

# 基于6G预研的空地一体化通信网络架构探索

肖亚东 肖光烈

武汉汇科智创科技有限公司 湖北 武汉 430000

**摘要:** 随着第六代移动通信技术(6G)的研究与发展,空地一体化通信网络架构成为实现全球无缝覆盖、高速智能通信的关键。本文旨在深入探讨基于6G的空地一体化通信网络架构,分析其设计原理、关键技术、网络优势及未来发展趋势。通过天基、空基与地基网络的深度融合,构建一个覆盖全球、无处不在、高速智能、安全可靠的通信网络,为未来的数字化社会提供坚实的技术支撑。

**关键词:** 6G; 空地一体化; 通信网络架构

## 引言

随着5G技术的广泛应用,用户通信能力和服务质量显著提升,推动了垂直行业的数字化转型。面向2030年及未来,6G网络将实现从服务于人与物到支撑智能体高效连接的跃迁,构建万物智联的新型网络。其中,空地一体化通信网络作为6G的关键特征之一,通过深度融合空基、天基和地基网络资源,实现全球立体覆盖,满足用户随时随地的通信需求。

## 1 6G 空地一体化通信网络架构概述

### 1.1 架构愿景

6G空地一体化通信网络架构的核心目标是构建一个无界限、全球化的通信网络,这个网络将彻底打破地理和技术的限制。通过深度融合天基、空基和地基网络资源,该架构旨在实现全球范围内的无缝连接,确保用户无论身处何地都能享受到高质量的通信服务。这一网络不仅支持高速移动、大容量数据传输,还具备低时延和高可靠性,从而满足物联网、工业互联网、智能制造、智能交通等前沿领域对通信网络的严苛要求<sup>[1]</sup>。此外,6G空地一体化通信网络还将具备智能化的管理和调度能力,能够自动优化网络资源,提高通信效率,为用户提供更加便捷、高效的通信体验。

### 1.2 架构组成

6G空地一体化通信网络架构主要由天基网络、空基网络和地基网络三大部分组成,它们相互协同,共同构建一个全球化的通信网络。

**天基网络:** 这是6G空地一体化通信网络的重要组成部分,由多颗同步卫星、中轨/低轨卫星及中继卫星组成。这些卫星分布在不同的轨道上,形成多层次、多连接的多源数据传输和处理系统。天基网络能够覆盖全球范围,为全球用户提供高速、可靠、连续的通信服务。无论用户身处何地,都能通过天基网络实现与全球各地

的实时通信。

**空基网络:** 空基网络主要由无人机、高空平台等设备组成,它们部署在空中,为地面用户提供灵活、高效的通信服务。空基网络能够与天基网络协同工作,实现更广泛的覆盖和更高的通信性能。在地面基站无法覆盖的区域,空基网络可以发挥重要作用,确保用户能够持续接收到高质量的通信服务。

**地基网络:** 地基网络是6G空地一体化通信网络的基础,由地面基站、物联网设备等组成。地面基站负责与用户的直接连接和数据传输,是用户接入网络的主要入口。物联网设备则负责收集和處理各种物联网数据,为智能应用提供支撑。地基网络与天基和空基网络协同工作,形成一个无缝覆盖的通信网络,确保用户能够随时随地享受到高质量的通信服务。

## 2 6G 空地一体化通信网络的关键技术分析

### 2.1 空口传输波形与多址复用技术

在6G空地一体化通信网络中,空口传输波形与多址复用技术是确保网络高效、可靠运行的关键。为了满足高速、大容量通信需求,6G网络需要采用具有高频谱效率和抗干扰能力的传输波形。这些波形通常通过复杂的调制和编码技术实现,以确保在有限的频谱资源内传输更多的信息。同时,为了适应空地一体化网络中的多样化通信场景,传输波形还需要具备灵活的可配置性,以便根据实际需求进行调整。多址复用技术是6G空地一体化网络中实现多用户同时通信的关键。这一技术允许多个用户在同一时间、同一频段内进行通信,从而显著提高网络的容量和效率。在6G网络中,多址复用技术将采用更先进的算法和机制,以确保用户之间的信号不会相互干扰,同时保证通信的可靠性和稳定性<sup>[2]</sup>。为了实现这一目标,6G网络将引入一系列新的多址复用技术,如稀疏码多址(SCMA)、非正交多址(NOMA)等。这些技

术通过优化用户信号的分配和接收,可以在保证通信质量的同时,提高网络的频谱效率和容量。此外,6G网络还将采用智能化的资源管理和调度算法,以动态地分配网络资源,满足不同用户的通信需求。

