

基于OTDOA的5G定位性能

Comprehensive Analysis of 5G Positioning
Performance Based on OTDOA

综合分析

张建国¹, 徐恩¹, 周鹏云¹, 韩春娜²(1. 华信咨询设计研究院有限公司, 浙江 杭州 310052; 2. 诺基亚通信系统技术(北京)有限公司浙江分公司, 浙江 杭州 310053)

Zhang Jianguo¹, Xu En¹, Zhou Pengyun¹, Han Chunna²(1. Huaxin Consulting Co., Ltd., Hangzhou 310052, China; 2. Nokia Solutions and Networks System Technology Co., Ltd Zhejiang Branch, Hangzhou 310053, China)

摘要:

介绍了5G定位服务的性能需求,分析了1个时隙内的PRS结构,并从PRS带宽(N_{RB}^{PRS})、梳齿尺寸(K_{comb}^{PRS})、符号数(L_{PRS})、周期(T_{per}^{PRS})和重复因子(T_{rep}^{PRS})等方面给出了PRS参数的配置原则。最后给出了基于PRS的OTDOA距离估计的CLRB评价算法,理论上,随着SNR和带宽的增加,OTDOA距离估计的CLRB可以非常小,但是由于多径和NLOS传播、网络同步误差等因素,OTDOA的定位精度比CLRB要至少低2个数量级,因此OTDOA定位应与GNSS等定位技术结合起来以便增加定位精度,满足5G定位服务的性能需求。

Abstract:

It introduces the performance requirements of 5G positioning services, and analyzes the structure of PRS within one slot and offers the configuration principle of PRS parameters, including PRS bandwidth (N_{RB}^{PRS}), comb size (K_{comb}^{PRS}), symbol number (L_{PRS}), periodicity (T_{per}^{PRS}) and repetition factor (T_{rep}^{PRS}). Finally, a CLRB algorithm for OTDOA distance estimation based on PRS is proposed. In theory, the CLRB for OTDOA is very small with the increase of SNR and bandwidth. When comparing the CLRB, OTDOA positioning accuracy is decreased by more than two orders of magnitude due to multipath and NLOS propagation, network synchronization error. So OTDOA positioning should be combined with other positioning technologies such as GNSS to increase positioning accuracy and meet performances of 5G positioning services.

Keywords:

5G; OTDOA; PRS; CLRB; Positioning accuracy

关键词:

5G; OTDOA; PRS; CLRB; 定位精度

doi: 10.12045/j.issn.1007-3043.2021.05.010

文章编号: 1007-3043(2021)05-0038-05

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):



引用格式: 张建国, 徐恩, 周鹏云, 等. 基于OTDOA的5G定位性能综合分析[J]. 邮电设计技术, 2021(5): 38-42.

0 引言

无线定位技术分为4类,分别是卫星定位、蜂窝网定位、无线局域网定位以及其他定位技术,其他定位技术包括气压计定位、可见光定位、视觉定位、红外定位等。目前应用最为广泛的是全球定位导航系统(GNSS——Global Navigation Satellite System),其定位精度是10~30 m,通过GNSS和蜂窝网相结合的辅助GNSS(A-GNSS——Assisted GNSS)定位,如RTK(Re-

al-Time Kinematic)载波相位差分技术,定位精度最高可达厘米级。GNSS定位适合于开阔的室外场景,在城区峡谷和室内场景,GNSS信号面临着多径和NLOS传播、严重的衰减等问题,导致GNSS定位精度急剧下降甚至无法使用,对于以上场景,适合使用蜂窝网定位技术^[1-2]。

由于蜂窝网的覆盖范围较广,不需要移动终端硬件上的升级,在室内也能完成定位,所以基于蜂窝网的定位技术是目前较常用的定位技术。蜂窝网定位的原理是利用现有的蜂窝网络,通过测量信号的某些特征值来完成定位,根据定位技术所采用的测量值,

收稿日期: 2021-03-26

可以将基于蜂窝网的定位技术分为基于增强小区ID (E-CID)定位、观察到达时间差(OTDOA)定位、上行到达时间差(UTDOA)定位、到达角度(AOA)定位以及混合定位^[1]。本文接下来主要分析基于下行定位参考信号(PRS)的OTDOA定位。

