



专题：5G 演进技术

面向 5G-Advanced 无线系统的高精度定位技术

任斌^{1,2}, 张振宇³, 方荣一^{1,2,3}, 任晓涛^{1,2}, 李健翔^{1,2}, 侯云静^{1,2}, 于哲^{1,2}, 孙韶辉^{1,2}

(1. 中信科移动通信技术股份有限公司, 北京 100083;

2. 无线移动通信国家重点实验室(电信科学技术研究院有限公司), 北京 100191;

3. 北京航空航天大学, 北京 100083)

摘要: 随着定位技术的快速发展, 面向 5G-Advanced 的高精度定位技术正受到越来越多的关注。首先, 介绍了第三代合作伙伴计划(3rd Generation Partnership Project, 3GPP) Rel-16 和 Rel-17 的 5G 定位标准现状和 Rel-18 的 5G-Advanced 定位技术增强方向。其次, 重点研究了 5G 正交频分复用(orthogonal frequency division multiplexing, OFDM) 信号模型和载波相位定位技术需要解决的 3 个关键算法: 基于锁相环的载波相位测量算法、基于参考终端的双差分算法和基于拓展卡尔曼滤波的用户设备(user equipment, UE) 位置解算算法。最后, 分析了低功耗高精度定位技术方案和基于定位参考设备的定位精度增强技术方案。

关键词: 5G 新空口; 载波相位定位; 低功耗高精度定位; 定位参考设备; 整周模糊度

中图分类号: TP393

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2022041

High-accuracy positioning for 5G-Advanced wireless systems

REN Bin^{1,2}, ZHANG Zhenyu³, FANG Rongyi^{1,2,3}, REN Xiaotao^{1,2},

LI Jianxiang^{1,2}, HOU Yunjing^{1,2}, YU Zhe^{1,2}, SUN Shaohui^{1,2}

1. CICT Mobile Communications Technology Co., Ltd., Beijing 100083, China

2. State Key Laboratory of Wireless Mobile Communications,
China Academy of Telecommunications Technology(CATT), Beijing 100191, China

3. Beihang University, Beijing 100083, China

Abstract: With the rapid development of positioning technology, high-accuracy positioning technology for 5G-Advanced is receiving more and more attention. Firstly, the current situation of 5G positioning standards based on the 3rd Generation Partnership Project (3GPP) Release 16/ Release17 and the enhancement directions of the 5G-Advanced positioning technology based on 3GPP Release 18 were introduced. Secondly, the 5G orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) signal model and three key algorithms for carrier phase positioning technology were mainly studied, including: carrier phase measurement algorithm based on phase locked loop, double-difference algorithm based on reference user equipment (UE), and UE position calculation algorithm based on extended Kalman filter. Finally, the low-power high-accuracy positioning technology and the positioning accuracy enhancement technology based on positioning reference unit were analyzed.

Key words: 5G new radio, carrier phase positioning, low-power high-accuracy positioning, positioning reference unit, integer ambiguity



0 引言

第三代合作伙伴计划（3rd Generation Partnership Project, 3GPP）从 2018 年开始研究和标准化基于 5G 新空口（new radio, NR）信号的无线接入定位技术，在 3GPP Release16（Rel-16）中完成了基于 5G NR 终端定位的第一个正式版本的系统设计工作，其中包括 5G 定位参考信号、定位测量值和定位上报等相关流程以及接口信令的标准化工作^[1-2]。3GPP NR Rel-16 商用场景下 80% 用户的定位误差小于 3 m^[3]。3GPP NR Rel-17 进行了 NR 定位增强研究，商用场景下 90% 用户的定位误差小于 1 m，工业物联网场景下 90% 用户的定位误差小于 0.2 m^[4]。Rel-17 定位项目的目标是取得比 Rel-16 更高的定位精度和更低的时延，以及支持 5G 新应用和垂直行业的高完好性和可靠性要求。目前已完成了消除用户设备（user equipment, UE）和基站收/发定时误差影响、提升上行到达角和下行离开角的定位精度以及消除非视距/多径影响等标准化工作^[5-6]。

为了进一步提升定位精度、提高定位效率和完好性以及支持更多应用场景的定位，3GPP 在无线电接入网（radio access network, RAN）第 SA#94-e 次全会上确定了 Rel-18 定位研究项目^[7]，其中包含两个方面的研究工作：第一，定位性能增强方面包含载波相位定位方案、低功耗高精度定位（low-power high-accuracy positioning, LPHAP）方案和载波聚合定位方案；第二，提升完好性和定位应用场景扩展方面包含辅链路（sidelink）定位方案、低能力等级终端（RedCap UE）定位方案和蜂窝网络定位完好性方案。3GPP 在 SA#94-e 全会上确定了 Rel-18 增强位置服务第三阶段研究项目^[8]，包含定位参考设备（positioning reference unit, PRU）的研究工作，SA（Service and System

