

下一代太比特无线通信：6G后的进步

V. Manimala, Builders Engineering College; Dr. N. Gunavathi, National Institute of Technology, Tamil Nadu, India

随着对更快无线通信的需求不断升级，下一代太比特无线通信技术的发展已成为一个突出的研究领域。本文探讨了6G之后的进步和挑战，旨在实现无线网络的太比特数据传输速率。文章介绍了关键的技术创新，包括

先进的调制方案、超密集网络、毫米波和太赫兹通信、大规模多输入多输出（mMIMO）和智能波束赋形技术。为此，还研究了光无线通信、可见光通信和新型频谱利用技术等新兴技术。文章还探讨了与太比特无线通信相关的基本挑战，包括信道容量、能效、安全性和干扰管理。本文概述了该领域的进展和潜在解决方案，以及正在开展的一些参考工作，为6G后的太比特无线通信的未来提供了有价值的见解，并为该领域的进一步研究奠定了基础。

太比特无线通信代表着无线连接模式的转变，使那些要求超高数据传输速率的变革性应用和服务成为可能。虽然太比特无线通信仍处于研发阶段，但毫米波通信、mMIMO、波束赋形和智能网络管理等技术的进步正在为无线通信这一激动人心的未来铺平道路。¹图1显示了频谱管理、天线系统及其波束赋形技术、以及太赫兹通信的6G赋能技术。

来自广大技术界的想法

通过在接收器中使用硅光电倍增管（SiPM），可以提高光无线通信或可见光通信系统的信噪比（SNR）。²硅光电倍增管是一种高灵敏度的光检测器，能高效地检测单光子。它们基于硅雪崩光电二极管（APD）技术，可实现低噪声和高增益。通过在接收器中使用SiPM，系统可以更高效地捕捉和放大微弱的光信号，从而提高SNR。使用SiPM获得的更高信噪比有助于降低系统的误码率。参考文献3详细介绍了创建由激光驱动的室内无线网络所需的技术，这些技术可实现每秒太比特的数据传输速率。这一数据传输率

被认为是6G无线通信的关键性能指标。参考文献4重点介绍了mMIMO与毫米波频段的集成，以实现5G无线通信系统的设计目标，这些系统将作为6G及其他系统的垫脚石。毫米波通信与mMIMO的集成具有多种优势，包括提高频谱和能效、增加移动网络容量以及显著提高复用增益。这些优势对于满足5G网络的要求至关重要。利用单蜂窝下行mMIMO系统模型（图2）有助于评估和评价mMIMO系统的功效。

参考文献5展示了一个融合了多种人工智能（AI）算法的人工智能引擎，并展示了其在管理网络切片生命周期方面的潜力。人工智能引擎解决方案采用分布式结构，这意味着它可以部署在多个地点或设备上。这种分布式部署使人工智能引擎能够提供专为不同用例设计的定制机器学习（ML）模型。有了各种ML模型，人工智能引擎就能在边缘云上促进网络功能和智能应用的数据分析。边缘云是指部署在更接近网络边缘的计算资源和服务，可加快处理速度并减少延迟。该解决方案的主要特点之一是能够为人工智能引擎的每个分布式组件动态分配计算资源。这种资源分配能力允许系统根据每个组件的要求调整分配，从而促进智能网络管理。这种灵活性能够有效利用计算资源，确保智能网络管理任务获得最佳性能。