1 5G定位服务的性能需求

5G定位服务的性能需求包括水平和垂直精度、速度精度、定位服务可用性、定位服务时延、首次定位时

间等。其中,水平和垂直精度描述的是需要定位的UE的测量位置相对于它的实际位置的精度,是最重要的评估标准,通常使用概率门限作为评估标准,如表1所示,定位速度精度要求在99%服务区内,对于速度的定位优于0.5 m/s,对于三维方向移动的定位优于5°;定位服务时延指的是无线层的时延,不是端到端的时延;首次定位时间要求小于30 s,某些特殊用例要求小于10 s^[3]。

服务等级1是广域定位,其需要的定位精度最低,

表1 5G定位服务的性能需求

| 定位服务等级 | 精度(95%可信度) | | 定位服务可用性/% | 定位服务时延 | 覆盖、使用环境和UE速度 | | |
|--------|------------|--------|-----------|--------|------------------------|---------------------------------|------|
| | 水平精度/m | 垂直精度/m | | | 5G定位服务区/(km/h) | 5G增强定位服务区/(km/h) | |
| | | | | | | 室外和隧道 | 室内 |
| 1 | 10 | 3 | 95 | 1 s | 室内:最高30;室外:最高250 | - | 最高30 |
| 2 | 3 | 3 | 99 | 1 s | 高铁:最高500;其他车辆:最高250 | 密集市区:最高60;公路沿线:最高250;高铁沿线:最高500 | 最高30 |
| 3 | 1 | 2 | 99 | 1 s | 高铁:最高500;其他车辆:最高250 | 密集市区:最高60;公路沿线:最高250;高铁沿线:最高500 | 最高30 |
| 4 | 1 | 2 | 99.9 | 15 ms | - | - | 最高30 |
| 5 | 0.3 | 2 | 99 | 1 s | 室外(农村):最高250 | 密集市区:最高60;公路和高铁沿线:最高250 | 最高30 |
| 6 | 0.3 | 2 | 99.9 | 10 ms | - | 密集市区:最高60 | 最高30 |
| 7 | 0.2 | 0.2 | 99 | 1 s | 室内和室外(农村、城市、密集市区):最高30 | | |

主要用于物流管理、废物管理和收集、紧急呼叫、医院外的患者和急救设备定位、资产跟踪和管理等领域,其中废物管理和收集、资产跟踪和管理要求UE具有极低的功耗,假设每小时更新多次位置,1 800 mWh的电池可以使用12年以上。

服务等级2~4是高精度定位,主要应用于人员跟踪、机器控制和交通等领域。服务等级2应用于共享单车、可穿戴设备、广告推送、医院内的人员和医疗设备定位;服务等级3应用于交通流量监控、管理和控制,车辆收费等领域;服务等级4应用于工厂内的无人搬运车定位。

服务等级5~6是超高精度定位,主要应用于自动驾驶、工业控制等领域,服务等级5适合于进行数据分析,服务等级6适合于高服务可用性、低时延需求的远程控制。

服务等级7是相对定位,适合于无人机集群定位,只有当2个UE或UE和5G定位节点的距离在10 m以内时,相对位置的定位精度才有可能达到0.2 m以下^[4]。

需要说明的是,单独依赖5G定位技术不能完全满足表1的性能需求,5G定位技术应与其他定位技术结合起来使用,才有可能完全满足表1的性能需求。

2 PRS的结构和配置原则

2.1 PRS的结构

OTDOA定位是基于UE测量服务小区和相邻小区的参考信号到达UE的时间差,也称为参考信号时间差(RTSD——Reference Signal Time Difference),由于测量量是时间差而非绝对时间,不必满足基站与UE之间必须时间同步的要求。为实现OTDOA定位尽可能多地探测相邻小区的信号,UE需要以较高的概率检测到至少4个基站的信号^[1]。

理论上,任何下行参考信号,如PSS、SSS、CSI-RS,都可以获得RSTD测量值因而支持OTDOA定位,但是这些下行参考信号设计和实施的目的是用于数据通信,因此相邻小区的信号通常较弱而不能被探测,这就导致UE检测不到足够数量相邻小区的下行参考信号,因此,为了提高UE检测到相邻小区的概率,满足OTDOA所需RSTD测量量的要求,3GPP Rel-16定义了PRS以提高OTDOA的定位精度^[5]。

