

5G NTN 在连接模式下的 测量策略分析

Analysis on Measurement Strategies of 5G NTN in Connected Mode

张建国¹,王 森²,杨东来¹(1. 华信咨询设计研究院有限公司,浙江 杭州 310052;2. 中讯邮电咨询设计院有限公司,北京 100048)

Zhang Jianguo¹,Wang Sen²,Yang Donglai¹(1. Huaxin Consulting Co.,Ltd.,Hangzhou 310052,China;2. China Information Technology Designing & Consulting Institute Co.,Ltd.,Beijing 100048,China)

摘要:

首先介绍了5G NR的SMTC和测量间隙的背景知识,由于地面网络的小区半径小,Rel-15/Rel-16的SMTC和测量间隙配置适合地面网络。然后分析了5G NTN测量面临的问题,由于LEO卫星高速运动,导致UE和NTN服务小区之间以及UE和NTN邻小区之间产生大的且快速变化的传播时延,为SMTC和测量间隙配置带来了极大的挑战。最后对5G NTN在连接模式下的测量策略进行了分析,包括SMTC配置策略、UE上报位置信息策略和UE上报传播时延差值策略。

关键词:

5G NTN;连接模式;测量间隙;SMTC;传播时延差值

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2023.11.004

文章编号:1007-3043(2023)11-0018-05

中图分类号:TN927

文献标识码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Abstract:

Firstly, it introduces the background knowledge of SMTC and measurement gap configuration for 5G NR, the SMTC and measurement configuration of Rel-15/Rel-16 is appropriate for terrestrial network due to small cell Radius of terrestrial network. Then, it analyzes the challenges on measurement of 5G NTN. Due to the LEO satellites' high-speed movement, large and rapidly changing propagation delays are generated between UE and NTN serving cells, as well as between UE and NTN neighboring cells, which brings great challenges for SMTC and measurement gap configuration. Finally, it analyzes the measurement strategies of 5G NTN in connected mode, including SMTC configuration, UE location report, propagation delay difference report.

Keywords:

5G NTN; Connected mode; Measurement gap; SMTC; Propagation delay difference

引用格式:张建国,王森,杨东来. 5G NTN在连接模式下的测量策略分析[J]. 邮电设计技术,2023(11):18-22.

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,简称为非地面网络(Non-Terrestrial Networks, NTN)。NTN由地面NTN网关(含gNB)、卫星、UE三大部分组成,卫星包括低轨道(Low Earth Orbit, LEO)卫

星、中轨道(Middle Earth Orbit, MEO)卫星、地球静止轨道(Geostationary Earth Orbit, GEO)卫星^[1]。卫星和UE之间的链路称为服务链路,NTN网关和卫星之间的链路称为馈电链路。根据卫星对无线信号处理的不同,NTN分为透明转发和再生转发2个场景。

5G NTN的流动性管理包括空闲模式下的移动性和连接模式下的移动性,空闲模式下的移动性由UE驱动,包括小区选择和小区重选,连接模式下的移动性由网络驱动,主要是切换。在连接模式下,网络为

收稿日期:2023-09-15

UE下发配置,包括测量配置、报告配置等,UE上报测量报告,由gNB根据测量报告来决定是否进行切换。

测量是移动性管理的第一步,有效的测量是5G NTN移动性管理的关键,本文接下来分析5G NTN在连接模式下的测量策略。

2 SMTC和测量间隙

在连接模式下,UE的测量目标可以是同步信号块(Synchronization Signal Block, SSB),也可以是信道状态信息参考信号(Channel State Information-Reference Signal, CSI-RS),对于NTN,UE通常只测量SSB。SSB在无线帧的第1个或者第2个半帧,即SSB突发占用的时间不超过5 ms,根据频率的不同,每个SSB突发最多可以配置4、8或者64个SSB,SSB突发的周期可以配置为5、10、20、40、80或者160 ms^[2-3]。

由于设备复杂度和尺寸的原因,UE通常只装备一个射频模块。UE通过使用SSB测量定时配置(SSB Measurement Timing Configuration, SMTC)来完成SSB的测量,SMTC的周期是5、10、20、40、80或160个子帧,每个SMTC窗口的持续时间是1、2、3、4或5个子帧,在3GPP Rel-16版本,网络共可以为UE配置3个SMTC^[4]。根据3GPP TS 38.133协议,只有当服务小区的SSB的中心频率和邻小区的SSB的中心频率相同且子载波间隔相同时,才定义为同频测量,UE完成同频测量不需要配置测量间隙^[5]。