Aspects）组将与 RAN 组合作，研究与使用 RAN 组中定义的 PRU 相关特定网络功能，并研究 5G 系统（5G system, 5GS）如何支持特定的参考用户设备，以提高定位精度并减少信令开销。

3GPP Rel-18 定位研究项目中，基于 5G 信号的载波相位定位方案、LPHAP 和 PRU 是实现高精度定位的 3 种关键技术方案。其中，与现有的 3GPP NR 定位方法相比，基于 5G 信号的载波相位定位方案能够显著提高室内和室外场景的定位精度，LPHAP 的引入可以满足海量设备位置跟踪和危险区域人员定位等场景的低功耗、高精度定位需求，PRU 通过消除基站间的定时偏差，有效地提高定位精度。

1 基于 5G 信号的载波相位定位技术

载波相位定位技术已经被广泛地应用于全球导航卫星系统（global navigation satellite system, GNSS）^[9]，其核心思想在于利用测量载波信号的相位信息，获取分米级甚至厘米级定位精度。载波相位中包含了待定位终端与基站之间的距离信息，可以用于计算终端位置。卫星定位的主要局限是在室内以及建筑物密布的城市峡谷地带，终端往往难以接收卫星信号。相比于卫星定位，无线蜂窝网络定位具有覆盖广、可配置性强、误差来源少和路径损耗低等优点，是一种高精度定位的可选方案。基于 5G 信号的载波相位定位技术的基本原理是通过测量 5G 信号载波的相位变化，获取传播时延或者距离信息，进行高精度终端定位。载波相位测量误差一般小于载波波长的 10%（例如，载波频率为 2 GHz 时，载波相位测量误差为 1.5 cm），基于 5G 信号的载波相位定位技术的精度性能能够达到厘米级。由于 5G 信号功率高、不受电离层/对流层时延等天气干扰的影响，且 5G 网络对参考信号发送有控制权，基于 5G 信号的载波相位定位比基于卫星的载波相位有可能取

得更高的定位精度、更低的定位时延和更低的复杂度。

1.1 信号模型

假设在接收端和发射端之间进行初始时间同步和频率同步之后的定时偏差为 Δt ，载波频率偏差是 Δf ，并且采用 $\delta f = \Delta f / \Delta f_{\text{SCS}}$ 表示归一化的频率偏差。归一化的频率偏差 δf 对第 m 个正交频分复用 (orthogonal frequency division multiplexing, OFDM) 符号接收的第 n 个样本的影响由式(1)表示^[10]:

$$y_n^m = e^{j\theta_n^m} \sum_{l=0}^{L-1} h_l e^{-j\phi_l} x_{n-l}^m + w_n^m \quad (1)$$

其中， x_n^m 表示发送端第 m 个 OFDM 符号的第 n 个样本， θ_n^m 表示 δf 导致的时隙中第 m 个 OFDM 符号的第 n 个样本的相位旋转 (从时隙的开始时间算起)：

$$\theta_n^m = 2\pi \left(mN + \sum_{i=0}^m N_g^i + n \right) \delta f / N = \theta_n^{m,1} + \theta_n^{m,2} \quad (2)$$

$$\theta_n^{m,1} = 2\pi \delta f \left(mN + \sum_{i=0}^m N_g^i \right) / N; \theta_n^{m,2} = 2\pi n \delta f / N \quad (3)$$

其中， N_g^i 是第 i 个 OFDM 符号的循环前缀 (cyclic prefix, CP) 长度， $\theta_n^{m,1}$ 对于第 m 个 OFDM 符号的所有 N 个样本是相同的，而 $\theta_n^{m,2}$ 与第 i 个 OFDM 符号的样值点序号 n 线性增加。OFDM 解调操作通常依次对每个 OFDM 符号执行，大多数文献一般只讨论归一化频率偏差 δf 在一个 OFDM 符号持续时间内的影响。定位测量值通常利用多个 OFDM 符号获得，需要考虑 δf 对多个 OFDM 符号的累积影响，式(2)、(3)给出了一个时隙中每个 OFDM 符号的 δf 累积影响。

