



研究与开发

意图驱动的云网融合按需编排

张露露¹, 杨春刚¹, 王栋², 欧阳颖¹, 李彤¹, 郭俊杰¹, 董茹¹

(1. 西安电子科技大学, 陕西 西安 710071; 2. 中国电信股份有限公司研究院, 北京 102209)

摘要: 随着云计算与互联网技术的飞速发展, 用户业务需求呈现多样化的发展趋势, 云网融合成为当前信息通信产业发展的重要选择。目前, 云网融合仅实现了简单的云网互联, 无法解决多样化业务需求与海量异构资源供应的重重问题。因此, 推动云网融合仍需加强云业务的按需交付能力。意图驱动网络作为一种新的网络范式, 成为解决这一难题的可行选择。梳理了云网融合的研究现状, 总结了意图驱动云网融合业务按需编排研究的必要性; 提出了意图驱动的云网融合架构, 并对其关键技术进行了分析, 在此基础上提出了云业务按需编排模型; 最后, 在混合云互联和工业互联网场景下, 分析了意图驱动的云业务按需编排模型, 对未来进行了展望。

关键词: 意图驱动网络; 云网融合; 按需编排

中图分类号: TP393

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2022272

Intent-driven cloud-network convergence on-demand orchestration

ZHANG Lulu¹, YANG Chungang¹, WANG Dong², OUYANG Ying¹, LI Tong¹, GUO Junjie¹, DONG Ru¹

1. Xidian University, Xi'an 710071, China

2. Research Institute of China Telecom Co., Ltd., Beijing 102209, China

Abstract: With the rapid development of cloud computing and Internet technology, user service demands show a diversified development trend, and cloud-network convergence has become an important choice for the development of the current information and communication industry. At present, cloud-network convergence only achieves simple cloud-network interconnection, which can not overcome the heavy problems of diversified service demands and massive heterogeneous resource supply. Therefore, promoting cloud-network convergence still requires strengthening the on-demand delivery capability of cloud services. Intent-driven network, as a new networking paradigm, becomes a viable option to solve this dilemma. The research status of cloud-network convergence was sorted out, and the research necessity of intention-driven cloud-network convergence business on-demand orchestration was summarized. Furthermore, the intent-driven cloud-network convergence architecture and its key technologies were proposed and analyzed, and on this basis, an on-demand orchestration model of cloud business was proposed. Finally, in the hybrid cloud interconnection and industrial Internet scenarios, the intent-driven on-demand orchestration model of cloud business was analyzed, and the future prospects were introduced.

Key words: intent-driven network, cloud-network convergence, on-demand orchestration

收稿日期: 2022-05-07; 修回日期: 2022-10-10

基金项目: 国家重点研发计划项目 (No.2020YFB1807700)

Foundation Item: The National Key Research and Development Program of China (No.2020YFB1807700)



0 引言

随着云计算、互联网技术的飞速发展,数以亿计的接入需求、海量内容的可靠传输与高服务质量保证等业务需求与网络基础设施资源的供给之间矛盾重重。在此背景下,云网融合凭借其在网络基础设施的全面云化、用户需求的新旧转换、资源管理的模式切换、业务服务的协同感知以及信息与通信技术(information and communications technology, ICT)服务的按需供应等方面的全新面貌,成为当前信息通信产业发展的重要趋势。

在云网融合一体化逐步发展的过程中,个人用户、政府用户和企业用户等多样化的业务需求场景不断强调云业务按需定制和快速交付的能力,同时也对网络的智能性和虚拟网元的开放性提出了更高的要求^[1]。目前,云网融合主要面临多样化的用户需求与可提供的云网融合技术匹配度低的挑战,具体可分为:(1)云网融合过程中,云对网络提出了服务快速开通以及服务种类、功能、性能等灵活变更的需求,然而,根据中国电信《云网融合 2030 技术白皮书》,目前运营商可提供的网络柔性适配能力仍有近两个级别的差距^[2],同时,网络服务在协议、性能、功能等方面程序化能力不足,在一定程度上难以满足用户云业务按需定制的需求;(2)云网资源不仅包含基础的云资源和网络资源,而且涵盖了数据资源和算力资源,在多样化的异构资源体系的复杂管理方面,传统的人工参与度高、专家经验依赖度高的资源管理与运维体系存在一定的局限性,无法达到云网融合一体化对自适应、自优化、自学习的智能管理需求;(3)面向多样化云业务的高质量保证,以及差异化服务质量保障,需要网络进一步增强与业务匹配的服务水平协议(service level agreement, SLA)保障技术和差异化保障技术,以提供持续可靠的服务连接,提升用户的服务体

