

从地面到太空：6G非地面网络如何实现全球全域通信？

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/40085.html>

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

从地面到太空：6G非地面网络如何实现全球全域通信？。新加坡科技设计大学Tony Q.S. Quek教授团队在中国工程院院刊Engineering发表题为Non-Terrestrial Networking for 6G: Evolution, Opportunities, and Future Directions的综述性文章。该研究系统性梳理6G时代非地面网络的演进路径，剖析星地网络共存的核心技术难题，提出生成式AI赋能、连续移动切换、软件定义网络切片等创新方案，为非地面网络优化升级提供技术路径与发展方向，推动全球全域无缝通信目标实现。

卫星虽快，挑战也不少

600公里轨道高度的卫星以约7.6公里/秒的速度绕地球飞行，每90分钟就能绕一圈。这种高速动态特性，带来了前所未有的通信技术挑战（如图1所示）：

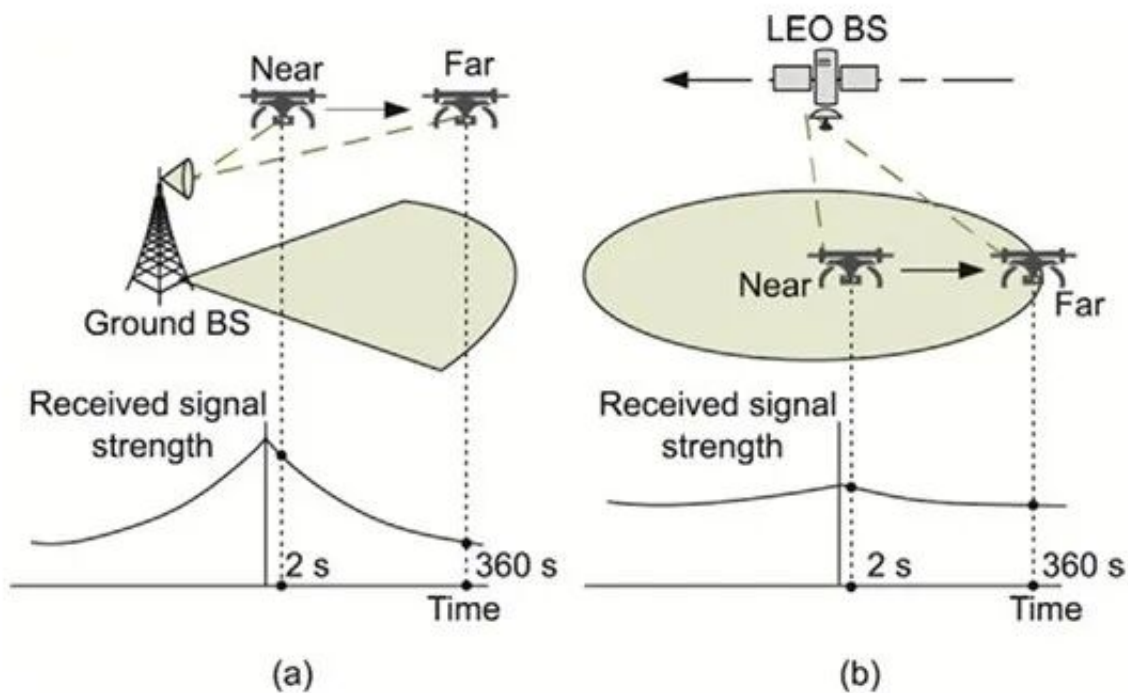


图1

接入难：一颗卫星覆盖范围可达上千公里，同时服务的用户数以万计。海量用户争抢有限的频谱资源，信号干扰问题突出，传统的资源分配策略难以实时响应。

切换频：用户头顶的卫星每隔几分钟就会换班。如何在卫星间平滑切换，让传输不中断、服务可持续，成为移动性管理的头号难题。地面基站的切换策略在太空难以奏效——因为卫星信号强度变化相对平缓，不能等信号弱了再换。

调度乱：现有的卫星系统多为特定任务定制（如遥感、广播），彼此孤立，资源利用率低。如何将通信、计算、存储资源统一调度，实现多任务协同，是提升网络效率的关键。

给卫星装上AI大脑：从盲目猜到精准算

传统方法依赖地面站计算信道状态，可等计算结果传回卫星时，卫星早已飞远，信息严重过时，而生成式AI的出现恰好破解了这一难题——它通过信道预测，依据历史信道数据动态生成未来时刻的信道状态，让卫星提前调整信号发射参数，摆脱反馈滞后的困扰，同时还能实现预测性波束赋形，直接从历史信道数据中生成最优波束参数，完成端到端的精准预测，大幅降低处理时延，完美适配卫星高速移动的动态场景。