在式(1)两侧做离散傅里叶变换 (discrete Fourier transform, DFT) 操作，可得在第 m 个 OFDM 符号内接收到的频域符号 $R_k^m, k \in [0, 1, \dots, N-1]$ ，表达式如式(4)所示：

$$R_k^m = \frac{\sin(\pi \delta f)}{N \sin(\pi \delta f / N)} e^{j\theta_n^{m,1}} e^{j\pi \delta f (N-1)/N} e^{-j2\pi(f_c + k\Delta f_{\text{SCS}})\Delta t} e^{j\pi \Delta \phi} H_k X_k + \text{ICI}_k^m + W_k \quad (4)$$

其中， $W_k \sim \text{CN}(0, \sigma^2)$ 即服从均值为 0、方差为 σ^2 的复高斯分布。 ICI_k^m 表示子载波间干扰 (inter-carrier interference, ICI)，如式(5)所示^[11]:

$$\text{ICI}_k^m = e^{j\theta_n^{m,1}} e^{j\pi \delta f (N-1)/N} \sum_{i=0, i \neq k}^{N-1} \frac{\sin \sin(\pi \delta f)}{N \sin \sin(\pi(k-i+\delta f)/N)} H_i X_i^m e^{-j\pi(i-k)/N} \quad (5)$$

其中， H_k 表示第 k 个子载波上的频域信道响应 (channel frequency response, CFR)，如式(6)所示^[12]:

$$H_k = \sum_{l=0}^{L-1} h_l e^{-j\phi_l} e^{-2\pi k \tau_l / T} = \sum_{l=0}^{L-1} h_l e^{-j2\pi(f_c + k\Delta f_{\text{SCS}})\tau_l} e^{-j\phi_l^*} \quad (6)$$

其中， h_l 、 ϕ_l 和 τ_l 分别是准静态信道中第 l 条路径的衰减、初始相移和传输时延分量。传输时延分量 τ_l 的单位是秒。多径分量的数量为 L 。相位偏移 ϕ_l 包含自由空间传输引起的分量 $2\pi f_c \tau_l$ 和在信道中其他相位噪声引起的分量 ϕ_l^* ，其中， ϕ_l^* 可能是初始相位噪声导致的。 ϕ_l 可以由式(7)表示：

$$\phi_l = 2\pi f_c \tau_l + \phi_l^* \quad (7)$$

忽略子载波干扰，由式(4)可以看出频域符号的相位期望载波相位测量值中除了包含关注的自由空间传输分量 $2\pi f_c \tau_l$ ，还包含了定时偏差、频率偏差以及相偏等非理想因素。

1.2 关键技术

基于 5G 信号的载波相位定位需要解决以下 3 个关键问题：第一，实时跟踪和锁定连续或非连续载波信号，获得载波相位测量值，如基于锁相环的载波相位测量技术；第二，消除接收机和发送机的时钟误差，如基于参考终端的双差分技术；第三，接收机准确地求解整周模糊度并且消除定时偏差以及频率偏差的影响，如基于拓展卡尔曼滤波 (extended Kalman



filter, EKF) 的 UE 位置解算技术。

1.2.1 基于锁相环的载波相位测量技术

由式 (3) 可知, 信号载波相位测量值中包含相偏 $\Delta\phi$ 、归一化频偏 δf 及时延 Δt 信息(其中, Δt 包含空口传播时延和定时偏差), 并且在同一个 OFDM 符号内, Δt 造成的相位偏移随子载波数的增加呈线性变化, 该相位变化仅体现在频域相位上; 对不同符号的相同子载波, δf 造成的相位偏移随符号数的增加呈线性变化, 该相位变化仅体现在时域相位上。因此, 可以利用一阶锁相环(phase locked loop, PLL) 进行相位跟踪, 线性变化的相位偏移量对应于 PLL 输出的相位曲线斜率, 可据此计算 Δt 和 δf 的估计值。 $\Delta\phi$ 为加在时域的固定相偏, 可根据时域 PLL 环路输出相位曲线的截距进行估计。一种可行的 PLL 原理框图如图 1 所示^[13]。

现有的卫星定位系统的载波相位方案基于连续信号, 根据文献[9]的分析, 卫星系统采用载波相位定位方案, 接收机必须连续不断地跟踪载波相位测量值。丢失信号连续性在接收机重新捕获信号时导致不明原因的信号丢失以及载波周数跳变, 即整周整模糊度的值在信号失锁前后产生了变化。5G 系统采用时分复用(time-division duplex, TDD) 双工方式时, TDD 系统中的定位信号传输是非连续的, 载波相位的估计会遇到 PLL 无法连续跟踪载波相位的问题。以下行定位为例, PLL

