



5G NR 定位技术及其部署方案

5G NR Positioning Technology and Its Deployment Scheme

张诗壮 /ZHANG Shizhuang
李俊强 /LI Junqiang
陈诗军 /CHEN Shijun

(中兴通讯股份有限公司, 中国 深圳 518057)
(ZTE Corporation, Shenzhen 518057, China)

DOI: 10.12142/ZTETJ.202102011
网络出版地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.TN.20210407.0917.002.html>

网络出版日期: 2021-04-07
收稿日期: 2021-02-10

摘要: 提出了 5G 新空口 (NR) 在不同场景下的定位网络部署方案和定位技术部署方案。其中, 定位网络部署包括基于核心网部署的架构和基于本地计算部署的架构。5G 不同场景下的定位技术部署包括室外单站的往返时间 (RTT) + 到达角 (AOA) 方案部署、室外多站的 RTT 方案部署、室内室分环境的上行信号到达时间差 (UL-TDOA) 部署, 以及室内室分 + 融合定位的 QCell+X 无线定位等。这些技术和方案能为 5G 时代的定位部署带来重要参考价值。

关键词: 5G; 定位技术; 部署方案

Abstract: The location network deployment scheme and positioning technology deployment of 5G new radio (NR) in different scenarios are put forward. Positioning network deployment includes the overall architecture of core network and local deployment. 5G positioning technology deployment in different scenarios includes outdoor single station round trip time (RTT) + angle of arrival (AOA) scheme deployment, outdoor multi-RTT scheme deployment, indoor distributed environment up-link time difference of arrival (UL-TDOA) deployment, indoor distributed + integrated positioning Qcell + X wireless positioning. These technologies and solutions can bring great reference value for the positioning development in 5G era.

Keywords: 5G; positioning technology; deployment scheme

1 5G 定位特点

在信息社会中, 对位置的精确描述已经成为各行各业的基本要求。据估算, 有 60% ~ 80% 的信息与空间信息密切相关。位置信息已经成为整个社会信息流的重要组成部分。同时, 智能手机已经成为人类生活中不可或缺的一部分, 并为用户的位置服务提供了终端设备基础。随着 5G 网络建设的不断推进, 各垂直行业对室内定位的需求日益迫切, 例如智慧工厂、智慧医院、智慧停车场等室内定位典型应用场景^[1-3]。定位能力是 5G 核心能

力之一。5G 网络覆盖一体化有助于实现高精度定位。这将进一步为企业创造价值, 为千行百业的客户提供更高水平的服务。

5G 包含新的编码方式、波束赋形、大带宽、大规模天线阵列、毫米波频谱等一系列关键技术。其中, 大带宽和天线阵列技术为高精度的距离和角度测量提供了基础。5G 将实现更加密集的组网, 基站密度也会显著提高。这将有利于实现多基站协作和高精度定位。Rel-16 标准包含增强型小区标识 (ECID)、多站往返时间 (Multi-RTT)、下行离开角测量法 (DL-AOD)、下行信号到达时间差 (DL-TDOA)、上行信号到达时间差 (UL-TDOA)、上行到达角 (UL-AOA) 等一系列定位

方法^[2]。这些定位方法具有亚米级的定位精度, 从而可大大拓展定位技术的应用场景。

总的来说, 随着 5G 系统的建设, 精确的位置服务能力将得到进一步增强。在实现 5G 网络覆盖的同时, 位置服务将进一步改善消费者的生活, 并为各行业带来更大的经济效益。

2 5G 新空口 (NR) 定位技术

2.1 5G NR 定位标准化进程

Rel-9—Rel-11 的通信系统定位主要基于时间测量的观测到达时间差 (OTDOA)、UL-TDOA 和小区标识 (CID), 定位精度不高, 一般在 50 ~ 150 m。这个阶段属于长期

基金项目: 国家重点研发计划 (2016YFB0502001、2016YFB0502003)