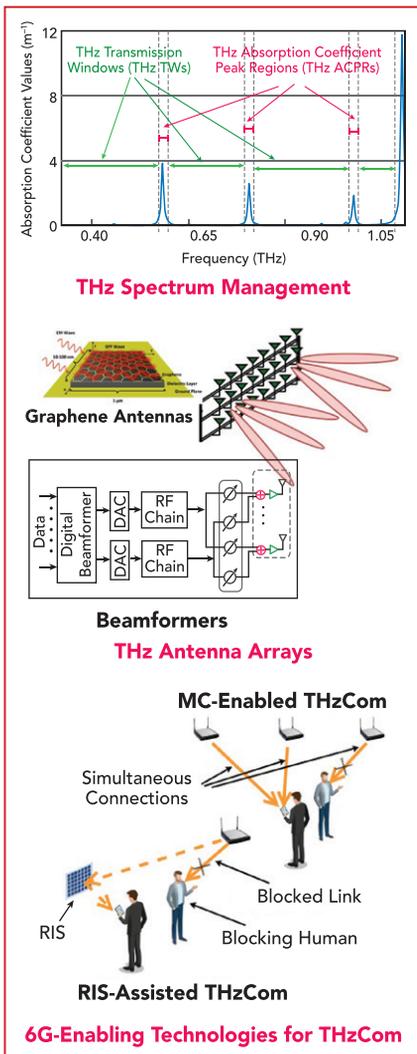


图1：开发端到端太赫兹通信系统的三个关键技术领域。¹

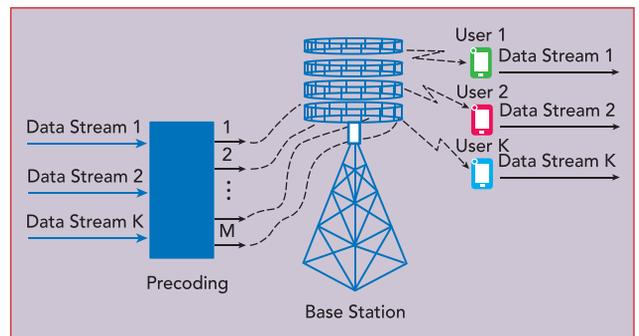


图2：大规模MIMO系统模型⁴。

太比特无线通信的重要领域

数据传输速率的跃升：与当前的无线技术相比，太比特无线通信代表着数据传输速率的重大飞跃。它能更快地传输大量数据，促进高分辨率视频的实时传输、身临其境的虚拟现实体验以及自动驾驶汽车和智能城市等应用。

频谱利用率：要实现太比特数据传输速率，必须高效利用射频频谱。先进的调制方案可最大限度地提高频谱效率，在可用频段内实现更高的数据传输速率。

mMIMO与波束赋形：配备多天线的mMIMO系统在实现太比特无线通信方面发挥着至关重要的作用。mMIMO与先进的波束赋形技术相结合，可实现空间多路复用，提高链路可靠性并减少干扰。这些技术都将有助于提高数据传输速率和整体系统容量。

智能网络管理：太比特无线通信需要智能网络管理技术。人工智能和智能算法可用于动态资源分配、干扰管理和网络资源的有效利用。智能算法可适应不同的信道条件和用户需求，确保最佳性能和数据传输速率。

光纤般的体验：太比特无线通信旨在通过无线网络提供类似光纤的体验。这种高数据传输速率可让用户体验无缝连接、快速下载和低延迟连接，其性能类似或超过光纤网络。

回程和基础设施：实现太比特无线通信需要强大的回程基础设施。光纤链路和高容量微波链路是传输太比特无线网络产生的大量数据的骨干网路。升级和扩展网络基础设施对于支持高速和高容量需求至关重要。

6G后

新一代无线通信技术的开发和部署速度之快令人惊讶。如果说业界正在开发6G，那么下一代技术的出现也不会太远。本文标题中的“6G后”指的是无线通信技术在不断发展的6G标准之后的未来演进。虽然6G仍处于早期开发阶段，但研究人员和行业专家已经在设想6G以后的通信系统的可能性和潜在功能。参考文献6探讨了6G赋能技术的应用和最新进展。报告重点介绍了各种使用案例，指出了尚未解决的问题，并提出了潜在的解决方案。此外，它还提供了一个发展时间表，概述了全球在实现6G无线技术方面所做的努力。该文广泛讨论了纳米物联网、生物纳米物联网和量子通信等新兴技术对无线通信领域的潜在影响。这些创新技术在早期阶段被认为前景广阔，有可能为无线通信系统带来巨大进步。图3显示了为实现从6G演进而

来的网络目标而需要解决的几个关键技术推动因素。

6G将支持众多关键用例，涵盖广泛的基本应用和服务，其中一些用例如图4所示。参考文献7介绍了5G、6G和6G以后系统的一些最新进展。文章深入探讨了与这些先进无线网络相关的关键技术推动因素和用例。