当UE测量异频邻小区的时候,为了解码邻小区的SSB,UE必须中断在服务小区的服务,这个中断的时间称为测量间隙(Measurement Gap, MG),如图1所示。测量间隙长度(Measurement Gap Length, MGL)定义了测量间隙的长度,可以配置为1.5、3、3.5、4、5.5或者6 ms。测量间隙重复周期(Measurement Gap Repetition Period, MGRP)定义了测量间隙的重复周期,可以配置为20、40、80或者160 ms。测量间隙定时提前(Measurement Gap Timing Advance, MGTA)是UE开始

测量的偏移,用于射频器件调整频率,可以在测量窗口之前和之后各预留0.5 ms的时间,实际的定时提前可能是0.5 ms(FR1)或者0.25 ms(FR2)^[6]。

SMTC和测量间隙通常是在一起配置的,本文接下来不严格区分SMTC和测量间隙。

在地面网络(Terrestrial Network, TN)中,服务小区和邻小区之间的SSB在时间上的相对位置是固定的,小区内的传播时延与小区半径和UE位置有关,由于TN小区半径小,传播时延非常小,即使小区半径达到100 km,传播时延只是在0.5 ms以内;从UE角度来看,仅仅是由于UE运动引起非常小的传播时延变化,现有的SMTC和测量间隙配置是足够的。

3 NTN测量面临的挑战

在NTN中,传播时延非常大,LEO卫星的双向传播时延最大可达25.77 ms(LEO,卫星高度600 km,透明转发)或者41.77 ms(LEO,卫星高度1 500 km,透明转发),GEO卫星的双向传播时延最大可达541.46 ms(透明转发),且高速移动的LEO卫星还会导致UE和服务小区之间以及UE和邻小区之间的传播时延随着时间的推移而变化,随着卫星高度的增加以及考虑到馈电链路的时延,这个传播时延将变得更为复杂和恶劣,大且快速变化的传播时延为SMTC和测量间隙配置带来了巨大的挑战^[7]。

LEO卫星的部署场景如图2所示,SAT1和SAT2在同一个或并行的轨道上,卫星的高度是600 km。SAT1是当前为UE提供服务小区的卫星,称为服务卫星,SAT1正在离开UE,SAT1和UE之间(服务链路)的传播时延定义为 $d_{SAT1-UE}(t)$ 。SAT2是潜在的目标小区,称为邻卫星,SAT2正在向UE移动,SAT2和UE之间(服务链路)的传播时延定义为 $d_{SAT2-UE}(t)$ 。在透明卫星场景,传播时延还与NTN网关的位置有关,在本例中,SAT1连接到NTN-GW1并且向其移动,SAT1和NTN-GW1之间(馈电链路)的传播时延定义为 $d_{SAT1-GW1}(t)$ 。

