

NR 在 60 GHz 定位过程的隐藏节点规避方法

张文璐, 朱振杰, 崔琪楣, 陶小峰

(北京邮电大学 信息与通信工程学院, 北京 100074)

摘要: 60 GHz 非授权频段因其波长短、频段宽的无线传播特性可实现更高的定位信号测量精度, 因此 5G NR-U 设备基于 60 GHz 频段进行高精度定位倍受关注; 但是由于 5G 网络是多网异构共存的, 存在众多不同无线接入技术 (RAT) 的设备, 潜在的隐藏节点多, 即使 5G NR-U 设备采用先听后说 (LBT) 方式接入 60 GHz 无线信道, 仍无法有效规避隐藏节点, 有时会严重干扰定位信号传输而影响定位性能; 针对以上隐藏节点问题, 文中提出对定位信号资源集中的多个定位信号资源分别配置不同的空间关系, 接收端根据定位信号的测量结果实时动态调整其空间关系, 尽可能多地规避潜在的隐藏节点; 仿真验证结果表明所提方法可将定位信号的测量精度提升了约 27%, 显著降低定位误差。

关键词: 60 GHz 非授权频段; 蜂窝定位技术; 空间关系; 准共址; 隐藏节点

Method for Hidden Node Avoidance of NR Positioning at 60 GHz

ZHANG Wenlu, ZHU Zhenjie, CUI Qimei, TAO Xiaofeng

(School of Information and Telecommunication Engineering, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100074, China)

Abstract: The 60 GHz unlicensed frequency band can achieve the accuracy of higher positioning signal measurement due to its wireless propagation characteristics of short wavelength and wide band; Therefore, based on the 60 GHz frequency band, 5G NR-U equipment has attracted much attention to high-precision positioning; However, 5G network has the characteristics of multi-network heterogeneous coexistence, which has many devices with different radio access technologies (RAT), thus there are many potential hidden nodes in 60 GHz band, even if 5G NR-U devices use the listen before talk (LBT) to access 60 GHz radio channel, the hidden nodes cannot effectively be avoided, which sometimes interferes with the positioning signal transmission and affects the positioning performance seriously; To solve the above hidden node issue, the different spatial relationships are proposed to configure the multiple positioning signal resources in the positioning signal resource set, and the receiver dynamically adjusts their spatial relationships in real time according to the measurement results, so as to avoid the potential hidden nodes as much as possible; Simulation results show that the proposed method can improve the measurement accuracy of the positioning signal by about 27% and significantly reduce the positioning error.

Keywords: 60 GHz unlicensed band; cellular positioning technology; spatial relationship; quasi colocation; hidden nodes

0 引言

近年来全球定位系统、工业物联网、自动驾驶、室内地图、共享单车等基于位置的新型服务不断涌现, 高精度定位被认为是自 4G 之后移动通信系统必不可少的泛在服务之一。精确位置信息的获取还有助于增强 5G 网络在位置感知多媒体数据传输、基于位置的通信安全等方面的服务性能^[1]。在 5G 异构网络场景中, 精确的位置信息有助于提高无线资源的使用效率, 提供准确的资源调度和链路适应; 在高度动态场景中, 可以使用定位信息预测所需的无线资源; 在多跳无线网络中, 对无线节点进行定位可以降低功

耗。定位技术的应用范围也从室内区域逐渐进展到大范围的卫星覆盖。对于未来工业物联网 (IIOT, industrial internet of things) 等垂直行业应用场景和用例, 位置信息更为重要^[2]。

为了实现高精度和高效率的目标, 5G NR Rel-16 对定位技术进一步深入研究。在定位系统中, 定位技术通常是基于特定类型的度量来定义, 基于时间的技术利用射频信号的传输时差来计算收发器之间的距离, 如观测到达时差 (OTDOA, observed time difference of arrival)、上行到达时差 (UTDOA, uplink time difference of arrival)、多小区往返时间 (Multi-RTT, multiplecell-round trip time); 基于角

收稿日期: 2022-05-12; 修回日期: 2022-06-13。

基金项目: 国家自然科学基金区域创新发展联合基金(U21A20449); 国家自然科学基金应急专项项目(61941105)。

作者简介: 张文璐(1998-), 女, 新疆乌鲁木齐人, 硕士生, 主要从事毫米波无线通信传输技术方向的研究。

崔琪楣(1979-), 女, 河南驻马店人, 教授, 博士生导师, 主要从事 5G/6G 移动通信网络与智能计算、移动通信内生安全等方向的研究。

陶小峰(1970-), 男, 湖北黄冈人, 教授, 博士生导师, 主要从事 5G/6G 移动通信网络、移动互联网安全技术等方向的研究。

引用格式: 张文璐, 朱振杰, 崔琪楣, 等. NR 在 60 GHz 定位过程的隐藏节点规避方法[J]. 计算机测量与控制, 2022, 30(12): 232-237.