切换不掉线：给卫星设计交棒策略

卫星切换就像接力赛，但选手（卫星）跑得飞快，交接棒必须在毫秒级完成。3GPP在Rel-16引入的条件切换技术，非常适合NTN场景。用户终端会提前监测候选卫星列表和切换条件（如卫星进入特定角度范围）。一旦条件满足，只需执行最后一步脱钩-同步动作，极大减少了切换时延和失败率。由于卫星轨道运动可精确预测，我们可以预先计算出未来几分钟内用户将依次被哪些卫星覆盖。将这些信息提前配置给卫星和终端，形成一条卫星切换序列。这样做不仅能减少信令交互，还能从全局角度优化切换决策，避免因一次不良选择导致后续服务质量下降。

低空场景下，无人机从城市飞向郊区，网络连接会从地面基站过渡到卫星。这种跨域切换需要统一的链路调控与评估标准（如图2所示）：通过联合评估地面和卫星候选的通信能力与开销，用户自动选择最优的接入方式，保证业务连续性。

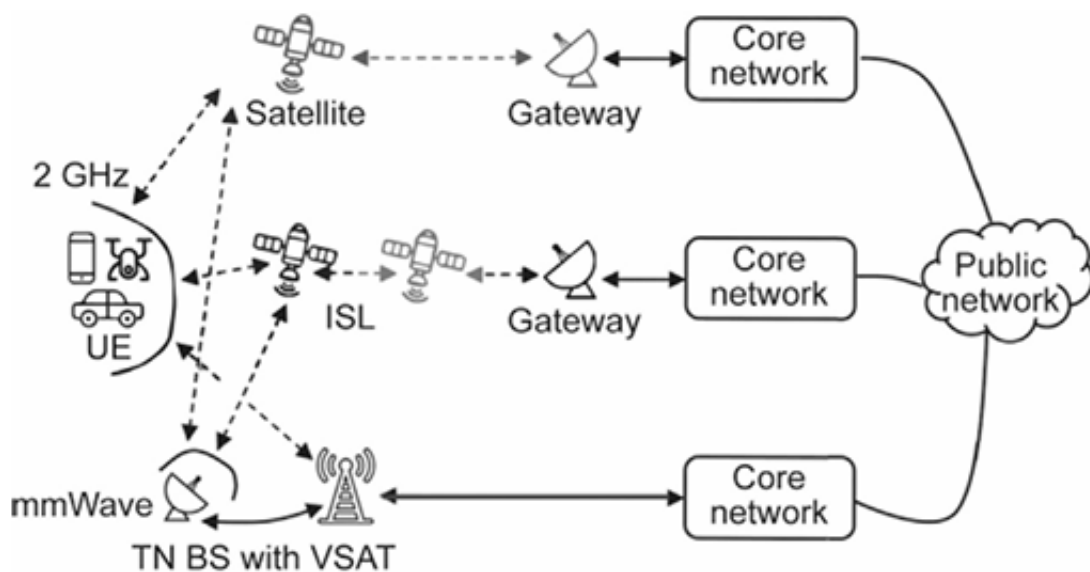


图2

网络切片：像切蛋糕一样分配空天地资源

未来的NTN需要同时服务智能手机、自动驾驶、工业传感器、应急通信等多种业务。这些业务对时延、带宽、可靠性和连接规模的要求各不相同。如何在同一套空天地基础设施上满足差异化需求？答案就是网络切片。

软件定义非地面网络（SD-NTN）可以将卫星、无人机、高空平台和地面站中的通信、存储与计算资源进行虚拟化，并汇聚成统一的资源池，如图3所示。在此基础上，网络可以像切蛋糕一样划分出多个逻辑虚拟网络——每个切片面向特定业务需求进行定制：

