

面向卫星通信系统的寻呼方法



Paging Method for Satellite Communication System

毛玉欣/MAO Yuxin¹, 闫新成/YAN Xincheng^{2,3}

(1. 小米通讯技术有限公司, 中国 北京 100085;
2. 移动网络和移动多媒体技术国家重点实验室, 中国 深圳 518055;
3. 中兴通讯股份有限公司, 中国 深圳 518057)
(1. Xiaomi Corporation, Beijing 100085, China;
2. The State Key Laboratory of Mobile Network and Mobile Multimedia
Technology, Shenzhen 518055, China;
3. ZTE Corporation, Shenzhen 518057, China)

DOI: 10.12142/ZTETJ.202301013

网络出版地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.TN.20230222.1655.002.html>

网络出版日期: 2023-02-23

收稿日期: 2022-10-15

摘要: 分析了卫星通信中的固定追踪区 (TA) 和卫星移动小区的配置特性, 以及由此导致的通信寻呼效率低下问题。针对卫星通信系统提出了一种基于动态追踪区 (DTA) 的寻呼方法, 包括基于用户位置、移动模式、签约信息为用户设备 (UE) 定制 DTA 以及基于 UE-DTA 进行 UE 寻呼。该方法可实现寻呼信令载荷和 TA 更新信令频率之间的平衡, 减轻寻呼信令负荷, 提高寻呼效率。

关键词: 卫星通信; 非地面网络; 寻呼; 动态追踪区

Abstract: The configuration characteristics of earth-fixed tracking areas (TA) and earth-moving cells in satellite communication systems and the resulting of paging inefficiency are analyzed. A paging optimization method based on dynamic tracking area (DTA) is proposed for the satellite system, which includes determining a customized DTA for user equipment (UE) by the network based on UE position, mobility patterns, and subscription information, and performing paging request based on UE-DTA. It achieves a better trade-off between paging signalling load and registration update signalling, reduces paging signalling load and improves paging efficiency.

Keywords: satellite telecommunication; non-terrestrial network; paging; dynamic tracking area

无线移动通信系统最初可以满足人们的语音通信需求, 经过 30 年的发展, 如今可以提供高速数据通信服务。目前陆地无线移动通信系统已经为全球大多数人口所在区域提供较为完善的网络覆盖服务, 全球 80% 的人口都可以享受到移动通信服务。随着 5G 技术的普及, 网络应用从面向人的通信扩展到面向人和物以及物与物的通信。这使得通信应用场景不断丰富, 通信服务的范围不断扩大。在促进社会全面数字化的同时, 5G 技术也因受制于经济成本、技术、自然条件等因素, 在人口密度较低的偏远地区以及人迹罕至的高山、荒漠、远洋等区域难以实现 5G 蜂窝接入的普遍覆盖。而卫星通信因为具有广域覆盖的特点, 可以以陆地蜂窝通信系统难以比拟的成本优势提供广域甚至全球通信覆盖服务, 从而对陆地蜂窝通信覆盖形成有效补充。因此, 构筑天地一体化通信网络, 提供无缝覆盖的网络服务, 是 5G 和 6G 技术研究的重点领域之一^[1-5]。随着卫星通信技术的发展, 单星服务能力和星链技术都得到了有效提升, 服务的业务场景以及部分技术指标也越来越接近陆地蜂窝移动通信。这些均使得天地一体化通信深度融合的紧迫性进一步加强。作为全球移动通信技术标准制定的主要组织, 第 3 代合作伙伴计

划 (3GPP) 在 5G 标准的第 16 版中启动了 5G 支持卫星通信的标准研究和制定工作^[6]。

1 卫星通信简介

1.1 卫星通信类型和架构

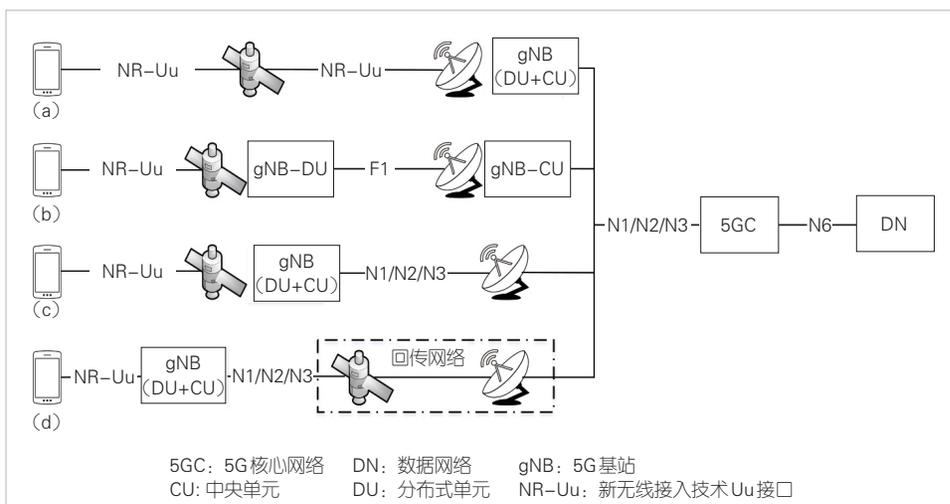
受空气密度、太空碎片以及已经在轨运行的低轨卫星的限制, 同时考虑到 2 000~8 000 km 高度的范艾伦辐射带上的高能粒子的影响, 通信卫星通常运行在下列几类轨道上^[7]:

1) 地球同步轨道 (GEO) 卫星。这类卫星运行在高度为 35 786 km 的赤道平面上, 相对地球保持静止, 其卫星轨道周期与地球自转周期相同, 因此可以为信号覆盖区域提供持续信号覆盖。

2) 非地球同步轨道 (NGSO) 卫星。这类卫星相对于地面移动。某个指定区域如果需要长期稳定的信号覆盖, 就需要若干卫星组建星群来满足这一需求。NGSO 运行高度越低, 提供持续稳定信号覆盖所需的卫星数就越多。按照运行高度的不同, NGSO 通常又可以分为运行在 500~2 000 km 的近地轨道 (LEO) 卫星, 运行在 8 000~20 000 km 的中地轨道 (MEO) 卫星和运行在 7 000~45 000 km 的高偏心轨道 (HEO) 卫星。

当前针对天地一体化通信的研究主要以陆地移动通信技术标准为基础，结合卫星通信的技术特点做出适应改进。在天地融合通信的实现过程中，卫星通信通常作为地面接入覆盖的延伸，或者作为在基站（gNB）和核心网络（5GC）之间的回程传输。按照卫星通信的作用以及不同层面的融合类型，卫星通信可分为如图1所示的几种场景^[8]。

按照卫星在通信系统中发挥作用的不同，卫星通信可以分为弯管模式和再生模式。图1中的(a)方式是卫星工作在弯管模式，该模式下卫星仅负责通信数据的透明转发；(b)和(c)两种方式属于再生模式，该模式下卫星承担了基站的部分或者全部功能，并在发送数据之前，需要承担数据的处理功能；(d)是卫星作为回程传输使用，在gNB和5GC之间转发上下行数据。



▲图1 卫星通信部署场景

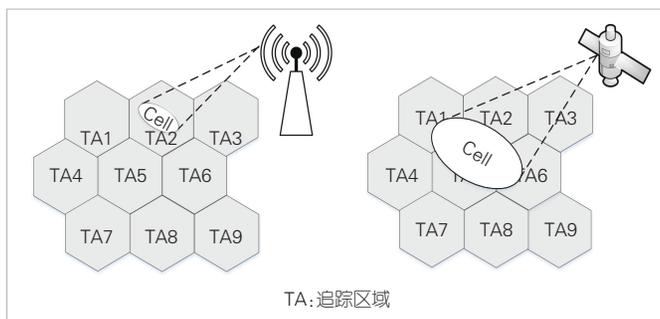
1.2 卫星通信的移动性管理

追踪区域（TA）是移动通信系统为用户设备（UE）位置的移动管理设立的概念。当UE处于空闲态时，5GC能够知道UE所处的TA。同时当处于空闲态的UE需要被寻呼时，必须在UE注册的TA的所有小区中进行寻呼。在UE进行网络注册时，网络会根据UE的位置分配注册区（RA）。一个RA包含TA列表，并且一个TA列表可以包含一个TA或者多个TA。UE在该TA列表包含的TA内移动时不需要执行TA更新过程，从而较少与网络的频繁交互。当UE移动并进入不被RA包含的新TA时，注册更新过程会被触发执行以更新TA。此时5GC会给UE分配一组新的TA。新分配的TA可以完全不包含或者部分包含原来RA中的一些TA。

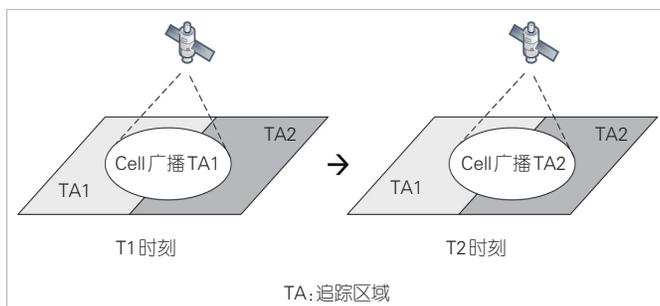
在陆地蜂窝通信系统中，一个TA区域通常大于小区（Cell）的范围。TA是Cell级别的配置。多个Cell可以配置相同的TA，但一个Cell只能属于一个TA^[9]。在卫星通信系统中，Cell由卫星发射的波束覆盖地面形成。一个Cell可由单个或者多个卫星波束构成。Cell的大小和卫星波束半径相关。卫星波束半径随着卫星高度的增加而增大，例如：LEO的波束半径可达数十公里，MEO/GEO的波束半径可达数百公里。因此，与地面蜂窝通信的Cell和TA规划不同，卫星通信中一个Cell的覆盖范围就可能涵盖多个TA^[10]。图2说明了陆地蜂窝通信和卫星通信中TA和Cell关系的区别。

NGSO通信中的卫星相对地面是移动的，因此向地面广播的Cell也在不断移动。这就要求Cell不断更新向地面广播的TA。在卫星通信中有两种TA广播方式^[11]。

一种TA广播方式是卫星Cell广播单个TA，如图3所示。当卫星从西向东移动并跨越两个TA区域时，在T1时刻卫星波束对TA1的覆盖范围大于对TA2的覆盖范围，此时Cell广播TA1；随着Cell的移动，在TA2时刻，卫星波束对TA2的覆盖范围大于对TA1的覆盖范围，此时Cell需要进行TA更新，并向地面广播TA2。这种由于卫星移动引发的TA1向TA2的切换就像是接入到该Cell的UE发生了跨TA的移动一样。如果此前TA2不包含在UE的RA中，上述广播TA变化