演进 (LTE) 低精度定位阶段。在该阶段的基础上, Rel-12—Rel-14 提出了更高精度的要求, 并给出了多种定位技术融合的方案, 使定位精度达到 10 ~ 100 m。Rel-15—Rel-16 不仅提出了 5G 利用多输入多输出 (MIMO) 的多波束特性来进行定位增强, 同时还定义了基于蜂窝小区的 RTT、DL-TDOA、到达角 (AOA)、离开角 (AOD) 等定位技术, 使定位精度达到 3 ~ 10 m。文献 [4] 对这些定位技术的特点、上行定位和下行定位的优劣势等做了具体分析。由于 R16 的定位精度还不能满足一些工业物联网应用场景的需求, 因此 Rel-17 将进一步把室内定位的精度提升到厘米级。

2.2 Rel-16 定位技术

在 2020 年 6 月冻结的 Rel-16 版本中, 第三代合作伙伴 (3GPP) 定义了室内定位场景, 明确了 5G 定位的定位精度和端到端定位时延: 水平维和垂直维的定位精度均小于 3 m (区域内 80% 用户), 端到端时延小于 1 s。针对这一精度和时延, 3GPP 采用的主要定位技术包括 DL-TDOA、UL-TDOA、UL-AOA 和 Multi-RTT。这些技术所能达到的定位精度和条件如表 1 所示。

2.2.1 Multi-RTT

到达时间差 (TDOA) 定位技术需要用户和基站保持同步。对于非服务基站来说, 要保持高精度同步是比较困难的。Multi-RTT 是 5G R16 上行定位和下行定位结合的定位方法, 具有较高的定位精度, 可基于用户设备 (UE) 和多个基站 (或信号收发点) 来互发参考信号, 并根据 UE 接收信号与发送信号的时间差、gNB 接收信号与发送信号的时间差, 以及 UL-AOA 等数据来确定 UE 的位置。该定位方法虽然需要同时配置上下行参考

信号, 但是不会受到站间同步精度的影响。RTT 算法将基站到 UE 的传输时间分解成两个部分, 并基于这两个部分的测量结果来计算 RTT^[2]。

如图 1 所示, RTT 的流程要求 UE 和发射结点 (基站) 都测量 TOA。对于下行信号, 基站用基站本地时钟记录发射时间 t_0 , 终端用终端的本地时钟测量下行信号的到达时间 t_1 ; 对于上行信号, 终端用终端的本地时钟记录发射时间 t_2 , 基站用基站的本地时钟测量上行信号的到达时间 t_3 。最终系统测得的双程时间为 $(t_3 - t_0) - (t_2 - t_1)$ 。其中, 接收信号相对于发送信号的时间差为 $t_3 - t_0$, gNB 对应的时间差为 $t_2 - t_1$ 。由于 gNB 和 UE 的接收信号与发送信号的时间差均为相对时间差, 并且两者的参考时钟均为终端和基站的本地时钟, 因此, RTT 定位技术不要求

基站和终端保持同步。

2.2.2 NR-TDOA (上行/下行)

5G R16 定义了上行和下行 TDOA 的定位方法。以下行为例, 该方法的基本思想是: 首先让 UE 接收不同基站的下行定位参考信号 (PRS), 使之与本地产生的已知 PRS 序列做相关运算; 然后寻找首达径来估计到达时间, 并计算不同基站的到达时间与参考基站的到达时间差 (RSTD); 最后采用高斯-牛顿算法、CHAN 算法等算法解出 UE 的位置坐标。在 3G 阶段, 3GPP 就已经引入 TDOA 方法。由于 LTE 和 5G 是同步系统, 因此 TDOA 定位方法在 4G、5G 阶段得到了持续改进。这使高精度 TDOA 定位方法的商用成为可能。