## 2.2 统一的帧结构和物理信道设计

在6G空地一体化通信网络中,统一的帧结构和物理信道设计是实现不同类型用户服务高效传输,以及空地一体化网络无缝切换和协同传输的关键技术。统一的帧结构设计是确保网络各组成部分之间协同工作的基础。6G网络将采用一种高度灵活的帧结构,以适应不同通信场景和业务需求。这种帧结构将支持动态调整时隙长度、子载波间隔等参数,以满足不同用户的传输速率、时延和可靠性要求。同时,统一的帧结构还将有助于简化网络协议栈,降低通信开销,提高网络的整体效率。物理信道设计是6G空地一体化网络中的另一项关键技术。为了满足高效传输的需求,6G网络将采用先进的物理信道编码和调制技术,以提高频谱效率和抗干扰能力。这些技术将结合多天线技术、高阶调制等手段,实现高速、可靠的数据传输。此外,6G网络还将优化物理信道的资源分配和管理机制,以确保不同用户之间的公平性和网络资源的有效利用。在统一的帧结构和物理信道设计下,6G空地一体化网络将能够实现空地一体化网络的无缝切换和协同传输。通过动态调整帧结构和物理信道参数,网络可以根据用户的实际需求和通信场景的变化,灵活地选择最优的传输路径和方式。

## 2.3 频谱分配和管理策略

在6G空地一体化通信网络中,频谱分配和管理策略是确保网络高效运行和频率资源共享的关键。面对卫星通信、低空通信和地面通信等多种场景,6G网络将采用统一的频谱分配和管理策略,以实现频率资源的有效利用和干扰规避。针对卫星通信,6G网络将考虑卫星轨道、覆盖范围、通信容量等因素,合理分配频谱资源。通过采用先进的频谱共享技术,6G网络将允许多个卫星在相同或相邻频段内同时通信,从而提高频谱利用率。同时,6G网络还将采用智能的频谱感知和动态调整机制,以适应卫星通信场景的动态变化。对于低空通信,6G网络将结合无人机、高空平台等设备的通信需求,优化频谱分配策略。通过采用灵活的频谱接入方式和动态的频谱调整机制,6G网络将确保低空通信设备在复杂环境下的稳定通信,同时避免与地面通信的干扰。在地面通信方面,6G网络将继续沿用和拓展现有的频谱分配和管理策略。通过采用高效的频谱利用技术和智能的频谱管理算法,6G网络将提高地面通信的频谱效率和容量,

满足日益增长的用户需求。统一的频谱分配和管理策略还将考虑不同通信场景之间的协同和切换。6G网络将采用智能的频谱调度和切换机制,确保用户在不同通信场景之间的平滑过渡和连续通信。这将有助于提高用户的通信体验和网络的整体性能。

## 2.4 太赫兹通信技术

太赫兹通信技术作为6G超宽带通信系统的重要组成部分,凭借其独特的优势,将显著提升通信系统的容量和速率。太赫兹通信系统的信道仿真和射线跟踪技术是实现高效通信的基础。信道仿真通过构建精确的信道模型,模拟太赫兹波在不同环境下的传播特性,为系统设计提供可靠依据。射线跟踪技术则进一步细化了信道建模过程,通过追踪电磁波的各种传播途径(如直射、反射、绕射等),精确预测信道的功率、时延、角度等关键参数。这些技术共同确保了太赫兹通信系统在不同场景下的稳定性和可靠性<sup>[3]</sup>。太赫兹波段的频谱资源极为丰富,支持超大带宽的无线通信。相比现有的微波和毫米波频段,太赫兹频段能够承载更大的信息量,满足未来高速、大容量通信的需求。全频谱协作策略则进一步提高了频谱资源的利用效率,通过整合不同频段的资源,实现全频谱的协同工作。这种策略不仅提升了通信系统的整体性能,还为未来通信技术的发展开辟了新的方向。

## 2.5 轨道角动量调制技术

轨道角动量(OAM)调制技术作为一种前沿的无线传输技术,正逐渐成为提升通信系统容量和频谱利用率的重要手段。这一技术基于电磁波的物理特性,特别是其绕传播轴旋转的特性,通过引入OAM这一新的复用维度,实现了信息传输方式的革新。具体而言,OAM调制技术利用电磁波的螺旋相位波前,即涡旋电磁波的相位波前呈涡旋状,来描述电磁波绕传播轴旋转的特性。不同模态值的涡旋电磁波彼此正交,这意味着它们可以在同一频率下独立传输不同的信息,而不会产生相互干扰。这一特性使得OAM调制技术能够在不依赖于传统资源(如时间和频率)的情况下,通过模态的复用发送多个同轴数据流,从而显著提升了通信系统的容量和频谱利用率。在实际应用中,OAM调制技术可以与现有的多输入多输出(MIMO)技术相结合,形成OAM-MIMO系统。这种系统不仅能够利用OAM的模态复用特性,还能通过MIMO的空间复用特性进一步提升系统性能。