6G后通信的目标和趋势

太比特和拍比特数据传输速率：6G后的目标是实现比6G更高的数据传输速率。每秒太比特 (Tbps) 和每秒拍比特 (Pbps) 的数据传输速率可支持不断增长的高速通信需求，实现实时8K/16K视频流、全息通信以及身临其境的虚拟和增强现实等应用。参考文献8展示了利用源自单个微蜂窝环形谐振器的223个波长通道，通过37芯7.9千米光纤实现的1.84Pbps传输速率。该谐振器可产生稳定的暗脉冲克尔频率梳 (dark-pulse Kerr

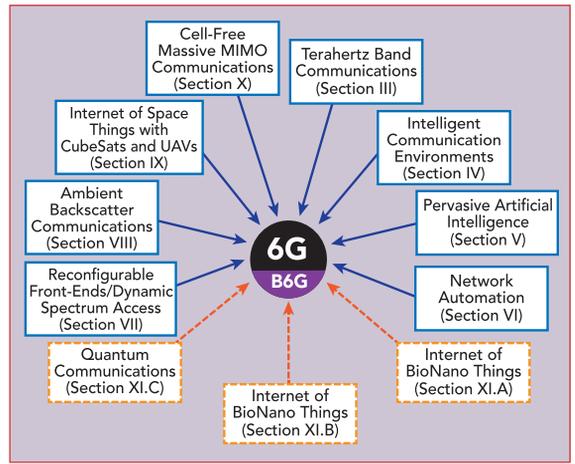


图3：6G及其后无线通信系统的关键赋能技术。⁶

frequency comb)。此外，理论分析表明，单独的芯片级光源有可能支持具有大规模并行空间和波长多路复用功能的数据传输系统，传输速率可达100Pbps。

智能和认知网络：6G后将进一步利用人工智能和ML技术创建智能和认知网络。这些网络将能够自我优化、自我修复和自我适应动态变化的网络条件、用户需求和流量模式。参考文献9概述了即