▲图2 Cell和TA关系示意图



▲图3 TA硬切换过程示意图

的过程就需要触发UE执行注册更新，并将TA2更新到RA中。这种广播单个TA下的切换称为硬切换。

另一种TA广播方式是软切换。卫星Cell广播多个TA，例如：被卫星波束覆盖的TA都会在Cell中广播，如图4所示。在T1、T2时刻，Cell总是广播{TA1,TA2}。在这两个时刻，UE的RA只要至少包含上述TA的一个，就会允许UE接入该Cell，并且在卫星从T1到T2的移动过程中不需要触发UE来发起注册更新过程。在T3时刻，Cell覆盖已经完全移出了TA1，此时Cell需要对广播的TA进行更新，并向地面广播{TA2,TA3}。如果T3时刻UE在TA2区域内，且RA仅包含TA1，则UE发起注册更新过程并将RA更新为{TA2,TA3}。

受卫星部署高度的影响，LEO和MEO的卫星波束覆盖范围通常在100~1000 km，而地面无线通信系统使用的TA划分范围通常在100~200 km，因此卫星通信的Cell覆盖范围是TA的数十倍。这就意味着卫星通信如果使用现有的TA规划，硬切换会导致UE频繁进行注册更新，进而大大增加终端和网络设备的信令处理开销和网络通信负担，而软切换可以减少UE在TA边界处发生TA更新的次数，从而有效减少和网络交互信令的频度。

2 卫星通信中的寻呼方法

2.1 无线移动通信的寻呼

UE在空闲态时会释放与网络的连接。当网络需要与空闲态的UE进行通信时，例如网络收到发往UE的下行数据，首先需要对UE发起寻呼过程。当寻呼到UE并恢复网络连接后，网络才可以向UE发送数据。对UE寻呼的过程需要知道UE所处的TA，并向所述TA所在的小区发起对UE的寻呼；如果不知道UE当前所处的TA，则需要向UE注册的所有TA所在的小区发起寻呼。

以5G网络寻呼为例，如图5所示，如果UE处于CM_IDLE态或者处于CM_CONNECTED with RRC_INACTIVE态，此时N2、N3连接的资源会因空闲而被释放。当5G侧有下行数据到达用户面功能（UPF）时，由于与UE之间

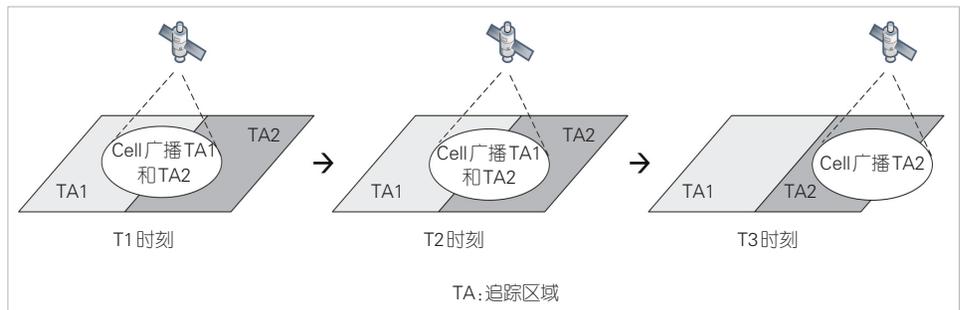
无可连接，UPF无法将所述下行数据发送给UE。在UPF根据指令缓存所述数据或者将所述数据发送给会话管理功能（SMF）缓存后，SMF将向接入和移动性管理功能（AMF）触发寻呼流程。AMF通过gNB向UE发送寻呼消息，通知UE恢复会话上下行数据链路。

根据TA进行寻呼过程的示意如图5所示。网络会记录UE最近访问的TA并将其作为UE的位置，以便根据该TA信息进行UE寻呼。如果UE仍然在所述TA内，则寻呼成功，恢复连接；如果UE在转换为空闲态后发生了位置移动（已经不在所述TA区域内），则寻呼失败，接下来需要根据UE的RA进行寻呼。寻呼会根据RA中的TA列表以及TA和Cell的关系进行。

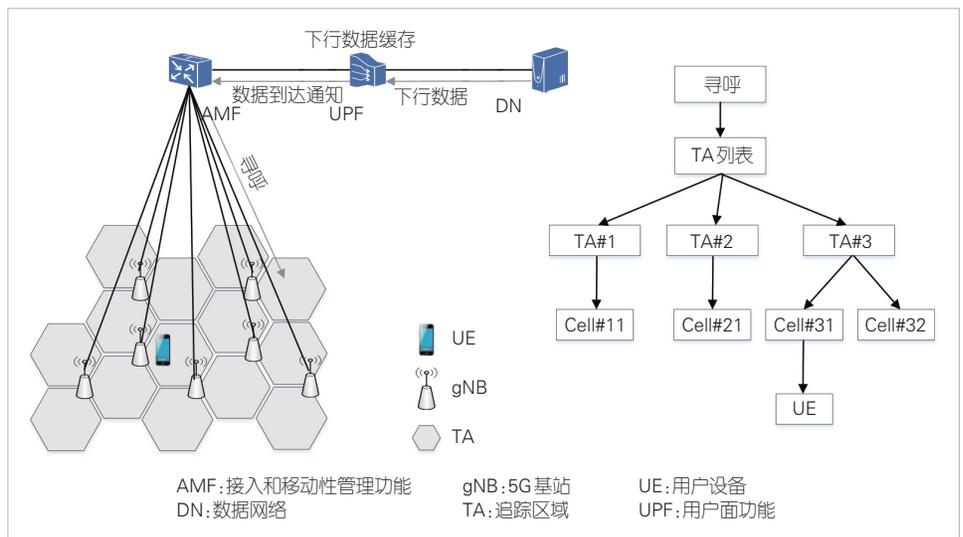
从寻呼示例可以看出，寻呼效率的高低取决于网络是否知道寻呼时刻UE所处的TA。寻呼策略可以优先使用UE最近使用的TA进行寻呼，以尽量缩短寻呼时间。当基于精确TA寻呼失败时，网络才会基于RA寻呼。