需要在下行传输周期期间快速锁定载波信号, 并从周期性下行信号中估计连续的载波相位测量值。影响 TDD 系统的载波相位锁相环能否工作的主要因素是发射机和接收机的晶振性能和上行传输时间间隔。一种可行方案是利用相邻两段下行信号的频偏估计值对间隔的上行信号频偏进行插值估计, 从而计算间隔上行时间内载波相位的变化量, 进而估计下行信号的整周模糊度。

1.2.2 基于参考终端的误差消除技术

式 (3) 表明, 受定时偏差与频率偏差的影响, 无法直接从 PLL 测量的相位中提取距离信息, 因此需要进一步处理。此外, 终端在获取载波相位测量值的同时, 还可以获取到达时间(time of arrival, TOA) 测量值。典型的 TOA 测量算法有自适应门限法^[14]、互相关法^[15]、MUSIC 算法^[16]等。定时偏差与频率偏差对 TOA 和载波相位测量值的影响是相同的, 下面提出了基于参考终端的 TOA 和载波相位测量值误差消除方案。根据文献[17]可知, 在不考虑非直射径、存在定时偏差与频率偏差的情况下, TOA 和载波相位测量值可以表示为式 (8)、式 (9):

$$p_l^i(t) = d_l^i(t) + c(\delta t^i(t) - \delta t_l(t)) + w_{l,p}^i(t) \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \lambda\phi_l^i(t) &= d_l^i(t) + c(\delta t^i(t) - \delta t_l(t)) + \\ &\lambda(\phi^i(0) - \phi_l(0) - N_l^i) + w_{l,\phi}^i(t) \end{aligned} \quad (9)$$

其中, $p_l^i(t)$ 表示发射机 l 到第 i 个接收机的 TOA

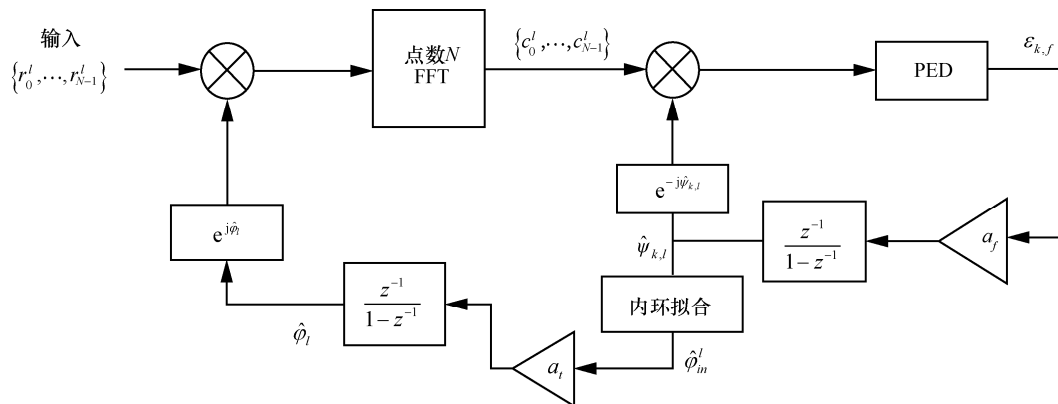


图 1 PLL 原理框图

测量值, $d_l^i(t)$ 是发射机 l 到第 i 个接收机的距离, c 是光速, $\delta t^i(t)$ 是接收机 i 侧的定时偏差, $\delta t_l^i(t)$ 是发射机 l 侧的定时偏差, $w_{l,p}^i(t)$ 与 $w_{l,\varphi}^i(t)$ 分别是 TOA 与载波相位测量噪声, λ 是载波波长, $\varphi^i(0)$ 是接收机 i 侧的初始相位, $\varphi_l(0)$ 发射机 l 侧的初始相位, N_l^i 为未知的整周模糊度。进一步地, 可以引入接收机 j 构成到达时间差 (time difference of arrival, TDOA) 方程, 见式 (10)、式 (11):

$$p_l^{ij}(t) = d_l^{ij}(t) + c\delta t^{ij}(t) + w_{l,p}^{ij}(t) \quad (10)$$

$$\lambda\varphi_l^{ij}(t) = d_l^{ij}(t) + c\delta t^{ij}(t) + \lambda(\varphi^{ij}(0) - N_l^{ij}) + w_{l,\varphi}^{ij}(t) \quad (11)$$

