
迈向移动卫星互联网：跨越物理极限的破局之路

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/40972.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！

迈向移动卫星互联网：跨越物理极限的破局之路。

东南大学王闻今教授团队联合中国卫星网络集团有限公司丁睿、卢森堡大学Symeon Chatzinotas等研究人员在中国工程院院刊Engineering发表题为Toward Mobile Satellite Internet: The Fundamental Limitation of Wireless Transmission and Enabling Technologies（迈向移动卫星互联网：无线传输的根本局限与使能技术）的文章。本文系统剖析了移动卫星互联网的底层逻辑，指出了卫星与地面通信面临的四大物理限制，并提出了极具潜力的前沿赋能技术。结合定量测算，研究验证了跨越单一物理限制的工程可行性，为未来智能手机直连卫星及6G网络中星地融合的发展指明了系统性的技术路径。

难以规避的物理链路天花板

受制于严苛的物理定律，卫星与地面的通信目前正面临着多维度的性能瓶颈（如图1所示）。首先是卫星载荷与终端的硬件约束：发射成本和工业制造能力决定了卫星的电池体积和天线口径无法无限增大。同时，为了满足用户的便携需求，智能手机内部的天线尺寸被严格限制，导致其接收微弱卫星信号的能力（G/T值）存在先天不足。其次是频段与轨道的固有矛盾：高频段虽然带宽大，但信号衰减严重；而穿透力强、最适合手机直连的低频段（如L/S频段）资源稀缺，且与现有地面通信网络存在严重的频谱重叠和干扰问题。此外，低轨卫星虽然能降低路径损耗，但其高速移动特性会带来严重的信号延迟和多普勒频移，对传统的通信波形设计提出了巨大挑战。