2.2 卫星通信中的寻呼问题和改进

在移动通信系统中，网络基于TA对UE发起寻呼。TA



▲图4 TA软切换过程示意图



▲图5 寻呼过程示意图

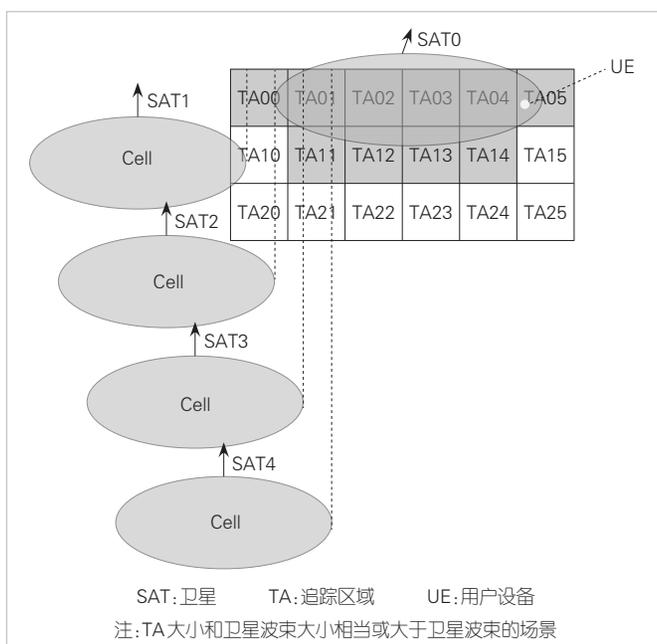
没有严格的地理定义，而是由构成TA的一组Cell的位置和覆盖范围决定的。无论卫星通信中的卫星波束相对地面是固定的，还是移动的，对TA的定义都被认为相对地面固定。1.2节描述了卫星通信的软切换模式。在该模式下，卫星Cell需要广播多个TA编码（TAC）。UE的RA中会包含所述广播TAC。由于TA边界无法被UE感知，UE只能根据从卫星Cell的广播消息中接收TAC并判断是否发生了TA更新，即当任一广播的TAC都不被RA包含时，UE才触发发起TA更新。这种模式可以有效减少由UE的TA更新导致的和网络信令交互的频率。但是在软切换模式中，在没有从终端接收到有用位置信息的情况下，每当与该UE相关联的任何潜在TAC被覆盖时，网络必须尝试对该UE进行寻呼。这实质上增加了寻呼负荷。如图6所示，UE位于卫星Cell初始飞越覆盖的边缘TA05区域。如果gNB没有获取到UE的有用位置信息，系统便将公共陆地移动网（PLMN）下所有黑色标记相关的TAC发送给5GC。由于地球自转和卫星轨道之间的周期不同，后续飞越的卫星对同一区域的覆盖可能会出现一些偏移，例如：随后的卫星Cell飞越覆盖所述TAC中另外一端的TA00。从SAT0到SAT4的覆盖过程中，如果发起寻呼，在网络未得到UE的精确位置信息时，只要黑色标记TAC中的任何一个被覆盖，所有黑色标记的TAC都需要尝试寻呼UE。

随着时间的推移，网络可以完全排除没有收到UE寻呼应答对应的TAC，从而减少寻呼开销。但这个过程意味着在找到正确的TAC之前，不同卫星的多次飞行会持续产生寻呼开销。

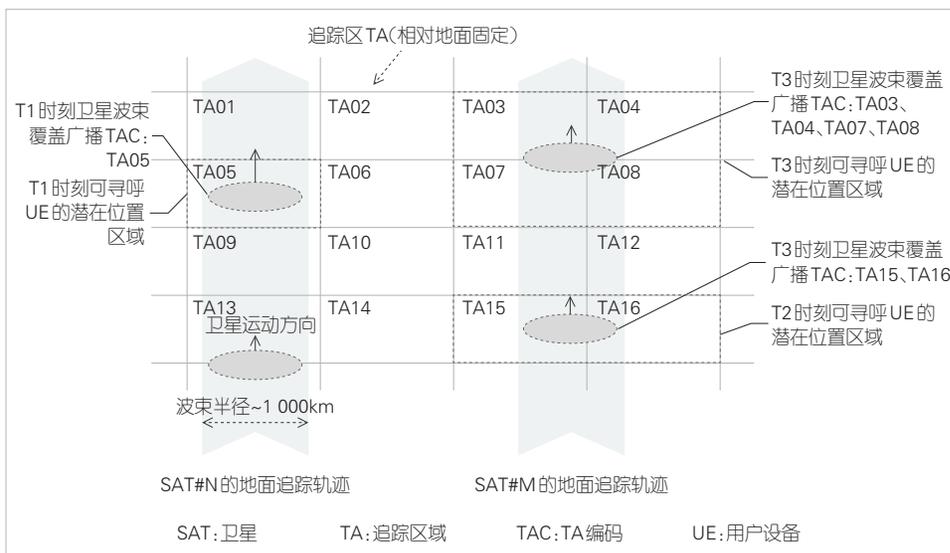
这种相对地面移动的卫星Cell增加寻呼信令开销的情况将随卫星波束的扩大而加剧。这种情况可通过图7进一步说明。为了简化表示，但又不失代表性，在地表上用矩形网格表示TA，且假设TA大小和卫星波束大小相当。图7还说明了由于地球自转和卫星轨道之间的周期不同，卫星随后经过同一区域时可能会出现一些偏移。因此，将TA布局安排为与卫星地球轨道重合是不可行的。从图7可以看出，如果仅根据TA信息进行寻呼，卫星波束覆盖最多可与4个TA重叠，如图7中T3时刻的卫星波束覆盖。在这种情况下，寻呼UE的次数将明显增多，随后无线接入网络（RAN）上的寻呼资源开销也会变

