

# NR NTN 网络验证 UE 位置策略分析

Analysis on Network-Verified UE Location Strategies for NR NTN

张建国<sup>1</sup>,王森<sup>2</sup>,周励人<sup>3</sup>,杨东来<sup>1</sup>(1. 华信咨询设计研究院有限公司,浙江 杭州 310052;2. 中讯邮电咨询设计研究院有限公司,北京 100048;3. 中国电信股份有限公司金华分公司,浙江 金华 321000)

Zhang Jianguo<sup>1</sup>, Wang Sen<sup>2</sup>, Zhou Liren<sup>3</sup>, Yang Donglai<sup>1</sup>(1. Huixin Consulting Co., Ltd., Hangzhou 310052, China;2. China Information Technology Designing & Consulting Institute Co., Ltd., Beijing 100048, China;3. China Telecom Co., Ltd. Jinhua Branch, Jinhua 321000, China)

## 摘要:

UE 视野内通常只有一颗卫星,传统的多节点联合定位不再适用于 NTN 场景,创新地提出了单卫星 Multi-RTT 定位,不同时刻的 LEO 卫星具有不同的位置,UE 测量来自同一颗卫星的下行链路信号在不同时间点的 UE Rx-Tx 时间差并报给 LMF,服务 gNB 测量来自 UE 的上行链路信号在不同时间点的 gNB RX-TX 时间差并报告给 LMF,由 LMF 进一步计算 RTT,再结合不同时间点的卫星坐标,估计出 UE 的位置。最后分析了 UE Rx-Tx 时间差和 gNB RX-TX 时间差。

## Abstract:

There is usually only one satellite in the UE's view, so traditional multi-node joint positioning is no longer applicable to NTN scenarios. It innovatively puts forward Multi-RTT positioning principle with single satellite. LEO satellites have different positions at different times. UE measures and reports UE Rx-Tx time difference of the downlink signal from the same satellite at different time instants and reports it to the LMF. LMF further calculates the RTT, and then estimates the location of the UE by combining satellite coordinates at different time points. Finally, it analyzes UE Rx-Tx time difference and gNB Rx-Tx time difference.

## Keywords:

NR NTN; Multi-RTT positioning; Timing drift; UE location

**引用格式:** 张建国,王森,周励人,等. NR NTN 网络验证 UE 位置策略分析[J]. 邮电设计技术,2025(12):1-5.

## 1 概述

为了实现无处不在的通信服务,3GPP 在 Rel-17 版本中将卫星通信作为地面 5G 蜂窝移动通信网的重要补充,被称为非地面网络(Non-Terrestrial Networks, NTN)。NTN 具有覆盖范围大的优势,因此能够大大加强 5G 服务的可靠性,也能够确保在任何区域都有可以利用的 5G 信号,当发生地震、洪水等重大自然灾害时,地面通信系统失灵后,NTN 网络可以提供应急通信<sup>[1]</sup>。

**收稿日期:** 2025-10-16

## 关键词:

NR NTN; Multi-RTT 定位; 定时漂移; UE 位置

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2025.12.001

文章编号:1007-3043(2025)12-0001-05

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):



运营商在运营 NTN 网络时,为了让 UE 成功注册和选择合适的核心网功能,必须可靠地知道附着到网络的 UE 位置信息。主要是满足政策要求的各种服务,包括公共预警系统、合法监听、应急服务、计费和收费通知<sup>[2-3]</sup>。

3GPP Rel-17 规定,接入到卫星的 UE 必须具有 GNSS 接收机,理论上,UE 可以在 RRC 连接状态给无线接入网发送 GNSS 测量信息,这样网络就可以通过 UE 的上报来获取 UE 位置信息,然后根据 UE 的位置信息,选择合适的 PLMN。通过 UE 上报位置信息有 2 个缺点:第一,UE 上报的 GNSS 位置信息可能是错误的,