对比式 (8)、式 (9) 与式 (10) 可知, 单差分操作可以消除发射机 l 侧的共同误差, 如定时偏差 $\delta t_l^i(t)$ 。双差分可以由两个单差分测量值进行差分操作获得。考虑接收机 i 和接收机 j , 以及发射机 a 和发射机 b 之间的双差分操作, 双差分测量方程可以表示为式(12)、式(13):

$$p_{ab}^{ij}(t) = d_{ab}^{ij}(t) + w_{ab,p}^{ij}(t) \quad (12)$$

$$\lambda\varphi_{ab}^{ij}(t) = d_{ab}^{ij}(t) - \lambda N_{ab}^{ij} + w_{ab,\varphi}^{ij}(t) \quad (13)$$

在已知参考终端位置的情况下, 可以将双差分测量方程进一步恢复为单差分测量方程。

1.2.3 基于 EKF 的 UE 位置解算技术

如前文所述, 载波相位定位技术的接收机需要准确地求解整周模糊度并且消除定时偏差以及频率偏差的影响。基于 EKF 的 UE 位置解算技术可以在估计出整周模糊度的同时求解出 UE 位置, 并且利用前后测量值的关系提高定位精度, 因此推荐用于载波相位定位的接收机。一种可行的 EKF 算法的状态变量包括用户位置、用户速度和双差分整周模糊度。其中, 输入 EKF 算法的单差分载波相位测量值以及 TDOA 测量值是式 (12)、式 (13) 结合参考终端位置计算得到的单差分测量值, EKF 算法输出的量是没有进行整数化处理的整周模糊度, 整周模糊度解算可以使用经典

的 LAMBDA 算法^[18], 具体 EKF 算法可以参见文献[19]。

1.3 评估结果

仿真评估采用了 3GPP Rel-17 定位研究项目给出的室内工厂场景^[20], 仿真配置参数参见表 1。

表 1 仿真配置参数

仿真参数	参数取值
载波频率	3.5 GHz
定位场景	3GPP 室内工厂场景 (InF-SH)
场景尺度	长 300 m, 宽 150 m
移动终端速度	1 m/s
TOA 测量算法	高分辨率算法
载波相位测量算法	数字锁相环

基于 5G 信号载波相位定位的水平维定位误差如图 2 所示, 90%用户的水平维定位误差在 1 cm 左右。

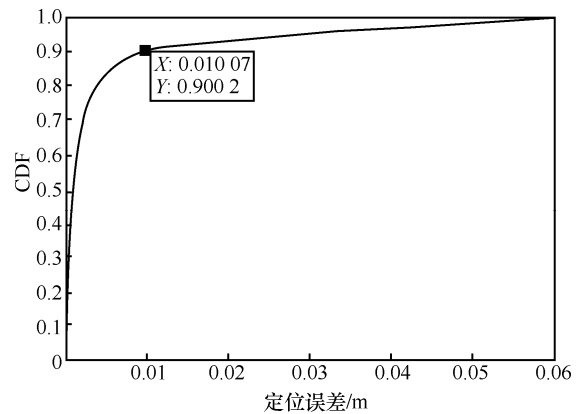


图 2 基于 5G 信号载波相位定位的水平维定位误差

2 LPHAP 技术

LPHAP 技术的引入主要是为了满足海量设备位置跟踪和危险区域人员定位等用例的定位需求。以上用例要求定位方案精度高且功耗极低 (如设备的电池寿命需要长达一年或更长时间)。虽然在 Rel-17 NR 定位标准中, 引入了对无线资源控制 (radio resource control, RRC) 非活动状态



(RRC_inactive Mode) 下终端定位的支持^[5], 但仍然需要在 Rel-18 中评估当前系统是否能够满足 LPHAP 的定位需求^[21-23]。

由于工业物联网设备大部分情况处于非连接状态, 而且终端降低定位功耗的需求越来越旺盛, 因此支持非连接态 (RRC_idle/RRC_inactive) 定位成为降低功耗的新方向^[4]。事件/周期触发被叫式的定位业务 (deferred MT-LR) 适用于低功耗高精度终端, 其业务的特点是当终端探测满足预先设定的定位业务, 如周期性触发终端位置业务请求, 满足某类事件后, 触发获取终端位置信息 (具体见 3GPP 协议 TS 23.273 第 6.7 节^[24])。例如一个电池供电的跟踪装置, 需要它在 1 h 的间隔内报告位置, 或者当位置变化超过预定义门限时, 获取该装置位置信息。该设备初始位置启动可以在 RRC_connected 下执行, 但后续的位置报告将从非活动状态中受益匪浅, 这极大延长了电池寿命^[25]。因此, 非连接状态终端能够通过减少状态转换带来的信令开销, 在降低功耗的同时, 仍然满足蜂窝网的高精度定位^[26], 被纳入了 3GPP Rel-18 高精度定位增强的研究范畴^[7]。