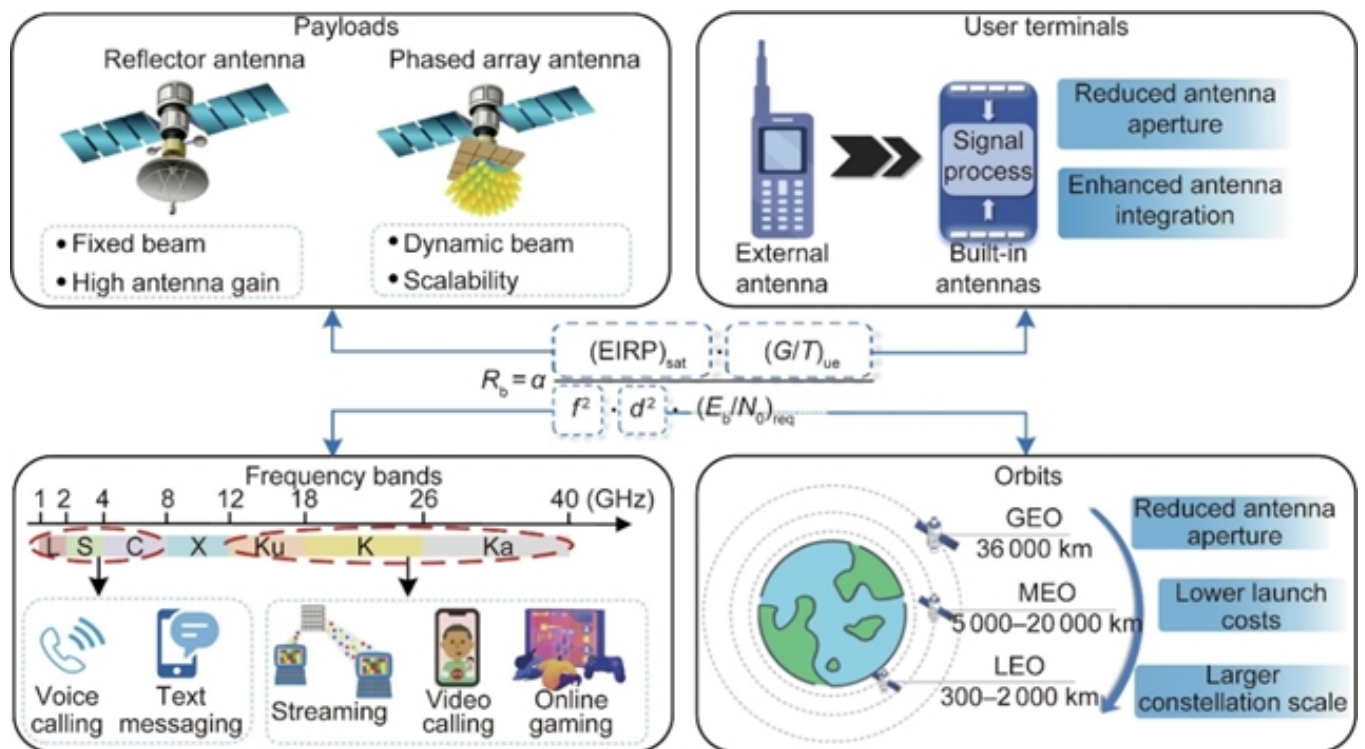


图1.移动卫星互联网面临的四大物理限制

突破极限的关键赋能技术

面对上述物理和工程限制，科学家们并未停下脚步，本文系统性地梳理了多项有望重塑移动卫星互联网的关键赋能技术（如图2所示）。

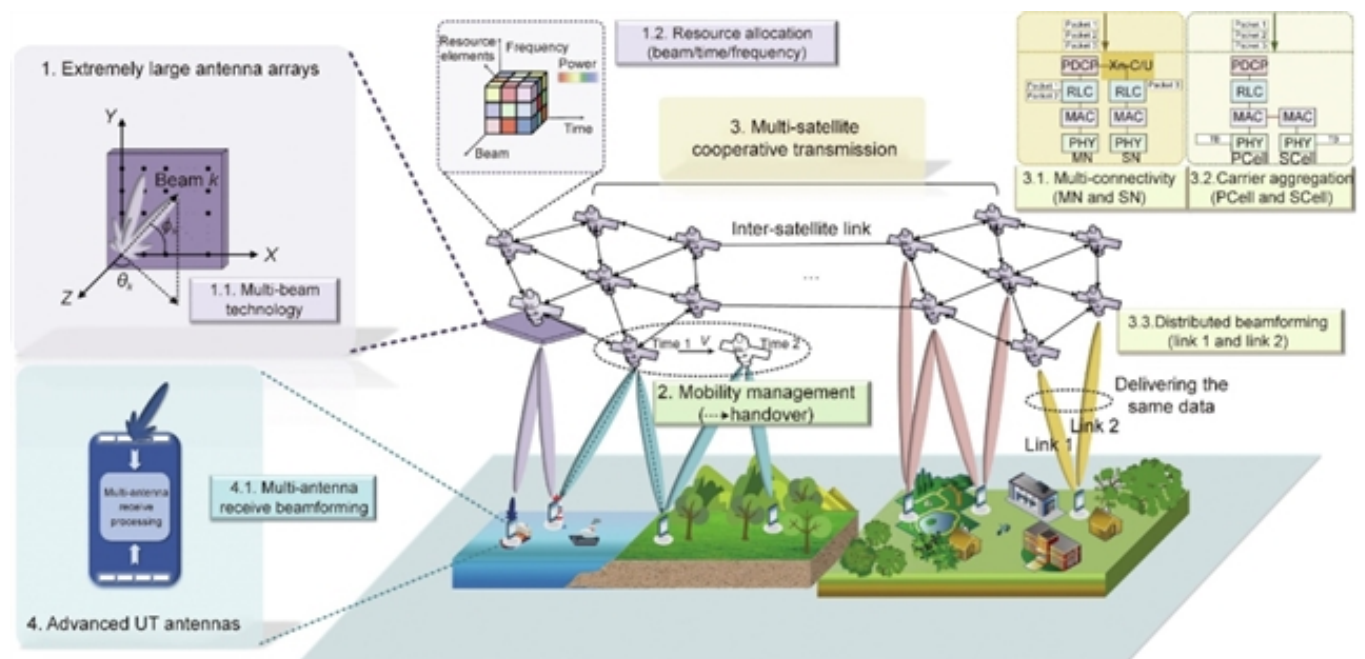


图2.移动卫星互联网的关键赋能技术

在空间段，超大规模天线阵列（ELAAs）与多星协同传输（MSCT）是核心解法。通过在卫星上部署超大规模天线，并借助波束赋形技术，卫星可以动态生成多个高增益的窄波束，精准覆盖地面用户并提升信号能量。同时，由于单颗卫星能力有限，多星协同技术允许相邻卫星通过星间链路共享信息，采用分布式波束赋形或载波聚合等方式联合为用户提供服务，从而大幅提升系统的整体容量和可靠性。

在终端与网络管理段，先进终端天线设计与移动性管理的协同优化同样至关重要。研究人员正致力于通过波束赋形算法复用手机现有的多根蜂窝天线，以在不增加外部天线尺寸的前提下提升接收增益。此外，针对低轨卫星频繁过境导致的频繁切换问题，引入多连接机制和基于地理位置的智能波束调度，将有效保障用户通信的连续性与稳定性。

定量测算：新技术的潜力验证

为了验证这些前沿技术的实际效果，本文基于现有移动卫星互联网系统（如 AST SpaceMobile 和 Starlink V2 Mini DTC）的公开参数进行了严密的模拟测算。

结果表明，在总带宽相同的双星协同传输场景下，相较于单星基准线，采用多连接（MC）方案可使 AST SpaceMobile 和 Starlink 系统的下行链路速率分别提升 49% 和 44%；而采用分布式波束赋形（DB）方案，提升幅度则分别高达 76% 和 69%。这一数据论证了多星协同技术在聚合功率、突破单星容量限制方面的巨大潜力。

结果与展望

本文探讨了移动卫星通信系统从数学基础到工程实现的演进逻辑。研究表明，尽管受制于长距离无线传播和有限星载功率等基本物理限制，但通过天线设计、波束赋形和网络协同等方向的工程创新，星地链路的传输能力仍有巨大的提升空间。

其中，终端能力的优化应作为技术发展的首要方向。在星地网络融合的频谱共享框架下，复用终端现有的 MIMO 天线既符合工程实际，又能避免集成专用卫星天线带来的空间冲突。当单星硬件性能受限于制造成本与干扰监管（如功率通量密度限制）而无法继续提升时，依托多连接（MC）和分布式波束赋形（DB）技术的多星协同架构，将成为进一步扩展系统容量的必由之路。这一技术框架的不断成熟，将为实现全球无缝覆盖的移动卫星互联网愿景提供关键支撑。（来源：EngineeringJournals 微信公众号）

相关论文信息：<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095809925003698>

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等事宜，请与我们接洽。

作者：王闻今等 来源：《工程》

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

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