错误的原因可能是内部因素,如用户或者第三方的恶意篡改,为了尝试连接到不同的核心网,恶意的UE可能“欺骗”网络,以便选择到不同的PLMN;也可能是外部因素,如受到干扰。第二,在接入层(Access Stratum, AS)安全建立之前,在RRC上发送GNSS位置信息会引起安全和隐私问题。基于以上2个原因,网络不能完全信任UE报告的位置信息。

Rel-18版本对NR NTN功能进行了增强,增加了网络验证UE位置功能。对于NTN,网络验证UE位置的精度要求是5~10 km,与宏小区的大小相一致,基本上满足国家识别和核心网选择的需求。

由于UE视野内通常只有一颗卫星,传统的多节点联合定位不再适用于NTN场景,本文提出了单卫星Multi-RTT定位,并对UE和gNB上报的参考信号的测量值进行了分析。

## 2 单卫星 Multi-RTT 定位原理

对于NTN,小区或波束的尺寸通常是几十km到上百km,依赖小区ID的定位方法满足不了定位精度要求。此外,由于卫星的宽波束,不能使用基于角度的定位方法,可以使用基于时间的定位方法。

3GPP中的定位方法是为地面网络(Terrestrial Network, TN)设计的,其中网络节点是静止的,对于下行到达时间差(Downlink Time Difference of Arrival, DL-TDOA)定位方法,需要测量从3个网络节点发送的信号以计算精确的位置。在NTN中,UE视野中通常只有单颗卫星,传统的多节点联合定位需要增强为单节点不同时刻的联合定位,不同时刻的低轨道(Low Earth Orbit, LEO)卫星具有不同的位置,可以将其视为不同的网络节点,为了计算UE的位置,可以多次重复测量,这种定位方法称为单卫星Multi-RTT定位。单卫星Multi-RTT定位适用于具有准地面固定或地面移动波束的非静止对地(Non-GeoStationary Orbit, NGSO)星座。

单卫星Multi-RTT定位原理如下:由于网络总是知道卫星的位置,因此每个测量的往返时间(Round Trip Time, RTT)值对应于地面上的一个圆,该圆由所有距离卫星相同的点组成,中心是卫星位置对地面的投影。随着卫星位置的变化,会产生具有不同中心的多个圆,如果RTT增加或减少,还会产生不同直径的圆,同一颗卫星在不同位置的多个圆之间的交点,即是UE的位置,单卫星Multi-RTT定位原理如图1所示。

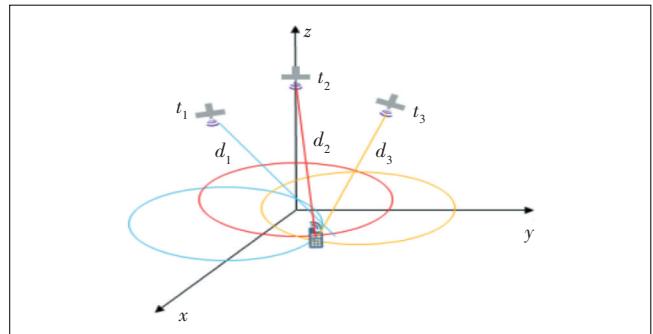


图1 单卫星 Multi-RTT 定位原理

示<sup>[4]</sup>。

单卫星Multi-RTT定位通过测量PRS(Positioning Reference Signal)和SRS(Sounding Reference Signal)来验证UE位置。DL-PRS信号是携带PN序列的置换和交错梳状QPSK信号,SRS信号是承载Zadoff-Chu序列的规则梳状信号,PRS和SRS信号都可以在相应的端点与相应的复制信号相关,根据相关峰值出现的时间来确定发射机和接收机之间的延迟。

在NTN中,RTT测量示意如图2所示。gNB在 $t_0$ 处通过DL-PRS信号的传输来发起测量,该信号在时间 $t_1$ 处通过卫星并且在时间 $t_2$ 处由UE接收。在经过一些处理延迟之后,UE在时间 $t_3$ 发起SRS信号的传输,该信号在时间 $t_4$ 经过卫星并在时间 $t_5$ 到达gNB。gNB将RTT确定为 $RTT=t_5-t_0-(t_3-t_2)$ ,就传播延迟而言,这意味着 $RTT=\tau_0+\tau_1+\tau_2+\tau_3$ <sup>[5]</sup>。