大，寻呼失败的次数也会增加。

为了提高寻呼效率，可以考虑使TA小于卫星波束覆盖范围并且基于更准确的UE位置信息进行寻呼。卫星通信中定义了一个用Mapped Cell ID标识且与Cell ID相对应的固定地理区域^[12]。这个区域与卫星轨道或者UE和卫星之间的连接（Service Link）的类型无关，如图8所示。Mapped Cell ID和地理区域的映射关系可以根据运营商策略预先配置在RAN和核心网（CN）上。RAN负责从UE接收的位置信息，例如全球导航卫星系统（GNSS）信息，以构建Mapped Cell ID。当UE触发注册或注册更新流程时，RAN将广播TAC上



▲图6 卫星通信中的TA示意图



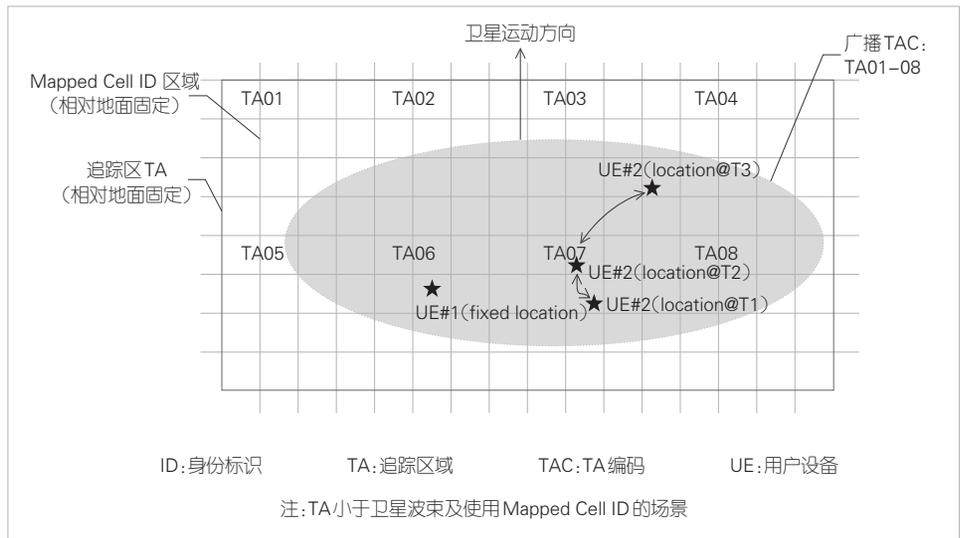
▲图7 卫星移动波束和固定追踪区TA配置示意图

报给 5GC。同时，如果 RAN 获知 UE 的具体位置信息，还需要基于所述位置信息确定 UE 当前所处 TA 的 TA 标识 (TAI)，并将该 TAI 也发送给 CN。

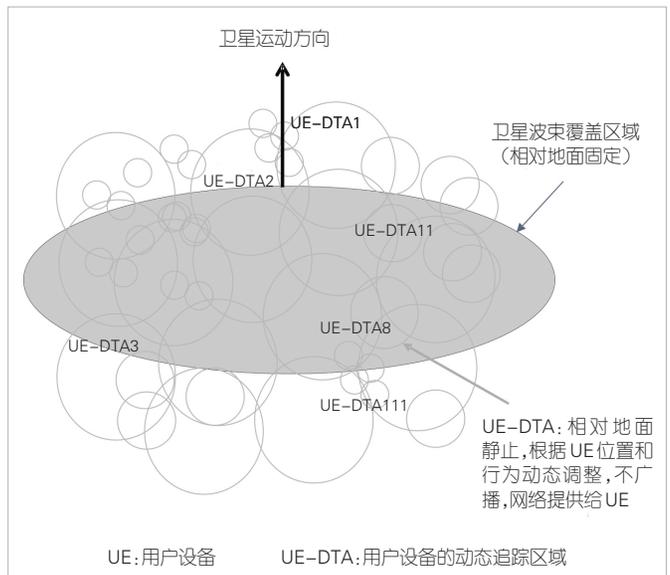
对于静止 UE，如图 8 中的 UE#1，当 UE#1 的 RA、Mapped Cell ID 被卫星波束所覆盖时，依据 UE 所处的 TA 以及 Mapped Cell ID 就可以快速寻呼到 UE#1。但对于处于移动的 UE，如图 8 中的 UE#2，沿着卫星的移动轨迹移动跨越了 Mapped Cell ID 对应区域甚至 TA 对应的区域。在所述 UE#2 的移动过程中，只要不尝试接入网络，网络就不会感知到所述移动过程。而在这个移动过程中，由于卫星波束覆盖范围很大，并且卫星 Cell 会广播覆盖内的多个可达的 TAC，因此在所述广播 TAC 对应的 TA 区域内移动时，UE#2 本身也无法感知到 Mapped Cell ID 对应区域的变更，甚至无法感知 TA 的变更。例如：如图 8 所示，UE#2 在 T1 时刻从 TA07 注册到网络，当在 T3 时刻移动到 TA03 时，UE#2 仍然认为在 TA07。这种场景下，如果寻呼策略基于 Mapped Cell ID 或者基于注册时所处的 TA 将被证明不再高效。解决这个问题一个方法就是增加定期注册的频度以获取近乎实时的 UE 位置，但这显然会增加信令开销。