TDOA 的定位方法需要基站之间

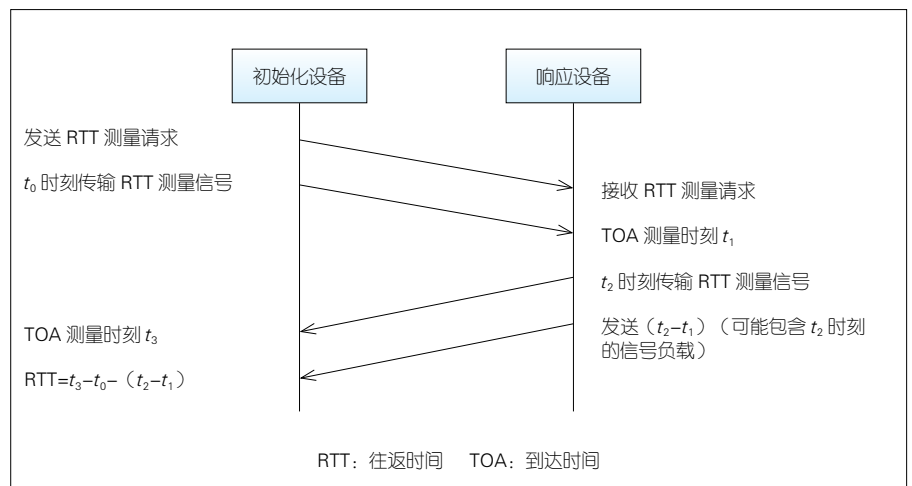
▼表 1 5G 定位基站精度

定位技术	水平维定位精度 (区域内 80% 用户) /m	条件
DL-TDOA	FR1: <3	1. DL-TDOA 和 UL-TDOA 均假设基站间是严格同步的 2. 发送带宽: FR1 为 50 ~ 100 MHz; FR2 为 400 MHz
	FR2: <1	
UL-TDOA	FR1: <3	
	FR2: <2	
UL-AOA	FR1: <2	
Multi-RTT	FR1: <2	
	FR2: <1	

DL-TDOA: 下行信号到达时间差
FR: 频率范围

RTT: 往返时间
UL-AOA: 上行到达角

UL-TDOA: 上行信号到达时间差



▲图 1 RTT 交互示意图

保持同步,但不要求基站和终端之间保持同步。当把两个基站作为中心点时,用户位置到两个中心点的差就会构成一个双曲线。如果存在另外一个由基站和参考基站构成的双曲线,那么两个双曲线的交点就是用户的位置。UL-TDOA 的定位原理和 DL-TDOA 相同,两者的主要区别是:UE 需要发射上行参考信号,由基站端来测量时间差。

2.2.3 ECID

ECID 定位方法是对 CID 进行增强的方法,它将服务小区的基站位置作为用户的位置。ECID 定位方法跟基站的覆盖范围有关,定位精度比较低,但仍具有一些优点:(1)容易实现,成本较低,并且适用于所有蜂窝网络;(2)手机侧无须做任何硬件修改,网络侧不需要增加新的网络实体。基于这些优点,ECID 定位方法经常在其他定位方法失败时被作为辅助定位方法使用。

为了进一步提高 CID 方法的精度,3GPP 提出一些新举措,比如,结合扇区天线的方向性将定位区域缩小到某个方向范围内,或者结合时间量(TA)、参考信号接收功率(RSRP)将用户位置缩小到以基站为中心的同心圆内。因此,ECID 也可以和 RTT、TOA、AOA 方法融合,以减小用户的位置误差^[5]。

2.2.4 AOA

UL-AOA 定位技术需要在每个蜂窝小区站点上放置天线阵列。由于每个接收天线到发射天线的距离不同,因此不同接收天线的信号之间存在相位差。借助相位差信息,我们可以确定终端发送信号相对于蜂窝基站信道的 AOA。同时,多个蜂窝基站均可测量同一个终端信号的 AOA。利用基站坐标和 AOA,我们就可以得到多个