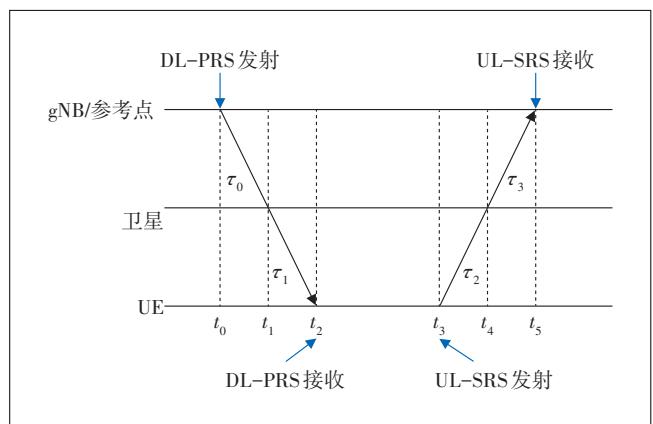


图2 RTT 测量示意

在实践中,由于UE在相对于接收的DL帧*i*,提前 $T_{TA}$ 发送UL帧*i*,以确保上下行子帧在上行时间同步参考点处对齐,因此RTT为总的UE Rx-Tx的时间差与gNB Rx-Tx之和。NTN的定时关系如图3所示<sup>[6-7]</sup>。

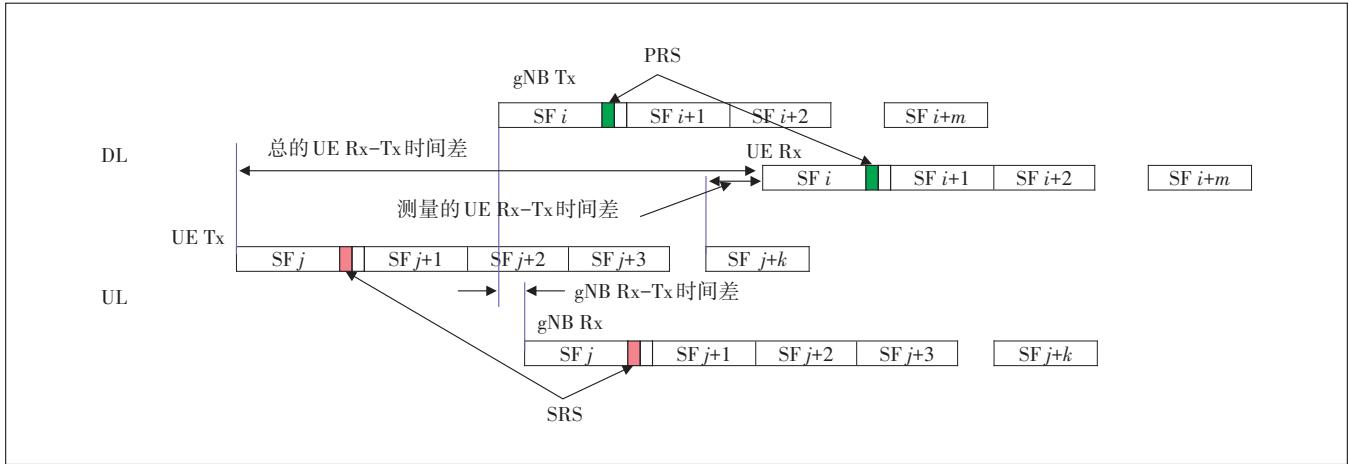


图3 NTN的定时关系

### 3 单卫星 Multi-RTT 定位的测量量

UE 测量的 UE Rx-Tx 时间差和 gNB 测量的 gNB Rx-Tx 时间差通常提供给定位测量功能(Location Measurement Function, LMF),由 LMF 进一步计算 RTT,再结合不同时间点的卫星坐标,估计出 UE 的位置<sup>[8]</sup>。