PRS在频域上占用 N_{RB}^{PRS} 个PRB,采用梳状(comb)的结构,每个PRB在单个OFDM符号上有 $12/K_{comb}^{PRS}$ 个PRS信号。PRS在1个时隙内占用 L_{PRS} 个OFDM符号,PRS信号采用交错(staggered)的结构,相比于非交错

结构, 交错结构具有更好的互相关峰值。1 个时隙内的 PRS 结构如图 1 所示^[6]。

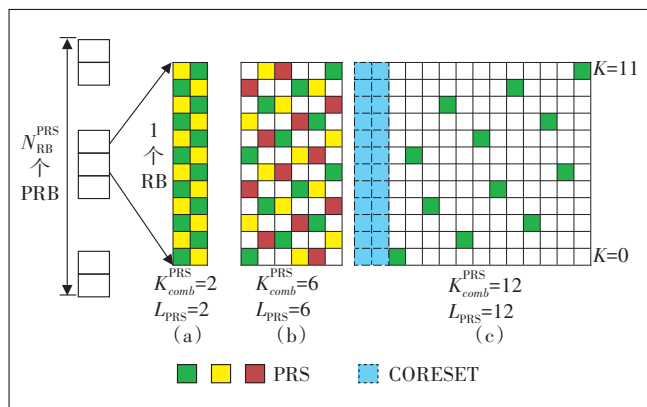


图 1 1 个时隙内的 PRS 结构

2.2 PRS 参数的配置原则

PRS 在 1 个时隙内的关键参数包括 PRS 带宽 N_{RB}^{PRS} 、梳齿尺寸 K_{comb}^{PRS} 、符号数 L_{PRS} 等, 除了以上 3 个关键参数, PRS 还涉及到周期 T_{per}^{PRS} 和重复因子 T_{rep}^{PRS} 2 个关键参数。每个参数的配置原则如下。

a) N_{RB}^{PRS} 的配置原则。 N_{RB}^{PRS} 是用于 PRS 传输的 PRB 数, N_{RB}^{PRS} 最小值为 24 个 PRB, 最大值为 272 个 PRB, 颗粒度是 4 个 PRB^[7]。 N_{RB}^{PRS} 的配置与定位精度有关, 在其他参数相同的条件下, N_{RB}^{PRS} 越大, 对应的采样周期越小, 相关波形越窄, 得到的峰值误差越小, 定位精度越高, 但是开销也越大。对于 N_{RB}^{PRS} 配置, 有 2 点需要注意, 第 1 点: N_{RB}^{PRS} 的配置独立于 UE 的 BWP (Bandwidth Part), 因此 PRS 有可能位于 UE 的 BWP 之外, 如果 UE 不测量 BWP 之外的 PRS 信号, 就会导致定位性能下降, 为了避免这种情况, 建议 PRS 配置在公共 BWP 上, 其好处是可以满足大量 UE 同时定位的需求^[8]; 第 2 点: 当采用功率提升时, PRS 应避开信道边缘的 1~2 个 PRB, 以便降低非期望辐射, 减少对其他数据信道或系统的干扰。

b) K_{comb}^{PRS} 的配置原则。 K_{comb}^{PRS} 是 PRB 的梳齿尺寸, 取值为 2、4、6、12。 K_{comb}^{PRS} 的配置首先需要考虑 PRS 的定位范围, UE 通过时域自相关, 在时域上搜索峰值来估计到达时间 (TOA——Time Of Arrival), 为了减少复杂性和时延, 需要限制 UE 的搜索窗, K_{comb}^{PRS} 越大, 搜索窗越窄, PRS 的非模糊自相关窗 (NAAW——Non-Ambiguous Autocorrelation Window,) 的时长依赖于 K_{comb}^{PRS} 和 OFDM 符号持续时间 T_{smbol} , 进而可以转换为 PRS 的定位范围, 如式 (1) 所示^[9]:

$$\text{PRS 的定位范围 (m)} = \frac{c \times T_{smbol}}{K_{comb}^{PRS}} = \frac{c}{K_{comb}^{PRS} \times \text{SCS (Hz)}} \quad (1)$$