度的技术利用发射天线形成的信号和接收天线之间的相位差异在计算收发器之间的角度, 如下行离开角 (DL-AoD, downlink angle-of-departure)、上行到达角 (UL-AoA, Up-link angle-of-arrival); 混合的技术利用时间和角度联合估计终端的距离。除了上述依赖于 RAT 的解决方案, 还存在一些其他的解决方案, 如全球导航卫星系统 (GNSS, global navigation satellite system) 和气压等技术^[3]。虽然全球定位导航系统是目前最流行的室外定位技术, 但在遮挡物较多的城市地区, 如密集的城市环境、隧道和地下停车场, 卫星信号的衍射会造成较大的定位误差^[4]。因此, 深入研究基于 RAT 的定位技术仍是非常必要的。

当前的定位技术大多工作于在较低频段, 低频段的频谱资源十分紧张, 难以满足高精度定位的要求, 因此, 拥有近 7 GHz 带宽的 60 GHz 毫米波频段受到了极大的关注^[5]。更多的带宽资源可以提供更高的测量精度, 从而极大降低 NR 定位技术的定位误差^[6]。相比低频段的定位技术, 60 GHz 毫米波的时间分辨率更高、多径分辨能力更强, 可以实现厘米级别的定位^[7]。此外, 毫米波频段的波束赋型技术可形成高度定向的收发波束, 有效规避潜在的干扰, 缓解毫米波频段的高路径损耗的问题^[8]。但是, 由于 5G 网络是多网异构共存的, 存在众多不同无线接入技术 (RAT, radio access technology) 的设备, 如蜂窝网络、Wi-Fi、物联网等, 即使 NR-U 设备采用先听后说 (LBT, listen before talk) 接入 60 GHz 无线信道, 仍无法有效规避隐藏节点^[9-10]。隐藏节点会干扰定位信号的传输, 而无法被终端与基站端得知, 严重影响了 NR-U 设备的定位性能^[11]。

针对上述问题, 本文提出在 NR-U 设备的定位过程中实时动态调整定位信号的空间关系, 使其发射方向绕过潜在的隐藏节点, 以提升定位信号的传输可靠性, 进而实现高精度的定位。具体来说, 在定位信号的测量过程中, 若某定位信号的接收信噪比很低, 则更新其准共址 (QCL, quasi co-location) 关联的参考信号为接收质量最佳的信号, 使该定位信号朝向信道状况较好的方向定向发射。并且, 本文针对不同的实际情况设定了不同的调整方案, 在各种信道状况下均能实现精确的上行定位, 有效降低了隐藏节点对定位性能的影响。本研究工作具有较强的现实意义与应用价值, 为 NR-U 设备在 60 GHz 的网络部署提供了理论依据。

1 问题分析

本节以上行定位参考信号 (SRS-pos, sounding reference signal-positioning) 的传输与探测过程为例, 分析 60 GHz 非授权频段的特性对 NR 定位性能的影响。在 SRS-pos 的上行传输过程中, 不同地理位置的多个发射接收点 (TRP, transmit-receive point) 需要同时进行波束扫描, 以准确探测到该 UE 发送的 SRS-pos 并进行测量。由于 FR3 频段 (52.6~71 GHz) 的波束宽度更窄且波束数量更多,

TRP 探测 SRS-pos 时需要持续地波束切换, 导致上行定位过程的时延开销较大。在 3GPP RAN1 # 106e 次会议中, Ericsson 与 Vivo 等公司提出, 由于 UE 的波束数量远小于 TRP 端, 考虑让 UE 执行波束扫描来传输 SRS-pos, 以减小 TRP 端探测 SRS-pos 的时延开销^[12]。但由于 SRS-pos 通常为周期性配置的, UE 不仅要等待 SRS-pos 的传输机会, 还需要持续重复传输以便让足够数量的 TRP 能探测到它, 因此定位时延仍无法减小^[13]。尤其在终端部署密集的场景中, TRP 仍需要进行波束扫描来提升上行覆盖, 满足更多终端的定位需求。由此可见, 60 GHz 上行定位过程中 SRS-pos 传输与探测的时延问题无法有效缓解。上述时延问题会加剧 60 GHz 的隐藏节点问题, 在长时间的 SRS-pos 传输与探测过程中, 某些 SRS-pos 的传输链路上有可能出现新的隐藏节点, 严重影响终端定位的有效性和可靠性。因此在 60 GHz 系统亟需设计新的定位信号传输机制, 缓解隐藏节点对定位性能的影响。

