



专题：星地融合移动通信及卫星互联网

## 意图驱动天地融合网络智能编排架构与关键技术

范荣乾<sup>1</sup>, 程志密<sup>2</sup>, 李乔<sup>1</sup>, 杨春刚<sup>1</sup>, 欧阳颖<sup>1</sup>, 王璞<sup>1</sup>

(1. 西安电子科技大学, 陕西 西安 710071;

2. 大唐移动通信设备有限公司, 北京 100083)

**摘要:** 面向千行百业的异构网络服务多样性和灵活性需求, 构建地面与星上网络按需智能切片编排系统已成为未来网络重要发展方向。网络切片通过资源编排和逻辑隔离, 能够有效支持不同天地融合网络的差异化服务需求。传统天地融合网络编排技术在面向动态复杂场景时, 易出现编排效率较低、资源调度较难和服务保障较差等问题。意图驱动网络通过自然语言理解技术和闭环动态反馈机制, 可为天地融合网络提供自适应性与智能性。基于此, 提出了意图驱动天地融合网络切片编排架构及其关键技术, 随后搭建了意图驱动天地融合网络智能编排实验平台, 具体展示从用户意图输入到网络切片实例化完成的全流程, 并对比了3类网络切片类型的平均实例化时间, 以评估所提智能编排系统的效用。实验结果验证了意图驱动网络技术在天地融合网络智能编排中的适配性与高效性。

**关键词:** 意图驱动网络; 天地融合网络; 切片智能编排; 意图保障

**中图分类号:** TP393

**文献标志码:** A

**doi:** 10.11959/j.issn.1000-0801.2025134

## Intent-driven intelligent orchestration for satellite-terrestrial networks: system architecture and key technologies

FAN Rongqian<sup>1</sup>, CHENG Zhimi<sup>2</sup>, LI Qiao<sup>1</sup>, YANG Chungang<sup>1</sup>, OUYANG Ying<sup>1</sup>, WANG Pu<sup>1</sup>

1. Xidian University, Xi'an 710071, China

2. Datang Mobile Communications Equipment Co., Ltd., Beijing 100083, China

**Abstract:** To meet the diverse and flexible service demands of heterogeneous networks across various industries, building an on-demand intelligent network slicing and orchestration system that integrates terrestrial and satellite networks has become a crucial direction for future network development. Through resource orchestration and logical isolation, network slicing can effectively support differentiated service requirements in satellite-terrestrial networks. Traditional network orchestration technologies in satellite-terrestrial networks often face challenges such as low orchestration efficiency, difficult resource scheduling, and poor service assurance when dealing with dynamic and complex scenarios. Intent-driven networks, leveraging natural language understanding technology and closed-loop dynamic

收稿日期: 2025-03-14; 修回日期: 2025-05-13

基金项目: 国家重点研发计划项目 (No.2020YFB1807700); 陕西省创新能力支撑计划项目 (No.2024RS-CXTD-01)

**Foundation Items:** The National Key Research and Development Program of China (No.2020YFB1807700), Innovation Capability Support Program of Shaanxi (No.2024RS-CXTD-01)



feedback mechanisms, can provide adaptability and intelligence for satellite-terrestrial networks. Based on this, an intent-driven satellite-terrestrial network slicing orchestration architecture and its key technologies were proposed. Subsequently, an intent-driven satellite-terrestrial network intelligent orchestration experimental platform was established, which specifically demonstrated the entire process from user intent input to network slice instantiation completion. A comparison of the average instantiation time of three types of network slices was conducted to evaluate the effectiveness of the proposed intelligent orchestration system. The experimental results verified the adaptability and efficiency of intent-driven networking technology in the intelligent orchestration of satellite-terrestrial networks.

**Key words:** intent-driven network, satellite-terrestrial network, intelligent slice orchestration, intent assurance

## 0 引言

天地融合网络将卫星通信网络与地面通信网络深度融合，形成一体化、协同运行的通信架构。其突破了传统地面网络覆盖限制，具备实现全球无缝连接、多域协同、广域覆盖等能力，可满足远程医疗、应急救援、智慧城市等多种应用场景需求<sup>[1]</sup>。随着卫星批量化制造成本的降低，国内外巨型星座发展极为迅速<sup>[2]</sup>。2020年9月，中国卫星网络集团有限公司向国际电信联盟提交GW-A59和GW-A2两个宽带星座计划，计划发射12 992颗卫星，并于2024年12月16日以1箭10星方式成功将卫星互联网低轨01组卫星发射升空，并顺利进入预定轨道。截至2025年2月27日，美国SpaceX公司的Starlink低轨卫星互联网系统已发射卫星达7 086颗，其中手机直连卫星64颗，能够达到17 Mbit/s的传输速率。随着网络服务需求复杂化和场景多样化，如何高效编排星上与地面资源，实现动态网络场景下的按需资源编排，成为天地融合网络发展的关键技术挑战<sup>[3]</sup>。

网络切片作为应对多服务并发需求的关键技术，通过逻辑隔离与资源定制化机制为不同服务提供专属网络资源。依托软件定义网络和网络功能虚拟化技术，网络切片成为天地融合网络按需服务的重要支撑手段。然而，传统网络编排技术主要依赖静态预定义规则<sup>[4]</sup>，在动态用户需求、

星上资源约束及复杂服务场景多重挑战下，逐渐显现出编排效率低下、资源调度困难和服务质量保障不足等局限性。当前天地融合网络亟待突破的核心挑战如下。

(1) 服务需求差异化。在天地融合网络中，不同网络服务场景对网络资源需求差异明显。这种需求差异性使天地融合网络难以采用简单编排策略满足多样化用户意图。

(2) 网络资源难扩展。卫星系统的通信、计算和存储资源匮乏，无法像地面网络一样轻松扩展。这种资源稀缺性在多服务并发场景下影响网络切片服务质量（quality of service, QoS），增加网络资源分配与调度的难度。

