

下一代卫星通信网络的动态资源调度算法分析

郭海燕 曾炜 赖彩明

中国联合网络通信有限公司江西省分公司 江西省南昌市 330000

摘要: 随着卫星通信技术的迅猛发展，下一代卫星通信网络针对高效智能的资源调度提出了更为苛刻的要求，动态资源调度乃是达成卫星网络高带宽利用率以及低延迟目标的关键技术，其对于提升网络整体性能和服务质量有着重要意义，本文围绕动态资源调度对下一代卫星通信网络进行了分析，系统梳理了该网络面临的主要挑战包括多样化的业务需求，有限的链路资源以及频繁变化的网络拓扑等。在研究方法方面本文从卫星网络的动态特性出发探讨了多种主流的调度算法，包括基于优先级预留机制以及智能优化的动态调度策略，并对其适用场景与运行机制进行了比较，分析结果表明综合运用多种调度算法，可有效应对网络动态变化提升资源分配的灵活性与效率，最后本文指出动态资源调度对促进卫星通信网络智能化自适应发展具有积极推动作用，为实现全球范围内的高质量卫星通信服务提供了理论支持和技术参考。

关键词: 卫星通信网络；动态资源调度；调度算法；网络性能优化；自适应机制

引言

空间信息化持续推进着卫星通信技术呈现出迅猛发展的态势，已然成为全球信息基础设施的关键一环，当下全球互联系势凸显宽带普及程度日益加深，业务多元化需求呈爆发式增长，在此背景下传统固定资源分配模式已然难以契合下一代卫星通信网络对于大容量高稳定性以及低延迟服务的急切需求。工信部数据显示 2023 年底我国卫星互联网业务大规模试点已完成，高效利用卫星资源成为亟待突破的技术瓶颈，动态资源调度乃是提升卫星网络性能与服务质量的核心手段，其可应对网络拓扑变化链路资源紧张以及业务多样等情形达成资源灵活智能配置，尽管国内外已有诸多卫星网络调度方法，然而由于卫星轨道变化快通信延迟大等特殊问题的存在致使多数现有算法的效果不尽如人意。故本文聚焦下一代卫星通信网络资源动态分配问题，通过梳理对比常用调度方法提出适配网络变化的调度方案为卫星通信系统智能化自适应发展提供支撑。

1. 下一代卫星通信网络的发展现状与挑战

1.1 卫星通信网络的演进趋势

卫星通信网络历经了数十年的发展历程，已然从往昔固定位置的地球同步卫星系统彻底演变为了灵活移动星座分散的低轨卫星网络，这种转变完全源于全球数据流量的快速增长，以及人们希望更节省地使用网络带宽信号来回时间更短的强烈需求，当下的卫星网络大力运用网络虚拟化技

术，软件定义网络技术之类的先进手段以极大提升系统灵活程度与资源分配能力^[1]。随着家用宽带互联网变得越发普遍，用户针对信号覆盖面积以及服务稳定性的要求逐步提升，这直接促使卫星通信系统朝着多轨道高度多层次星座结构的方向迅速演进，这种演进明显优化了整个网络性能表现，同时也给各种复杂多变的应用场景提供了更多新技术解决方案，最终让卫星通信网络从以前被动等待指令的资源管理方式，成功转变成了能够主动感知需求自动调整资源的智能管理方式。

1.2 资源调度面临的核心问题

在卫星通信网络发展进程里，资源调度方面的问题变得愈发显著，卫星通信链路资源本身极其有限，然而大家对于高质量服务的需求却在迅速增长，这致使频谱资源分配愈发复杂，卫星沿着轨道持续高速运转，网络连接关系迅速转变此乃给资源调度算法赋予了更为严苛的实时性与适应性需求，高吞吐量数据传输和低时延互动应用等业务需求不断涌现，使得资源调度的难度进一步增大。不同卫星覆盖区域之间协同调度的需求也显著增加，如何做到资源的高效分配是迫切需要解决的问题，所有这些难题都对下一代卫星通信网络实现更高智能化和性能提升形成了重大挑战。

1.3 网络动态特性的影响因素

网络变动特性主要源自卫星通信环境的独特属性，涵盖卫星节点大范围运动致使的拓扑剧烈变化、卫星间链路的

形成与中断以及地面用户需求的不稳定状况，空间中信道因天气变化空间干扰等干扰而变得极为明显，致使链路稳定性难以维持，在高动态网络环境下资源调度必须对实时变化作出精确适应，来保证通信质量与连接稳定性为卫星网络高效运转带来技术保障。