验。因此,以满足用户个性化需求为核心、实现云业务按需定制和云服务统一编排,对推动云网融合一体化发展具有重要意义。

软件定义网络(software defined network, SDN)和网络功能虚拟化(network function virtualization, NFV)等技术在云网资源动态调整和灵活部署方面创造了条件,但是也引入了人工运维出错率高、网络自适应性差等新问题,在提高云网融合一体化发展速度方面略显不足^[1]。另外,随着 6G 的发展,以用户需求为核心,海量异构资源的深度融合已经成为未来信息网络发展的大趋势^[3-4]。意图驱动网络(intent-driven network, IDN)^[5]作为业界广泛研究的新兴网络管理技术,兼顾 SDN 控制转发分离的特点,提高了网络的柔性和可拓展性;IDN 结合 NFV 技术为云网融合在控制管理方面的协同创造了条件,在管理与编排(management and orchestration, MANO)技术的支持下,可以为云服务的按需配置和统一编排提供便利;最后,IDN 凭借其自动化、自优化的特点,成为海量异构资源深度融合、实现云业务需求全生命周期保障的关键技术途径,是迈向云网融合一体化阶段的重要技术支撑。

在云网融合一体化中引入 IDN 架构,借助人工智能(artificial intelligence, AI)、策略自动生成以及 NFV MANO 等新兴技术,实时感知用户需求和业务质量,快速部署云网资源,提升云业务按需定制和快速交付的能力,最终构建一个云网深度融合的一体化生态环境。

面向云网融合 2030 发展愿景,意图驱动的云网融合技术具有广阔的发展前景。然而,针对意图驱动的云业务按需供应和云服务统一编排有待深入研究。本文的主要贡献为:首先,梳理了云网融合的研究现状,并指出在云网融合场景中意图驱动的云业务按需编排具有一定的研究价值;然后,提出了一个意图驱动的云网融合架构和云

业务按需编排模型，并对涉及的关键技术进行了分析；最后，在典型的混合云互联场景下，对意图驱动的云业务按需编排用例进行了分析，并对后续工作内容进行了简要介绍。

1 云网融合相关研究现状

1.1 学术界相关研究现状

近些年来，随着 5G 建设的全面启动以及云计算的快速发展，云网融合得到更高的关注。在这之前，学术界为推动云计算网络的发展已经做了不少的努力，传统云网融合相关研究现状见表 1。

文献[6]提出了一个基于开放流、自主定位和标识符分割技术的简化云计算网络体系架构，以提高云计算网络的服务按需供应能力和安全性。该架构在 SDN 控制器的指导下，应用 OpenFlow 协议技术实现虚拟资源的动态按需供应，并以启用 OpenFlow 的交换机充当虚拟网络功能的部署节点。除了网络资源，云资源也是必不可少的云网底层资源。显然，文献[6]中按需供应的虚拟资源仅限于网络链路资源是不够的。文献[7]提出一种基于 SDN 编排的智能数据中心连接（data center interconnection, DCI）技术，通过传输网连接分布式云网络。借助 SDN 编排层的全局网络状态管理控制模块优化云和传输网络的资源使用情况。然而，为了满足用户需求，用户需要提供 SLA 需求和全局虚拟网络策略，包括拓扑、路由信息等需求，这无疑

增加了对用户专业知识的依赖度。为了降低对专家经验的依赖，文献[8]提出了一个名为 Meridian 的 SDN 控制器平台，通过高级别抽象的应用程序接口（application programming interface, API）实现其网络服务模型。用户可以使用声明性和可查询的 API 为顶层云编排应用提供网络服务，即用户通过此 API 制定控制访问流量优先级、中间件遍历策略；同时通过该 API 收集网络特定部分的性能指标和状态，并提交网络拓扑视图请求。