射线方程,这些射线方程的交点就是终端的位置。

AOA 是基于角度的定位方法,它可以在仅有两个基站的情况下定位用户位置。当与 RTT 测量相结合时,该方法只需要一个基站就可以完成用户定位。虽然 AOA 定位方法不要求同步,但是它需要基站配备较大规模的天线阵列,以获得较为准确的角度信息。由于使用的频段不同,AOA 使用的天线阵列和形态也不相同,这将影响测角精度。此外,天线阵列的天线数目、用户与基站之间的距离等因素都会影响 AOA 定位方法的精度。

3 5G NR 定位产品化部署方案

3.1 5G 定位部署网络架构

(1) 基于核心网的 5G 定位网络架构

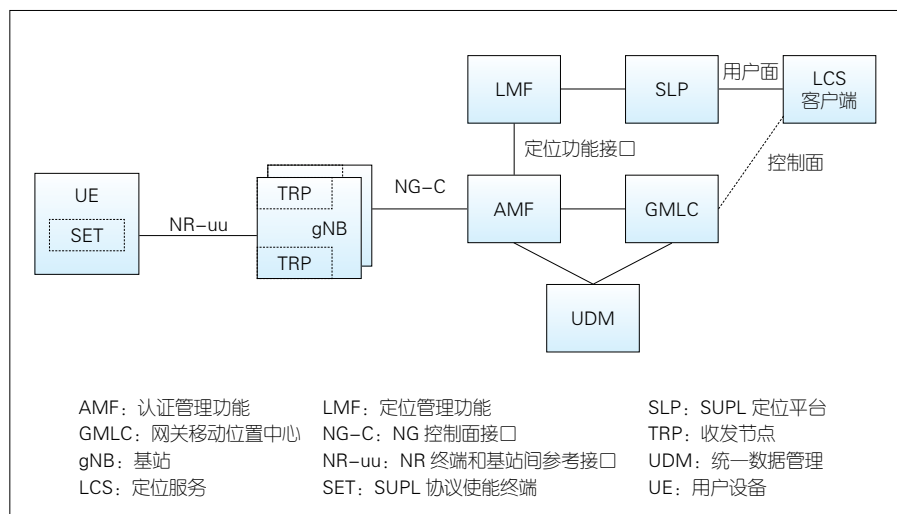
如图 2 所示,5G 定位网络架构是 3GPP 定义的标准定位网路架构^[6]。该网络架构的主要特点是通过核心网定位管理功能(LMF)、认证管理功能(AMF)、统一数据管理(UDM)等多个网元来执行位置服务业务操作。5G 定位网络架构适用于普通消费者业务,它是面向用户(To C)的定位网

络架构。To C 定位网络架构能够满足控制面板和用户面的定位需求,不仅支持手机号/IP 多媒体子系统(IMS),还支持 3GPP 定义的所有定位方法,例如 RTT、DL-TDOA、UL-TDOA、AOA 等。

然而,To C 定位网路架构也存在一些局限性。例如,定位数据因被保存在核心网中而不能满足企业对定位数据保密性的要求,定位流程相对较复杂,定位系统部署成本较高等。

(2) 基于本地计算的 5G 定位网络架构

对于面向业务(To B)的应用,我们可采用本地计算部署定位服务网络架构,具体如图 3 所示。该网络架构的主要特点是:可以通过手机号/IP 进行定位,且定位的方式与 3GPP 定义的所有定位方式相同,如 RTT、DL-TDOA、UL-TDOA、AOA 等。该架构支持终端终结(MT)、终端发起(MO)等定位服务方式,可满足企业对定位数据进行本地管理的要求。移动边缘计算(MEC)的基于定位的服务(LBS)具有定位管理功能(LMF)等部分网元功能。这种本地计算定位架构可实现定位数据本地化,符合 To B 客户对定位数据的管理要求。该架构可以进一步简化定位流程,降低部



▲图 2 新空口网路部署总体方案

署成本，从而推动大多数 To B 应用场景的落地。除了图 3 所示的架构外，本地计算架构还有其他方案，例如把核心网网元 LMF 直接下沉部署在本地网络架构中。然而，由于定位流程没有变化，因此这种架构在定位流程和数据的本地化方面仍然存在不足。