(3) 编排策略滞后性。传统网络编排技术难以及时感知用户需求动态变化。编排策略的滞后性导致在复杂天地融合网络中难以实现资源全局最优分配，影响用户体验。

(4) 网络架构难适应。当前网络架构范式难以适应复杂网络环境。天地融合网络是高动态多层异构网络，且以用户为中心，需要适应动态网络服务以及复杂网络环境，易影响到逻辑架构搭建和网络功能实现。

为了克服上述难题，意图驱动网络作为一种智能化网络管理方式应运而生<sup>[5]</sup>。意图驱动网络通过自然语言理解技术与动态反馈机制，将用户高级别意图转译为底层网络切片编排策略。意图驱动网络技术不仅能根据用户需求动态生成切片

策略,亦能基于资源状态反馈实时调整策略,实现天地融合网络场景下端到端切片编排与资源实例化,生成按需服务自适应能力,为解决复杂动态网络场景下资源分配与服务保障问题提供全新思路。

本文的主要贡献包括:(1)梳理了天地融合网络智能编排的研究现状,明晰了意图驱动天地融合切片智能编排的优势;(2)提出了意图驱动天地融合网络智能编排系统架构,该系统由意图引擎、切片编排中心、算力管理中心和星地基础设施构成;(3)设计并分析了系统关键技术,包含基于生成式人工智能的数据集构建技术、意图智能转译技术、云边协同切片编排技术等;(4)对系统功能进行了展示,并对比3类切片在意图驱动天地融合网络智能编排系统中的实例化时间,验证了意图驱动网络关键技术在天地融合网络中的适用性。

## 1 天地融合网络智能编排研究现状

### 1.1 天地融合网络应用网络切片技术

天地融合网络通过整合卫星、地面基站和边缘计算节点,构建全球覆盖的异构通信体系。其需求差异性与资源异构性等特点对网络编排提出了重大挑战。网络切片融入天地融合网络可使运营商提高网络资源利用率,增强网络性能<sup>[6-7]</sup>,但在天地融合网络应用中网络切片技术仍处于起步阶段,该领域的研究工作主要集中于资源调度与管理问题<sup>[8]</sup>,解决方案主要分为数学优化算法和人工智能/机器学习技术两大类。

早期研究聚焦于数学建模与启发式算法,通过多目标优化框架解决多种场景下天地融合网络资源调度问题。针对星地协同计算场景,文献[9]建立融合时延约束、传输功率衰减与边缘计算能力的多目标优化框架,采用多目标禁忌搜索算法实现切片智能卸载决策,结合黄金分割法完成用户动态任务调度,在传输功率控制和计算资源分配方面取得了显著优化效果。在核心网切片领

域,文献[10]提出面向服务功能链的按需资源配置方法,通过混合整数线性规划模型显著优化服务功能链部署效率。

人工智能技术/机器学习技术的融入为动态资源管理开辟了新路径<sup>[11-14]</sup>,文献[12]通过卷积神经网络与深度强化学习协同框架,在满足服务质量与隔离性约束下提升资源调度效能;面向高速移动情况下的切片场景;文献[13]融合排队论与神经网络构建时延敏感型调度模型,有效保障数据传输的可靠性;文献[14]提出了联合资源切片与调度双层强化学习架构,在车载网络中实现动态资源适配,在降低系统开销的同时提升带宽利用效率;文献[15]提出了一种基于深度强化学习的计算卸载编排算法,集成偏差调整策略进行资源编排决策,提高了天地融合网络资源利用率。

现有的天地融合网络切片技术在特定场景下取得了一定效果,传统数学优化方法在静态小规模网络场景中效果显著,但难以应对动态环境,计算复杂度高。人工智能/机器学习方法能够增强网络动态适应性,但依赖高质量数据且训练成本高,需要大量计算资源。以上不足促使研究聚焦于以多样化用户意图为导向的意图驱动网络技术,通过自动化意图策略闭环控制方法,为天地融合网络提供更高效的编排方式。

### 1.2 意图驱动网络编排技术

意图驱动网络编排技术能够为天地融合网络的动态性和跨域协同需求提供有力支持,其自动化和动态优化能力为智能编排奠定了基础,在确保用户服务意图需求的同时降低运维成本<sup>[16]</sup>。文献[17]提出涵盖意图分析、转译、解析、激活与保障的闭环控制和管理框架,深入探讨自然语言处理技术在意图到可执行策略转化中的关键作用,自动部署网络切片并智能管理网络资源,降低意图网络切片全生命周期管理的成本及复杂性。在端到端意图驱动网络研究方面,文献[18]



构建了基于机器学习的动态管理框架，通过可编程数据平面实时感知网络状态并生成编排决策，实现意图驱动网络自主优化。在网络切片领域，文献[19-20]突破传统手动配置模式，构建基于QoS需求到切片模板的自动转换机制，实现意图驱动切片全生命周期管理。文献[21]提出了意图与网络切片关联数据集，包含用户意图描述、意图数据以及意图与网络切片之间的关联，为意图驱动网络切片编排研究提供有效支撑。文献[22]进一步展望5G/6G网络中的意图驱动网络演进路径，强调数字孪生、知识图谱与意图闭环验证等关键技术，预言未来网络将深度集成人工智能实现“意图即服务”的新型架构。