文献[9]在 SDN 控制器的支撑下，提出了 NFV 使能的媒体云端到端服务模型和分层服务模型，以支撑媒体数据传输业务。同时，对 NFV 使能的媒体云涉及的技术挑战进行了相应的分析，指出资源分配和调度、路由和转发请求策略的设计、决策优化框架以及实时自优化等关键技术或可成为未来云网融合的发展导向。

由此可见，随着云计算和互联网技术的发展，传统云网融合的发展从单一的面向底层资源的云网互通开始逐步向云网用户侧技术倾斜。而用户体验的提升较大程度取决于网络的智能、自治特性，网络通过其自规划、自部署、自优化和自演进的能力，减少网络理解业务意图的时间，降低业务执行过程中的人工参与度，从而提高业务执行的自动化能力，以最高效的方式为用户提供最优的解决方案，提升用户的服务体验。以 SDN 和 NFV 技术为基础的传统云网融合，虽然实现了数据平面与控制平面的分离、软件和硬件的解耦，

表 1 传统与云网融合相关研究现状

应用场景	方案	文献
云计算	提出的简化云计算网络体系架构应用 OpenFlow 协议技术实现虚拟资源的动态按需供应，以提高云计算网络的服务按需供应能力和安全性	[6]
数据中心网络	提出一种基于 SDN 编排的智能 DCI 技术，通过传输网连接分布式云网络，在满足用户需求方面，需要用户提供 SLA 需求和全局虚拟网络策略	[7]
云计算	提出用户可以使用声明性和可查询的 API 为顶层云编排应用提供网络服务，用户可通过此 API 制定控制访问策略、查询网络状态信息	[8]
媒体数据传输	提出了 NFV 使能的媒体云端到端服务模型和分层服务模型，支撑媒体数据传输业务；同时指出资源分配和调度、路由和转发请求策略的设计、决策优化框架以及实时自优化等关键技术或可成为未来云网融合的发展方向	[9]



提供了一种更加灵活的组网方式和更加轻量化的底层服务部署方式,然而其在面向业务、改善上层用户服务体验方面的能力有所欠缺,难以满足“云+网+服务”向“云+网+业务”的过渡需求。意图驱动网络(也称为随愿网络)作为一个支持抽象业务可定制、系统闭环自治的网络管理体系,用户只需要表达对网络的期望,而不需要了解底层网络操作和相关网络参数的配置情况,意图驱动网络是推动未来云网融合一体化发展的最佳选择之一^[10-11]。

文献[12]在基于意图的网络化云环境下,提出了SDN和NFV的集成方法,指出可以通过在云环境中部署额外的网络资源,解决物理资源全部或很少被占用的问题。针对云资源,文献[13]提出基于意图的云服务管理(intent-based cloud service management, ICSM)框架,通过服务请求解析器、资源组合器以及配置参数生成器,实现运营商对云资源的自动化决策,解决了云服务需求种类繁多且手动配置困难的问题。文献[14]在文献[13]的基础上提出了一种基于意图的云管理(intent-based cloud management, IBCM)框架,将云用户的服务需求映射为资源需求,同时根据性能要求和运行策略实现资源的精确管理,并为该资源管理框架提出了一种基于SLA的预防机制。

随着网络技术的发展,网络切片逐步成为5G网络的关键技术。文献[15]为5G网络切片提出了基于OTT(over-the-top)意图的网络框架,采用意图的声明式方法,自动化完成网络切片任务,同时也隐藏了底层基础设施的复杂性。另外,针对不同网络切片编排系统都依赖于专家经验的问题,文献[16]提出了一个基于意图的自动化平台,可以在多个域、站点和编排器自动协调和管理网络生命周期。文献[17]实现了一个基于意图的网络切片系统,可以有效地对核心网和接入网资源进行分割和管理。根据用户提出的高级网络配置,系统会相应地配置和部署所请求的资源,实现网