2. 动态资源调度算法分类与机制

2.1 基于优先级的调度策略

按照重要程度安排资源分配顺序，这种方法属于动态资源管理里很常用的一种方式，在下一代卫星通信网络里面用得特别多。系统会根据不同任务或者业务的紧急程度高低来决定先给谁分配资源，先把最紧急的任务需求全部满足，这样就能把有限的卫星资源用得最好^[2]。核心做法就是提前制定清晰的优先级规则，比如看这个业务是不是必须实时完成、服务质量要求高不高、传输的数据是不是特别关键，然后随时根据这些规则来实时优化资源分配方案。这种做法在处理需要极低时延的任务时表现特别突出，能够明显降低服务等待时间，同时大幅提高最关键任务的完成成功率。不过，如果只按照重要程度来分配资源，遇到业务种类很多很复杂的情况时，很容易导致资源都倾斜给了高优先级任务，低优先级任务的服务质量就会受到严重负面影响。所以一定要设计出一种调度机制，既能保证高优先级任务快速完成，又能照顾到所有任务的基本公平，这样才能真正提高整个卫星通信网络的运行性能和用户体验。

2.2 预留机制及其应用

预留资源机制是动态资源调度的关键方法，在卫星通信网络运行期间重要业务以及高优先级用户的资源分配会被提前安排，这种方式能够大幅降低因网络拥堵而产生的性能下降问题，保证资源分配的稳定与可靠，确保关键任务能够按时完成在应对突发紧急业务或者网络环境发生剧烈变化时，其作用非常突出。在实际的应用场景当中该种机制常常会与网络流量预测算法相互结合起来，首先要针对业务需求展开实时的分析工作，而后按照优先级的高低去预留相应的资源，其优势在于使调度更稳定灵活，减少链路波动引发的服务中断风险，鉴于卫星通信网络拓扑常常变化，预留资源机制需要具备动态适配能力，并且要与其他智能优化算法协同合作以此来提高资源利用率对于保障卫星通信网络长期稳定提供高质量服务具有重大意义。

2.3 智能优化算法与自适应机制

智能优化算法跟自适应机制利用结合机器学习深度学习这些技术，来处理卫星网络资源调度出现的复杂情况跟实时变化难题，强化学习的方法可有效解决资源分配的不确定因素，很好地适应各种复杂业务需求最终达成资源分配策略的最佳效果，遗传算法、粒子群算法这类基于群体搜索的优化技术能够于海量资源调度方案里快速找寻最优答案，大幅提升调度速度与准确程度。智能优化算法整合自适应机制利用动态调整的调度策略，充分考虑业务负载的起伏链路状态的变化以及网络拓扑的实时变动既兼顾效率也兼顾公平性，自适应机制为卫星通信网络的长期稳定发展给予了坚实的技术支撑，极大地推动了高质量通信服务的落地实现。

3. 不同调度算法的性能对比

3.1 典型场景下的调度效率评估

评估动态资源调度算法效率需结合卫星通信网络特点，以及真实业务需求，网络环境变化快时重要任务能否按时完成由优先级排序调度决定，不过在资源集中处可能会出现卡顿现象，提前预留资源能够确保关键任务的稳定运行，不过在突发业务量大幅增加的情况下很容易出现资源闲置浪费或者严重短缺的现象。人工智能技术的智能优化算法其适应性颇为强大，调度也极为科学合理，在面对诸多多样化的业务需求时所取得的效果远远超出了传统方法，实际运行数据对比显示在简单稳定场景中，算法设计更为简单且稳定，在复杂且多变的场景当中智能优化算法能够极大程度地提升资源的利用效率，加快系统的反应速度从而为卫星通信网络于不同的场景之下选择适宜的调度算法给予强有力的依据。

3.2 算法在复杂业务需求下的适应性

复杂业务需求场景当中不一样的调度算法适配能力，差别极为显著，优先级调度策略能够迅速地对业务需求的差异化予以处理，然而一旦资源竞争变得极为激烈那么低优先级业务的性能将会出现大幅度的降低，预留机制提前给关键业务分好一部分资源，会使整个系统资源调度不够灵活但能更好保障关键业务服务质量^[3]。智能优化算法借助机器学习或者智能决策技术于处理复杂多变业务之际成效最佳，不但能够灵活调整资源分配，而且还能维持极高效率，在多方对比后察觉智能优化算法在多种变量同步变动的繁杂环境里成效最佳，其强大的适配性与决策力为高质量卫星通信服务构筑了坚实保障。