目前 5G NR 中定位参考信号的空间关系配置是基于上下行信道互易性的, 将上行定位信号 QCL 关联的参考信号设置为特定的下行参考信号, 如 CSI-RS/SSB/PRS 等, 使得 UE 能直接利用该下行参考信号的接收波束来发送对应的上行定位信号^[14]。然而, 实际的传输环境并不具有理想的上下行信道互易性, 尤其对于 60 GHz 非授权毫米波频段, 由于 TRP 端的波束数量通常远大于 UE 侧的波束数量, 且 TRP 侧的波束宽度远远窄于 UE 侧的波束宽度, 造成了严重的上下行波束不对称问题^[15]。详细示例如图 1 所示, TRP 的下行波束覆盖范围内没有干扰节点, 使得 UE 测得该下行波束发射的参考信号的质量较好, 但对应方向的上行波束的覆盖范围内存在干扰节点, 因此不能通过下行参考信号的接收质量来推测对应波束方向的上行信道状况。综上所述, 基于下行波束的测量结果来配置上行信号的空间关系的方法在 60 GHz 频段不适用。

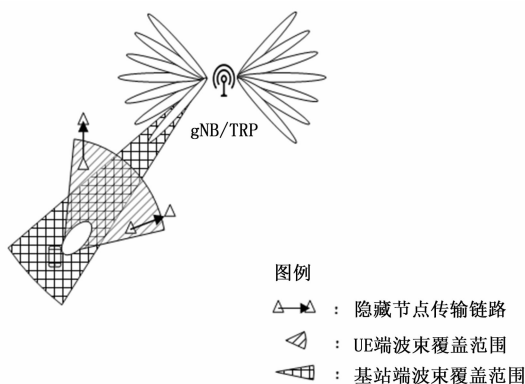


图 1 60 GHz 上下行波束不对称示例

基于上述问题, 需要对 60 GHz 非授权频段的定位参考信号设置新的空间关系配置方案, 基于基站端对上行参考信号的测量结果来配置上行定位信号的 QCL 关系。此外, 还需要考虑实时调整定位信号的 QCL 关系来规避随时可能

出现的隐藏节点，增加定位信号的传输可靠性，提升 NR 终端在 60 GHz 的定位精度。

2 系统模型

2.1 定位系统建模

以 UTDOA 定位机制为例，通过测量 UE 发送的 SRS-pos 到附近某两个 TRP 的时间差，来计算 UE 到这两个 TRP 的距离差^[16]。若基站间完全同步，核心网的位置管理功能 (LMF, location management function) 实体依据两个 TRP 上报的 SRS-pos 到达时差计算出 UE 到这两个 TRP 的距离差，则 UE 必定位于以这两个 TRP 为焦点，以其距离差为定差的双曲线上。如图 2 所示，3 个或 3 个以上的 gNB 就能形成两条以上的双曲线，这些双曲线的交点就是估计出的 UE 位置^[17]。

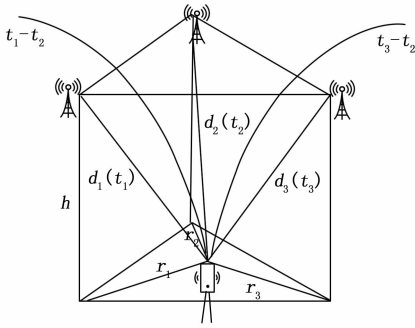


图 2 TDOA 定位机制

第 i 个 gNB/TRP 距 UE 的水平距离被表示如下：

$$r_i = \sqrt{d_i^2 - h^2} \quad (1)$$

由于 UE 的高度相比于基站可以忽略不计，估计 UE 的水平坐标 $X_e (x_e, y_e)$ 如下：

$$\begin{cases} (x_e - x_1)^2 + (y_e - y_1)^2 = r_1^2 \\ (x_e - x_2)^2 + (y_e - y_2)^2 = r_2^2 \\ (x_e - x_3)^2 + (y_e - y_3)^2 = r_3^2 \end{cases} \quad (2)$$

其中：(x₁, y₁)、(x₂, y₂)、(x₃, y₃) 为已知的 gNB/TRP 的水平坐标位置。将上式以矩阵形式表示如下：

$$\mathbf{B}\mathbf{X}_e = \mathbf{C} \quad (3)$$

其中： \mathbf{B} 、 \mathbf{C} 、 \mathbf{X}_e 被定义如下：

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} x_2 - x_1 & y_2 - y_1 \\ x_3 - x_1 & y_3 - y_1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\mathbf{X}_e = \begin{bmatrix} x_e \\ y_e \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} \frac{d_1^2 - d_2^2 + x_2^2 + y_2^2 - x_1^2 - y_1^2}{2} \\ \frac{d_1^2 - d_3^2 + x_3^2 + y_3^2 - x_1^2 - y_1^2}{2} \end{bmatrix} \quad (6)$$