络配置过程的自动化。

随着5G技术的广泛应用,意图驱动网络技术逐步向6G网络发展。文献[18]设计了意图驱动无线电接入网(intent-driven-radio access network, ID-RAN),将IDN演进到6G无线接入网中,通过意图冲突解决、组网性能优化等技术研究,创新性地意图驱动网络从核心网迁移到无线接入网侧,进一步满足6G高性能和便捷智慧的无线组网需求。

基于意图的云网融合相关研究现状见表2。可以看出,随着用户对业务交付的实时性和交互性需求的提升,学术界对云网融合的研究重心逐步向云网业务侧偏移,使得在自动化、实时性方面提升云网管理的性能,能够最大限度地满足用户业务需求,推动云网融合的一体化发展。

1.2 产业界相关研究现状

云网融合的发展历程主要面向云网的基础资源,从云内、云间和入云向云边协同、多云协同不断演进。在2018可信云大会上,云网融合的概念被首次提出,云网融合是业务需求和技术创新并行驱动带来的网络深刻变革,是一种云和网高度协同、互为支撑、互为借鉴的概念模式^[19]。同年,中国电信发布了首个云网融合白皮书,全面论述了云网融合服务能力的体验标准和数字化转型的机遇与挑战。2019年,云计算开源产业联盟发布《云网融合发展白皮书(2019年)》,对云网敏捷打通、按需开放网络能力进行了相应补充。

2020年起,运营商相继发布有关云网融合技术发展的白皮书。三大运营商均强调云网融合要切实考虑用户的云业务需求,以深入推动云网融合一体化进展。具体地,中国电信提出云网融合一体化技术架构,旨在通过虚拟化、云化和服务化措施,提供新型信息基础设施的资源供给方式,并实现简洁、敏捷、开放、融合、安全和智能的云网融合一体化愿景^[2]。中国移动期望云网融合可以在有限的无线资源情况下,实现对网络资源

表 2 基于意图的云网融合相关研究现状

应用场景	方案	文献
基于意图的网络化云环境	提出了 SDN 和 NFV 的集成方法, 通过在云环境中部署额外的网络资源, 解决物理资源全部或很少被占用的问题	[12]
运营商在云环境中的网络管理	提出 ICSM 框架, 通过对服务请求解析器、资源组合器以及配置参数生成器, 实现运营商对云资源的自动化决策过程, 解决了云服务需求种类繁多且手动配置困难的问题	[13]
	提出 IBCS 框架, 将云用户的服务需求映射为资源需求, 同时根据性能要求和运行策略实现资源的精确管理, 并为该资源管理框架提出一种基于 SLA 的预防机制	[14]
5G 网络切片场景	提出基于 OTT 意图的网络框架, 采用意图的声明式方法, 在自动化完成网络切片任务的同时, 隐藏了底层基础设施的复杂性	[15]
多域接入、传输网和核心网的编排	提出一个基于意图的自动化平台, 可以在多个域、站点和编排器自动协调和管理网络生命周期。还使用机器学习来预测资源状态, 进行主动决策, 以自动管理切片生命周期	[16]
核心网和接入网	设计并实现了一个基于意图的网络切片系统, 可以有效地对核心网和接入网资源进行分割和管理。为用户提供高级的网络配置, 系统会相应地部署和配置所请求的资源, 实现网络配置过程的自动化	[17]
无线电接入网	构建意图驱动无线电接入网, 将 IDN 演进到 6G 无线接入网络, 详述了所构建网络的系统结构和关键技术 (如意图冲突解决、组网性能优化等)	[18]

的高效管控, 提供高质量的服务体验。中国联通则希望借助云网高度协同、集中管控和突破边界来提供更强的云网能力, 面向用户实现高质量服务体验的持续供应。尽管三大运营商在云网融合一体化发展愿景中侧重的技术点不同, 但其最终的目标是一致的, 都是以用户需求满足度为出发点, 提供高质量的服务供应能力。