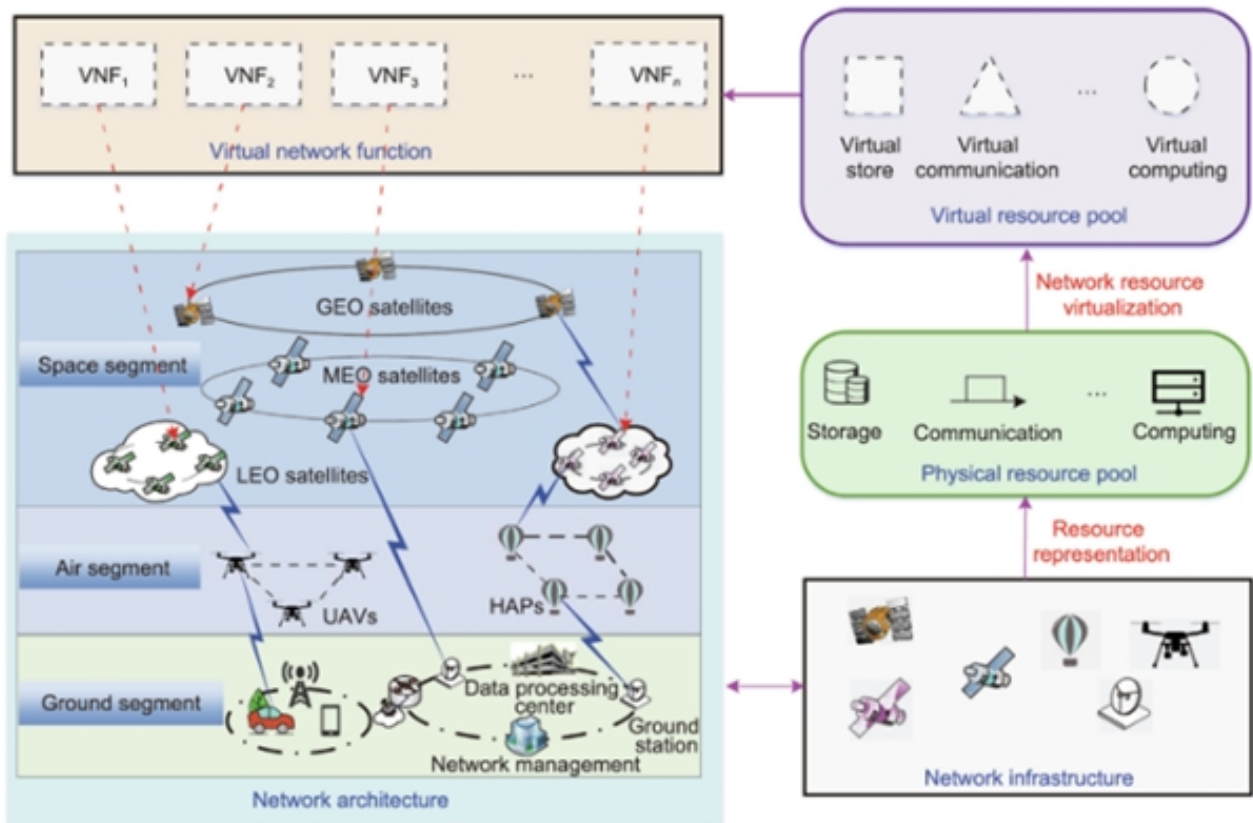


图3

低时延切片（URLLC）：可优先将关键虚拟网络功能（VNF）部署在靠近用户的无人机、高空平台或地面边缘节点上，减少传输距离，满足自动驾驶、远程控制和应急救援等业务的低时延需求。

大带宽切片（eMBB）：可结合大容量卫星链路、地面网关和边缘计算节点进行协同部署，用于承载高清视频、云服务和宽带接入等大流量业务。

海量连接切片（mMTC）：可将数据汇聚、接入管理等VNF分布式部署在低轨卫星、边缘节点和地面站上，为大规模物联网设备提供广域接入服务，适用于环境监测、智慧农业和海洋通信等场景。

通过动态的VNF部署和流量路由，SD-NTN能够根据网络拓扑、链路状态和业务需求的变化灵活调整资源分配，从而提升资源利用率和服务保障能力。

未来已来：挑战与机遇并存

尽管前景光明，但通往6G非地面网络的道路上仍有不少拦路虎。首先是干扰管理亟需升级——卫星和地面使用相同频段时，简单的主次划分会浪费频谱潜力，需要更精细的动态协调策略。其次是天地协同，地面基站和卫星各有优势，何时用谁、如何联合传输，需要智能调度算法来破局。再者是安全隐私必须加固，太空中的网络切片更容易遭受窃听和攻击，必须设计强隔离机制，

尤其对自动驾驶等高价值业务要重点防护。最后，星上通感一体正在崛起——卫星既要通信又要感知（如监测天气、交通），如何优化频谱和功率实现一星多用，这需要先进的信号处理和自适应波束赋形来赋能。这些挑战背后，也恰恰是AI技术大显身手的舞台。

从5G到6G，非地面网络正在把互联网功能从地面搬向太空。AI的加入，让卫星网络从单一的转发器进化为聪明的太空基站。不久的将来，无论你身处地球的哪个角落——飞机上、深山里、大洋中——都能享受稳定高速的网络连接。（来源：EngineeringJournals微信公众号）

相关论文信息：<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095809925002917>

特别声明：本文转载仅仅是出于传播信息的需要，并不意味着代表本网站观点或证实其内容的真实性；如其他媒体、网站或个人从本网站转载使用，须保留本网站注明的“来源”，并自负版权等法律责任；作者如果不希望被转载或者联系转载稿费事宜，请与我们联系。

作者：Tony Q.S. Quek 来源：《工程》

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](https://www.iikx.com)转发