### 1.3 天地融合网络智能编排方法

天地融合网络智能编排方法相关研究汇总见表1。传统天地融合网络编排技术缺乏动态适应能力与跨域协同能力，无法满足灾害救援等场景下突发任务的实时编排需求。在意图驱动网络编排领域，通过自动化运维、动态优化能力，显著提升网络管理效率和适应性。现有研究仍局限于地面网络编排或卫星网络编排<sup>[23-25]</sup>，本文首次提出意图驱动天地融合网络智能编排方法，使得天地融合网络逐步向自优化、自适

应方向发展，为未来全球智能互联提供了坚实的基础。

## 2 意图驱动天地融合网络智能编排架构

本节首先介绍所设计的意图驱动天地融合网络智能编排系统架构，涵盖用户意图到网络切片的所有组件，然后对该系统所涉及的关键技术进行分析。

意图驱动天地融合网络智能编排架构以意图引擎为核心驱动，通过切片编排中心与算力资源中心协同工作，按需提供天地融合网络切片服务。系统覆盖从用户意图输入、策略生成、切片编排到意图保障的全流程，由意图引擎、切片编排中心、算力资源中心和星地基础设施组成，意图驱动天地融合网络智能编排系统架构如图1所示。

### 2.1 意图引擎

针对用户服务需求差异化挑战，意图引擎通过自然语言处理和命名实体识别技术，精准提取用户意图特征，将复杂需求映射为网络QoS指标，确保不同场景下用户服务个性化匹配。意图引擎具备实时网络状态监测和动态策略优化功能，通过“输入—生成—执行—反馈”闭环控

表1 天地融合网络智能编排方法相关研究汇总

方法	研究内容	特点	文献
传统数学优化	多目标禁忌搜索算法	动态适应性差，复杂度高	[9]
	服务功能链混合整数线性规划模型		[10]
人工智能/机器学习	卷积神经网络与深度强化学习协同	数据依赖性强，算力需求高	[12]
	融合排队论与神经网络技术		[13]
	联合资源切片与调度双层强化学习		[14]
	基于深度强化学习的卸载编排算法		[15]
意图驱动网络编排	意图驱动网络编排闭环管控	运维成本低，自优化、自适应	[17]
	基于机器学习的意图动态编排		[18]
	意图网络切片全生命周期管理		[19-20]
	意图网络切片关联数据集		[21]
	意图闭环验证、知识图谱		[22]