“意图”一词在字典中的意思是希望达到某种目的的打算, 其本身是一个没有意义的实体, 当意图与服务供应或交付目标关联时, 意图是业务请求期望网络可达到的一种状态, 而这种期望的状态是网络管理的关键部分。随着意图驱动网络技术的兴起, 以中兴、华为为代表的企业对 IDN 应用于云网融合场景展开了相关研究。2018 年, 中兴在 SDN 智能化中引入意图驱动技术, 并将云网融合管理作为其中的一个典型应用场景, 以支持云接入、云互联等云网协同的统一管理, 实现数据中心网络内虚拟网元的动态配置和业务链自动化编排。2019 年, 中兴在云网融合未来网络架构中, 再次引入“意图”的概念, 完成云业务的统一编排, 逐步实现网络的自动化和智能化。2020 年, 中国电信提出将随愿引擎看作云网操作系统中的云网大脑, 以实现云网管

理的自运行、自适应和自优化^[2]。基于此, 华为与中国电信于 2022 年 3 月联合发布了“云网核心能力”创新成果, 完成了云网融合赋能产业数字化的商业实践, 为中国电信提供了赋能数字经济的差异化服务能力。

由此可见, 随着数字化经济的不断发展, 云网业务需求呈现多样化的发展趋势, 产业界对传统云网融合的转型赋予了极大的关注。然而, 云网融合的发展仍处于协同阶段, 云与网还是相对独立的技术形态, 实现云网融合一体化愿景仍有很长的路要走。目前, 不论是学术界还是产业界, 大家对基于意图的云网融合的关注大多聚焦在意图驱动网络的自动化、自优化特点上, 对多样化云业务按需交付、云服务统一编排的关注较少。

2 意图驱动的云网业务按需编排

云网资源一体化管控的云网操作系统作为云网融合的重点技术创新领域, 其实现过程需要数字孪生、云网协同自愈、统一编排以及意图驱动网络等关键技术的支撑, 并通过感知用户业务需求和服务质量, 实时验证和优化网络, 实现面向用户与业务服务的按需编排。



2.1 意图驱动的云网融合架构与关键技术

在未来云计算与网络的深度发展过程中,业务和应用所需的资源主要以云的形态存在,网络资源自适应业务的服务质量 (quality of service, QoS) 或 SLA 指标是至关重要的^[20]。因此,在云网融合的背景下,需要对云网异构资源进行统一的管控和编排。当前 DCI、软件定义广域网 (software-defined wide area network, SD-WAN)、IDN 等网络管理方法都是业界广泛关注的焦点。本节综合考虑云网融合的发展趋势,在意图驱动网络通用架构^[21]和欧洲电信标准组织 (European Telecommunications Standards Institute, ETSI) 提出的 NFV MANO 架构的基础上,设计了意图驱动的云网融合架构。

意图驱动的云网融合提供了一种抽象的方法,在准确获取用户 SLA 需求和网络能力、实时感知网络状态信息的协同作用下,影响网络基础设施和服务的设计、供应、部署和保障。在该架构下,解析得到的用户需求会自动转换成对云网异构资源的需求,并在网络配置参数的指导下自

动完成业务部署,以实现意图—服务优化供应、服务—资源统一编排、策略—配置实时优化。

意图驱动的云网融合架构如图 1 所示,由云业务应用层、意图使能层、服务编排层、基础设施层构成。

(1) 云业务应用层

云业务应用层是用户表达抽象、宏观的云业务意图的门户,通过北向接口为用户提供底层网络基础设施和服务,具体的表达方式有语音、文本、点选等。通常,意图发出者按其角色可以分为服务设计者、服务操作者、网络操作者和消费者 4 类;按意图的功能和目标,意图类型可分为消费者服务意图、网络服务意图、策略意图以及验证和定制化意图 4 类^[22]。在多样化云网融合需求场景中,为了更好地区分云业务意图的服务范围,依据云业务的应用场景、不同场景下云业务对云网基础设施的配置及对云网资源的需求不同,本文从普通用户到政企用户、从单人用户到多人用户的角度出发,将云业务意图分为个人娱乐、智慧家庭、数字城市和企业多云部署 4 类。