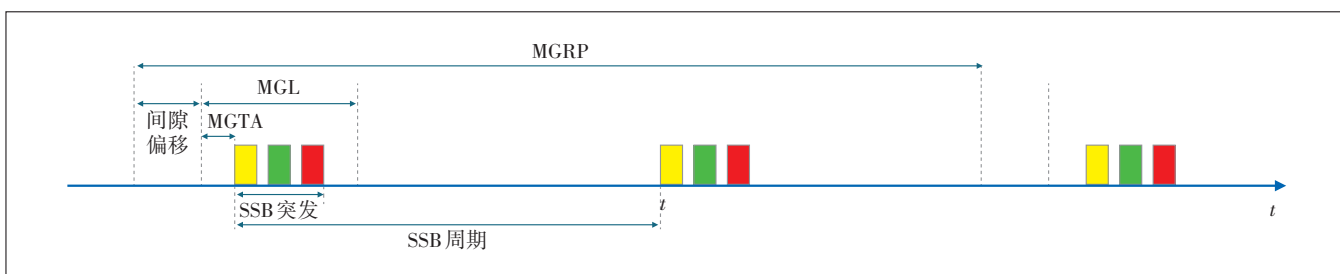


图1 测量间隙示意

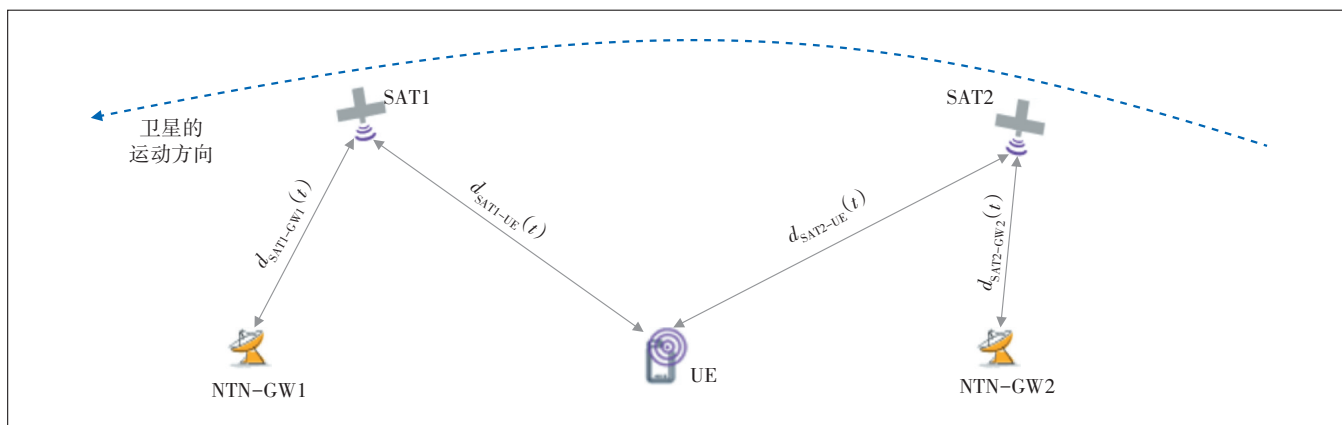


图2 LEO卫星部署场景示意

SAT2连接到NTN-GW2并且向其移动, SAT2和NTN-GW2之间(馈电链路)的传播时间定义为 $d_{\text{SAT2-GW2}}(t)$ 。 $d_{\text{SAT1-UE}}(t)$ 、 $d_{\text{SAT2-UE}}(t)$ 、 $d_{\text{SAT1-GW1}}(t)$ 和 $d_{\text{SAT2-GW2}}(t)$ 随着时间的推移而变化,都是时间的函数^[8]。

UE与卫星之间以及卫星和NTN网关之间的传播时延与UE或网关到卫星的仰角有关。以图2为例,在 T_1 时刻,UE与SAT1和SAT2的仰角都是 30° ;在 T_2 时刻,UE与SAT1和SAT2的仰角分别是 10° 和 50° 。在 T_1 时刻, SAT1与NTN-GW1、SAT2与NTN-GW2的仰角分别是 10° 和 65° ;在 T_2 时刻, SAT1与NTN-GW1、SAT2与NTN-GW2的仰角分别是 30° 和 80° 。由此可以计算出UE到卫星、卫星到网关的传播时延(见表1)。

表1 UE在不同时刻与2个透明卫星的传播时延

卫星	时间	UE		NTN-GW(SAT1是GW1, SAT2是GW2)		GW-SAT-UE的联合时延/ms
		仰角/ $^\circ$	传播时延/ms	仰角/ $^\circ$	传播时延/ms	
SAT1	T_1	30	4.0	10	6.4	10.4
	T_2	10	6.4	30	4.0	10.4
SAT2	T_1	30	4.0	65	2.2	6.2
	T_2	50	2.5	80	2.0	4.5

根据图2假定的几何位置, NTN-GW1和UE之间的传播时延约保持在10.4 ms,而NTN-GW2和UE之间的传播时延从 T_1 时刻的6.2 ms减少到 T_2 时刻的4.5 ms,因此GW1-NTN-UE和GW2-NTN-UE之间的传播时延差值,在 T_1 时刻是4.2 ms,而在 T_2 时刻是5.9 ms。图2仅仅是个示例,根据UE和地面网关位置的不同,实际的传播时延差值可能会更大。SMTC窗口的最大持续时间是5个子帧,对于15 kHz的子载波间隔,SMTC的最大持续时间是5 ms,由于Rel-15/Rel-16的SMTC1是个静态的SMTC窗口,且UE不需要监测

SMTC窗口以外的SSB,因此静态的SMTC窗口处理超过5 ms的传播时延差值具有很大的挑战性。

4 NTN在连接模式下的测量策略

4.1 SMTC配置策略

为了解决LEO卫星高速运动引起的大且快速变化的传播时延问题,需要对Rel-15/Rel-16的测量策略进行调整,否则UE将丢失测量。潜在的解决方案包括:

