度、距离、多普勒处理定位、雷达和传感都有助于高精度定位。高载波频率大带宽可提高距离分辨率。太赫兹信号更短波长支持具有精细空间的大规模天线阵 (角度和时延) 分辨率, 从而实现高度定向传感和成像应用^[19]。毫米波和太赫兹信号受到高传播衰减、功率限制和阻塞, 需要高度定向的铅笔状天线波束, 以补偿信道损伤。通过实现这样的高分辨率在波束空间域中扫描, 就可以创建周围环境的实时详细 3D 地图。波束成形还形成了定位和通信两者之间的重要联系: 类似铅笔的光束受益于准确的位置信息^[10]。可重构智能超

表面 (reconfigurable intelligent surfaces, RIS), 也称为智能反射表面 (intelligent reflecting surface, IRS), 通过智能重新配置无线传播环境提高无线网络容量和覆盖范围的潜力而受到广泛关注, 被认为是 6G 系统的候选技术之一^[21], RIS 不仅可以用于克服由于障碍物造成的通信阻塞, 而且还可以用于室内多径环境下的高精度定位^[22]。

参考文献:

- [1] 3GPP. Study on NR positioning support, version 16.0.0: TR 38.855[S]. 2019.
- [2] 3GPP. Study on NR positioning enhancements, version 17.0.0: TR 38.857[S]. 2021.
- [3] 3GPP. Study on expanded and improved NR positioning, version 18.0.0: TR 38.859[S]. 2022.
- [4] 3GPP. User equipment (UE) conformance specification for UE positioning; part 1: conformance test specification, version 17.1.0: TS 37.571-1[S]. 2023.
- [5] 3GPP. User equipment (UE) conformance specification for UE positioning; part 2: protocol conformance, version 17.1.0: TS 37.571-2[S]. 2023.
- [6] 3GPP. User equipment (UE) conformance specification for UE positioning; part 3: implementation conformance statement (ICS), version 17.1.0: TS 37.571-3[S]. 2023.
- [7] 3GPP. User equipment (UE) conformance specification for UE positioning; part 4: test suites, version 17.1.0: TS 37.571-4[S]. 2023.
- [8] 3GPP. User equipment (UE) conformance specification for UE positioning; part 5: test scenarios and assistance data, version 17.1.0: TS 37.571-5[S]. 2023.
- [9] 3GPP. Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz, version 17.0.0: TS 38.901[S]. 2022.
- [10] 3GPP. Stage 2 functional specification of user equipment (UE) positioning in NG-RAN, version 16.7.0: TS 38.305[S]. 2021.
- [11] 3GPP. LTE positioning protocol (LPP), version 17.5.0: TS 37.355[S]. 2023.
- [12] China Satellite Navigation Office. BeiDou navigation satellite system signal in space interface control document open service signal B1C (version 1.0): BDS-SIS-ICD-B1C-1.0[EB]. 2017.
- [13] China Satellite Navigation Office. BeiDou navigation satellite system signal in space interface control document open service signal B2a (version 1.0): BDS-SIS-ICD-B2a-1.0[EB]. 2017.
- [14] China Satellite Navigation Office. BeiDou navigation satellite system signal in space interface control document open service signal B3I (version 1.0): BDS-SIS-ICD-B3I-1.0[EB]. 2018.



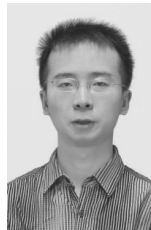
- [15] China Satellite Navigation Office. BeiDou navigation satellite system signal in space interface control document open service signal B1I (version 3.0): BDS-SIS-ICD-B1I-3.0[EB]. 2019.
- [16] 3GPP. Study on scenarios and requirements of in-coverage, partial coverage, and out-of-coverage NR positioning use cases, version 17.0.0: TR 38.845[S]. 2021.
- [17] BOURDOUX A, BARRETO A N, VAN L B, et al. 6G white paper on localization and sensing[J]. arXiv preprint, 2020, arXiv: 2006.01779.
- [18] HUANG B, ZHAO J, LIU J. A survey of simultaneous localization and mapping with an envision in 6G wireless networks[J]. arXiv preprint, 2019, arXiv: 1909.05214.
- [19] WYMEERSCH H, SHRESTHA D, DE L C M, et al. Integration of communication and sensing in 6G: a joint industrial and academic perspective[C]//Proceedings of 2021 IEEE 32nd Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC). Piscataway: IEEE Press, 2021: 1-7.
- [20] SHASTRI A, VALECHA N, BASHIROV E, et al. A review of millimeter wave device-based localization and device-free sensing technologies and applications[J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2022, 24(3): 1708-1749.
- [21] LIU Y W, LIU X, MU X D, et al. Reconfigurable intelligent surfaces: principles and opportunities[J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2021, 23(3): 1546-1577.
- [22] ELZANATY A, GUERRA A, GUIDI F, et al. Reconfigurable intelligent surfaces for localization: position and orientation error bounds[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2021(69): 5386-5402.



贾艺楠（1997- ），女，中信科移动通信技术股份有限公司工程师，主要研究方向为蜂窝网定位技术和非地面网络通信技术。



田晓阳（1994- ），女，中信科移动通信技术股份有限公司工程师，主要研究方向为蜂窝网定位技术终端一致性测试。



任斌（1983- ），男，博士，中信科移动通信技术股份有限公司正高级工程师，主要研究方向为无线蜂窝网络中的高精度定位技术和非正交多址接入技术和随机接入技术。



任晓涛（1976- ），男，博士，中信科移动通信技术股份有限公司高级工程师，主要研究方向为高精度定位和车联网。

[作者简介]



李健翔（1979- ），女，中信科移动通信技术股份有限公司高级工程师，主要研究方向为蜂窝网高精度定位和网络辅助卫星导航定位。



全海洋（1975- ），女，无线移动通信国家重点实验室正高级工程师，主要研究方向为高精度定位。