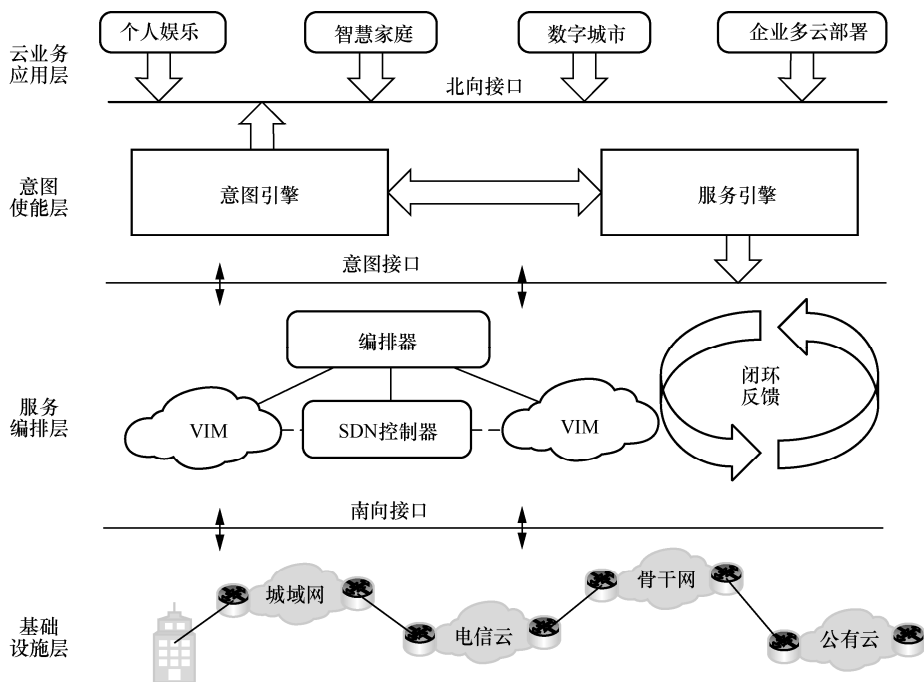


图 1 意图驱动的云网融合架构

（2）意图使能层

网络服务功能和可用云网资源的高级抽象是通过意图使能层提供的。意图使能层由意图引擎和服务引擎组成，其中，意图引擎面向云业务应用，能够充分理解用户的抽象云业务意图；服务引擎面向云服务配置，用于精细化云业务意图与云服务的关系。意图引擎对云业务意图进行解析、推理和验证，生成最符合用户需求的逻辑策略，进而服务引擎综合当前云网资源并对策略做进一步的云服务配置处理，以便更好地实现云业务—云服务供应。

（3）服务编排层

基于用户的云业务需求，服务编排层将云服务能力映射为对云网异构资源的配置需求。通常利用编排器来抽象资源状态，并以网络切片、虚拟网络功能图或服务功能链的形式为不同的业务意图部署具体的配置。一般来说，设备级的云服务编排与部署需要实现无缝衔接，因此，网络编排器成为云服务编排的最佳选择。目前，主流的网络编排器有开源 MANO（open source MANO，OSM）、移动业务（mobile cord，M-CORD）、开放网络自动化平台（open network automation platform，ONAP）等，用于指导 SDN 控制器，如开放网络操作系统（open network operating system，ONOS）（如 OpenDaylight、Ryu 等）和虚拟基础设施管理器（virtual infrastructure manager，VIM）（如 OpenStack、DevStack 等），实现网络服务的编排和部署。闭环反馈机制主要用于支撑意图使能层，实现云网融合场景下云业务意图的全生命周期保障。

（4）基础设施层

提供云业务解析和云服务部署所需的物理计算、存储和通信基础设施，通过南向接口共享云网资源信息，以便更好地为意图引擎和服务引擎提供数据支撑。作为意图驱动云网融合架构的基础部分，物理基础设施不仅涉及陆、海、空、天、地等网络，还允许接入多样化的泛在终端。

整个架构在闭环反馈机制的支撑下进一步推动了实现用户意图、云网态势双驱动的云网融合一体化愿景。从用户到策略配置再到云网基础设施，该架构充分融合了意图驱动网络技术、服务编排与云网融合技术以及 AI 等关键技术，为实现以用户为中心、简洁、开放、融合、安全、智能的云网融合一体化发展奠定重要基石。