对此，一种改进寻呼效率的方法是定义针对 UE 的动态追踪区域 (UE-DTA)。UE-DTA 可以基于 UE 位置的地理围栏和地理区域规范，为每个 UE 建立定制化的追踪区域。UE-DTA 区域的定义有多种方式：可以通过参数化来定义一个几何图形，例如圆、椭圆或多边形，也可以通过作为 UE-DTA 区域顶点的一组地理坐标来构成电子围栏。为便于表述，这里 UE-DTA 使用圆形区域，并用中心点和半径表示。另外，在构建 UE-DTA 区域时，除了参考 UE 的位置信息之外，UE-DTA 的大小和形状也可以基于 UE 的移动性、UE 部署密度等其他条件进行动态调整，例如：快速移动的 UE 可以定义范围较大的 UE-DTA，而静态或者准静态 UE 则需要定义范围较小的 UE-DTA。当为 UE 分配 UE-DTA 时，多个 UE 的 UE-DTA 可以相同。图 9 展示了动态卫星波束下的 UE-DTA。网络将为 UE 制定的 UE-DTA 提供给 UE 保存。UE 基于 UE-DTA、UE 位置信息和地理区域描述 (GAD) 来监测位置移动是否超出了 UE-DTA 区域。

对于静止 UE，如图 8 中的 UE#1，当 UE#1 的 RA、Mapped Cell ID 被卫星波束所覆盖时，依据 UE 所处的 TA 以及 Mapped Cell ID 就可以快速寻呼到 UE#1。但对于处于移动的 UE，如图 8 中的 UE#2，沿着卫星的移动轨迹移动跨越了 Mapped Cell ID 对应区域甚至 TA 对应的区域。在所述 UE#2 的移动过程中，只要不尝试接入网络，网络就不会感知到所述移动过程。而在这个移动过程中，由于卫星波束覆盖范围很大，并且卫星 Cell 会广播覆盖内的多个可达的 TAC，因此在所述广播 TAC 对应的 TA 区域内移动时，UE#2 本身也无法感知到 Mapped Cell ID 对应区域的变更，甚至无法感知 TA 的变更。例如：如图 8 所示，UE#2 在 T1 时刻从 TA07 注册到网络，当在 T3 时刻移动到 TA03 时，UE#2 仍然认为在 TA07。这种场景下，如果寻呼策略基于 Mapped Cell ID 或者基于注册时所处的 TA 将被证明不再高效。解决这个问题一个方法就是增加定期注册的频度以获取近乎实时的 UE 位置，但这显然会增加信令开销。