由线性最小二乘法得到 UE 的位置如下：

$$\hat{X}_e = (\mathbf{B}^T \mathbf{B})^{-1} \mathbf{B}^T \mathbf{C} \quad (7)$$

最终定位精度由下式的定位误差 (PE, positioning error) 进行评估，(x_r, y_r) 为 UE 的实际位置：

$$PE = \sqrt{(x_e - x_r)^2 + (y_e - y_r)^2} \quad (8)$$

2.2 定位误差分析

当主基站指示 UE 激活某周期性配置的 SRS-pos 资源集时，UE 在每个传输周期的固定传输时刻同时朝位于不同地理位置的多个 TRP 发射 SRS-pos 信号。由于 TRP 不知道 UE 的方位，其在个不同方向的波束上进行扫描以探测该 UE 发射的 SRS-pos。UE 到 TRP 的探测波束之间的传输路损为：

$$L_i = \frac{\beta_i}{(d)^{\alpha}} \quad (9)$$

$$\beta_i = \frac{\beta_0}{\cos \theta_i} \quad (10)$$

$$\beta_0 = \left(\frac{c}{4\pi f_c} \right)^2 \quad (11)$$

其中： $i = [1, \dots, M]$ ， θ_i 为 UE 与 TRP 的波束 i 之间的夹角。 α 随机分布在^[1-10]，表示该时刻的信道衰落参数。

设某个传输周期内，TRP 测量得到的 SRS-pos 平均接收信噪比如下：

$$SNR = \frac{MP_T G_T G_R}{\sigma_n^2 \sum_{i=1}^M L_i} \quad (12)$$

其中： P_T 为发射信号功率， G_T 和 G_R 分别为发射和接收天线增益， $\sigma_n^2 = N_0 B_{\text{SRS-pos}}$ 为平均噪声功率， N_0 为噪声的单边功率谱密度， $B_{\text{SRS-pos}}$ 为 SRS-pos 信号所占带宽。

设置 SNR_{limit} 为 TRP 能探测到定位信号的最小信噪比，若接收信噪比小于 SNR_{limit} ，则 TRP 认为 UE 端由于 LBT 失败未能成功发射 SRS-pos，因此在本周期内不进行定位信号的测量。在 $SNR_{\text{max}} \geq SNR \geq SNR_{\text{limit}}$ 的情况下，即该 SRS-pos 能成功发射且信号不失真的前提下， SNR 值越小，TRP 的测量误差值越大。由于在 60 GHz 非授权频段中，即使 SRS-pos 发射前的 LBT 成功通过，但隐藏节点仍可能干扰 SRS-pos 的传输链路。以 UL-TDOA 机制为例，由于 gNB/TRP 知道每个周期内 SRS-pos 的发射时刻，根据它们在每个周期内探测到 SRS-pos 的时间可以得出 SRS-pos 的传输时间，但隐藏节点会导致 TRP 探测到 SRS-pos 的时刻推迟，其上报给 LMF 的传输时间的误差值变大。TRP 测量时差的标准差与信号带宽和信噪比的均方根成反比^[18]，如下式所示：

$$\Delta(t_i - t_j) = \frac{k}{B \cdot \sqrt{2 \cdot \min(SNR_i, SNR_j)}} \quad (13)$$

其中： k 为一固定的比例常数， B 为信号带宽。

由式 (1) 推出 UE 距 TRP_j 与 TRP_i 的水平距离差与三维空间距离差的关系如下：

$$\begin{aligned} \Delta(r_j - r_i) &= \Delta(\sqrt{d_j^2 - h^2} - \sqrt{d_i^2 - h^2}) = \\ &= \Delta\left(\frac{d_j^2 - d_i^2 - 2h^2}{\sqrt{d_j^2 - h^2} + \sqrt{d_i^2 - h^2}}\right) \end{aligned} \quad (14)$$

上式的水平距离差无法精确估计，只能被约束在限定范围内。推算出水平距离差的最大值如下：

$$\Delta(r_j - r_i)_{\max} = \frac{(d_i + d_j) \times \Delta(d_j - d_i) - 2h^2}{r_{i,j}} \quad (15)$$

其中: $r_{i,j}$ 为 TRP i 与 TRP j 之间的水平距离, $\Delta(d_j - d_i) = c \cdot \Delta(t_j - t_i)$ 。由于 TRP 测量出的传输时间只可能大于实际传输时间, 上式中的 $d_i + d_j$ 可直接计算为 $c \cdot (t_i + t_j)$ 。因此, 只要网络侧知道 TRP 间的空间位置关系和每个 TRP 的接收 SNR 值, 结合式 (13) 和式 (15) 即可成功推算出 TRP 间水平距离差的最大误差值。