#### 3.1 UE Rx-Tx 时间差

根据 3GPP TS 38.133 协议,UE Rx-Tx 时间差的报告范围定义为  $-985\ 024\ T_e$  到  $985\ 024\ T_e$ ,  $T_e = 0.509\ \text{ns}$ , 大约为  $-0.5\ \text{ms}$  到  $+0.5\ \text{ms}$ , 即 1 个子帧的范围,这个报告范围是为 TN 设计的。NTN 具有较大的小区半径和传播延迟,对于高度约为 36 000 km 的地球同步轨道卫星,RTT 为 240 ms(仅服务链路),如果使用与地面网络类似的逻辑,NTN 需要  $-120\ \text{ms}$  和  $+120\ \text{ms}$  的时间差,传统的 UE Rx-Tx 时间差定义不再合适<sup>[9]</sup>。

为了尽可能多地重用当前信令并减少对规范的影响,3GPP 协议规定,不对传统的 UE Rx-Tx 时间差的定义进行修改,UE 继续按照原有的定义和格式报告 UE Rx-Tx 时间差,除此之外,UE 还需要以子帧为单位报告子帧#*j* 和子帧#*i* 之间的实际索引差值。

在 LEO 场景中,卫星以非常高的速度移动,例如,轨道高度为 600 km 的 LEO 卫星的速度为 7.56 km/s,当卫星靠近或远离 UE 时,UE 观察到 DL 信号将在 UE 的接收机处发生收缩或扩展,UE 观察到的 DL 子帧长度不再是 1 ms,此种现象即是多普勒引起的 DL 定时漂移。定时漂移导致的后果是,任何依赖于对 DL 子帧的数量进行计数,并假设 UE 观察到的 DL 子帧长总是恒定(即 1 ms)的 UE Rx-Tx 时间差测量解决方案都可能导致 UE Rx-Tx 时间差不准确,从而导致使用单卫星

Multi-RTT 方法测量 UE 位置的结果不准确。因此,UE 除了报告子帧#*j* 和子帧#*i* 之间的实际索引差值外,还需要报告与 UE RX-TX 时差测量周期相关的服务链路上的多普勒引起的 DL 定时漂移。

服务链路上由于多普勒而产生的 DL 定时漂移(ppm)可以使用式(1)计算:

$$\text{定时漂移} = \pm \frac{1}{c} \times \left( v_{\text{UE}} + v_{\text{sat}} \times \frac{R_e}{R_e + h} \times \cos \alpha \right) \times 10^6 \quad (1)$$

其中, $v_{\text{sat}}$ 、 $v_{\text{UE}}$ 、 $c$ 、 $R_e$ 、 $h$  和  $\alpha$  分别表示卫星速度、UE 速度、光速、地球半径、卫星高度和卫星仰角。在式(1)中,假设最坏的情况,即 UE 的移动方向直接朝向卫星,假设 UE 最大速度为 1 200 km/h,则根据式(1)可以计算出不同卫星高度和仰角的定时漂移(见表 1)<sup>[10]</sup>。

表 1 不同卫星高度和仰角的定时漂移(单位:ppm)

高度	仰角	
	$30^\circ$	$10^\circ$
600 km	$\pm 21.1$	$\pm 23.8$
400 km	$\pm 22.0$	$\pm 24.8$

从表 1 可以看出,即使在仰角为  $10^\circ$ ,卫星高度为 400 km 的最坏情况下,DL 定时漂移为  $\pm 24.8\ \text{ppm}$ ,再添加 0.2 ppm 的边际误差,DL 定时漂移的最大值范围是  $\pm 25\ \text{ppm}$ 。

