

Exploration of the Efficient Transmission Technology in the Future Communication Network

Xiaoli Wang

China Mobile Communications Group Hebei Co., Ltd. Zhangjiakou Branch, Zhangjiakou, Hebei, 075000, China

Abstract

With the popularization of the Internet of Things, uHD video, virtual reality and other applications, the future communication network will face great challenges in bandwidth, latency, energy efficiency and other aspects. Efficient transmission technologies such as millimeter-wave technology, multi-input and multi-output (MIMO), edge computing, and quantum communication will play a key role in addressing these demands. Through large-scale MIMO and millimeter wave combination, QUIC protocol optimization, and the application of ultra-high-speed optical fiber and quantum communication technology, the future communication networks will achieve more efficient and secure transmission, providing strong support for smart cities and automation fields.

Keywords

communication network; efficient transmission technology; millimeter-wave technology

未来通信网络中的高效传输技术探索

王晓利

中国移动通信集团河北有限公司张家口分公司, 中国 · 河北 张家口 075000

摘 要

随着物联网、超高清视频、虚拟现实等应用的普及,未来通信网络面临着带宽、延迟、能效等方面的巨大挑战。毫米波技术、多输入多输出(MIMO)、边缘计算和量子通信等高效传输技术将在应对这些需求中发挥关键作用。通过大规模MIMO与毫米波结合、QUIC协议优化,以及超高速光纤和量子通信技术的应用,未来通信网络将实现更高效、更安全的传输,为智能城市和自动化领域提供强大的支持。

关键词

通信网络; 高效传输技术; 毫米波技术

1 引言

未来通信网络正面临前所未有的技术需求,伴随物联网设备的爆发式增长、8K 视频、虚拟现实和增强现实等新兴应用的普及,网络带宽、低延迟和高可靠性成为关键挑战。此外,能效优化和环境可持续性要求也进一步推动了新技术的应用。为了满足这些需求,毫米波、多输入多输出(MIMO)、边缘计算和量子通信等高效传输技术在未来网络中占据重要地位,推动通信网络的性能和效率达到新的高度。

2 未来通信网络的技术需求

2.1 带宽需求的增长

未来通信网络的带宽需求呈现出爆炸式增长,主要

源于物联网(IoT)设备、超高清视频(如8K 视频)、虚拟现实(VR)和增强现实(AR)等新兴应用的普及。这些应用对网络带宽提出了极高的要求(如图1所示)。例如,8K 视频传输的最低带宽需求可达100Mbps,而VR和AR应用的实时渲染和交互要求带宽达到数百Mbps甚至1Gbps。物联网设备的广泛应用进一步加剧了带宽压力,预计到2030年全球将有超过500亿台IoT设备接入网络,每个设备虽单个流量较小,但总体将极大增加网络负荷^[1]。在技术层面,传统的频谱资源已经接近饱和,导致现有网络无法支持未来所需的高带宽传输。毫米波技术在此背景下成为解决方案之一,因其工作在30~300GHz的高频段,能够提供数十Gbps的传输速率,大幅提高网络的带宽能力。

【作者简介】王晓利(1982-),女,中国河北张家口人,本科,工程师,从事有线传输研究。



图1 虚拟现实 (VR)

2.2 延迟与可靠性需求

未来通信网络对延迟和可靠性提出了更高的要求,尤其是在自动驾驶、远程医疗、工业自动化等对实时性和高精度要求极高的场景中。自动驾驶汽车需要实时通信,延迟必须低至1ms以内,以确保车辆之间的快速反应和避免碰撞;远程医疗中的机器人手术对延迟的要求也极高,通常需要低于10ms,以确保医生操作的精确度和患者的安全。在技术实现方面,5G网络中的超可靠低延迟通信(URLLC)通过优化物理层和媒体接入控制(MAC)层的协议来降低延迟,并保证99.999%的高可靠性。此外,未来6G网络预计会采用更加先进的超密集网络架构和边缘计算,通过减少数据传输的路径长度和优化路由,进一步降低延迟。

2.3 能效与环保要求

全球范围内对环境保护的日益关注,加之通信网络规模的持续扩张,使得未来的通信网络在能效和环保方面必须遵守更为严格的标准,与4G基站相比,当前5G基站的能耗水平大约在2~3kW之间,这一数据相较于4G基站约1kW的功耗,呈现出明显的能耗增长趋势,在6G网络的推广下,连接的设备将显著增多,导致能源消耗面临新的考验^[2]。采用大规模MIMO技术,能够有效提高频谱效率,实现多个数据流的并行传输,进而降低每比特传输的能耗(如图2所示)。