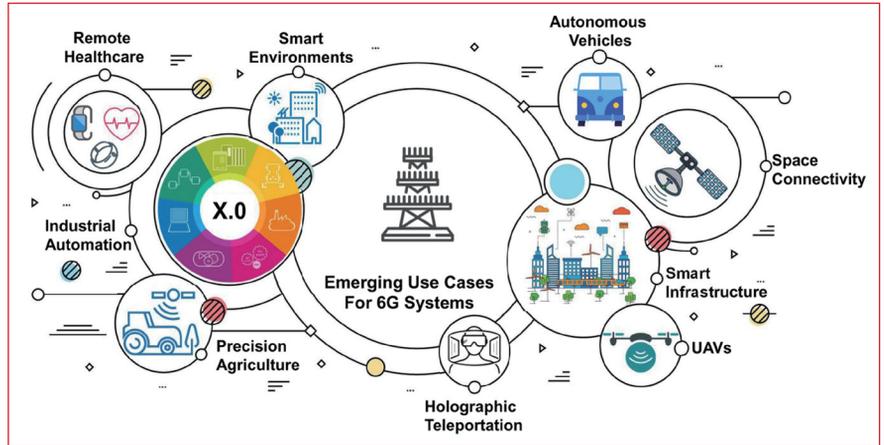


图4：6G系统最适合的用例。⁶

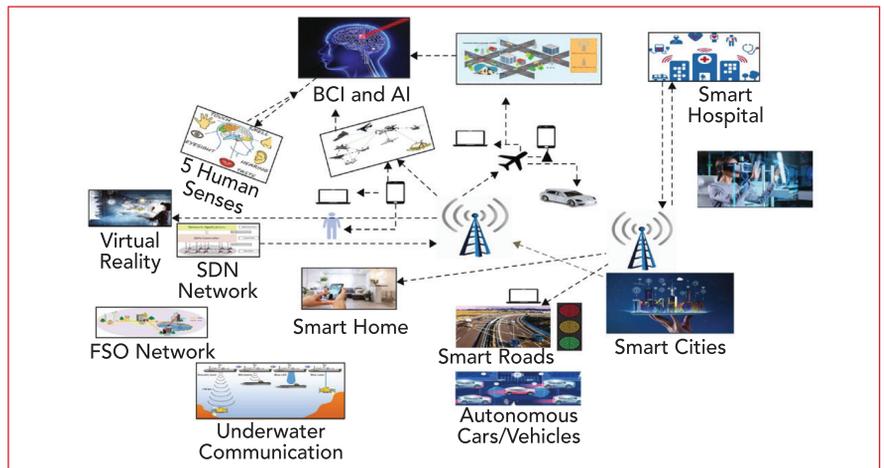


图5：6G CR网络通信的可能场景。⁹

将到来的新一代认知无线电 (CR) 网络通信。报告讨论了其发展的必备案例, 重点介绍了目前的技术改进工作, 并对该领域的未来发展提出了详细的展望。图5显示了在数据传输网络中使用6G CR的潜在场景。

提高频谱利用率: 6G后将探索创新的频谱利用技术, 以解决日益严重的频谱稀缺问题。这可能涉及利用更高的频段 (如太赫兹), 以及开发先进的频谱共享机制, 以高效分配和利用可用的频谱。参考文献10强调了大数据处理在未来无线网络中实现面向用户和情境的先进资源利用方面的巨大潜力。具体而言, 它探讨了如何利用内容丰富的详细地图和记录 (即无线电服务地图) 来释放6G网络中的频谱机会。

物理世界与虚拟世界的无缝整合: 6G后的目标是缩小物理世界与虚拟世界之间的鸿沟, 实现数字信息与物理环境的无缝整合。这可能涉及物联网、网络物理系统、边缘计算和触觉互联网的进步, 以创造高度互动和身临其境的通信体验。

无所不在的超连接网络: 6G后的超连接网络将无缝整合各种通信技术, 包括地面网络、卫星网络、空中平台甚至天基通信系统。这些网络将提供无处不在的连接, 实现随时随地的无缝通信。参考文献11对6G网络的超连接架构进行了概述和分析, 重点介绍了其关键组成部分, 并探讨了未来研究和开发的潜在领域。图6直观地描述了6G超连接的基本原理。

量子通信: 6G后可采用量子通信技术, 利用量子力学原理提供安全、快

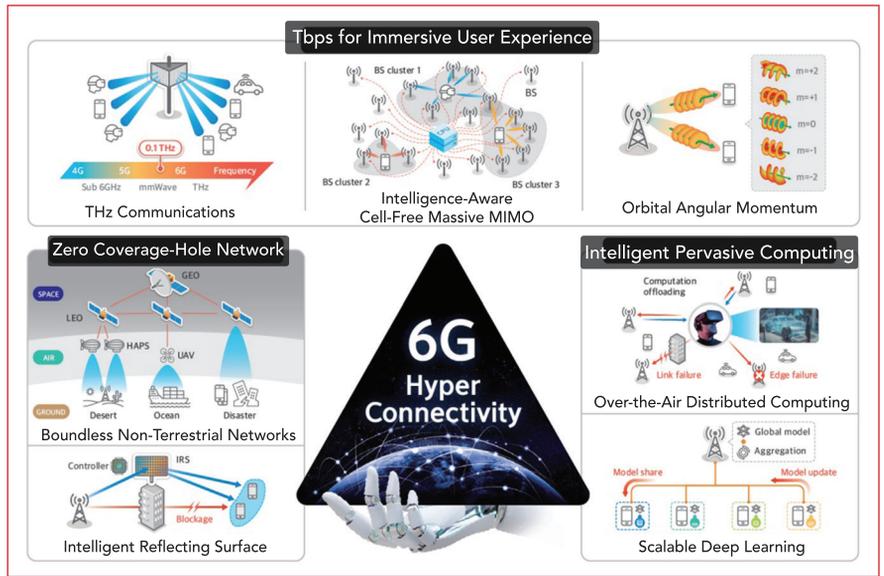


图6: 6G超连接的愿景。¹¹

速的通信。量子密钥分发 (QKD) 和量子远距传输是可以提高安全性和实现新通信模式的潜在应用。随着蜂窝系统从5G发展到6G, 量子信息技术 (QIT) 取得了重大进展, 特别是在量子通信和量子计算方面。例如, QKD可以通过实现安全的量子通信来加强6G的安全性。参考文献12以技术为导向, 前瞻性地描述和研究了如何利用量子技术推动未来6G无线网络的发展。图7展示了量子6G系统, 其中利用QIT实现了新的6G功能和服务。