IDN^[5]作为驱动云网融合一体化演进的关键技术之一，通过将意图转化为特定的基础设施配置，可实现一种高度自治且智能的网络。在 IDN 中，基于自然语言处理和基于 AI 的意图转译^[21]、基于规则映射^[23]和基于知识推理^[24]的策略生成、采用自动化验证^[25]或形式化验证^[26]手段的策略验证等技术作为 IDN 的关键技术，可以根据用户的云业务意图自动转换、验证、配置、优化，达到目标网络状态，以实现按需、可靠、自动化的云网运营与管理。然而，在 IDN 闭环验证方面，大量的冗余信息、相关信息、重叠信息的存在会造成不必要的时延，同时，现阶段在基础设施层尚未做到网络状态的全面、实时、精确采集，这给策略生成和验证带来了一定的挑战。

服务编排技术是在云环境中实现端到端服务的自动化部署，它依托 NFV MANO 架构，完成复杂计算机系统、中间件和服务的自动化安排、协调和管理。这对于加速 IT 服务的交付、减少成本具有重要意义。随着 6G 全场景的发展，服务编排技术除了在地面网络有一定的研究与应用，也在逐步向卫星网络场景发展^[27]。针对网络云化、云原生等领域的技术发展现状、愿景与挑战等，2020 年，中国移动、中国电信、中国联通、华为等联合发布了《电信行业云原生白皮书》，云原生产业联盟发布了《云原生发展白皮书（2020 年）》，指出在多样化、差异化的网络需求不断增长的场景下，电信运营商亟须一种高效、可扩展的网络管理解决方案，以提高业务灵活性、平台高效性和运营敏捷性。然而，实现云



网端到端能力的原子化、服务化,需要强化云网融合在网络云化等技术领域的突破工作,更加细粒度地提高网络原子能力,尽力屏蔽底层资源的异构性,以方便云网能力的服务化,提供快速适配云资源布局的网络能力,实现自动化的端到端服务编排。

AI 技术作为实现网络管控智能化的关键技术,在降低专家经验依赖度、降低网络管理开销方面起到至关重要的作用。通过对历史数据的深度学习,网络管控系统可以生成接近甚至优于专家经验的策略。在意图驱动的云网融合中, AI 技术几乎涉及云业务意图的整个生命周期,如基于用户意图的识别与转译^[21]、深度强化学习的策略自适应生成^[28]、基于强化学习的网络状态预测^[29]等环节,对实现网络管理的自动化和自优化起到关键作用。然而,基于 AI 的决策质量在很大程度上取决于样本数据,这便需要一定的人力成本对数据集进行处理,同时, AI 的广泛应用还受限于模型的大小,即现有计算能力限制了大型深度学习模型的训练,在一定程度上减缓了 AI 技术的发展。

2.2 意图驱动的云业务按需编排

作为意图驱动云网融合的关键,云业务按需编排弥补了传统云网融合背景下网络提供的 SLA 保障和差异化保障技术较差的不足,为多样化的云业务部署提供了按需、可靠的连接。

本文在意图驱动云网融合架构的基础上设计了云业务按需编排模型,如图 2 所示,关键功能由意图驱动云网融合架构的意图引擎和服务引擎完成。该模型主要由意图转译、意图验证和策略配置 3 个模块组成:意图转译作为云业务意图在其全生命周期中经历的第一个步骤,其主要作用是深度挖掘用户意图;意图验证在云业务按需编排中起关键作用,综合意图转译结果和云网异构资源,验证策略的正确性和可行性;策略配置则用于生成云服务模型,指导云服务的统一编排。

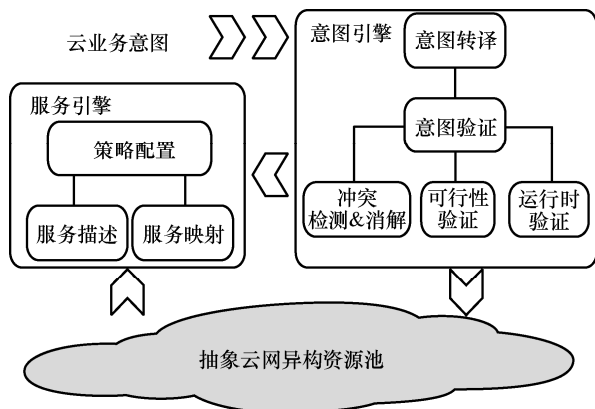


图2 云业务按需编排模型

(1) 意图转译

用户以意图的形式向意图引擎指定云业务需求,并在自然语言处理技术的支撑下,生成逻辑策略。通过将用户意图与服务目录以及服务和网络规范进行交叉引用来定义用户云业务意图的视角,意图转译在用户意图和网络逻辑策略之间建立映射,将常态化的业务意图直接转译为逻辑策略。