3.2 5G 定位技术部署

(1) 室外单站场景下的定位技术部署

据统计，在近 30% 的蜂窝网场合中，手机只能收到一个基站的信号。这种情况无论是在室内单站还是在室外单站都是比较常见的。此外，5G 大规模 MIMO 基站已经成为常规硬件设施，具备高精度角度估计的硬件基础。因此，单站 RTT 技术成为这种场景的高精度定位技术。

在进行室外单站场景下的定位技术部署时，基站发射 PRS 信号，终端发射信道探测参考 (SRS) 信号。该方案首先通过 RTT 来获得基站和终端之间的距离信息；然后通过基站的大规模 MIMO 来测量终端 SRS 信号的 UL-AOA，以得到角度信息；最后通过距离信息和 AOA 来计算出终端位置，具体如图 4 所示。

值得一提的是，当同时有多个基站信号覆盖时，我们可以综合多个 RTT+AOA 方程使定位精度得到进一步提高。

(2) 室外多站场景下的定位技术部署

在室外的多站场景下，小区可观测到一定的基站数目 (大于 3 个)。此时可以通过 UE 和多个基站 (信号收发点) 互发参考信号，以测得多个 RTT 值，进而实现定位。当观测基站的数目超过 4 个时，我们还可采用 DL-TDOA 带内定位网技术来实现大容量高精度定位^[7]。

以多站 RTT 为例，在进行室外多站场景下的定位技术部署时，终端与 3 个基站互发参考信号，以测量接收端到发送端的时间差并获得 RTT。最终 3 个圆的交点即为终端位置，具体如图 5 所示。多站 RTT 技术对系统的同步要求较低。目前，由于 5G 蜂窝网基站的同步时间精度为 100 ns ~ 2 us，因此室外多站场景比较适合采用 RTT 技术来实现高精度定位。