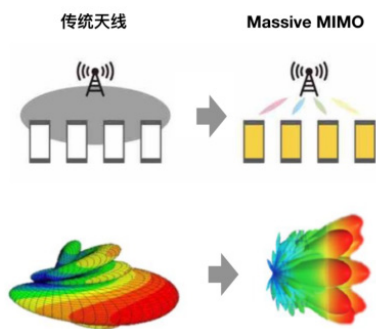


图2 MIMO 技术原理

3 高效传输协议及其优化

3.1 现有传输协议的分析

现有的传输协议中,最广泛使用的是传输控制协议

(TCP)和用户数据报协议(UDP)。TCP具有可靠的传输机制,包括数据包重传、流量控制和拥塞控制等功能,这使其在确保数据完整性方面表现优异^[3]。然而,TCP的复杂机制也导致其在高带宽、低延迟环境下表现不佳,尤其是在无线网络或高延迟链路下,TCP的多次握手和拥塞控制机制会造成较高的传输延迟。UDP相比TCP具有更简单的结构,它放弃了可靠性,减少了握手和确认机制,因此在实时应用如视频流、语音通信等场景中表现优异。但UDP缺乏数据重传和流量控制的机制,使其在数据完整性方面存在不足。随着网络的高速化和应用多样化,TCP和UDP已经逐渐暴露出局限性。特别是在高带宽、低延迟场景中,TCP的效率较低,而UDP虽然快速,但难以保障可靠性。因此,未来通信网络中需要进一步优化和发展新的传输协议,以适应不断增长的传输需求和更高的网络性能要求。

3.2 QUIC 协议及其应用

QUIC(Quick UDP Internet Connections)协议是由Google开发的一种基于UDP的现代化传输协议,旨在克服TCP在高延迟和高带宽环境下的性能瓶颈。QUIC通过减少握手过程中的延迟,优化了连接建立的效率,使其能够在第一次握手时就实现加密连接,并且在后续连接中可以实现零延迟握手^[4]。这大大降低了传输延迟,尤其在频繁建立连接的场景中(如移动设备和网页浏览)。QUIC还整合了TCP的拥塞控制和重传机制,同时支持多路复用,允许多个数据流在同一个连接中传输而不会相互干扰。这一特性有效避免了TCP中常见的“队头阻塞”问题,使得大文件传输和视频流媒体等应用在高带宽条件下具有更高的效率。此外,QUIC使用内置的TLS加密层,提供了更高的安全性,同时减少了独立加密握手带来的额外延迟。在未来通信网络中,QUIC协议的广泛应用将显著提高数据传输效率,尤其在低延迟和实时性要求较高的应用场景,如视频会议和在线游戏中,展现出其巨大的潜力。

3.3 未来协议的优化方向

例如,Multipath TCP(MPTCP)作为一种传输协议,将在网络传输优化的领域扮演关键角色,多路径传输控制协议(MPTCP)使得数据得以在多条路径上同时传输,这样不仅优化了带宽的使用效率,而且能够在一条路径出现问题时迅速转移,从而提高了网络的整体健壮性和容错性。在移动通信领域,特别是5G与6G技术普及后,对移动设备而言,寻求更为高效且适应性强的数据传输机制变得尤为重要。智能化的传输协议将在未来发展中强调优化,借助机器学习与人工智能技术的融入,实现对传输参数的动态调整。例如,这种技术能够根据实时的网络状况,对拥塞控制和流量管理策略进行实时优化,在复杂多变的网络条件下,这种能够自我调整的能力显著提高了数据传输的效率,集成数据压缩技术至协议层面,能够减少冗余数据传输,继而提升数据传输的效率。在应对日益增长的网络需求和复杂传输环境的挑战