方案1:为UE配置足够长的测量窗口,以解决来自不同卫星导致的传播时延差值过大问题。

方案2:由UE自动调整测量窗口。

方案3:网络为UE配置多个SMTC和测量间隙,例如为GEO和LEO卫星分别配置SMTC和测量间隙,为不同仰角的卫星分别配置SMTC和测量间隙等。

方案1会使得UE用于数据发送和接收的资源减少,导致调度灵活性变差,数据速率降低;方案2将导致不可预期的UE行为,可能引起UE在下一个传输窗口不能正确接收服务小区的数据。因此建议采用方案3,即为UE配置多个SMTC和测量间隙^[9]。

针对NTN,3GPP Rel-17在原有的3个SMTC配置的基础上,增加了第4个SMTC。即在Rel-17版本中,共定义了4个SMTC^[10]。分别如下:

a) SMTC1:提供了主要的SMTC配置,包括SMTC的周期、偏移和持续时间。

b) SMTC2:主要配置与SMTC1基本相同,但是相比于SMTC1,具有更小的周期。

c) SMTC3:用于集成接入与回传(Integrated Access and Backhaul, IAB)的测量。

d) SMTC4:测量周期和持续时间与SMTC1相同,

但是定义了相对于SMTC1的偏移,可以最多配置4个偏移。

对于NTN,主要使用SMTC1和SMTC4,即一个具有相同SSB频率的测量目标,可以配置的SMTC数量最大为5个(1个由SMTC1配置,4个由SMTC4配置),并且每个SMTC可以与一组小区相关联。根据UE能力的不同,UE能够在每个载波上并行支持2个或4个SMTC。图3所示为5G NTN的SMTC配置示意。

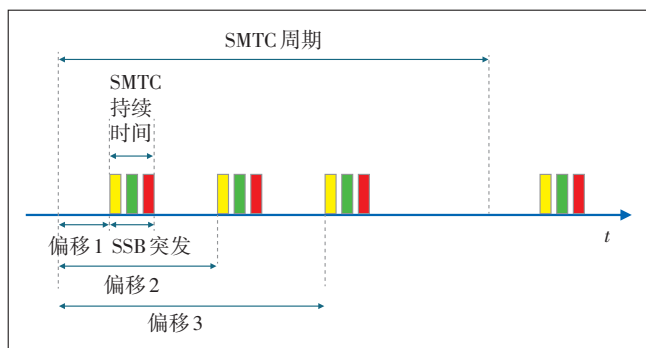


图3 5G NTN的SMTC配置示意

与SMTC配置类似,在Rel-17版本,5G NTN的测量间隙可以最多配置8个,在此不再赘述。

由于NTN小区半径大,UE在不同位置导致UE到NTN网关的传播时延差值最大可达8 ms(LEO卫星,高度600 km)或20 ms(LEO卫星,高度1 500 km)^[11]。为了配置SMTC和测量间隙,网络需要UE提供辅助信息以便计算UE与服务小区和邻小区的传播时延差值。根据3GPP Rel-17协议,UE提供给网络的辅助信息既可以是UE的位置信息,也可以是精确的传播时延差值。

4.2 UE上报位置信息

如果UE提供给网络的辅助信息是UE的位置信息,SMTC的调整步骤如图4所示。

在开始阶段,网络提供给UE的SMTC和测量间隙配置应该覆盖所有的或者大部分邻区。为了保护用户的隐私,网络应该在接入层(Access Stratum, AS)连接安全建立后,请求UE上报位置信息,UE以椭圆点模型的形式上报位置信息。基于UE上报的位置信息以及服务卫星和邻卫星的星历信息,网络生成SMTC和测量间隙配置,随着卫星的运动,UE重新上报位置信息,网络更新SMTC配置^[12]。