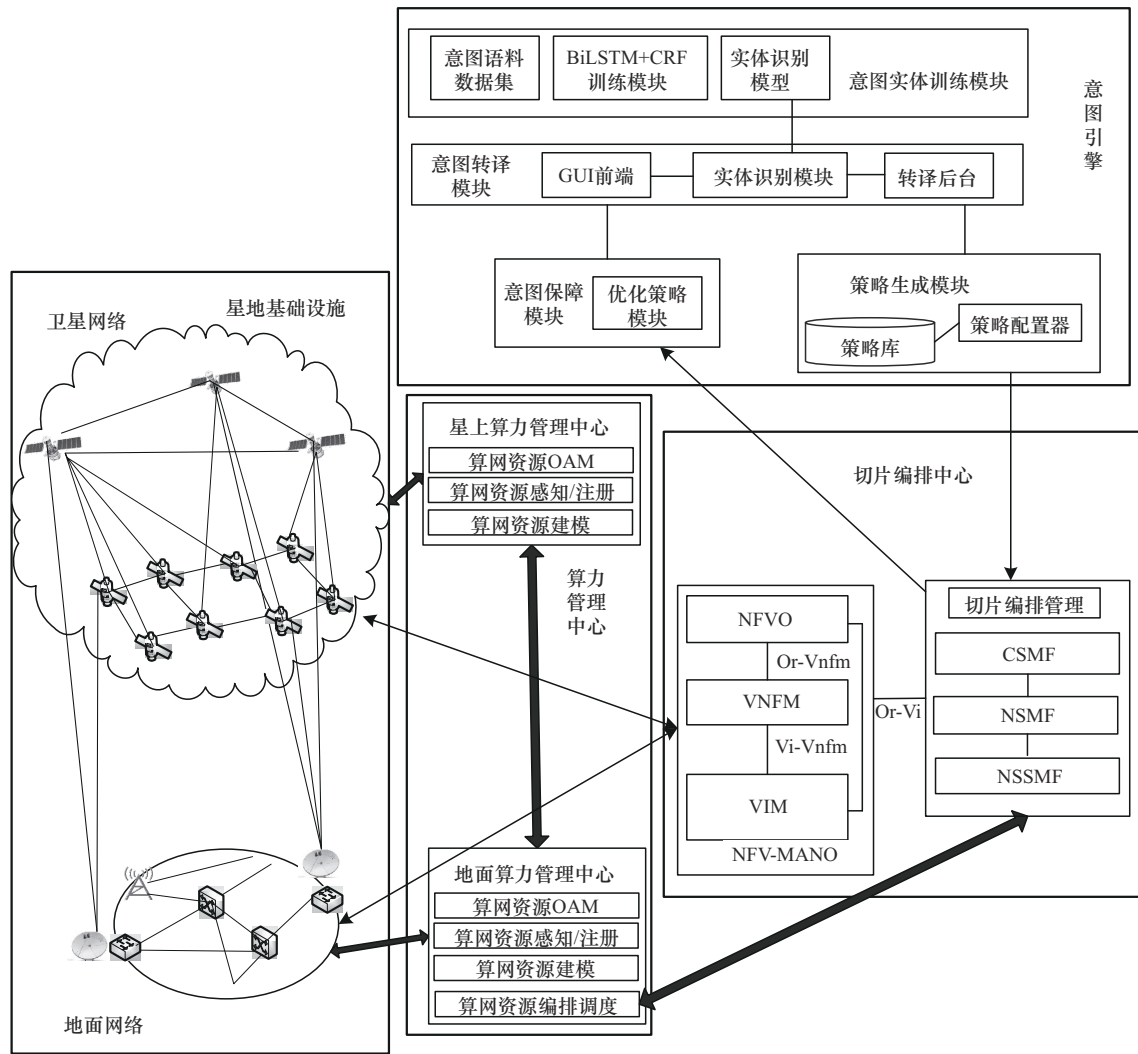


图1 意图驱动天地融合网络智能编排系统架构

制，快速响应网络变化。它主要负责基于用户提交的服务意图，完成服务意图特征提取和转译，生成切片编排配置策略，并在算力资源不足，即不能满足生成的意图策略请求时，重新调整服务意图，完成正常、可靠的意图下放。该层由意图实体训练模块、意图转译模块、意图保障模块和策略生成模块组成。意图实体训练模块基于已构建好的意图语料数据集，训练出实体识别模型；意图转译模块将用户意图映射为网络 QoS 指标；策略生成模块生成切片编排策略并进行下发；意图保障模块实时监测网络状态，并动态优化编排策略参数，形成“输入—生成—执行—反馈”的

意图闭环控制，确保意图与网络态势实时匹配。

## 2.2 切片编排中心

切片编排中心主要负责从策略到资源的端到端网络切片生命周期管理，其核心能力由通信服务管理功能（communication service management function, CSMF）、网络切片管理功能（network slice management function, NSMF）、网络切片子网管理功能（network slice subnet management function, NSSMF）及网络功能虚拟化管理与编排（network functions virtualization management and orchestration, NFV-MANO）框架协同实现。CSMF 接收意图引擎切片编排策略，将其转化为



网络切片描述符；NSMF完成网络切片实例生命周期管理，包括切片实例初始化、更新、终止等；NSSMF则负责子网级切片资源分配；NFV-MANO框架通过网络功能虚拟化编排器（network functions virtualization orchestrator, NFVO）、虚拟网络功能管理器（virtual network function manager, VNFM）和虚拟化基础设施管理器（virtualized infrastructure manager, VIM）实现虚拟化资源自动化部署。

### 2.3 算力管理中心

算力管理中心分为星上算力管理中心和地面算力管理中心，主要负责算力资源高效建模与调度，包括星上与地面算网资源运营管理与维护（operations administration and maintenance, OAM）模块、算网资源感知模块和算网资源建模模块。星上算力资源作为边缘节点，主要负责轻量化任务，而地面算力资源作为云节点，承担高算力任务。地面算力管理中心集成资源编排调度引擎，优化端到端资源分配，并结合云边协同机制协调星地任务分工。算力管理中心基于服务意图需求，实时感知云边算力资源，实现地面与星上资源跨域统一编排与调度，确保算力资源高效管理与优化利用。

### 2.4 星地基础设施

在意图驱动天地融合网络智能编排架构中，端到端网络切片通过星上与地面基础设施协同，为差异化网络服务提供定制化承载能力。终端设备根据服务需求接入星载基站或地面基站。核心网针对不同网络场景，在星上部署轻量化网络功能集或地面部署完整网络功能集。星上核心网需要匹配星载边缘服务器以支持星上网络服务，地面核心网通过地面云平台承载地面网络服务，最终形成基于云边协同的星地基础设施端到端网络切片，为多样化用户需求提供按需网络服务能力。

为应对天地融合网络的核心挑战，意图驱动智能编排系统架构以意图引擎为核心，联合切片

编排中心、算力管理中心和星地基础设施，通过高度协同的组件设计，提供灵活高效的网络服务，适应天地融合网络复杂环境。意图引擎通过自然语言处理和实体识别技术，精准提取用户意图特征并映射为网络QoS指标，解决不同场景下服务需求差异化问题；其“输入—生成—执行—反馈”的闭环控制机制，实时监测网络状态并动态优化策略，有效克服编排策略滞后性，实现编排策略实时“自愈”“自优化”。切片编排中心通过分层管理机制，实现端到端切片生命周期的灵活管理，适应天地融合网络多层异构特性。算力管理中心采用云边协同机制，将高算力任务分配至地面云节点，缓解星上资源压力，并通过资源感知与跨域调度技术优化资源利用效率，有效扩展了网络资源。星地基础设施协同星上轻量化网络功能与地面完整网络功能集，构建端到端网络切片，为多样化服务提供定制化承载能力。该架构确保天地融合网络在复杂动态环境中实现高效资源分配和灵活服务适配，为用户提供高质量网络体验。

## 3 意图驱动天地融合网络智能编排关键技术

本节主要分析意图驱动天地融合网络智能编排系统中意图下发阶段涉及的数据集构建技术、实体模型训练技术、意图智能转译技术、意图保障技术和云边协同切片编排技术。

### 3.1 基于生成式人工智能的数据集构建技术

在天地融合网络中，不同网络服务场景对网络资源需求差异明显。这种需求差异性使天地融合网络难以采用简单编排策略满足多样化用户意图。因此，提出生成式人工智能辅助的数据集构建技术，基于模板引导构建通信领域数据集，针对天地融合网络场景的语义特征设计动态生成框架。首先，构建结构化语义模板，包含实体“场景”“用户数量”“网络服务优先级”“网络服务