将图 2 中的空间结构映射到二维平面, 如图 3 所示, 菱形区域为最大定位误差所限定的 UE 位置估计区域, 粗线为最大的定位误差。可看出, 最大定位误差 PE_{\max} 、TRP j 与 TRP i 的水平距离差最大误差值 $\Delta(r_j - r_i)_{\max}$ 、TRP j 与 TRP m 的水平距离差的最大误差值 $\Delta(r_j - r_m)_{\max}$ 可抽象为一个封闭三角形的三条边。

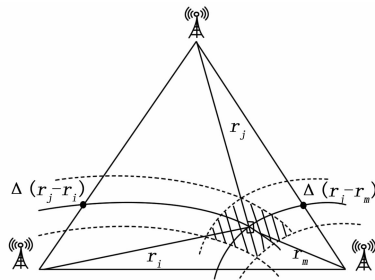


图 3 定位误差估计示例

由于网络侧知道 TRP 间的空间位置关系, 因此网络侧也可知 TRP j 与 TRP i 、TRP m 所形成的水平面夹角 α 。最大定位误差值 PE_{\max} 可以被推算为:

$$PE_{\max}^2 = \Delta(r_j - r_i)^2 + \Delta(r_j - r_m)^2 - 2 \times \Delta(r_j - r_i) \times \Delta(r_j - r_m) \times \cos(180^\circ - \alpha) = \Delta(r_j - r_i)^2 + \Delta(r_j - r_m)^2 + 2 \times \Delta(r_j - r_i) \times \Delta(r_j - r_m) \times \cos(\alpha) \quad (16)$$

3 定位信号的隐藏节点规避方法

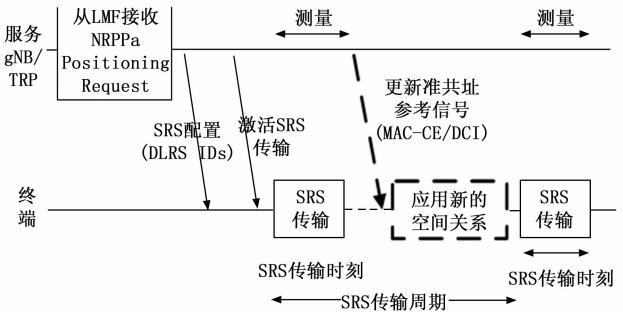
3.1 定位信号的空间关系配置

定位参考信号 (PRS/SRS-pos) 的相关参数被高层配置为不同的级别类型, 包括定位频率层 (positioning frequency layer) 级别、资源集 (PRS/SRS-pos resource set) 级别和资源 (PRS/SRS-pos resource) 级别。其中, 定位频率层级别的参数包括 3 个, 分别指示载波间隔、循环前缀和频域位置参考点。资源集级别的参数包含这个资源集 ID、周期、重复因子、时间间隔等, 同一资源集内多个资源应具有相同的时域行为, 即相同的传输时刻和传输周期。资源级别的高层参数包括该资源的 ID、资源映射所需的一些参数和该资源的 QCL 关系等, 因此, 同一资源集中的多个资源可以配置为不同的 QCL 关系。

若两个天线端口具有 QCL 关系, 则认为从其中一个端口获得的信道估计结果可以用于另一个端口。NR 相比于 LTE, 新增了 QCL-TypeC 和 QCL-TypeD 两种类型, 其中 QCL-TypeD 用于配置参考信号的空间接收参数, 辅助接收端的波束赋型^[19]。具体来说, 若两个参考信号被配置为

QCL-TypeD 关联, 则接收端可以用同一个波束接收这两个参考信号。现有机制基于 UE 对多个 CSI-RS/SSB 的信道状态估计, 将质量最佳的 CSI-RS/SSB 配置为与 SRS-pos 具有 QCL-TypeD 关联, 使得 UE 使用接收该 CSI-RS/SSB 的波束发射 SRS-pos。

NR 设备的上行定位过程中, UE 与服务 gNB/TRP 之间的信令交互如图 4 所示。当需要对某 UE 定位时, 网络侧的位置服务器 (LMF) 向主基站发送位置请求信令, 由主基站对 UE 进行 SRS-pos 相关参数的配置。配置完成后, LMF 向不同地理位置的多个 gNB/TRP 发送定位激活请求。收到定位激活请求的 gNB/TRP 以波束扫描的方式同时探测 SRS-pos, 并将其测量结果反馈给 LMF, 最终由 LMF 基于定位算法计算出 UE 的位置。