综上所述,总的 UE Rx-Tx 时间差由以下 3 个部分组成(见图 4)。

- a) 测量的 UE Rx-Tx 时间差。
- b) UE Rx-Tx 时间差子帧偏移,即 UE 报告子帧#*j*

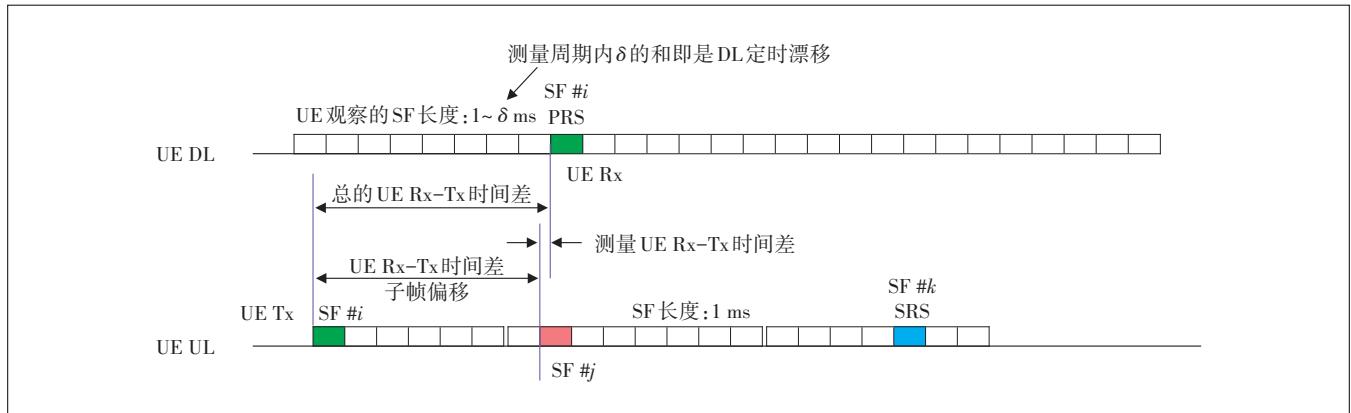


图4 UE Rx-Tx时间差示意

和子帧#*i*之间的实际索引差值,取值范围是0~542个子帧。

c) DL定时漂移,DL定时漂移由服务链路上的多普勒引起,其数值与UE RX-TX时间差测量周期相关。由于DL定时漂移的最大值对应于最大TA<sub>CommonDrit</sub>(53.33 μs/s)的一半,UE报告的DL定时漂移的最大值是26.5 μs/s,其颗粒度是0.1 μs/s,满足3GPP TS 38.101的相关要求<sup>[11]</sup>。

### 3.2 gNB Rx-Tx时间差

类似于UE Rx-Tx时间差,gNB Rx-Tx时间差是测量携带SRS的UL子帧的接收定时与最近DL子帧的发送定时之间的时间差,gNB Rx-Tx时间差需要讨论2个问题,分别是定时参考点和定时测量点。

定时测量点是进行物理时间测量的位置,该位置是实现3GPP功能的真实设备;定时参考点是LMF用以估计RTT的虚拟参考点。在TN中,信号仅通过一个接口并且仅在2个节点(UE和gNB)之间传播,定时参考点和定时测量点的位置很简单,即在gNB处。在NTN中,参考信号在gNB、卫星和UE之间传输,并且测量值指示的是UE和gNB之间经由卫星的传播时延,而UE位置应该由UE和卫星之间的传播时延来导出。因此在NTN中,由于在UE和gNB之间添加了卫星接入节点,使得测量和定时变得更为复杂。

在NTN中,gNB Rx-Tx时间差测量的定时参考点有3个选项,分别是在卫星上、在上行时间同步参考点、在gNB上。在地面网络中,gNB通常是上行时间同步参考点,即上行定时通常与gNB处的DL定时对准,这导致gNB Rx-Tx时间差的值较小。类似地,在NTN中,如果定位参考点设置在上行时间同步参考点,则gNB Rx-Tx时间差的范围也与TN中的范围相同,这对

