

# 卫星通信网络中的承载网架构设计与优化

刘涛 李果 吕云辉

普天信息工程设计服务有限公司

DOI: 10.12238/ems.v6i6.8080

**[摘要]** 探讨了卫星通信网络中的性能优化、可靠性优化和能耗优化策略, 一是分析了性能优化的关键措施, 包括带宽利用率优化、时延优化和数据传输效率提升。二是探讨了如何增强系统的可靠性, 这包括了冗余的设计、故障的恢复策略以及高效的网络管理手段。三是深入研究了能源消耗的优化策略, 这包括选择节能的硬件、智能化的功耗管理以及绿色能源的实际应用。通过上述优化策略能够提升卫星通信网络性能, 稳定性以及环境可持续性以适应各种应用场景。

**[关键词]** 卫星通信网络; 性能优化; 可靠性优化; 能耗优化

## Design and optimization of carrier network architecture in satellite communication networks

Liu Tao, Li Guo, Lv Yunhui

Putian Information Engineering Design Service Co., Ltd

**[Abstract]** This paper explores performance optimization, reliability optimization, and energy consumption optimization strategies in satellite communication networks. Firstly, it analyzes the key measures for performance optimization, including bandwidth utilization optimization, latency optimization, and data transmission efficiency improvement. The second is to explore how to enhance the reliability of the system, which includes redundant design, fault recovery strategies, and efficient network management methods. Thirdly, we have conducted in-depth research on optimization strategies for energy consumption, including selecting energy-efficient hardware, intelligent power management, and practical applications of green energy. The above optimization strategies can improve the performance, stability, and environmental sustainability of satellite communication networks to adapt to various application scenarios.

**[Keywords]** Satellite communication network; Performance optimization; Reliability optimization; Energy consumption optimization

## 引言

卫星通信网络作为连接全球的重要枢纽, 在现代社会中发挥着越来越重要的作用, 随着人们对通信要求的不断提高和科技的不断发展, 卫星通信网络在性能上如何得到优化, 可靠性得到提高, 能耗得到降低已成为研究与实践中的一个热点。性能优化牵涉到如何最大限度地提高带宽利用率, 减少数据传输时延, 提高传输效率等问题, 从而满足用户快速高效的通信要求。而可靠性优化的重点是如何通过冗余设计及故障恢复机制来确保网络面临故障及突发事件时能稳定地工作。能耗优化主要关注如何通过选择节能硬件、实施智能功耗管理和推广绿色能源应用来降低系统的能源消耗, 从而构建一个环境友善的通信网络。将对上述优化策略的理论, 方法以及其在卫星通信网络上的运用实践进行深入探究, 以期对增强网络性能及可持续发展起到理论支持及实用指导作用。

## 一、卫星通信网络承载网的基本概念

### (一) 卫星通信网络的组成

卫星通信网络是由几个关键的部分组成的, 其中主要有卫星节点, 地面站以及用户终端等, 卫星节点是网络中最核心的部分, 承担着地面站与用户终端之间信号的接收, 处理与转发任务。地面站主要负责与卫星进行通讯, 这包括数据的发送和接收, 以及信号的处理和传递<sup>[1]</sup>。用户终端作为网络中的最终接入点用来与地面站和卫星节点通信以传输数据并交换信息。这几部分共同组成复杂有效的卫星通信网络体系来支撑广播, 电视和互联网接入多种应用需求。

### (二) 承载网的定义与功能

承载网在卫星通信网络中承担着数据传输, 信号处理等重要任务, 它携带了地面站、卫星节点、用户终端等数据流量及通信信号。它的主要作用是对数据包进行路由与转发, 以保证数据能按时按需地传输至目标位置。承载网同时对通

信链路及资源分配进行管理,使网络带宽利用率及传输效率达到最大化<sup>[2]</sup>。同时它支持各种通信协议和标准,如IP协议和MPLS(多协议标签交换),确保数据在网络中安全、可靠地传输。承载网设计及优化对卫星通信网络性能及稳定性有着直接的影响,从而成为提高卫星通信服务质量及用户体验最关键的因素之一。

## 二、承载网架构设计的关键要素

### (一) 网络拓扑

网络拓扑是卫星通信网络的关键,它决定着节点之间的联系以及数据传输的路径,主要构造有星形、网状、混合拓扑等。星形拓扑将卫星作为中心与地面站、用户终端直接连接,适合集中管理场景。网状的拓扑结构具有更高的灵活性,每一个节点都直接进行通信,它具有高度的冗余和容错性,非常适合于需要高可靠性的应用场景<sup>[3]</sup>。混合拓扑将二者的优点相结合,例如核心区为星形结构、边缘区为网状结构等,提高了通信的灵活性与稳定性。选择适当的拓扑需要综合考虑应用需求,资源限制以及性能优化等因素,才能提高通信的效率与可靠性。