图例

— : 新增的空间关系调整过程

图 4 SRS-pos 传输与探测过程

本文基于 60 GHz 的信道特性, 对原 SRS-pos 的传输与探测过程进行了改进。如图 4 中的虚线所示, TRP 基于某个 SRS-pos 传输周期内的测量结果, 调整质量较差的 SRS-pos 资源的空间关系, 将其 QCL-TypeD 关联的参考信号调整为测量结果最佳的 SRS-pos, 使其传输方向避开潜在的隐藏节点。

3.2 定位信号的空间关系调整算法

设某 SRS-pos 资源集中包含 N 个 SRS-pos 资源, 其中 $1 \leq N \leq 16$, 具体 N 值由服务 gNB 基于 UE 的能力进行配置。本算法的应用实体为单个 gNB/TRP, 其探测到的 SRS-pos 资源对应 UE 在限定角度内的多个上行波束。设该固定角度内的 SRS-pos 资源的数量为 K , 分别对应相同或不同的上行波束, 且 $1 \leq K \leq \lfloor N/3 \rfloor$ 。在 UE 传输 SRS-pos 的同时, 每个 TRP 都应用如下的算法对其能探测到的 K 个 SRS-pos 资源进行空间关系调整。

算法 1: SRS-pos 的空间关系调整算法

初始化: 初始化 SRS_SNR_{\limi} ;

传输周期循环:

1) for $l=1, L$ do:

2) 初始化, $SRS_SNR_{\max} = SRS_SNR_{\limi}$, 初始化 K 维向量 bitmap [], 初始化 $\maxId=0$;

3) for $i=1, K$ do;
 4) if $SRS_i_SNR > SRS_SNR_{limit}$: 向 bitmap 中添加比特值 1; if $SRS_i_SNR > SRS_SNR_{max}$: 设置 $SRS_SNR_{max} = SRS_i_SNR$; 更新 $maxId = i$;
 else:
 向 bitmap 中添加比特值 0;
 5) end for
 6) if 0 not in bitmap:
 continue;
 elif 0 in bitmap and 1 in bitmap:
 更新 0 对应的 SRS-pos resources 的准共址参考信号为 SRS_SNR_{max} 对应的 SRS-pos resource;
 elif 1 not in bitmap:
 去激活该 SRS resource set;
 break;

本算法设定 SRS-pos 传输周期数为 L , 在每个传输周期内, 多个 TRP 可以同时应用本算法对朝向其传输的 K 个 SRS-pos 资源进行测量与空间关系调整。设定一个阈值 SRS_SNR_{limit} , 表示能满足终端定位精度的最小接收信噪比。在某个传输周期内, 若 TRP 测量某个 SRS-pos 资源的接收信噪比不大于 SRS_SNR_{limit} , 则在 bitmap 中标记该 SRS 资源索引 (SRI, SRS resource Id) 对应的比特值为 0; 否则, 在 bitmap 中标记该 SRS 资源索引 (SRI) 对应的比特值为 1, 并且若该 SRS 的信噪比大于 SRS_SNR_{max} , 则对 SRS_SNR_{max} 与 $maxId$ 进行更新。

每个传输周期结束时, TRP 的测量结果对应 3 种情况:

情况 1: 所有 SRS-pos resource 的信噪比均大于 SRS_SNR_{limit} : 推断 UE 朝向该 TRP 的传输链路上不存在隐藏节点, 不需要进行空间关系的更新;

情况 2: 部分 SRS-pos resource 的信噪比不大于 SRS_SNR_{limit} : 推测这些 SRS-pos 的传输方向上存在隐藏节点, 服务 gNB 通过 DCI 中的 TCI_state 字段或 MAC-CE 中的比特序列指示需要更新的 SRS-pos resource, 设置它们 QCL TypeD 关联的参考信号索引为 $maxId$;

情况 3: 所有 SRS-pos resource 的信噪比均不大于 SRS_SNR_{limit} : 推断朝向 TRP 发射传输链路受到隐藏节点的严重干扰, 本次定位过程失败。该 TRP 向服务基站报告定位失败信息, 服务基站指示 UE 去激活该 SRS-pos resource set 并由 LMF 报告定位失败信息与该 TRP 的标识。之后, LMF 可以重新选择 TRP 并向其发送定位激活请求, 同时服务基站指示 UE 激活其他的 SRS-pos 资源集, 以重新启动定位过程。

4 仿真结果与分析

为了验证本文所提的空间关系调整方法对隐藏节点的规避效果, 设计如下仿真评估实验, 将本方案应用到 UTDOA 定位系统模型中, 并与传统方法进行对比, 分析其对工作于 60 GHz 频段的定位性能的影响。