根据式 (1), 可以计算出, 对于不同的子载波间隔 (SCS——Sub-Carrier Spacing) 和 K_{comb}^{PRS} , PRS 的定位范围如表 2 所示。其次, K_{comb}^{PRS} 的配置还需要考虑 UE 的信道带宽、小区密度等因素。 K_{comb}^{PRS} 越小, 频域上的 PRS 密度越大, 即使较小的带宽也能达到较高的定位精度, 因此较小的 K_{comb}^{PRS} 适合于带宽受限场景, 如低带宽的物联网设备。 K_{comb}^{PRS} 越大, 可复用的 PRS 信号数量越多, 如 $K_{comb}^{PRS} = 6$ 时, 在频域上可以最多复用 6 个 PRS, 图 1 (b) 给出了复用 3 个 PRS 信号的情形, 因此较大的 K_{comb}^{PRS} 减少了 PRS 冲突的概率, 适合于高密度小区, UE 可以通过检测更多的小区以提高定位精度; 另外, 较大的 K_{comb}^{PRS} 还可以通过功率提升来改善 SNR, 进而提高定位精度, 如 $K_{comb}^{PRS} = 4、6、12$ 时, PRS 提升功率分别为 6 dB、7.8 dB、10.8 dB^[10]。过大的 K_{comb}^{PRS} 也存在占用的带宽较大、易受多普勒频移影响、较长的扫描时间增加了由于 UE 移动和时钟漂移引入的误差等缺点。另外, 对于以下 2 个场景, 在配置 K_{comb}^{PRS} 的时候需要特别注意。室内场景具有低多普勒频移、低传播时延、低时延扩展的特点, K_{comb}^{PRS} 可以配置得大一些, 如 K_{comb}^{PRS} 配置为 12。对于 UE 高速移动场景, 一方面, 高速移动 UE 的位置随着时隙变化而变化, UE 需要同时检测更多小区的 PRS, 配置较大的 K_{comb}^{PRS} 比较合适; 另一方面, 高速移动的 UE 多普勒频移较大, 配置较小的 K_{comb}^{PRS} 比较合适, 建议对于 UE 高速移动场景, K_{comb}^{PRS} 配置为 4 或 6 比较合适。

表 2 PRS 的定位范围 (单位: m)

| SCS/kHz | K_{comb}^{PRS} | | | |
|---------|------------------|-------|----------|----------|
| | 2 | 4 | 6 | 12 |
| 15 | 10 000 | 5 000 | 3 333.33 | 1 666.67 |
| 30 | 5 000 | 2 500 | 1 666.67 | 833.33 |
| 60 | 2 500 | 1 250 | 833.33 | 416.67 |
| 120 | 1 250 | 625 | 416.67 | 208.33 |

c) L_{PRS} 的配置原则。 L_{PRS} 是 1 个时隙内的 PRS 符号数, 取值为 2、4、6、12。 L_{PRS} 的配置与 K_{comb}^{PRS} 和 PRS 开销等有关系。如果 1 个时隙内的 L_{PRS} 小于 K_{comb}^{PRS} , 则在频域的某些子载波上会一直没有 PRS, PRS 自相关后产生较大的侧峰 (side peak), 进而影响定位精度和定位范围。本文建议 L_{PRS} 等于 K_{comb}^{PRS} 或者 L_{PRS} 是 K_{comb}^{PRS} 的整数倍, 其好处是相干合成后的自相关值只有一个主峰,

而没有侧峰,因此会提高定位精度,其缺点就是PRS占用的OFDM符号较多,开销较大^[11]。

d) T_{per}^{PRS} 的配置原则。 T_{per}^{PRS} 是PRS资源的周期,共有17种取值,最小值为4 ms,对于SCS=15 kHz,最高可以配置为5 120 ms,对于SCS=30、60和120 kHz,最高可以配置为10 240 ms。 T_{per}^{PRS} 的配置与首次定位时间、UE功耗、定位服务时延等有关。首先, T_{per}^{PRS} 应小于首次定位时间。其次,较长的 T_{per}^{PRS} 可以避免UE因为频繁的的定位操作而耗尽电池容量,因此适合于低功耗场景;较短的 T_{per}^{PRS} 可以对UE进行频繁的的定位操作,因此适合于低时延场景,其缺点就是开销较大^[8]。

e) T_{rep}^{PRS} 的配置原则。 T_{rep}^{PRS} 是PRS资源的重复次数,取值为1、2、4、6、8、16、32,设置较大的重复因子可以聚合PRS信号能量,因此增加了PRS的覆盖范围和定位精度,其缺点就是开销较大。