中,未来传输协议的改进将聚焦于提升数据传输的效率及智能化的任务分配。

4 物理层传输技术的演进

4.1 毫米波传输技术

毫米波传输技术作为未来通信网络中的关键技术之一,工作频率位于 30~300GHz 之间,能够提供高达几十 Gbps 的数据传输速率,显著提升了频谱资源的利用率。由于毫米波频段的波长较短,其带宽远大于传统的微波频段,使其成为满足未来高速、低延迟通信需求的理想选择。然而,毫米波的高频特性也带来了路径损耗大、穿透力弱和易受阻挡等问题,特别是在建筑物、树木等障碍物密集的环境中,信号衰减明显。为了解决这些问题,波束成形技术被广泛应用。波束成形通过智能调整天线阵列的发射角度,集中毫米波信号能量在指定方向上,从而最大化信号强度并减少干扰。常用的算法包括最小均方误差(MMSE)波束成形算法,该算法在接收端通过调节信号的相位和幅度,最小化干扰和噪声的影响,最大化接收信号质量。同时,OFDMA(正交频分多址)技术与毫米波传输相结合,通过将可用带宽划分为多个子载波并分配给不同的用户,提升了系统容量和频谱效率。

4.2 多输入多输出(MIMO)技术

在 MIMO 系统中,同一时间频段内可以发送和接收多个数据信号,这样不仅提高了信号的传输速率,也增强了信号的可靠性。MIMO 技术的关键在于其空间复用的能力,允许在同一频段内传输多个独立的数据流。这是通过空间信号处理算法实现的,如空间复用技术(Spatial Multiplexing)和波束成形技术(Beamforming)。空间复用技术通过在每个发送天线上发送不同的信息流,然后在接收端利用信道的不同传输特性来分离这些信息流,有效地增加了系统的数据传输速率。波束成形技术则是通过控制天线阵列的相位和幅度来集中信号能量,指向特定的接收方向,以提高信号的接收质量和减少干扰。此外,MIMO 系统中还常用到信道状态信息(Channel State Information, CSI)来优化传输策略。CSI 能够提供无线信道的传播特性信息,如信道增益和相位,有助于发送端优化其发射策略,从而实现更高效的信号传输。

4.3 光纤传输与自由空间光通信

光纤传输技术通过光波在光纤中的传播来实现信息的传递,具备极低的损耗和极高的带宽容量,是目前通信网络的骨干。光纤的核心原理依赖于光的全内反射效应,使光

信号能够长距离传输而不易损失。光纤材料通常采用高度透明的玻璃纤维或塑料纤维,能够提供较长的传输距离与高带宽,广泛应用于现代电信、互联网骨干网等高数据需求场景。其中,密集波分复用(Dense Wavelength Division Multiplexing, DWDM)技术是光纤传输的关键创新之一。DWDM 通过在同一根光纤中同时传输多个波长的光信号,每个波长承载独立的数据流,从而极大地增加了单根光纤的带宽容量。DWDM 依赖于精密的光学控制,将多个不同波长的光密集地排列在一起,从而实现多路数据的同步传输。这不仅大幅提升了光纤网络的传输效率,还节省了布线成本,适用于大规模通信网络的扩展。与光纤传输不同,自由空间光通信(FSO)通过空气或真空直接传播光信号,适用于短距离和点对点的高速通信。FSO 的优势在于不需要铺设光纤物理基础设施,具备较高的灵活性和经济性,尤其在卫星通信和室外无线光通信领域具有应用前景。FSO 的通信带宽通常可以达到几 Gbps 到数十 Gbps,具体取决于系统设计和环境条件。然而,FSO 技术受到空气湍流、天气等环境因素的影响较大,因此自适应光学技术(Adaptive Optics, AO)成为关键技术。AO 技术通过实时调整光波的相位分布来补偿大气扰动,确保光束能够准确到达目标位置。AO 的应用,特别是在波前校正器和波前传感器的辅助下,提升了光信号在复杂大气条件下的传输质量和稳定性。

5 结论

综上所述,未来通信网络的发展将依赖于一系列高效传输技术的突破与应用,如毫米波、大规模 MIMO、边缘计算和量子通信。这些技术将显著提升网络的带宽、降低延迟,并提高数据传输的安全性和可靠性。同时,通过优化能效和资源利用,未来通信网络不仅能满足日益增长的传输需求,还能实现可持续发展,为智能化应用和创新提供强有力的支持。

参考文献

- [1] 东润泽,王布宏,冯登国,等.无人机通信网络物理层安全传输技术[J].电子与信息学报,2022,44(3):803-814.
- [2] 赵卫东.微波传输技术在城市通信网络中的应用研究[J].电脑乐园,2023(3):58-60.
- [3] 彭灿军.光纤通信网络传输技术的应用优势[J].中国新通信,2023,25(14):13-15.
- [4] 贾俊.计算机无线网络通信中的传输控制技术[J].信息记录材料,2022(7):23.