仿真评估考虑一个由 3 个 TRP 为顶点的封闭三角形区域, 如图 2 所示, 其中随机分布 N 个其他 RAT 设备, 即可能干扰本蜂窝设备的定位信号传输链路。文中参考 3GPP 国际标准设置仿真参数, 设定 UE 到 TRP_i, j, m 的水平距离分别为 $r_i = 40$ m, $r_j = 30$ m, $r_m = 20$ m, TRP 高度 h 均为 5 米, 得出 UE 到 TRP_i, j, m 的传输距离分别为 40.3 米、30.4 米、20.6 米。设 TRP_j 与 TRP_i 和 TRP_m 形成的夹角为 60° , 即式 (12) 中 $\alpha = 60^\circ$, TRP 间的水平距离 $r_{i,j} = 50$ m, $r_{j,m} = 40$ m。考虑一个占用 1 GHz 带宽且周期间隔 100 ms 的 SRS-pos 资源集。其他仿真参数如下:

表 1 仿真参数设置

| 参数名 | 值 |
|-----------------|-------------|
| 终端发射功率 P_T | 10 dBm |
| 终端天线增益 G_T | 10 dB |
| 基站端天线增益 G_R | 10 dB |
| 噪声单边功率谱密度 N_0 | -174 dBm/Hz |
| 信号频率 f_c | 60 GHz |
| 信号带宽 W | 1 GHz |
| 发射波束数量 K | 5 |
| 其他 RAT 设备数 N | 5 |

使用上述参数进行仿真, 得出使用空间关系更新算法和不进行空间关系更新这两种情况下, TRP 对 SRS-pos 到达时间的测量准确度随传输周期的变化如图 5 所示, 其中测量准确度定义为 TRP 测量得到的 SRS-pos 传输时间与实际传输时间的绝对差值除以实际传输时间。图 6 为 UL-TDOA 定位模型中使用空间关系更新算法和不进行空间关系更新这两种情况下, 实际定位误差随传输周期的变化。

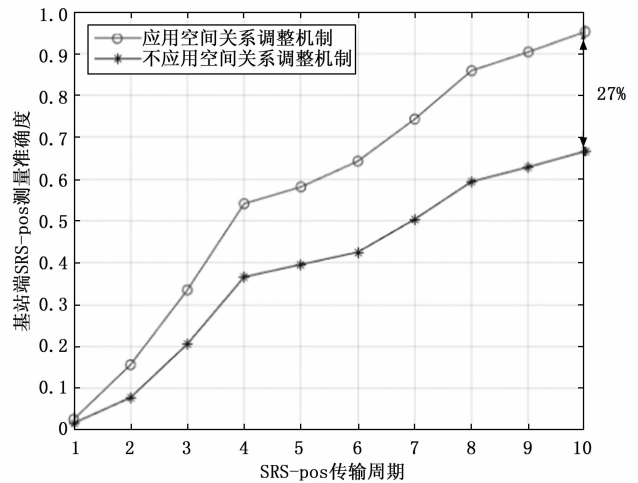


图 5 SRS-pos 测量精度随传输周期的变化图

从图 5 可知, TRP 端的测量准确度随传输时间逐渐增加, 且应用本空间关系调整机制使得 SRS-pos 的测量准确度相比原机制最高提升了 27%。此外, 随着 SRS-pos 的传输时间的增加, 本算法相比原机制对测量准确度的提升量将进一步增加。图 6 显示应用空间关系调整机制显著降低

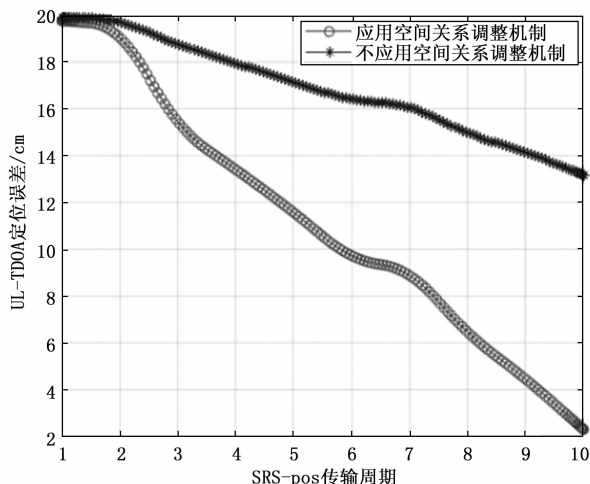


图 6 UL-TDOA 定位误差随传输周期的变化图

了 UL-TDOA 的定位误差, 且相比原机制的误差减小量随传输周期的增加而增加。

综上所述, 本文所提出的空间关系调整机制显著提升了上行定位精度, 并且随着 TRP 对 SRS-pos 测量时间的增加, 本机制对定位精度的提升量也越大。考虑到定位过程的时间开销不能太大, 实际应用中需要在定位可靠性与定位时延之间进行权衡。