3 OTDOA定位性能分析

3.1 OTDOA距离估计的CRLB分析

基于传播时间的定位方法,如TOA和OTDOA,需要对来自不同基站的信号进行精确的估计,OTDOA的估计偏差直接决定了定位精度,OTDOA的估计偏差越大,则定位误差越大,OTDOA估计偏差的一种评价方法是克拉美-罗下界(CRLB——Cramer-Rao lower bound)。

CRLB是在给定的SNR下,任何无偏估计器能够达到的精度的下界,无偏估计的方差只能无限制的逼近CRLB,而不会小于CRLB。假设信道条件是AWGN信道,不考虑网络的同步误差、多径和NLOS传播导致的测量误差,PRS信号的OTDOA方差 $VAR(\tau)$ 的CRLB如式(2)所示^[12]:

$$VAR(\tau) \geq \frac{1}{SNR \cdot 8\pi^2 \Delta f^2 \sum_{l=0}^{N_{sub}-1} \sum_{k=-N/2}^{N/2-1} k^2 |a_{k,l}|^2} \quad (2)$$

在式(2)中, Δf 是子载波间隔, N_{sub} 是PRS总的OFDM符号数, N 是PRS带宽内的子载波数,如果在RE(k,l)上没有PRS,则 $|a_{k,l}|=0$,如果在RE(k,l)上有PRS,则 $|a_{k,l}|=1$ 。

根据式(2),可以发现,OTDOA的方差 $VAR(\tau)$ 依赖于SNR、子载波间隔、PRS带宽 N_{RB}^{PRS} 以及PRS符号数 L_{PRS} 和重复因子 T_{rep}^{PRS} ,这几个参数的值越大,OTDOA的方差 $VAR(\tau)$ 越小,相应的距离估计精度就越高。

OTDOA距离估计的标准差 $d(\sigma)$ 如式(3)所示^[2]。

$$d(\sigma) = c\sqrt{VAR(\tau)} = 3 \times 10^8 \text{ m/s} \times \sqrt{VAR(\tau)} \quad (3)$$

假设 $L_{PRS} = K_{comb}^{PRS}$, $N_{ymb} = L_{PRS}$, 重复因子 $T_{rep}^{PRS} = 1$, PRS带宽 N_{RB}^{PRS} 分别是24、136、272个PRB,即子载波数 N 分别是288、1 632和3 264,根据式(2)和式(3),可以计算出不同SNR的条件下,OTDOA距离估计的CRLB

表3 OTDOA距离估计的CLRB(单位:m)

| SCS/ kHz | SNR=0 | | | SNR=10 | | | SNR=20 | | |
|-------------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|
| | 288 | 1 632 | 3 264 | 288 | 1 632 | 3 264 | 288 | 1632 | 3 264 |
| 15 | 1.596 | 0.118 | 0.042 | 0.505 | 0.037 | 0.013 | 0.160 | 0.012 | 0.004 |
| 30 | 0.798 | 0.059 | 0.021 | 0.252 | 0.019 | 0.007 | 0.080 | 0.006 | 0.002 |
| 60 | 0.399 | 0.030 | 0.010 | 0.126 | 0.009 | 0.003 | 0.040 | 0.003 | 0.001 |
| 120 | 0.200 | 0.015 | 0.005 | 0.063 | 0.005 | 0.002 | 0.020 | 0.001 | 0.001 |

(见表3)。

从表3可以发现,随着SNR和带宽的增加,OTDOA距离估计的CLRB迅速变小,在SNR=10 dB的条件下,当 $N_{RB}^{PRS}=24$ 、SCS=15 kHz(5 MHz带宽), $N_{RB}^{PRS}=272$ 、SCS=15 kHz(50 MHz带宽), $N_{RB}^{PRS}=272$ 、SCS=30 kHz(100 MHz带宽), $N_{RB}^{PRS}=272$ 、SCS=120 kHz(400 MHz带宽)时,OTDOA距离估计的CLRB分别是0.505 m, 0.013 m, 0.007 m和0.002 m。