## 3 6G空地一体化通信网络的优势与应用前景

### 3.1 全域覆盖

6G空地一体化网络通过高效整合卫星、无人机、高空平台等多种空中资源,构建了一个多层次、立体化的

网络架构,从而实现了全球范围内的无缝覆盖。这一特性不仅消除了偏远地区、海洋、空中等传统通信盲区,还极大地缩小了“数字鸿沟”,为全球用户提供无差别的通信服务。

### 3.2 高速智能

6G空地一体化网络在速度、容量、时延和可靠性等方面都实现了显著提升。它支持高速移动通信,满足物联网、工业互联网、智能制造、智能交通等新兴领域对通信网络的高要求。同时,6G网络还具备智能化的特点,能够根据不同的业务场景和需求,动态调整网络资源,实现更加高效、智能的通信服务。

### 3.3 安全可靠

6G空地一体化网络在设计 and 建设过程中,始终注重网络安全和隐私保护。它采用了多种先进的安全技术和手段,如加密传输、身份认证、访问控制等,确保网络的安全性和可靠性。此外,6G网络还具备抗毁性、鲁棒性和自适应性,能够在面对自然灾害、网络攻击等突发情况时,迅速恢复通信连接,保障用户的正常通信需求。

### 3.4 灵活部署

6G空地一体化网络采用了模块化、标准化的设计理念,使得网络资源的部署和扩展变得更加灵活和便捷。根据不同的业务场景和需求,6G网络可以快速、准确地部署相应的网络资源和设备,从而降低了建设和运营成本<sup>[4]</sup>。这一特性使得6G网络能够更好地适应未来通信市场的发展和变化。

## 4 6G空地一体化通信网络的挑战与展望

### 4.1 面临的挑战

网络架构与组网方式方面,由于6G网络需要整合卫星、无人机、高空平台等多种异构网络资源,如何高效地组织这些资源,并制定统一的空中接口协议和组网协议,成了一个亟待解决的问题。这需要深入研究各种网络技术的特点,找到它们之间的最佳结合点,以实现网络的高效、稳定运行。业务连续性是另一个重要挑战。6G空地一体化通信网络需要面对复杂多变的环境,如天气变化、地形障碍、电磁干扰等,这些因素都可能对通信服务的连续性和稳定性造成影响。因此,需要设计一套完善的故障恢复和数据容错机制,以确保在任何情况下都能保持通信服务的正常进行。网络容量的提升也是

6G空地一体化通信网络面临的挑战之一。随着物联网、工业互联网等领域的不断发展,未来通信网络需要承载的数据量将呈现爆炸式增长。因此,需要不断探索新的网络技术和优化方法,以提高网络的容量和传输速率,满足未来大容量、低时延的通信需求。

### 4.2 未来展望

随着技术的不断进步和应用场景的不断拓展,6G空地一体化通信网络将在公共安全、应急救援、远程教育、智能交通等领域发挥更大的作用。例如,在公共安全领域,6G网络可以实时传输现场视频和数据,为应急指挥提供有力支持;在智能交通领域,6G网络可以实现车辆与车辆、车辆与基础设施之间的实时通信,提高交通效率和安全性。同时,数字孪生等新兴技术的应用将进一步推动6G空地一体化通信网络的优化和智能化管理。通过构建网络的数字孪生模型,可以实时监测网络的状态和性能,及时发现并解决问题,从而提高网络的可靠性和稳定性。此外,数字孪生技术还可以帮助优化网络资源配置和调度策略,提高网络的运行效率和服务质量。

### 结语

基于6G的空地一体化通信网络架构是未来通信发展的重要方向,通过天基、空基和地基网络的深度融合,实现全球无缝覆盖、高速智能、安全可靠的通信服务。面对挑战与机遇,我们应持续加强关键技术研发和应用探索,推动6G空地一体化通信网络的快速发展和广泛应用。

### 参考文献

- [1]刁兆坤,宿金峰,梁道龙,等.空地一体技术和产业探讨[J].通信世界,2024,(08):16-19.
- [2]徐金雷,赵俊渥,卢华兵,等.面向6G的多维扩展通感一体化研究综述[J].电子与信息学报,2024,46(05):1672-1683.
- [3]谢雨良,田雨晴,张朝阳.6G智能内生无线通信网络:现状、挑战、系统设计和架构[J].移动通信,2024,48(08):8-12.
- [4]曾勇,董珍君,王蕙质,等.面向6G通信感知一体化的固定与可移动天线技术[J].信号处理,2024,40(08):1377-1407.