类型”。其次，通过生成式人工智能扩展多维度语义，基于模板生成多样化场景，并将网络服务参数组合优化，自动生成符合网络切片服务逻辑的合理搭配。最后，完成构建大规模标注样本的意图数据集，采用“Begin-End-Middle-Single”标注体系对4类实体进行结构化处理，并按比例划分为训练集、验证集和测试集，使得所训练模型具有更强的泛化能力。再通过语义模板和多维度扩展，生成多样化意图数据集，增强模型对复杂场景的适应性，显著提升意图数据集的多样性，适应差异化用户需求。

### 3.2 基于双向长短期记忆的意图实体模型训练技术

意图实体训练是意图驱动天地融合网络切片智能编排系统的核心技术，负责从用户输入的文本中精准抽取关键实体，从而构建上下文语义关联体系。采用基于双向长短期记忆（bidirectional long short-term memory, Bi-LSTM）-条件随机场（conditional random field, CRF）的命名实体识别（named entity recognition, NER）模型，建立输入层、双向语义编码层和标签优化层3级架构。其中，输入层采用字符级向量化表示方法，通过分布式表征捕捉汉字的形态特征与语义信息；双向语义编码层通过前向、后向LSTM构建双向语义编码机制，分别从时序和逆时序2个维度提取字符上下文关联特征，最终通过隐状态向量拼接形成融合双向语义的文本表征；标签优化层基于状态转移概率矩阵建立CRF全局优化机制，求解最优标签路径，确保实体识别的全局一致性。

### 3.3 基于有限状态机的意图智能转译技术

意图智能转译技术负责将用户服务意图准确地映射为网络切片QoS指标，主要通过有限状态机（finite state machine, FSM）技术实现。首先，根据意图识别阶段提取的关键信息，系统利用FSM模型对用户意图进行状态转换与映射。

FSM定义了不同意图状态之间的转换规则，每个状态对应特定网络需求配置。通过预定义的状态与转换条件，意图智能转译技术能够高效处理复杂意图映射逻辑，确保生成的网络需求配置符合用户意图，并进一步指导网络切片的实例化，确保资源分配与用户服务需求相匹配。

### 3.4 基于网络态势反馈信息的意图保障技术

在天地融合网络中，网络资源状态快速变化，导致切片编排策略可能与实际资源状态不一致，造成编排策略滞后，最终影响资源分配效率。因此，提出基于网络态势反馈信息的意图保障技术，建立资源状态反馈机制，监测底层网络态势信息，并将态势信息反馈到意图保障模块用于调整策略。当网络资源无法满足当前意图需求时，能够基于反馈数据重新优化服务意图，重配置切片编排策略，并进行迭代优化，最终实现意图精准匹配与可靠下放，实现用户服务意图全生命周期管理。

### 3.5 基于Kubernetes的云边协同切片编排技术

云边协同切片编排技术基于Docker容器虚拟化与K3s轻量级编排平台构建空天地一体化资源管理体系。针对星上资源受限特性，通过功能重构技术对网络切片进行轻量化改造，将接入和移动性管理功能（access and mobility management function, AMF）、会话管理功能（session management function, SMF）等核心控制面功能剥离冗余模块，形成适配卫星节点的精简网络功能集，部署于边缘侧容器集群；而地面云节点则依托Kubernetes原生编排能力，通过KubeEdge框架承载完整功能链及高算力任务。系统采用层次化部署策略，星上算力节点运行K3s轻量级编排平台实现微服务化网络功能动态调度，其与地面Kubernetes集群保持架构同源性和应用程序接口兼容性，确保云边资源统一管理弹性扩展。通过容器镜像跨域迁移机制和网络功能描述符标准化建模，实现天地异构资源智能调度，最终形成“星



侧轻量化处理、云侧集约化承载”的协同范式，缓解星上资源压力，且最大化扩展网络资源。

## 4 意图驱动天地融合网络智能编排实例分析

本节首先介绍意图驱动天地融合网络智能编排实验环境，然后具体展示从用户意图输入到网络切片实例化完成的全流程，最后对比3类网络切片类型的平均实例化时间，评估所提智能编排系统的效用。

### 4.1 意图驱动天地融合网络智能编排实验环境

为验证所提出智能编排系统的性能，构建意图驱动天地融合网络智能编排系统平台。意图图形用户界面包含前端界面设计、后端逻辑处理以及数据交互，采用 Flask 2.0.3 作为后端框架，Postgres 10.12 作为意图策略数据库，并结合 HTML、CSS 和 JavaScript 构建前端界面。使用 K3s v1.21.9 提供边缘计算中心和云计算中心以部署3类网络切片，Java1.8.0 编写脚本实现算力管理中心与切片编排中心，TP LINK TL-WAR1200L

作为模拟基站天线。

### 4.2 意图驱动天地融合网络智能编排功能实现

意图驱动天地融合智能编排系统前端界面如图2所示。界面分为意图输入栏、转译结果栏、切片详细信息和拓扑栏及系统架构栏。用户通过意图输入栏以自然语言形式输入文本意图，支持如“武汉市中心”“高速列车上”“发生洪水的重灾区”“偏远的山谷里”等40种模糊场景和“北京市王府井大街”等500种确定场景，支持“视频”“语音”“数据”和“VR”4种网络服务类型，优先级可设为“普通”或“重要”。在意图输入栏输入文本意图如“在出海捕猎的渔船上，有30名用户希望建立普通数据业务。”单击提交后，意图通过超文本传送协议（hypertext transfer protocol, HTTP）请求发送至意图转译后台。

意图转译后台在接收到用户意图后，对意图进行关键要素提取，通过训练好的命名实体识别模型并进行意图实体识别，提取出场景（“出海捕猎的渔船”）、用户数量（“30名用户”）以及服务类型（“数据”）。策略配置器基于有限状态