▲图 8 卫星移动波束和固定追踪区 TA 配置示意



▲图 9 卫星移动波束和 UE-DTA 配置示意

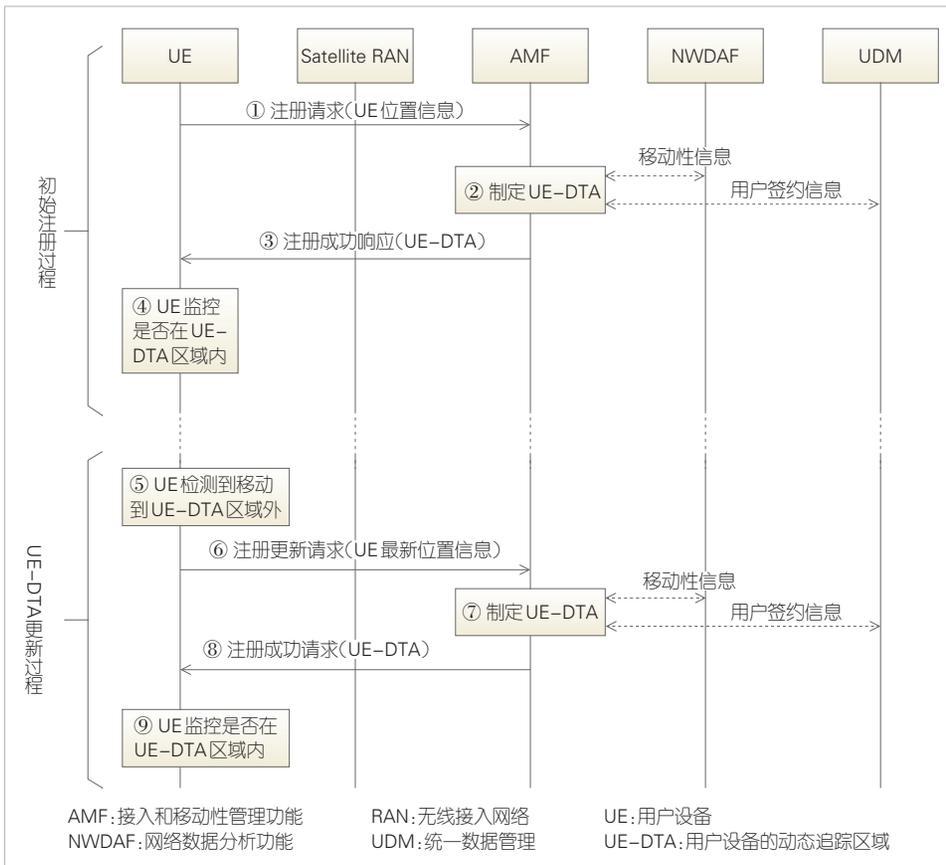
2.3 基于 UE-DTA 的寻呼实现和分析

UE-DTA 依赖于网络根据 UE 的位置等信息动态变化并提供给 UE。UE 在移动过程中会根据 UE-DTA 判断是否需要触发位置更新。网络可以根据 UE-DTA 进行 UE 寻呼。基于 UE-DTA 的寻呼过程可分为 UE-DTA 制定过程和基于 UE-DTA 的寻呼过程，如图 10 和图 11 所示。

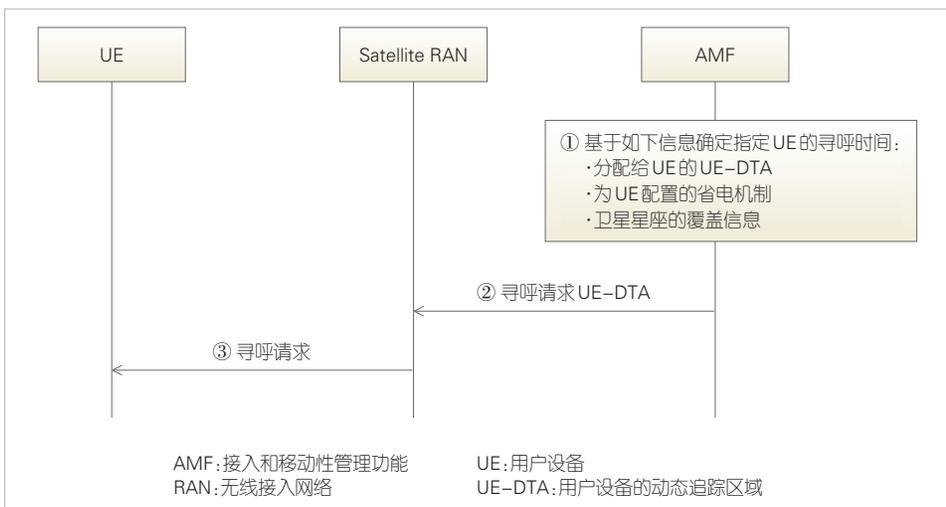
1) 基于注册/注册更新过程的 UE-DTA 制定

① 当 UE 接入网络发起注册请求时，UE 向网络提供位置信息，例如 GNSS 信息。

② AMF 为所述 UE 接入确定 UE-DTA。UE-DTA 的计算过程需要结合 UE 当前位置信息、签约信息、移动模式等。



▲图10 UE-DTA制定和更新流程



▲图11 AMF基于UE-DTA触发的寻呼过程

这些信息可以从签约数据库、网络数据分析功能（NWDAF）中获取。

③ AMF通过注册成功消息将UE-DTA提供给UE保存。

④ UE监控自身的移动，判断自身位置是否在UE-DTA区域内。

⑤ 由于位置移动，UE检测到位于UE-DTA之外

⑥ UE触发注册更新流程，要求进行TA更新。同时UE将当前位置提供给AMF。

⑦ 根据UE提供的新的位置信息，AMF计算并产生新的UE-DTA。

⑧ AMF将更新的UE-DTA提供给UE。

⑨ UE使用新的UE-DTA覆盖原有的UE-DTA，并根据最新的UE-DTA对位置移动进行监测。

2) 基于UE-DTA的UE寻呼

① AMF确定触发UE寻呼过程的时间或者时间窗。这个确定过程基于分配给UE的UE-DTA和卫星星座的信号覆盖信息，例如星历信息、卫星波束信息、配置的省电机制。

② AMF向给UE当前位置提供覆盖的RAN节点发起寻呼过程。另外，AMF可以将UE-DTA提供给RAN节点，由RAN结合卫星覆盖信息决定发起UE寻呼的时机。

③ RAN通过Service link向UE发起寻呼过程。

基于UE-DTA实现寻呼的方案需要对现有系统进行如下两个方面的增强：

1) 在UE侧，需要UE在注册阶段，向5GC提供当前位置信息，以便网络结合UE提供的位置信息进行UE-DTA的制定。UE需要保存网络提供的UE-DTA信息，并根据UE-DTA信息实时监测位置是否位于UE-DTA范围内。如果UE检测到位置位于UE-DTA范围

之外，则需要触发注册更新过程，请求网络进行UE-DTA更新。

2) 在核心网络侧，需要基于UE提供的位置信息，并结合签约信息、UE移动模式的分析数据、地理区域描述等信息为UE制定UE-DTA，随后向UE提供UE-DTA。此外网络根据UE-DTA参数以及卫星星座的覆盖信息，计算并确定

UE-DTA 是否被卫星星座覆盖。如果存在覆盖, 就可根据 UE-DTA 向 UE 发起寻呼。

动态确定 UE-DTA 并基于 UE-DTA 进行 UE 寻呼的方法主要具有 3 个功能特点:

1) 基于 UE-DTA 进行终端寻呼。由于 UE-DTA 的范围小于 TA 范围, 只有被卫星波束覆盖的 UE-DTA 才会被寻呼, 寻呼请求的调度可以根据卫星沿着 UE-DTA 的移动进行调整, 这样可以对卫星波束覆盖下的终端寻呼进行优化, 有效减少寻呼信令载荷。

2) 平衡寻呼信令载荷和信令交互频率。得益于 UE-DTA 的范围可以根据 UE 的位置特性 (UE 静止、移动、高速移动)、部署环境 (例如部署密度) 等进行动态调整, 基于 UE-DTA 的寻呼方法可以在寻呼信令载荷和 TA 更新信令之间实现更好的平衡。

3) 可实现更灵活的寻呼和移动性管理解决方案。对于基于 TA 的寻呼, 由于 TA 的范围较大, 且不与任何 UE 的位置关联, TA 的地理边界也不被 UE 感知, 因此很难确定寻呼 UE 的范围。对于基于 UE-DTA 的寻呼, 由于 UE-DTA 可以根据需要动态定义, UE 可以根据 GNSS 测量出 UE 是停留在 UE-DTA 内, 还是移动到 UE-DTA 外。这使得寻呼更加高效灵活。

3 结束语

卫星通信作为 5G 地面通信的补充, 可以为地面蜂窝覆盖难以到达的区域提供补充覆盖, 从而使万物互联变为可能。卫星通信在提供通信便利的同时, 也因为卫星高度、星座密度、波束半径等具体的因素, 在通信效率方面还需要不断发展和改进。基于 UE-DTA 的寻呼方法通过动态制定 UE 的寻呼范围, 有效地提高卫星通过程中的寻呼效率, 减少寻呼负荷。然而, 制定 UE-DTA 所需的 UE 位置信息的可靠性、位置信息的粒度, 以及位置信息作为隐私如何保证安全, 均需要做进一步的研究。另外, 除了应用于寻呼过程, UE-DTA 是否还可应用于注册区管理、服务域限制管理等, 以进一步增强移动性管理的效率, 也需要做进一步的探索验证。

3GPP 非地面通信 (NTN) 标准研究的推进和卫星能力的增强, 推动着卫星通信技术逐步迈向成熟。5G NTN 未来应用场景广阔, 将支持更多频段, 使星上处理能力不断提高。这将推动卫星产业和蜂窝技术的深度融合, 极大拓展卫星通信的应用范围, 催熟相关产业链条。卫星通信将广泛应

用于个人领域和垂直行业应用领域。在打造偏远地区、海洋、民航等全域泛在连接, 丰富应急通信等方面, 卫星通信技术将发挥巨大的商用和社会价值。

参考文献

- [1] 田开波, 杨振, 张楠. 空天地一体化网络技术展望 [J]. 中兴通讯技术, 2021, 27(5): 2-6. DOI: 10.12142/ZTETJ.202105002
- [2] 孙智立, 李天儒. 大规模低轨星座卫星通信网发展展望 [J]. 中兴通讯技术, 2021, 27(5): 48-51. DOI: 10.12142/ZTETJ.202105010
- [3] YAN X C, TENG H Y, PING L, et al. Study on security of 5G and satellite converged communication network [J]. ZTE Communications, 2021, 19(4): 79-89. DOI: 10.12142/ZTECOM.202104009
- [4] MA Y Y, MA G Y, WANG N, et al. OTFS enabled NOMA for mMTC systems over LEO satellite [J]. ZTE Communications, 2021, 19(4): 63-70. DOI: 10.12142/ZTECOM.202104007
- [5] IMT-2030. 6G 总体愿景和关键潜在技术白皮书 [R]. 2021
- [6] 3GPP. New WID on integration of satellite access in 5G (5GSAT) [EB/OL]. [2022-11-20]. https://www.3gpp.org/ftp/tsg_sa/TSG_SA/TSGS_80/Docs/SP-180326.zip
- [7] 3GPP. Study on using satellite access in 5G, stage 1: 3GPP TR 22.822 [S]. 2018
- [8] 3GPP. Study on architecture aspects for using satellite access in 5G, stage 2: 3GPP TR 23.737 [S]. 2019
- [9] 3GPP. General packet radio service (GPRS) enhancements for evolved universal terrestrial radio access network (E-UTRAN) access (release 17): 3GPP TS 23.401 [S]. 2020
- [10] 3GPP. System architecture for the 5G system (5GS), stage 2 (release 17): 3GPP TS 23.501 [S]. 2021
- [11] 3GPP. Support of mobility registration update for 5G satellite access [EB/OL]. [2022-11-20]. https://www.3gpp.org/ftp/tsg_sa/TSG_SA/TSGS_93E_Electronic_2021_09/Docs/SP-210916.zip
- [12] 3GPP. Summary for NB-IoT/eMTC support for non-terrestrial networks (NTN) [EB/OL]. [2022-11-20]. https://www.3gpp.org/ftp/tsg_ct/TSG_CT/TSGC_96_Budapest/Docs/CP-221272.zip

作者简介



毛玉欣, 小米通讯技术有限公司标准技术高级工程师; 主要研究方向为 6G 网络架构、天地一体化通信和网络安全; 参与多项国际技术标准的制定, 拥有发明专利 90 余项、国际标准提案 70 余篇。



闫新成, 中兴通讯股份有限公司网络安全系统架构首席专家, 正高级工程师, 江苏省“333 高层次人才”; 曾主持或参与国家科技重大专项课题, 获多项省部级科技奖励; 拥有专利 40 余项。