规范的影响最小,遵循了以上行时间同步参考点为中心的UL/DL时序关系的总体设计原则。需要注意的是,在透明转发架构下,上行时间同步参考点的位置在gNB。

定时测量点有2个实体可供选择,分别是卫星和gNB。从3GPP Rel-17以来,3GPP标准工作一直集中在透明有效载荷上,这意味着卫星接入节点充当“镜像”节点,来自UE的信号经卫星放大并发射到地面上的gNB,反之亦然。由于时间测量 $T_{gNB-Rx}$ 和 $T_{gNB-Tx}$ 应在具有LTE定位协议(LTE Positioning Protocol,LPP)功能的3GPP实体中进行,如果要在卫星上执行测量,则要求透明卫星携带3GPP协议功能,且卫星和gNB之间还需要额外的信令和辅助数据来交换测量结果,这将导致卫星的有效载荷不再被视为在透明节点中操作,换言之,具有透明有效载荷的卫星无法执行3GPP协议功能,因此,这种测量的唯一可能的位置是gNB。定时参考点和定时测量点的位置关系示意如图5所示<sup>[12]</sup>。

在单卫星Multi-RTT定位过程中,将gNB/UE Rx-Tx时间差测量报告给LMF,只能确定UE和UL同步参考点之间的RTT。由于UE位置是通过UE和卫星之间的RTT来估计的,馈电链路中的公共TA(Timing Advance)作为UE和上行时间同步参考点之间RTT的一部分,应该从UE和上行时间同步参考点之间的RTT中减去。因此,为了反映UE和卫星之间的实际传播时延,gNB应该向LMF报告公共TA。公共TA参数包括历元时间(EpochTime)和TA信息,公共TA的计算参见文献[13]。

### 3.3 UE、gNB和LMF之间的信号流

在NTN中,由于UE位置是通过UE和卫星之间的

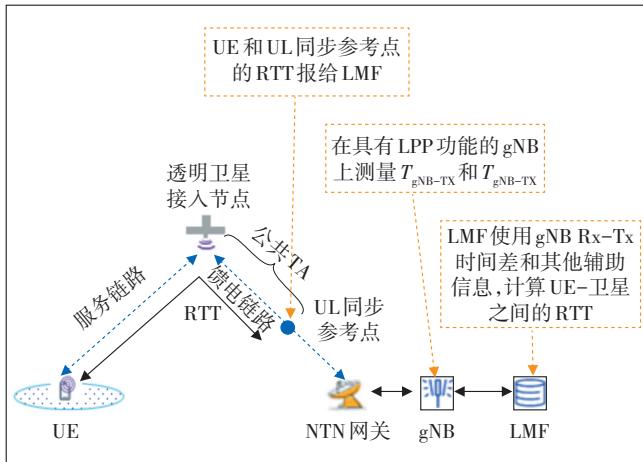


图5 定时参考点和定时测量点的位置关系示意

RTT 来估计的,因此 LMF 需要知道卫星的位置信息。在 TN 中,为了确定 UE 位置,通常需要将 gNB 的地理坐标作为辅助数据从 gNB 传送到 LMF,由于 gNB 的位置是固定的,因此传递 gNB 地理位置的方法是有效的。在 NGSO 场景中,服务卫星保持移动,向 LMF 报告卫星在不同时刻的地理坐标信息将是低效的,因此 gNB 向 LMF 报告卫星星历表(ephemeris)信息,而不是多颗卫星的地理坐标信息报告<sup>[14]</sup>。

除了卫星星历表信息外,LMF 为了获得 PRS 发送和 SRS 接收时的卫星定时,还需要 PRS 定时和 SRS 定时信息。PRS 时间截由 UE 上报,SRS 的时间截由 gNB 上报。UE、gNB 和 LMF 之间的信号流如图 6 所示。UE 和 LMF 之间的信令通过 LPP 进行通信,gNB 与 LMF 之间的信令通过 NR 定位协议 A(NR Positioning Protocol A, NRPPa)进行通信。