图2 意图驱动天地融合智能编排系统前端界面

机技术进行实体与 QoS 指标映射，生成包含网络切片类型、切片隔离方式、最大可连接用户数等指标的切片编排策略，最后发送给切片编排中心。

切片编排中心获取用户对切片的需求和对算网资源的需求。然后，切片编排中心通过与算力管理中心交互以获取算力资源调度策略。在此基础上，通过开源虚拟网络功能管理和编排器（open source management and orchestration, OSM）进行切片编排并生成网络切片描述符，定义所需容器化网络功能及资源配置，并下发至 OpenStack 进行网络切片实例化，编排和实例化过程中所有组件和虚拟网络功能通过 Kubernetes 进行管理。实例化完成后，后台可通过 Kubernetes 查询已实例化完成网络切片的虚拟网络功能，其部署情况如图 3 所示，网络切片对应的网络功能均部署在集群中合适的容器内。同时可以看到星上切片所在的容器在边缘算力资源上，其占用了 4 个容器以部署核心网网络功能，而地面切片所在的容器在云算力资源上，占用了 6 个容

器以部署核心网网络功能。同时网络切片拓扑信息返回到意图前端界面进行展示。通过这一流程，系统验证了按需服务天地融合网络具备端到端网络编排策略自主生成能力及按需实例化切片的能力。

基于实例化完成的星地网络切片，端侧发起服务请求，系统将终端服务请求分别调度到星地切片的星上和地面算力资源进行处理。首先在终端侧触发服务请求，进行注册、会话建立，用户端侧注册，界面如图 4 所示。会话建立后，用户可访问部署在边缘服务器的视频内容。

实验结果表明，该系统在多样化网络场景下能够高效应对不同用户服务需求，精准解析复杂用户意图。云边协同机制通过整合云端与边缘节点计算能力，扩展了网络资源，实现对天地融合网络切片的高效管理。

### 4.3 面向 3 类网络切片类型的系统效用评估

意图驱动天地融合网络智能编排系统实例化切片时延包含意图转译时延、算力资源调度时

```

root@k3s-node1:~# kubectl get pod -A

```

NAMESPACE	NAME	READY	STATUS	RESTARTS	AGE
kube-system	helm-install-traefik-crd-xxcxt	0/1	Completed	0	6y167d
kube-system	helm-install-traefik-hxrvv	0/1	Completed	1	6y167d
kube-system	local-path-provisioner-84bb864455-fd4j2	1/1	Running	17	6y167d
kubernetes-dashboard	dashboard-metrics-scraper-856586f554-65wdb	1/1	Running	11	339d
kubernetes-dashboard	kubernetes-dashboard-7b9b87bb74-hgnsn	1/1	Running	11	339d
kube-system	coredns-6c46d74d64-r6hnq	1/1	Running	13	6y131d
kube-system	calico-kube-controllers-69f595f8f8-bl8g5	1/1	Running	96	6y167d
kube-system	traefik-55fdc6d984-bfc28	1/1	Running	17	6y167d
kube-system	svclb-traefik-gnqtd	2/2	Running	34	339d
kube-system	metrics-server-ff9dbcb6c-wpwb4	1/1	Running	13	6y132d
kube-system	calico-node-jddq7	1/1	Running	12	339d
aislice1-2	amflight2-nsd-576d5d57d6-d9z77	1/1	Running	0	45s
aislice1-2	upflight2-nsd-9b6d585fd-ktj2f	1/1	Running	0	45s
aislice1-2	nrfight3-nsd-7b8fbb74cc-wgv6b	3/3	Running	0	45s
aislice1-2	smflight2-nsd-54468549bd-mlg2x	1/1	Running	0	45s
aislice1-2	pcfright3-nsd-7f8b8d49cd-nvh94	1/1	Running	0	45s
aislice1-2	udmflight3-nsd-598c95b6c5-b7l6q	1/1	Running	0	45s

```

root@ue3:~# kubectl get pod -A

```

NAMESPACE	NAME	READY	STATUS	RESTARTS	AGE
kube-system	helm-install-traefik-crd-wlrvt	0/1	Completed	0	2y166d
kube-system	helm-install-traefik-4d55m	0/1	Completed	1	2y166d
kube-system	local-path-provisioner-84bb864455-mc8k2	1/1	Running	27	2y166d
kubernetes-dashboard	dashboard-metrics-scraper-856586f554-t7j9v	1/1	Running	384	2y166d
kubernetes-dashboard	kubernetes-dashboard-7b9b87bb74-x85t8	1/1	Running	5824	2y166d
kube-system	svclb-traefik-kx8jq	2/2	Running	56	2y166d
kube-system	coredns-6c46d74d64-rv5o9	1/1	Running	382	2y166d
kube-system	calico-kube-controllers-69f595f8f8-gbvzw	1/1	Running	5858	2y166d
kube-system	metrics-server-ff9dbcb6c-kh6r6	1/1	Running	683	2y166d
kube-system	traefik-55fdc6d984-2wxt4	1/1	Running	400	2y166d
kube-system	calico-node-tf88l	1/1	Running	25	2y166d
aislice1-2	ranlight3-nsd-5dc56b7565-t8xgc	1/1	Running	0	3m33s
aislice2-3	upflight1-nsd-56988dfb4c-6xwvk	1/1	Running	0	31s
aislice2-3	ranlight1-nsd-5dc9c98d85-ghj9c	1/1	Running	0	31s
aislice2-3	amflight1-nsd-6f4bd875cf-9xwtp	1/1	Running	0	31s
aislice2-3	smflight1-nsd-b9c4c89dc-qjcgk	1/1	Running	0	31s