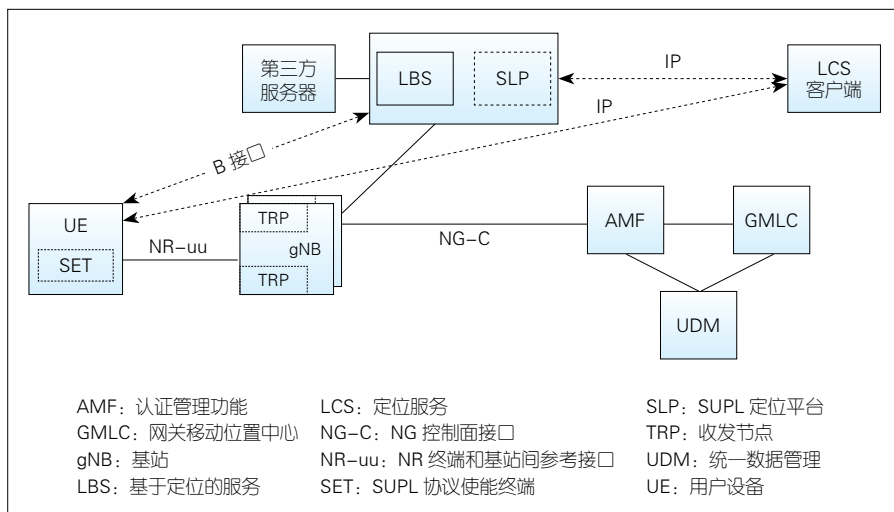
(3) 室内室分场景下的定位技术部署

在室内室分的场景下，一般基站射频单元的布置距离为 20 ~ 30 m。大多数场合都能满足终端信号被多个射频单元接收的条件。因此，我们可以

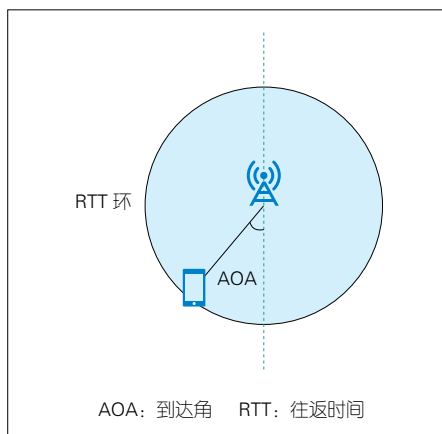
通过基站测量的 UL-TDOA 来评估定位结果。

在进行室内室分场景下的定位技术部署时，UL-TDOA 使用多个基站来测量从 UE 发送的上行参考信号。该方案的基本定位原理与 DL-TDOA 定位方法类似，即通过计算多个双曲线交点来求解 UE 的位置坐标。两者的区别是：DL-TDOA 定位方法测量的是下行参考信号到 UE 的时间差，而 UL-TDOA 测量的是上行参考信号到基站的时间差。由于 UL-TDOA 技术对同步也有较高的要求，因此，室分系统需要在射频单元之间借助一定方式来消除同步误差。