### (二) 传输技术

卫星通信网络中传输技术选择对数据传输速度,带宽利用率以及整体性能都有着直接的影响,主要传输技术有无线电波传输、激光通信技术。无线电波传输通过不同频段(如L、Ku、Ka波段)实现不同速率和覆盖范围,成熟稳定,适用于广播、电视传输和互联网接入。激光通信技术是采用可见光或者红外光进行通信,它具有高带宽,低时延以及强抗干扰能力等特点,支持高清视频以及高速数据的传输,特别适用于带宽以及时延都有较高需求的场合。选择传输技术时,需要综合考虑通信需求,环境条件,成本以及技术成熟度。所以,针对特定的应用场景灵活地结合不同的技术来取得最佳的通信效果与经济效益,是一种普遍的实践,在技术进步与市场需求的双重作用下,传输技术选择也会不断地面临着

新挑战与新机遇。

### (三) 协议和标准

在卫星通信网络中,协议和标准扮演着统一和规范数据传输和交换的重要角色,主要的协议和标准包括IP协议、MPLS(多协议标签交换)以及由国际电信联盟(ITU)和IEEE(电气和电子工程师协会)等制定的相关国际标准。一是IP协议(Internet Protocol)作为网络中的核心协议之一,在卫星通信网络中也扮演着至关重要的角色。它规定了网络上数据传输的模式及路由规则,以保证数据能按期望的模式从源端向目的地传送<sup>[4]</sup>。IP协议的普遍应用使卫星通信网络和全球互联网实现互通互联,从而为多种应用提供统一通信基础。二是MPLS(多协议标签交换)技术为数据传输和流量工程提供了一个高效的解决策略。其通过对数据包赋予标签使数据包能够按预设路径发送,以达到更加灵活有效地管理数据流量。对于卫星通信网络而言,尤其当不同类数据流需要分层服务且优先级较高时,MPLS技术很好地支持。

## 三、承载网架构设计方法

### (一) 需求分析

需求分析对卫星通信网络的设计与优化起着至关重要的作用,它涉及带宽需求,时延需求,可靠性需求等诸多方面。一是网络支持的数据传输量和用户数量受到带宽需求的直接影响,高清视频、文本传输等不同的应用对于带宽的要求千差万别,需要进行准确的评估,并且制定出相应的设计方案。二是信号的传播时间和处理延迟与时延有关,对于实时应用,例如视频会议,这是非常关键的,而批处理数据的方式则更为灵活。需要考虑选用适当的传输技术及优化策略,可靠性需求则确保网络稳定运行,考虑天气影响和故障恢复措施以提高网络稳定性。在需求分析中,应充分考虑到网络的扩展性与灵活性,满足不断增长的用户与数据需求并为今后技术发展与市场需求提供支撑。

表1 卫星通信网络设计和优化过程中需求分析的关键方面

方面	描述
带宽需求	直接影响网络支持的数据传输量和用户数量。不同应用如高清视频和文本传输对带宽需求差异很大,需要精确评估并制定相应设计方案。
时延要求	关乎信号传播时间和处理延迟,对实时应用如视频会议至关重要,而对批处理数据则相对灵活。需要选择合适的传输技术和优化策略以满足不同的时延需求。
可靠性需求	确保网络稳定运行,考虑天气影响和故障恢复措施以提高网络的可靠性和稳定性。
扩展性和灵活性	考虑网络能够支持未来的技术发展和市场需求,应对日益增长的用户和数据需求,需要具备灵活的扩展性和管理能力来适应变化的环境和新的应用场景。

### (二) 系统设计

卫星通信网络系统设计中需要考虑诸多关键因素,才能保证满足多种应用需求,并且具有良好的性能和可靠性,首要选择网络拓扑,针对应用场景选择星形,网状或者混合拓扑。星形适用于集中管理,网状具有冗余、容错性好等特点,适用于高可靠性的要求,混合拓扑综合了二者的优势,灵活处理了不同的通信需求。二是路由算法的设计,它影响数据

传输路径的优化,时延的减少以及带宽的最大化,主要有最短路径,负载均衡以及多路径路由等问题,资源分配策略综合考虑了带宽,频谱以及处理能力,实现了资源利用的最优化并避免了拥塞。在技术实现上,选用合适的软硬件平台的关键是卫星通信设备,地面站设备与网络管理系统。SDN,NFV等新兴技术提供了灵活的网络控制及资源管理,进一步提高了网络的效率及灵活性。

### (三) 技术实现

在实施卫星通信网络技术的过程中,核心技术涵盖了硬件的选择和配置、软件定义网络(SDN)的技术应用,以及网络功能虚拟化(NFV)的实施,一是网络的性能和可靠性受到硬件的选择和配置的直接影响。选用适当的卫星通信设备,地面站设备及用户终端设备以保证它们能支持要求的传输速率,频段覆盖和抗干扰能力,同时对硬件配置进行优化,例如合理规划天线布局,增强处理器与存储设备的性能等,能够有效地提高整体系统性能与稳定性。二是随着时间的推移,SDN技术在卫星通讯网络中的使用逐渐受到了更多的关注,SDN使网络控制平面与数据转发平面相隔离,对网络进行集中管理与控制,以增强网络灵活性与可管理性<sup>[5]</sup>。卫星通信网络中SDN技术能够实现动态路由调整,流量工程优化及服务质量(QoS)保障等功能,使网络性能得到进一步优化,资源利用率得到提高。此外,利用NFV技术可使网络功能软件化,虚拟化。通过将传统的专用网络设备(如路由器、防火墙等)虚拟化为软件模块,在通用的硬件平台上运行多个网络功能实例,这样减少硬件成本,简化网络管理并能更加迅速的对网络服务进行部署与调整。