图 3 Kubernetes 查询云边协同虚拟网络功能部署情况



图4 用户端侧注册界面

延、VNF实例化时延。通过实验对比星地联合切片、地面切片与星上切片的实例化时间，分析不同类型切片在资源调度与部署效率上的差异，验证意图驱动网络技术在天地融合网络场景下的高效性与适用性。

天地融合网络仿真平台启动后，针对每种切片分别进行4次实验，记录从用户意图输入到切片完全就绪的总时间，并计算平均值。实例化时间通过Python脚本自动计时，精确记录从提交意图到实例化完成的时间点，3类切片平均实例化时间对比如图5所示。

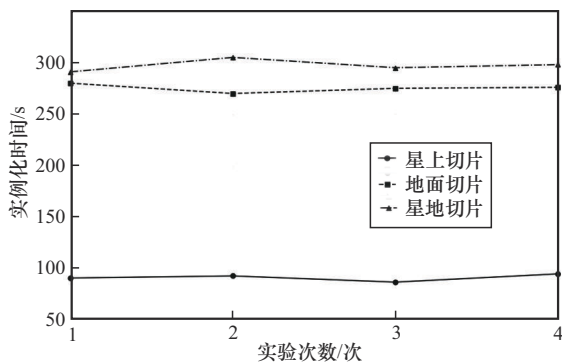


图5 3类切片平均实例化时间对比

由图5可知，星上切片的4次实验时间分别为91 s、93 s、87 s和95 s，平均实例化时间为91.5 s；地面切片的4次实验时间分别为280 s、270 s、275 s和276 s，平均实例化时间为275.25 s；星地联合切片的4次实验时间分别为301 s、290 s、295 s和298 s，平均实例化时间为296 s。由此可见，星上切片平均实例化时间最短，地面切片次之，星地联合切片平均实例化时间最长。因星上切片由轻量化星上资源组成，任务复杂度低，无须跨域协调，因此部署效率高，部署时长最短。地面切片实例化时间略低于星地联合切片，但仍高于星上切片，这是由于地面网络算力资源丰富但部署虚拟网络功能种类与个数多，资源编排过程相对复杂。星地联合切片实例化时间最长，因其需要同时协调地面与星上资源，涉及跨域协同部署，调度复杂度最高。该实验结果验证了意图驱动网络技术在天地融合网络智能编排中的适配性与高效性。意图驱动天地融合网络智能编排系统在多样化场景下能够有效应对不同用户服务需求，支持复杂意图的精准解析、策

略下放,为天地融合网络切片的智能化管理提供了可行方案。

## 5 展望

随着天地融合网络规模的持续扩展,需要更加智能化的技术推动网络朝着敏捷化、高效化、智能化的方向发展,实现网络的自配置、自管理、自优化。如何在满足用户服务需求的同时,提升天地融合网络的智能运维能力已成为亟须解决的问题。综合考虑上述挑战,后续将重点研究支持多意图、多切片并行部署与实例化,优化底层网络资源冲突场景下意图验证与策略调整机制,通过动态感知网络状态与资源约束,实现意图策略实时优化与下放,确保在资源紧张情况下仍能最大限度满足用户服务需求。同时,结合大语言模型技术,研究更高效的意图转译方法,利用大语言模型强大的语义理解与生成能力,提升用户意图细化到网络策略的精确度,增强意图转译的泛化能力。

## 6 结束语

意图驱动天地融合网络智能编排系统的设计与实现,为网络运营商提供了灵活、可定制的网络切片服务部署能力,可有效应对多样化网络服务场景的按需服务、动态编排和智能化需求。该系统充分利用意图驱动网络的优势,通过抽象化配置接口实现网络切片实例化,显著降低了地面与星上资源管理的复杂性。借助网络态势感知能力,系统能够兼顾网络态势与用户需求优化切片策略,提高服务保障能力与切片部署的自动化水平,为天地融合网络的智能化演进提供了强有力的技术支撑,推动其向更高效、更灵活的方向发展。