考虑到用户的隐私,UE报告的位置信息不必非常精确,只需达到2 km的精度即可,称为粗略位置信息。由于SMTC和测量间隙配置的颗粒度是ms级的,对应

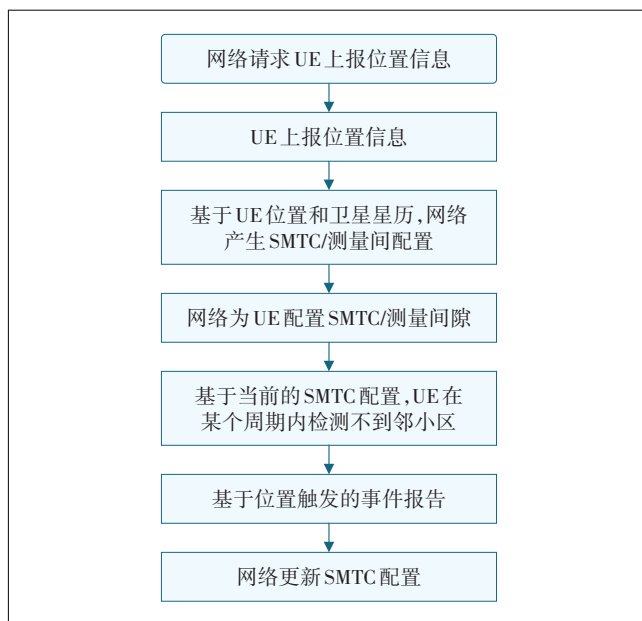


图4 基于UE位置信息的SMTC调整步骤

距离的颗粒度是300 km,2 km的精度对于SMTC和测量间隙配置是足够的。

UE通过信令MeasurementReport上报位置信息。既可以周期性上报位置信息,也可以基于事件上报位置信息。5G NTN使用的事件与TN使用的事件略有区别,TN使用基于信号强度触发的事件报告,在NTN中,由于卫星的轨道非常高,远近效应不明显,不能使用基于信号强度触发的事件报告,而是使用基于位置触发的事件报告,即D1事件。D1事件的定义为:UE与服务小区参考位置的距离大于门限值1,UE与邻小区参考位置的距离小于门限值2,D1事件与A5事件类似,只是测量对象为距离,参考位置定义为小区的圆心,以椭圆点模型(经度和纬度)来表示^[13]。除此之外,UE也可以根据网络请求,通过信令UEInformation-Response上报自身的位置信息。

该方案不需要邻卫星的星历信息,且2 km的定位精度只需要上报28 bit的信息(经度和纬度各14 bit)即可,因此具有传输信令少、复杂度低、效率高等优点,适合对位置信息不敏感的用户^[14]。

4.3 UE上报传播时延差值

考虑到隐私问题,一些UE不允许上报精确的位置信息,因此网络不能根据UE的位置信息获得传播时延差值,在这种情况下,UE通过上报敏感性低的传播时延差值来辅助网络配置SMTC和测量间隙^[15]。

UE为了计算传播时延,需要知道服务卫星和邻卫

星的位置信息,因此网络应该为UE提供服务卫星和邻卫星的星历信息以及邻卫星的物理小区标识(Physical Cell Identifier, PCI)。网络为了计算UE与服务小区和邻小区的传播时延差值,需要知道以下几个时延。

a) UE到服务卫星的传播时延,即图2中的 $d_{\text{SAT1-UE}}(t)$ 。

b) UE到邻卫星的传播时延,即图2中的 $d_{\text{SAT2-UE}}(t)$ 。

c) 服务卫星到NTN网关的传播时延,即图2中的 $d_{\text{SAT1-GW1}}(t)$ 。

d) 邻卫星到NTN网关的传播时延,即图2中的 $d_{\text{SAT2-GW2}}(t)$ 。

UE到邻小区和UE到服务小区总的传播时延差值是 $d_{\text{SAT2-UE}}(t) - d_{\text{SAT1-UE}}(t) + d_{\text{SAT2-GW2}}(t) - d_{\text{SAT1-GW1}}(t)$ 。

考虑到安全性,网络不会把网关的位置信息通知给UE,因此UE不知道馈电链路的传播时延,即UE不知道 $d_{\text{SAT1-GW1}}(t)$ 和 $d_{\text{SAT2-GW2}}(t)$,所以UE并不是上报总的传播时延差值,而是上报UE到邻卫星和服务卫星的传播时延差值,即上报 $d_{\text{SAT2-UE}}(t) - d_{\text{SAT1-UE}}(t)$ 。由于Rel-17的NTN UE具有全球导航卫星系统(Global Navigation Satellite System, GNSS)能力且UE知道服务卫星和邻卫星的星历信息,UE可以计算 $d_{\text{SAT1-UE}}(t)$ 和 $d_{\text{SAT2-UE}}(t)$ 。至于 $d_{\text{SAT1-GW1}}(t)$ 和 $d_{\text{SAT2-GW2}}(t)$,与网络部署有关,可以通过网关之间的通信获得。除此之外,UE也可以只上报 $d_{\text{SAT2-UE}}(t)$,因为在连接模式下,通过UE上报的定时提前(Timing Advance, TA)和TA调整,服务卫星能够知道 $d_{\text{SAT1-UE}}(t)$ 。相比 $d_{\text{SAT2-UE}}(t)$, $d_{\text{SAT2-UE}}(t) - d_{\text{SAT1-UE}}(t)$ 的信令负荷通常较小,因此3GPP Rel-17协议规定,UE上报的是传播时延差值。