## 四、承载网的优化策略

### (一) 性能优化

性能优化是保障卫星通信网络有效运行、改善用户体验的重要策略,主要性能优化有带宽利用率,时延优化,数据传输效率改进等。一是通过高效的带宽管理和资源配置策略,实现了带宽利用率的优化,本发明利用动态带宽分配技术根据实时流量需求对资源分配进行调节,避免了资源闲置浪费,同时按照应用优先级进行带宽分配,确保了重要数据传输质量。二是优化时延是影响用户体验的一个关键环节。利用有效的路由算法与传输技术降低数据包传输过程中的时延,尤其对于语音通话、视频会议等实时应用有着重要的意义。优化数据传输路径,缩短信号处理时间可有效减小总体通信时延。最后数据传输效率的提高涉及优化数据包处理与发送过程。通过压缩数据,优化协议以及采用高效编解码技术等措施可降低数据传输冗余与开销并提高传输速率与效率。另外,缓存技术与数据预取技术的使用还进一步加速数据的访问并增强网络的响应能力。

### (二) 可靠性优化

在卫星通信网络当中,增强可靠性是保障网络稳定运行以及数据传输安全的重点目标,主要可靠性优化策略有冗余设计,故障恢复机制以及高效网络管理等,一是冗余设计被视为增强系统稳定性的关键策略之一。通过在关键节点和链路上部署备用设备和通信路径,例如备用卫星、地面站和通信链路,在主设备或链路出现故障时自动切换到备用设备或路径,从而确保数据传输的连续性和可靠性。二是为了应对突然发生的事件和设备的故障,故障恢复机制显得尤为关键。卫星通信网络要求有对故障进行快速探测与诊断并能快速启动故障恢复自动程序或者人工程序。比如通过监控系统对网

络状态进行实时监控,发现异常情况后马上采取相关恢复措施尽量减少服务中断、数据丢失等。最后,有效的网络管理与监控是确保网络可靠运行的一个重要保障。利用先进网络管理工具与技术对网络性能,设备运行状态以及数据流量等进行实时监控,及时发现并解决存在的问题,从而提高响应速度与管理效率。

### (三) 能耗优化

卫星通信网络能耗优化问题是一个关系到系统运行成本与环境可持续性问题的重大战略,主要能耗优化措施有节能硬件选型,智能功耗管理,绿色能源应用等。一是选用节能的硬件设备被认为是降低能源消耗的一个高效方法,选用低功耗,高效能卫星通信设备,地面站设备及用户终端设备减少系统总体能耗。对硬件设计及制造工艺进行了优化,在提高了设备运行效率的同时降低了系统运行成本及对环境的影响。二是在能源消耗的优化过程中,智能功耗管理技术发挥了至关重要的角色,通过使用动态电源管理策略来依据网络负载及数据传输需求对装置功耗水平进行调节。比如该装置在低负载的情况下自动进入节能模式从而降低能耗;当负载较高时,提供了充足的性能,确保数据传输稳定,及时。最后,大力推广绿色能源应用还是优化能耗的一个重要手段。采用太阳能和风能等可再生能源作为卫星通信网络的电源,既减少人们对于传统能源的依赖性,降低能源成本又减少环境影响,从而达到可持续发展的目的。

## 总结

卫星通信网络性能优化,可靠性优化以及能耗优化,是促进网络运行高效,可持续发展的重要战略。通过分析探讨,对带宽利用率最优,时延最优,冗余设计,智能功耗管理以及绿色能源应用这些关键技术与方法进行了深入的探索。这些优化策略既能提升网络传输效率与稳定性,又能减少系统能源消耗,满足环境保护与可持续发展需求。今后在科技不断进步以及应用场景不断扩展的背景下,能够进一步探究并运用更多的创新优化策略来促进卫星通信网络朝着更加智能化,高效化以及可持续发展的目标迈进。

## [参考文献]

- [1]张昊晔, 嵇雪. 认知应急通信网络的架构与目标优化设计[J]. 江苏通信, 2021, 037(002): 34-37.
- [2]吴晓文, 焦侦丰, 凌翔, 等. 面向6G的卫星通信网络架构展望[J]. 电信科学, 2021, 037(007): 1-14.
- [3]朱亮, 戚少博, 杨波, 等. 低轨宽带卫星互联网承载电网业务应用[J]. 天地一体化信息网络, 2023, 4(2): 103-113.
- [4]朱亮, 戚少博, 杨波, 等. 低轨宽带卫星互联网承载电网业务应用[J]. 天地一体化信息网络, 2023, 4(2): 103-113.
- [5]FENG Jianyuan, LI Jie, PANG Lixin, 等. 天地一体化信息网络中天基卫星网络架构设计[J]. 电讯技术, 2019, 059(007): 775-779.