## 参考文献:

- [1] 陈山枝,孙韶辉,康绍莉,等. 6G星地融合移动通信关键技术[J]. 中国科学:信息科学, 2024, 54(5): 1177-1214.  
CHEN S Z, SUN S H, KANG S L, et al. Key technologies for 6G integrated satellite-terrestrial mobile communication[J]. *Scientia Sinica (Informationis)*, 2024, 54(5): 1177-1214.
- [2] 徐晖,陈山枝,艾明. 面向6G的星地融合网络架构[J]. 中兴通讯技术, 2023, 29(5): 9-15.  
XU H, CHEN S Z, AI M. Integrated satellite and terrestrial network architecture for 6G[J]. *ZTE Technology Journal*, 2023, 29(5): 9-15.
- [3] ZHU X M, JIANG C X. Integrated satellite-terrestrial networks toward 6G: architectures, applications, and challenges[J]. *IEEE Internet of Things Journal*, 2022, 9(1): 437-461.
- [4] 赵晓雪,薛富国,张露露,等. 意图驱动端到端网络切片编排与控制[J]. 电信科学, 2023, 39(9): 1-11.  
ZHAO X X, XUE F G, ZHANG L L, et al. Intent-driven end-to-end network slicing orchestration and control[J]. *Telecommunications Science*, 2023, 39(9): 1-11.
- [5] OUYANG Y, YANG C G, SONG Y B, et al. A brief survey and implementation on refinement for intent-driven networking[J]. *IEEE Network*, 2021, 35(6): 75-83.
- [6] DRIF Y, CHAPUT E, LAVINAL E, et al. An extensible network slicing framework for satellite integration into 5G[J]. *International Journal of Satellite Communications and Networking*, 2021, 39(4): 339-357.
- [7] 崔新雨,伍杰,周一青,等. 空天地一体化融合组网的挑战与关键技术[J]. 西安电子科技大学学报, 2023, 50(1): 1-11.  
CUI X Y, WU J, ZHOU Y Q, et al. Challenges of and key technologies for the air-space-ground integrated network[J]. *Journal of Xidian University*, 2023, 50(1): 1-11.
- [8] 宋晓勤,吴志豪,赖海光,等. 基于深度确定性策略梯度的星地融合网络可拆分任务卸载算法[J]. 通信学报, 2024, 45(10): 116-128.  
SONG X Q, WU Z H, LAI H G, et al. Split task offloading algorithm for satellite-ground integrated networks based on deep deterministic policy gradient[J]. *Journal on Communications*, 2024, 45(10): 116-128.
- [9] KIM T, KWAK J, CHOI J P. Satellite edge computing architecture and network slice scheduling for IoT support[J]. *IEEE Internet of Things Journal*, 2022, 9(16): 14938-14951.
- [10] AHMED T, ALLEG A, FERRUS R, et al. On-demand network slicing using SDN/NFV-enabled satellite ground segment systems[C]//Proceedings of the 2018 4th IEEE Conference on Network Softwarization and Workshops (NetSoft). Piscataway: IEEE Press, 2018: 242-246.
- [11] SHEN Y, ZHOU Q, WEN Y, et al. Integrated satellite-terrestrial network framework for next generation smart grid[J]. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 2024, 15(5): 5249-5252.
- [12] KIM T, KWAK J, CHOI J P. Satellite network slice planning: architecture, performance analysis, and open issues[J]. *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 2023, 18(2): 29-38.
- [13] LEI L, YUAN Y X, VU T X, et al. Dynamic-adaptive AI solu-



- tions for network slicing management in satellite-integrated B5G systems[J]. IEEE Network, 2021, 35(6): 91-97.
- [14] WU H Q, CHEN J Y, ZHOU C H, et al. Learning-based joint resource slicing and scheduling in space-terrestrial integrated vehicular networks[J]. Journal of Communications and Information Networks, 2021, 6(3): 208-223.
- [15] LI D B, SUN Y C, PENG J L, et al. Dual network computation offloading based on DRL for satellite-terrestrial integrated networks[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2025, 24(3): 2270-2284.
- [16] YANG C G, MI X R, OUYANG Y, et al. SMART intent-driven network management[J]. IEEE Communications Magazine, 2023, 61(1): 106-112.
- [17] ZHANG J W, YANG C G, DONG R, et al. Intent-driven closed-loop control and management framework for 6G open RAN[J]. IEEE Internet of Things Journal, 2024, 11(4): 6314-6327.
- [18] WANG J Y, ZHANG L, YANG Y R, et al. Network meets ChatGPT: intent autonomous management, control and operation[J]. Journal of Communications and Information Networks, 2023, 8(3): 239-255.
- [19] DA COSTA A M, MURILLO L M C. Integration of network slice controller for enhanced intent-based networking in 5G/6G networks[C]//Proceedings of the 18th Workshop on Mobility in the Evolving Internet Architecture. New York: ACM Press, 2023: 31-36.
- [20] ABBAS K, NAUMAN A, BILAL M, et al. AI-driven data analytics and intent-based networking for orchestration and control of B5G consumer electronics services[J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2024, 70(1): 2155-2169.
- [21] LI J, ZOU S, SUN Y L, et al. Business intent and network slicing correlation dataset from data-driven perspective[J]. Scientific Data, 2025, 12: 419.
- [22] MCNAMARA J, CAMPS-MUR D, GOODARZI M, et al. NLP powered intent based network management for private 5G networks[J]. IEEE Access, 2023, 11: 36642-36657.
- [23] 张露露, 杨春刚, 王栋, 等. 意图驱动的云网融合按需编排[J]. 电信科学, 2022, 38(10): 107-119.  
ZHANG L L, YANG C G, WANG D, et al. Intent-driven cloud-network convergence on-demand orchestration[J]. Telecommunications Science, 2022, 38(10): 107-119.
- [24] ZHANG L L, YANG C G, OUYANG Y, et al. ISFC: intent-driven service function chaining for satellite networks[C]//Proceedings of the 2022 27th Asia Pacific Conference on Communications (APCC). Piscataway: IEEE Press, 2022: 544-549.
- [25] OUYANG Y, LI C L, ZHANG J W, et al. Intent-driven 6G end-to-end network orchestration[C]//Proceedings of the IEEE INFOCOM 2024 - IEEE Conference on Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPs). Piscataway: IEEE Press, 2024: 1-2.

[作者简介]



范荣乾 (2001-), 男, 西安电子科技大学硕士生, 主要研究方向为意图驱动网络、天地融合网络编排与管理。



程志密 (1980-), 女, 博士, 大唐移动通信设备有限公司高级工程师, 主要从事6G、确定性网络、卫星通信等的技术研究工作。



李乔 (2002-), 男, 西安电子科技大学硕士生, 主要研究方向为意图驱动网络、端到端网络切片编排。



杨春刚 (1982-), 男, 博士, 西安电子科技大学教授, 主要研究方向为意图驱动智简网络、智能网络信息体系、软件定义网络自治、认知天地网络融合和网络通信博弈论等。



欧阳颖 (1995-), 女, 西安电子科技大学在站博士后, 主要研究方向为意图驱动网络、星地融合网络。



王璞 (2003-), 男, 西安电子科技大学在读, 主要研究方向为意图驱动网络、无线通信网络资源管理。