3.3 综合资源利用率提升效果

将多种动态资源调度算法结合起来一同使用，极大地提升了卫星通信网络资源的利用率，比起只用一种调度策略多种算法一起协作能够有效缓解链路拥堵和资源碎片化问题，实现资源高效分配和实时动态调整功能这样就能提高整体网络性能表现，经过典型应用场景的实验分析验证多种算法融合调度能够很好地满足各类复杂业务需求，在提升资源分配效率的同时还展现出卓越的适用性和显著的优势。

4. 下一代卫星通信网络的未来发展方向

4.1 网络智能化与自适应能力提升

网络智能化水平的提升以及自适应能力的增强，乃是下一代卫星通信网络的核心发展趋向，当下网络运行环境瞬息万变，传统资源调度方式已难以适应未来复杂通信场景，业务需求日益多样，引入智能化技术可实时掌握网络状态，借助大数据人工智能和机器学习算法及时调整流量分布与链路负载，大幅提升资源使用效率优化服务质量^[4]。智能化的核心在于自适应能力，其凭借强大的学习能力以及精准的预测模型能够根据业务的紧急程度，用户的需求以及网络环境的变化对资源分配进行动态调整从而有效地降低通信延迟以及网络拥堵的风险，智能化技术和自适应能力相互融合，为全球卫星通信提供了高效可靠且可定制化的服务奠定了坚实的基础。

4.2 跨域协同资源调度的应用前景

跨域协同资源调度于下一代卫星通信网络内前景极为广阔，当下不同地区对于卫星系统同时服务的需求呈现出与日俱增的态势，而那种仅依靠单一区域来自主分配资源的方式，在面对复杂状况时已然难以有效应对，多区域资源联合调度对各地资源予以整合可显著提高频谱信道以及网络节点的利用率，有力地减轻通信链路的拥堵状况降低系统间资源抢占冲突的发生。面对多种业务需求并存，或卫星网络拓扑快速变化该调度方式展现出高灵活性与自适应能力，利用先进算法以及分布式网络架构，能够对资源调度策略予以优化提高卫星通信网络的运行效率与服务质量，若全球卫星通信网络的智能化发展能够得到有力推动，且其服务能力能够显著增强那么多区域协同调度就能够得以大规模推广。

4.3 高质量服务保障策略探索

优质服务保障策略致力于通过改善资源分配以增强服务可靠性，将调节机制与预测技术充分融合以解决网络需求波动大情况复杂多变的问题，实施多级协作调度策略强化从用户终端到卫星，再到地面站的全链路服务质量把控，保证关键业务一直维持极低的传输延迟与极高的稳定运行，依赖智能算法结合实时监测手段，极大提高资源管理的效率，最终构建起覆盖广大区域的稳固可靠的卫星通信服务基础^[5]。

5. 结束语

本文深入剖析了下一代卫星通信网络中动态资源调度的核心难题与主流算法，归纳了其在应对多样业务需求，链路资源受限网络拓扑快速变化等复杂环境时的实际困难，通过细致地对比如优先级调度资源预留机制以及智能优化方法等动态调度策略展开研究，清晰地明确了在不同场景当中的适用算法以及其对于提升带宽利用率与服务质量所起到的作用。多种算法融合能够极大地增强资源分配的灵活性以及网络运行的效率，从而为高效智能的卫星网络设计奠定理论基础，然而当下的研究于大规模节点协同等方面仍旧存有局限，达成资源调度的全局最优，以及智能自适应还需深入地进行探寻，未来工作可着重于高效智能调度算法 AI 与多维资源协同，以及全球组网自适应调度体系的创新。

参考文献：

- [1] 关智华,郭志彪. 基于遗传算法的通信网络节点自适应调度方法 [J]. 现代传输, 2023,(05):63–66.
- [2] 翟华. 卫星通信网络技术体制验证 [J]. 电讯技术, 2022,62(01):24–30.
- [3] 李鹏, 孙凯, 方华. 一种无中心 TDMA 卫星通信系统资源动态调度算法 [J]. 现代电子技术, 2021,44(17):25–30.
- [4] 张然, 刘江, 杨丹, 黄韬, 刘韵洁. 基于软件定义网络的卫星通信网络综述 [J]. 数据与计算发展前沿, 2020,2(03):3–17.
- [5] 刘军军. 浅析 VSAT 卫星通信网络 [J]. 环球市场, 2020,(13):394–394.

作者简介：郭海燕（1978.04-），女，汉族，江西宜春，本科，工程师，总经理 主要从事工作无线网和互联网的运维管理。