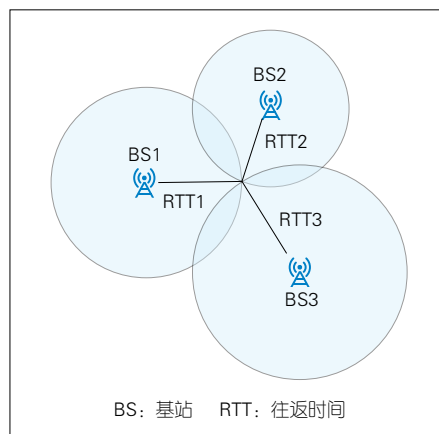
UL-TDOA 定位技术的最大优点是



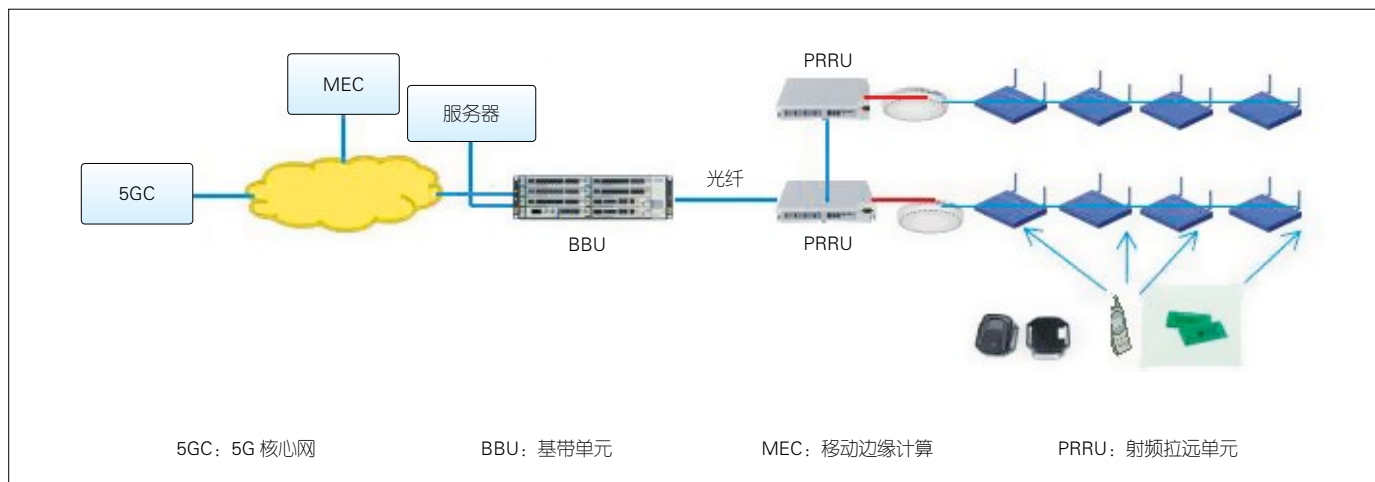
▲图 3 本地部署总体架构



▲图 4 RTT+AOA 技术



▲图 5 室外多站 RTT



▲ 图6 Qcell+X 技术部署

能够兼容目前市场上的5G手机，即无须对手机做改动就可以实现5G高精度定位。与其他定位技术相比，UL-TDOA定位技术在产业链方面具有巨大优势。

（4）室内室分+X融合定位技术部署

为了解决各种场景的室内定位问题，除了通信网定位技术外，市场上也出现了各种丰富的定位技术，例如蓝牙、超宽带（UWB）、WiFi等。这些定位技术在市场上都占有一定规模。为了充分利用这些现有的定位系统来满足每个厂家和用户的需求，Qcell+X（X为蓝牙、UWB等）技术方案采用与定位设备融合的方法来进一步提高定位精度，增加系统的灵活性，以便应对更加复杂的室内场景。Qcell+X的技术部署如图6所示。

在室分+X的融合定位系统中，Qcell不仅可以为X设备供电、配置定位、回传信息、融合定位数据等，还可以实现各种形态的组网方式。通过充分融合蓝牙、UWB、WiFi等设备的强大且灵活的定位能力，室内室分+X融合定位技术可满足不同场景的需求，例如低成本亚米级别的蓝牙AOA定位和厘米级别的UWB定位等。

4 结束语

本文系统地阐述了未来5G定位网络的总体架构和相关的定位技术部署。针对To C和To B两种不同的需求，本文提出了两种不同的网络架构以适应不同的应用场景，并针对Rel-16协议确定了不同场景下的定位技术部署方案。这些定位技术的部署方案将推动5G高精度定位技术在各种行业中的部署应用。

致谢

本论文的研究得到中兴通讯股份有限公司曹长江、黄河、陈大伟3位工程师的帮助，对他们谨致谢意！

参考文献

- [1] 中国移动. 室内定位白皮书 [EB/OL]. [2021-01-28]. <https://www.vzoo.com/doc/13785.html>
- [2] 3GPP. Study on NR positioning support: 3GPP TR 38.855 [S]. 2019
- [3] 徐法禄. 5G室内分布: 数字化转型之道 [J]. 中兴通讯技术, 2020, 26(6): 43-49. DOI: 10.12142/ZTETJ.202006010
- [4] 欧阳俊, 陈诗军, 黄晓明, 等. 面向5G移动通信网的高精度定位技术分析 [J]. 移动通信, 2019, 43(9): 13-17
- [5] 3GPP. Details of NR positioning techniques: 3GPP R1-1810152 [S]. 2018
- [6] 3GPP. Stage 2 functional specification of user equipment (UE) positioning in NG-RAN: 3GPP TS 38.305 V16.0.0 [S]. 2020
- [7] 陈诗军, 王慧强, 陈强, 等. 带内高精度定位网系统及其关键技术 [J]. 电子科学技术, 2017, 4(1): 93-100

作者简介



张诗壮，中兴通讯股份有限公司无线研究院RAN研发中心副主任，高级工程师；主要研究方向为4G/5G系统架构设计；先后主持和参加基金项目2项，获2016年国家科技进步奖特等奖等奖项；发表论文5篇，申请专利10余项。



李俊强，中兴通讯股份有限公司标准预研算法工程师；主要研究领域为无线定位算法和传感器定位算法的预研与实现、多径信号仿真分析等；参与国家自然科学基金项目1项；申请专利3项。



陈诗军（通信作者），中兴通讯股份有限公司高精度定位技术总工程师，教授级高工；主要研究方向为高精度定位网技术、融合定位技术、无线信道仿真、MIMO等；主持制定国家和行业标准10余项，主持国家科技重大专项等20余项，获得省级科技奖等10余项；发表论文30余篇，申请专利100余项。