5 结束语

本文提出一种空间关系调整算法来减小 60 GHz 频段中定位信号的测量误差, 使得 NR-U 设备能充分利用 60 GHz 的大带宽资源与波束赋型能力实现高精度的定位。以 UL-TDOA 定位机制为例, 基站端基于对多个 SRS-pos 资源的探测结果实时调整某些 SRS-pos 关联的 QCL TypeD 参考信号, 使其传输方向绕过可能存在的隐藏节点。下一步可以考虑引入终端的辅助信息来帮助基站端进一步判断定位信号所在的波束质量, 并分别对每个定位信号设置合适的发射功率, 以适应随机变化的信道状态^[20], 使每个 TRP 的探测质量均能达到最佳, 在满足定位要求的前提下尽可能节省终端的功耗。

参考文献:

- [1] LIU Q, LIU R, WANG Z, et al. Simulation and analysis of device positioning in 5G ultra-dense network [C] //2019 15th International Wireless Communications & Mobile Computing Conference (IWCMC), IEEE, 2019: 1529 - 1533.
- [2] KEATING R, YOON D, TAO T, et al. Opportunities and challenges for nr rat-dependent based positioning [C] //2019 IEEE 90th Vehicular Technology Conference (VTC2019-Fall). IEEE, 2019: 1 - 6.
- [3] KEATING R, SAILY M, HULKKONEN J, et al. Overview of positioning in 5G new radio [C] //2019 16th International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS). IEEE, 2019: 320 - 324.
- [4] FOU DA A, KEATING R, GHOSH A. Dynamic selective posi-

tioning for high-precision accuracy in 5G NR V2X networks [C] //2021 IEEE 93rd Vehicular Technology Conference (VTC2021-Spring), IEEE, 2021: 1 - 6.

- [5] 田园园. 60 GHz 毫米波室内定位算法的研究 [D]. 南京: 东南大学, 2019.
- [6] SEO H, KIM H, KIM T, et al. Accurate positioning using beamforming [C] //2021 IEEE 18th Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC), IEEE, 2021: 1 - 4.
- [7] 梁秀龙. 基于 60 GHz 脉冲的高精度室内定位技术及算法研究 [D]. 青岛: 青岛科技大学, 2016.
- [8] RASTORGUEVA-FOI E, COSTA M, KOIVISTO M, et al. User positioning in mmW 5G networks using beam-RSRP measurements and Kalman filtering [C] //2018 21st International Conference on Information Fusion (FUSION). IEEE, 2018: 1 - 7.
- [9] HAN X, WANG J, SHI W, et al. An indoor precise positioning algorithm using 60 GHz millimeter-wave based on the optimal path search [C] //2017 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps). IEEE, 2017: 1 - 5.
- [10] LAGEN S, GIUPPONI L, PATRICIELLO N. LBT switching procedures for new radio-based access to unlicensed spectrum [C] //2018 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps). IEEE, 2018: 1 - 6.
- [11] 韩小祥. 基于混合高斯模型测距误差修正和 EM-SOM 的节点定位算法设计 [J]. 计算机测量与控制, 2014, 22 (11): 3676 - 3679.
- [12] Techniques mitigating Rx/Tx timing delays; R1-2105908 (Ericsson) [R]. 3GPP TSG-RAN WG1 Meeting # 105-e, 2021, 5.
- [13] Views on PHY Latency Reductions; R1-2109366 (Nokia, Nokia Shanghai Bell) [R]. 3GPP TSG-RAN WG1 Meeting # 106-bis-e, 2021, 10.
- [14] Channel access mechanism; R1-2007884 (TCL) [S]. 3GPP TSG RAN WG1 # 103-e, 2020, 11.
- [15] On demand PRS and reception of SRS in RRC_INACTIVE; R1-2110354 (Ericsson) [S]. 3GPP TSG-RAN WG1 Meeting # 106-bis-e, 2021, 10.
- [16] 江歌, 李志华. 非视距环境下的超宽带室内定位算法 [J]. 计算机测量与控制, 2018, 26 (11): 203 - 207.
- [17] 3GPP. 3GPP TS38.305: 5G; NG Radio Access Network (NG-RAN); Stage 2 functional specification of User Equipment (UE) positioning in NG-RAN, v16.7.0 [S]. 2022, 1.
- [18] 石荣, 吴聪, 阎剑, 等. 信噪比强弱差异双信号的差值参数测量及精度分析 [J]. 舰船电子对抗, 2020, 43 (4): 38 - 43.
- [19] 华为技术有限公司. 准共址信息的确定方法、装置及设备 X [P]. 中国: CN202110271587, 2021 - 06 - 29.
- [20] Discussion on accuracy improvements for UL-AoA positioning solutions; R1-2109194 (Sumsung) [S]. 3GPP TSG-RAN WG1 Meeting # 106bis-e, 2021, 10.