3.2 OTDOA距离估计的结果分析

文献[13]给出了不同厂家提交的OTDOA距离估计的评估结果。本文只列出华为的评估结果作为参考(见表4)。其中,室内开放办公室(IOO——Indoor Open Office)、UMi和UMa分别对应着室内开放办公室

表4 OTDOA距离估计的评估结果(单位:m)

| 评估的参数 | | | | IOO | | UMi | | UMa(室外) | |
|------------|-------------|------------|---------|------|------|------|------|---------|------|
| 频率/ GHz | SCS/ kHz | 带宽/ MHz | 同步误差/ns | 67% | 90% | 67% | 90% | 67% | 90% |
| 4 | 30 | 100 | 0 | 1.5 | 5.7 | 1.6 | 9.1 | 1.5 | 62.4 |
| 4 | 15 | 50 | 0 | 2.9 | 8.1 | 2.8 | 11.0 | 2.5 | 16.5 |
| 2 | 15 | 50 | 0 | 2.9 | 7.9 | 2.8 | 11.0 | 2.8 | 32.1 |
| 2 | 15 | 5 | 0 | 10.1 | 16.0 | 21.7 | 40.3 | 22.9 | 68.4 |
| 4 | 30 | 100 | 50 | 15.1 | 24.9 | 22.4 | 47.6 | 20.0 | 42.0 |
| 4 | 15 | 50 | 50 | 15.1 | 25.3 | 23.5 | 47.6 | 23.0 | 40.0 |
| 2 | 15 | 50 | 50 | 14.4 | 23.9 | 21.8 | 42.6 | 23.0 | 55.0 |
| 2 | 15 | 5 | 50 | 17.0 | 28.8 | 30.5 | 57.8 | 30.0 | 62.0 |
| 30 | 120 | 100 | 0 | 1.6 | 4.8 | 4.4 | 17.5 | - | - |
| 30 | 120 | 400 | 0 | 0.4 | 1.4 | 3.0 | 9.7 | - | - |
| 30 | 120 | 100 | 50 | 21.7 | 38.5 | 19.3 | 29.5 | - | - |
| 30 | 120 | 400 | 50 | 21.7 | 38.1 | 18.5 | 26.9 | - | - |

场景、城区街道峡谷场景(站间距是200 m)、宏基站场景(站间距是500 m);67%、90%表示的是圆概率误差。

从表4可以发现,OTDOA的定位精度比表3计算的CLRB要低至少2个数量级,主要有以下2点原因。

a) 信号传播误差:采用GNSS定位,通常认为GNSS信号是视距(LOS——Line Of Sight)传播,而PRS信号则通常要经历多径和NLOS传播,NLOS传播会给UE和基站之间的定时测量带来偏差,这个偏差对定位性能有显著的影响;多径传播也会限制定位性能,其严重程度由多径信号的相对幅度、相位和延迟三者共同决定;此外,蜂窝网中的严重干扰可能影响到PRS的正常获取。

b) 基站侧误差:网络同步误差会对定位性能造成影响,根据3GPP协议,宏基站、中距基站、局域基站的频率误差分别是 ± 0.05 ppm、 ± 0.1 ppm、 ± 0.1 ppm^[14],即网络同步误差分别是 ± 50 ns、 ± 100 ns、 ± 100 ms,对应的距离不确定性分别是15 m、30 m和30 m,远远高于3 m精度的定位需求,为了达到低于3 m的距离不确定性,NR基站的定时误差应小于 ± 10 ns;此外,基站位置误差会直接带入定位算法中,对于用于定位目的的基站,应采用大地测量仪或高精度的GPS接收机,尽量使位置误差限制在米级或以下^[1]。