绿色和可持续网络: 在6G网络之后, 能源效率和可持续性仍将是重要的考虑因素。高效硬件、可再生能源集成和智能电源管理技术将用于减少无线

通信系统对环境的影响。参考文献13介绍了实现绿色6G的综合方法, 强调了人工智能在其中的作用。考虑到人工智能训练和推理所需的能源, 它强调了在无线网络中采用人工智能的优势。

社会和经济影响: 6G后不仅要关注技术进步, 还要考虑通信系统的社会和经济影响。这包括解决数字鸿沟问题、促进包容性以及利用无线通信技术推动经济增长、创新和社会发展。

结论

虽然6G后的具体标准和技术尚未确定, 但本文及参考文献提供了对未来无线通信系统的一瞥。太比特无线通信旨在通过无线网络提供类似 下转第39页

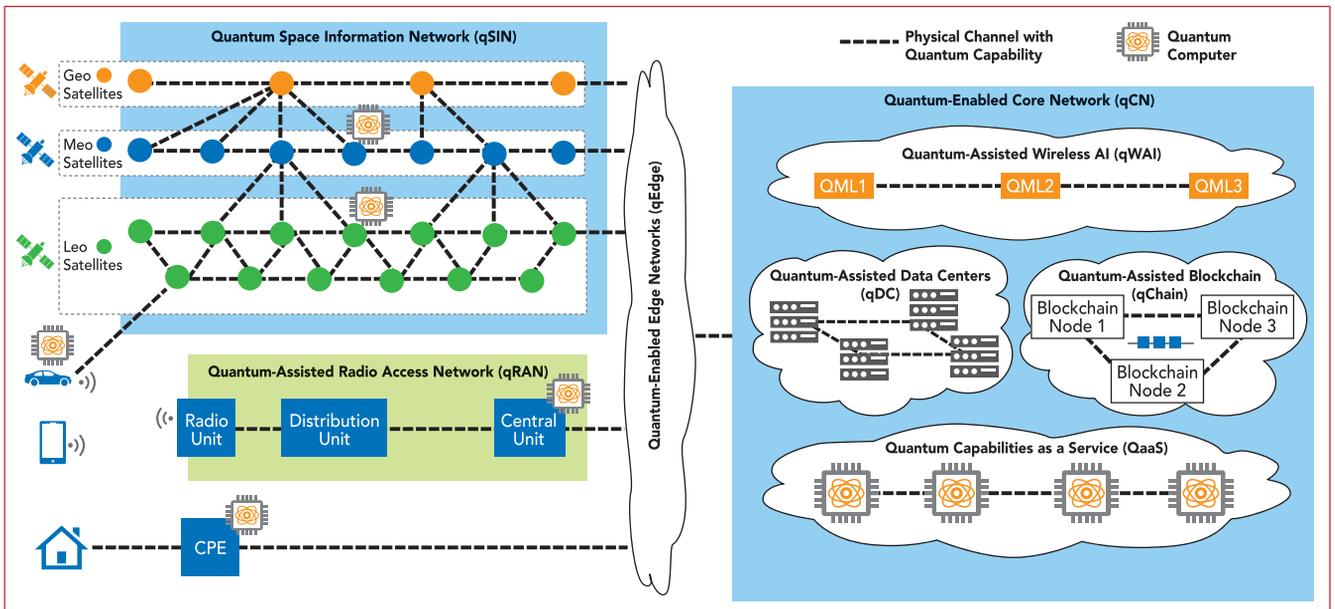


图7: 可能的量子6G系统。¹²

光纤的体验。这为高分辨率视频的实时串流、身临其境的虚拟现实体验以及自动驾驶汽车和智能城市等应用创造了机会。总之，6G后的下一代太比特无线通信技术为彻底改变连接、通信和体验数字世界的方式带来了巨大希望。太比特无线通信的实现将使我们更接近于一个数据无缝流动的全连接世界，为各行各业带来新的可能性和变革性应用。