非连接状态终端如果直接采用现有的连接态定位方法, 存在两个主要问题: 第一, 基站如何为非连接态终端分配上行定位参考信号资源; 第二, 各个基站如何正确接收该非连接态终端发送的上行定位参考信号。下面给出了非连接态终端定位解决上述两个问题的方法。

针对问题 1, 设计专用的定位业务唤醒信号, 用于定位业务的申请, 在随机接入过程中高效完成上行定位参考信号资源的分配。具体地, 各个小区从所有的 preamble 码集合中划分出定位专属 preamble 码, 作为定位业务唤醒信号。当某个终端需要配置上行定位参考信号资源时, 使用定位专属 preamble 码发起随机接入流程。基站根据该定位专属 preamble 码辨识该终端发起的上行定位参考信号资源请求。基站在后续随机接入流程中为该终端分

配上行定位参考信号资源, 从而快速地完成终端与网络同步, 以及上行定位参考信号的资源分配。

针对问题 2, 终端在完成上述随机接入流程后, 向核心网发送进行定位业务的请求。服务基站建立与核心网的连接后, 把该终端的上行定位参考信号资源配置信息上报给定位管理功能 (location management function, LMF)。LMF 将上述资源配置信息通知给周围邻区基站。服务基站和邻区基站基于上述资源配置信息, 接收并测量该终端的上行定位参考信号。

上述方法使服务基站和邻区基站能及时接收非连接态终端发送的上行定位参考信号, 获取定位测量值并且把该测量值上报给 LMF, 便于 LMF 完成位置计算。该方法解决了非连接态终端与网络的同步、定位参考信号资源配置和有效的定位参考信号接收窗设置等一系列问题, 使非连接态终端在移动过程中也能低功耗地支持基于 5G 的高精度上行定位方法。

3 基于 PRU 的定位精度增强技术

众所周知, 定时误差包括时钟偏差和 UE/基站的收/发定时误差, 会引起定位精度的下降。如经过设备校准之后, UE/基站的收/发定时误差约为 10 ns。考虑 1 ns 的误差将导致 30 cm 的定位误差, 因此消除上述定时误差可以有效地提高定位精度。例如, 文献[6]研究结果表明, 当 UE/基站的收/发定时误差建模为 $[-2\sigma, 2\sigma]$ 的截断高斯分布, $\sigma = 5$ ns, 90%累积分布函数 (cumulative distribution function, CDF) 点的水平维定位误差为 3.411 m; 当去除 UE/基站的收/发定时误差后, 90% CDF 点的水平维定位误差可降低到 0.128 m。

本节介绍基于 PRU 的定位方案。其中, PRU 是位置提前已知或者能够精确测量到的设备。该设备类型可以是参考终端, 也可以是参考基站。基于定位参考设备消除基站之间的定时偏差可以有两种方法: 第一种是实时的双差分, 基本原理参见本

文第 1.2 节；第二种是非实时的定时偏差预补偿方案。在第二种方法中，基于该定位参考设备可以在一段时间内测量不同基站之间的定时偏差的差值，然后通知基站进行校准，或者把不同基站之间的定时偏差的差值上报给定位服务器，由定位服务器在进行目标终端的位置解算时预先消除。

从上述分析可知，利用参考 UE 的位置和测量值等信息辅助计算待定位的目标 UE 位置可以有效提高定位精度。但是 LMF 计算待定位的目标 UE 的位置时，3GPP 现有的定位流程不支持 LMF 获取参考 UE 的信息。为了解决该问题，文献[27]提出了两种解决方法，方法一为参考 UE 在注册过程中向移动性管理功能（access and mobility management function, AMF）指示其支持参考 UE 的功能，AMF 根据该能力，向 LMF 提供参考 UE 的信息，如标识、服务小区标识、关联 ID 等。LMF 可使用关联 ID 向参考 UE 发送 LPP 消息。方法二为参考 UE 在注册过程之后向 AMF 发送参考 UE 注册请求，AMF 将该请求消息、关联 ID 和服务小区标识等一并发送至 LMF。LMF 存储参考 UE 的信息，需要时直接使用关联 ID 向参考 UE 发送 LPP 消息。上述两种解决方法需要增强 AMF 和 LMF 的功能，且关联 ID 是静态分配且参考 UE 是唯一的，LMF 使用同一关联 ID 无法区分属于不同定位过程的消息。文献[28]认为需要对上述两种解决方案进行端到端的评估，文献[29]提出了 AMF 存储 PRU 信息的方法，但未描述具体工作机制，例如端到端的信令流程。