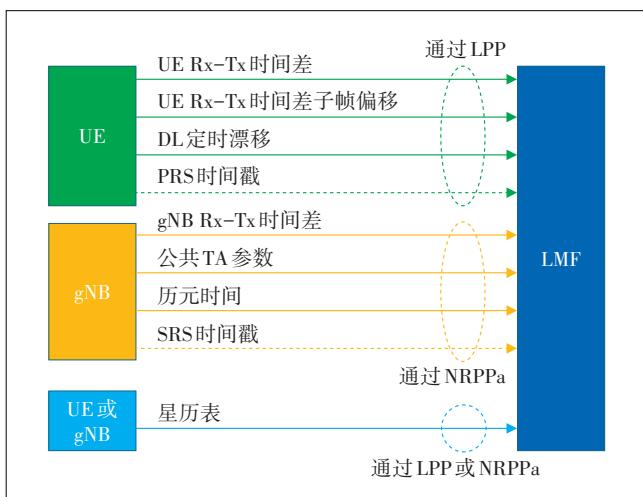


图6 UE、gNB 和 LMF 之间经过的信号流

## 4 结束语

在 NR NTN 中,UE 视野中通常只有单颗卫星,传统的多节点联合定位增强为单节点不同时刻的联合定位,本文创新地提出了单卫星 Multi-RTT 定位并对 UE 和 gNB 上报的参考信号的测量值进行了分析。在 NTN 网络实际部署过程中,可借助本文提供的网络验证 UE 位置的方法,通过规模实验来验证 UE 位置精度是否满足政策监管需求,为 NR NTN 的商业应用扫清障碍。

## 参考文献:

- [1] 3GPP. Study on new radio (NR) to support non-terrestrial networks: 3GPP TR 38.811[S/OL]. [2025-07-31]. <ftp://3gpp.org/specs/>.
- [2] 3GPP. Discussion on network verified UE location: R2-2207074[S/OL]. [2025-07-31]. <ftp://3gpp.org/specs/>.
- [3] 3GPP. Network verified UE location aspects: R2-2207098[S/OL]. [2025-07-31]. <ftp://3gpp.org/specs/>.
- [4] 3GPP. Discussion on network verified UE location for NR NTN: R1-2300267[S/OL]. [2025-07-31]. <ftp://3gpp.org/specs/>.
- [5] 3GPP. Discussion on network-verified UE location for NTN: R1-2211601[S/OL]. [2025-07-31]. <ftp://3gpp.org/specs/>.
- [6] 3GPP. NR; physical channels and modulation: 3GPP TS 38.211[S/OL]. [2025-07-31]. <ftp://3gpp.org/specs/>.
- [7] 3GPP. NR; physical layer procedures for control: 3GPP TS 38.213[S/OL]. [2025-07-31]. <ftp://3gpp.org/specs/>.
- [8] 3GPP. On network verified UE location in NR NTN: R2-2211373[S/OL]. [2025-07-31]. <ftp://3gpp.org/specs/>.
- [9] 3GPP. NR; requirements for support of radio resource management: 3GPP TS 38.133[S/OL]. [2025-07-31]. <ftp://3gpp.org/specs/>.
- [10] 3GPP. Remaining issues on network verified UE location for NR NTN: R1-2311862[S/OL]. [2025-07-31]. <ftp://3gpp.org/specs/>.
- [11] 3GPP. NR; user equipment (UE) radio transmission and reception: 3GPP TS 38.101[S/OL]. [2025-07-31]. <ftp://3gpp.org/specs/>.
- [12] 3GPP. Further aspects related to network verified UE location: R1-2307246[S/OL]. [2025-07-31]. <ftp://3gpp.org/specs/>.
- [13] 叶向阳, 单单, 韩春娜, 等. 5G NTN 定时提前调整策略分析[J]. 邮电设计技术, 2023(9):58-62.
- [14] 3GPP. Maintenance on network-verified UE location for NR-NTN: R1-2311521[S/OL]. [2025-07-31]. <ftp://3gpp.org/specs/>.

## 作者简介:

张建国,毕业于南京邮电学院,正高级工程师,硕士,主要从事无线网络的规划和设计工作;王森,高级工程师,注册咨询师,硕士,主要从事运营商移动通信网络规划建设及解决方案研究工作;周励人,毕业于浙江大学,工程师,硕士,主要研究方向为无线通信的规划与优化;杨东来,高级工程师,毕业于北京邮电大学,工程师,学士,主要从事无线网络的规划和设计工作。