从表4还可以得出以下结论:在不考虑网络同步误差的情况下,单独依靠OTDOA定位可以满足表1的少部分定位服务需求,在考虑网络同步误差的情况下,单独依靠OTDOA不能满足表1的定位服务需求。为了满足表1的定位精度需求,一方面,可以通过提高SNR、采用更大的SCS、更大的PRS带宽 N_{RB}^{PRS} 、更长的符号数 L_{PRS} 和更大的重复因子 T_{rep}^{PRS} ,以提高OTDOA的定位精度,其中提高SNR的方法包括增加基站功率、功率提升、提高UE的接收机灵敏度、采用Massive-MIMO天线增加赋形增益等措施;另一方面,OTDOA定位技术应该与GNSS、TBS(Terrestrial Beacon System)、传感器、基于WLAN/蓝牙等定位技术联合起来使用,进一步提高定位精度、服务可靠性、服务时延等,以满足表1的定位服务需求^[3]。

4 结束语

除了利用专门的PRS进行定位外,也可以利用属于CSI-RS的跟踪参考信号(TRS——Tracking Reference Signal)进行定位,由于TRS是用于通信目的,为了定位目的而增加的开销远远小于PRS,且其定位精

度与PRS相比,只是有少量的下降,因此,对于定位精度要求不高的场景,也可以使用TRS进行定位,而基于PRS的定位使用在对定位精度和定位时延要求较高的场景^[15]。总之,5G信号具有大带宽、高SNR的优势,其提供的定位精度高于传统的无线网络,5G网络定位技术在未来具有广阔的应用空间。

参考文献:

- [1] 刘琪,冯毅,邱佳慧. 无线定位原理与技术[M]. 北京:人民邮电出版社,2017:6-8.
- [2] STEPHAN S, DAMMANN A, CHRISTIAN M. Positioning in Wireless Communications Systems[M]. John Wiley & Sons,2014.
- [3] TSGSSA; Service requirements for the 5G system; Stage1:3GPP TS 22.261[S/OL].[2020-05-04]. <ftp://3gpp.org/specs/>.
- [4] TSGSSA; Study on positioning use cases; Stage1:3GPP TR 22.872[S/OL].[2020-05-04]. <ftp://3gpp.org/specs/>.
- [5] R1-1812616, NR Positioning Reference Signals for OTDOA [EB/OL].[2020-05-04]. ftp://3gpp.org/tsg_ran/.
- [6] NR; Physical channels and modulation; 3GPP TS 38.211[S/OL].[2020-05-04]. <ftp://3gpp.org/specs/>.
- [7] NR; Physical layer procedures for data; 3GPP TS 38.214[S/OL].[2020-05-04]. <ftp://3gpp.org/specs/>.
- [8] R1-1904394, DL and UL Reference Signals Design for NR Positioning[EB/OL].[2020-05-04]. ftp://3gpp.org/tsg_ran/.
- [9] R1-1904004, DL and UL Reference Signals for NR Positioning[EB/OL].[2020-05-04]. ftp://3gpp.org/tsg_ran/.
- [10] R1-1909424, DL reference signals for NR positioning [EB/OL].[2020-05-04]. ftp://3gpp.org/tsg_ran/.
- [11] R1-1913135, DL reference signals for NR positioning [EB/OL].[2020-05-04]. ftp://3gpp.org/tsg_ran/.
- [12] R1-1901980 Further discussion of NR RAT-dependent DL Positioning[EB/OL].[2020-05-04]. ftp://3gpp.org/tsg_ran/.
- [13] TSGRAN; Study on NR positioning support; 3GPP TR 38.855[S/OL].[2020-05-04]. <ftp://3gpp.org/specs/>.
- [14] NR; Base Station (BS) radio transmission and reception; 3GPP TS 38.104[S/OL].[2020-05-04]. <ftp://3gpp.org/specs/>.
- [15] R1-1905461 DL and UL Reference Signals for NR Positioning [EB/OL].[2020-05-04]. ftp://3gpp.org/tsg_ran/.
- [16] NG-RAN; Stage 2 functional specification of User Equipment (UE) positioning in NG-RAN; 3GPP TS 38.405[S/OL].[2020-05-04]. <ftp://3gpp.org/specs/>.

作者简介:

张建国,毕业于南京邮电学院,高级工程师,硕士,主要从事无线网络的规划和设计工作;徐恩,毕业于中国人民大学,高级工程师,硕士,主要从事移动通信网络咨询、规划、设计和优化工作;周鹏云,毕业于北京邮电大学,工程师,学士,主要从事无线网络规划和设计工作;韩春娜,毕业于南京邮电学院,工程师,硕士,主要从事5G相关测试和规划工作。