文献[30]通过在 LMF 中配置参考 UE 的信息以及将 LMF 作为 LCS 客户端发起对 PRU 的定位过程。与上述方法相比，该方法不影响 AMF 的功能和现有定位流程。根据现有定位流程，AMF 将为该定位请求临时分配关联 ID，用于唯一标识与该定位请求相关的消息，因此避免了 LMF 使用静态关联 ID 触发对 PRU 进行定位等问题，定位过程如图 3 所示。

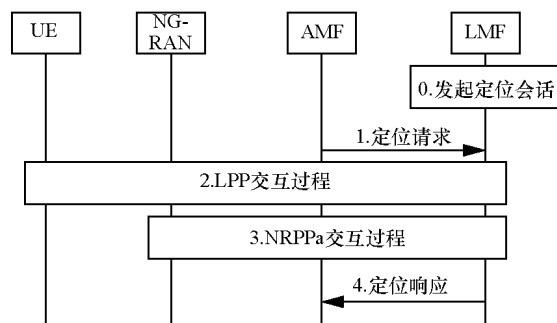


图3 LMF作为LCS客户端发起对参考UE的定位过程

上述方法虽然避免了对现有网元的影响，但存在路由迂回的问题，因为 LMF 作为 LCS 客户端向网关移动位置中心（gateway mobile location center, GMLC）发送定位请求之后，经过 GMLC 和 AMF 的路由，该定位请求最终被重新路由至上述 LMF，由该 LMF 触发定位过程。当 LMF 从 PRU 获取测量信息和/或位置信息之后，为了避免对现有流程的修改，LMF 需将上述信息发送至 AMF，经过 AMF 和 GMLC 的路由，上述信息再次返回至 LMF。如何避免该问题以及灵活地实现对 PRU 的定位，将是 3GPP Rel-18 定位技术的研究热点之一。

4 结束语

本文重点介绍了 3GPP Rel-18 定位研究项目中的 3 种典型技术方案：基于 5G 信号的载波相位定位方案、低功耗高精度定位方案和基于 PRU 的定位精度增强方案。首先，介绍了基于 5G 信号的载波相位定位技术基本原理和 OFDM 信号模型。然后，介绍了针对 3 个关键问题的解决方案：基于锁相环实时跟踪和锁定连续或非连续载波信获得载波相位测量值；基于参考 UE 的双差分技术消除接收机和发送机的时钟误差和收发定时误差；基于 EKF 的 UE 位置解算技术求解整周模糊度并且消除定时偏差以及频率偏差的影响。最后，基于 3GPP 室内工厂场景，仿真结果显示该技术能够取得 90% 用户的水平维定位误差在 1 cm 左右。LPHAP 的引入主要是为了满足



海量设备位置跟踪和危险区域人员定位等场景的低功耗高精度定位需求, Rel-18 将评估当前系统是否能够满足 LPHAP 的定位需求。基于 PRU 的定位精度增强技术通过实时双差分和非实时的定时偏差预补偿方案消除基站间的定时偏差以提高定位精度, 3GPP Rel-18 定位将重点讨论如何支持 LMF 获取 PRU 的信息。

参考文献:

- [1] Intel Corporation, Ericsson. Revised SID: study on NR positioning support: RP-182155 [R]. 2018.
- [2] Intel Corporation, Ericsson. Revised WID: NR positioning support: RP-192581 [R]. 2019.
- [3] 3GPP. Study on NR positioning support, Version 16.0.0: TR 38.855[R]. 2019.
- [4] 3GPP. Study on NR positioning enhancements, version 17.0.0: TR 38.857 [R]. 2021.
- [5] Intel Corporation, CATT. Revised WID on NR positioning enhancements: RP-210903[R]. 2021.
- [6] REN B, FANG R Y, REN X T, et al. Progress of 3GPP Rel-17 standards on new radio (NR) Positioning[C]// Eleventh International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN). [S.l.:s.n.], 2021.
- [7] Intel Corporation, CATT, Ericsson. Revised SID on Study on expanded and improved NR positioning: RP-213588 [R]. 2021.
- [8] CATT, Huawei. New SID on enhancement to the 5GC location services phase 3: SP-211637[R]. 2021.
- [9] 谢钢. GPS 原理与接收机设计[M]. 北京: 电子工业出版社, 2009.
XIE G. GPS principle and receiver design[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2009.
- [10] SPETHM, FECHTEL S A, FOCK G, et al. Optimum receiver design for wireless broad-band systems using OFDM. I[J]. IEEE Transactions on Communications, 1999, 47(11): 1668-1677.
- [11] CHO Y S, KIM J, YANG W Y, et al. MIMO-OFDM Wireless Communications with MATLAB[M]. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2010.
- [12] GOLDSMITH A. Wireless Communications[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2005.
- [13] KUANG L L, NI Z Y, LU J H, et al. A time-frequency decision-feedback loop for carrier frequency offset tracking in OFDM systems[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2005, 4(2): 367-373.
- [14] XU W, HUANG M, ZHU C, et al. Maximum likelihood TOA and OTDOA estimation with first arriving path detection for 3GPP LTE system[J]. Transactions on Emerging Telecommunications Technologies, 2016, 27(3): 339-356.
- [15] RYDEN H, ZAIDI A, RAZAVI S M, et al. Enhanced time of arrival estimation and quantization for positioning in LTE networks[C]//Proceedings of 2016 IEEE 27th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications. Piscataway: IEEE Press, 2016: 1-6.
- [16] LI X R, PAHLAVAN K. Super-resolution TOA estimation with diversity for indoor geolocation[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2004, 3(1): 224-234.
- [17] HE W, YUE Z Y, TIAN Z S, et al. Carrier phase-based Wi-Fi indoor localization method[C]//Proceedings of 2020 IEEE/CIC International Conference on Communications in China (ICCC). Piscataway: IEEE Press, 2020: 34-39.
- [18] SHI J. Precise point positioning integer ambiguity resolution with decoupled clocks[D]. Canada: University of Calgary. 2012.
- [19] ZHAO S H, CUI X W, GUAN F, et al. A Kalman filter-based short baseline RTK algorithm for single-frequency combination of GPS and BDS[J]. Sensors (Basel, Switzerland), 2014, 14(8): 15415-15433.
- [20] 3GPP. Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz, Version 16.1.0: TR 38.901[R]. 2019.
- [21] Intel. Moderator's summary for discussion [RAN93e-R18Prep-10] expanded and improved positioning: RP-211660[R]. 2021.
- [22] Qualcomm Incorporated. Views on Positioning Evolution for Rel-18: RP-212045[R]. 2021.
- [23] CATT. On Rel-18 NR expanded and improved positioning: RP-212250[R]. 2021.
- [24] 3GPP. 5G System (5GS) Location Services (LCS), Version 17.3.0: TS 23.273[S]. 2021.
- [25] Qualcomm Incorporated. Positioning of UEs in RRC inactive state: R2-2103900[R]. 2021.
- [26] Intel. Email discussion summary for [94e-06-R18-PositionEvo]: RP-213486[R]. 2021.
- [27] Qualcomm Incorporated. Signalling and procedures for supporting positioning reference units: R2-2108386[R]. 2021.
- [28] VIVO. Discussion on support for positioning reference unit: R2-2107647[R]. 2021.
- [29] CATT. Discussion on positioning reference units (PRUs) for positioning enhancement: R2-2107143[R]. 2021.
- [30] CATT, ZTE Corporation, Intel corporation. Discussion on positioning reference units (PRUs): R2-2109489 [R]. 2021.

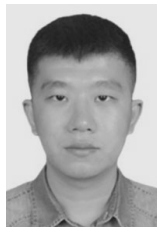
[作者简介]



任斌（1983—），男，博士，中信科移动通信技术股份有限公司高级工程师，主要研究方向为无线蜂窝网络中的高精度定位技术、非正交多址接入技术和随机接入技术。



李健翔（1979—），女，中信科移动通信技术股份有限公司高级工程师，主要研究方向为高精度定位、空天地一体化网络及定位。



张振宇（1992—），男，北京航空航天大学博士生，主要研究方向为无线蜂窝网络中的高精度定位技术。



侯云静（1985—），女，中信科移动通信技术股份有限公司高级工程师，主要研究方向为定位、网络切片。



方荣一（1993—），男，中信科移动通信技术股份有限公司工程师，北京航空航天大学博士生，主要研究方向为高精度定位技术。



于哲（1995—），男，中信科移动通信技术股份有限公司工程师，主要研究方向为高精度定位。



任晓涛（1976—），男，博士，中信科移动通信技术股份有限公司高级工程师，主要研究方向为高精度定位、车联网。



孙韶辉（1972—），男，博士，中信科移动通信技术股份有限公司副总经理，长期从事移动通信新技术研究与标准制定工作，主要研究方向为移动通信系统设计及多天线技术、卫星通信和定位等关键技术。