对于传播时延差值,网络通过重配置信令RR-
CReconfigurantion给UE下发传播时延差值上报配置(propDelayDiffReportConfig),传播时延差值上报配置包括传播时延差值门限(threshPropDelayDiff)以及邻卫星列表(neighCellInfoList),传播时延差值门限取值是0.5、1、2、3、4、5、6、7、8、9或10 ms,邻卫星列表可以配置最多4个邻卫星的星历信息。UE在最近一次上报传播时延差值后,如果邻卫星和服务卫星之间的服务链路传播时延差值变化量超过门限,UE通过信令UEAssistanceInformation上报邻卫星的服务链路和服务卫星的服务链路的传播时延差值,即上报 $d_{\text{SAT2-UE}}(t) - d_{\text{SAT1-UE}}(t)$ 。

5 结束语

与传统的地面5G蜂窝移动通信网相比,5G NTN具有传播时延大、传播时延变化快的特点,对5G NTN的测量策略带来了极大的挑战,本文分析了连接模式下的测量策略,包括SMTC配置策略、UE上报位置信息策略和UE上报传播时延差值策略,这些策略可以确保UE有效测量邻小区的信息,为后续的切换奠定良好的基础。

参考文献:

- [1] 3GPP. Study on new radio (NR) to support non-terrestrial networks: 3GPP TR 38.811 [S/OL]. [2023-03-15]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.
- [2] 3GPP. NR; physical channels and modulation: 3GPP TS 38.211 [S/OL]. [2023-03-15]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.
- [3] 3GPP. NR; physical layer procedures for control: 3GPP TS 38.213 [S/OL]. [2023-03-15]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.
- [4] 3GPP. NR; radio resource control (RRC); protocol specification: 3GPP TS 38.331 [S/OL]. [2023-03-15]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.
- [5] 3GPP. NR; requirements for support of radio resource management: 3GPP TS 38.133 [S/OL]. [2023-03-15]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.
- [6] 3GPP. SMTC and MG configuration for NTN; R2-2106386 [S/OL]. [2023-03-15]. ftp://3gpp.org/tsg_ran/.
- [7] 3GPP. Solutions for NR to support non-terrestrial networks (NTN): 3GPP TR 38.821 [S/OL]. [2023-03-15]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.
- [8] 3GPP. Further views on SMTC configurations for NTN; R2-2107521 [S/OL]. [2023-03-15]. ftp://3gpp.org/tsg_ran/.
- [9] 3GPP. Discussion on connected mode aspects for NTN; R2-2105460 [S/OL]. [2023-03-15]. ftp://3gpp.org/tsg_ran/.
- [10] 3GPP. SMTC and MG enhancements; R2-2109972 [S/OL]. [2023-03-15]. ftp://3gpp.org/tsg_ran/.
- [11] 3GPP. NTN timers and common delay update in moving satellite scenario; R2-2009984 [S/OL]. [2023-03-15]. ftp://3gpp.org/tsg_ran/.
- [12] 3GPP. Discussion on remaining issues on SMTC; R2-2109638 [S/OL]. [2023-03-15]. ftp://3gpp.org/tsg_ran/.
- [13] 3GPP. LTE positioning protocol (LPP); 3GPP TS 37.355 [S/OL]. [2023-03-15]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.
- [14] 3GPP. UE location report and TAC in NTN; R2-2110467 [S/OL]. [2023-03-15]. ftp://3gpp.org/tsg_ran/.
- [15] 3GPP. UE assistance for measurement gap and SMTC configuration in NTN; R2-2105819 [S/OL]. [2023-03-15]. <ftp://3gpp.org/>.

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和解决方案课题研究工作;杨东来,毕业于北京邮电大学,高级工程师,学士,主要从事无线网络的规划和设计工作。