首先,意图转译过程采用基于双向长短期记忆一条件随机场(bi-directional long short-term memory-conditional random field, BiLSTM-CRF)的命名实体识别模型从用户近似自然语言表达的云业务意图中提取细粒度的有效字词。基于 BiLSTM-CRF 的命名实体识别模型由 3 层组成:第一层是字符表示层,负责将传达网络需求的自然语言文本中的字符映射到低维向量中,作为 BiLSTM 层的输入;第二层是 BiLSTM 层,它是一个双向的长短期记忆网络,可以根据单词或字符在上下文之间的依赖性,获得每个单词的隐藏表示;最后一层是 CRF 输出层,它以隐藏层的表示顺序为输入,输出每个字符的预测标签,并学习相应的约束规则。

然后,采用<领域><属性><对象><操作><结果>形式的意图五元组描述云业务意图。<领域>用于描述业务类型;<属性>用于描述业务特征,如网络切片、跨层跨域虚拟专用网(cross layer and cross domain virtual private network, CCVPN)等;

<对象>用于描述业务执行的目标,如源网络域、目标网络域、源节点、目标节点等;<操作>用于描述条件、约束、动作,如优先级等;<结果>用于描述期望达到的网络状态,如时延、丢包率、带宽、抖动等网络参数。

最后,网络配置参数的映射是基于预置模板的形式实现的。该过程采用基于确定性有限状态机的映射机制按序提取意图五元组中的分词,并在数据库中匹配相应的网络配置参数,完成意图转译。

(2) 意图验证

意图验证是保障用户意图在其生命周期内按需、准确执行的重要技术。它不仅要对输入的云业务意图、下发执行前的云服务配置策略进行验证,还要在云业务意图执行过程中实时检测可能发生的故障,以便及时修改云服务配置策略。因此,意图验证按策略执行前后可以分为运行前验证和运行时验证。

1) 运行前验证:为了保证网络的持续运行,意图转译得到的网络策略不能直接下发执行,必须在策略下发前验证策略的正确性。意图验证的主要内容是一致性检验,分为以下两方面。

- 冲突检测与消解:检测多个云业务意图在部署过程中是否存在争用同一网络资源的冲突情况,以及检测按需执行的网络操作是否存在二义性,最大限度地提高配置参数的有效性。冲突检测的结果要实时反馈给用户,同时,系统根据业务优先级、网络资源使用情况生成相应的冲突解决方案并反馈给用户,以使用户调整其云业务意图。
- 可行性验证:验证生成的逻辑策略是否可以在当前网络环境中执行,并反馈验证结果。可行性验证可在基于数字孪生的仿真平台上进行。数字孪生网络通过实时收集网络中设备的配置信息、网络的拓扑和链路状态等信息建立的虚拟网络仿真平台,是网络基础设施的镜像。

2) 运行时验证:云服务会因硬件或软件故障而出现中断甚至数据丢失的情况,一旦发生故障,网络状态就会随之动态变化,因此当策略下发执行以后,需要实时监控网络状态变化。借助多样化的状态信息感知、采集方法,从云网异构资源中获取云业务、云网异构资源等层面的服务质量、网络质量等配置参数信息,并通过闭环反馈机制驱动策略动态更新,实现故障实时发现、网络及时自愈。为了保证数据采集和处理的实时性与高效性,可利用网络监控工具、SDN 控制器等手段对所需的网络状态信息进行实时采集计算。

(3) 策略配置

服务引擎将经过意图验证的正确、可行的策略以网络服务描述符(network service description, NSD)的形式生成一个服务模型,指导服务编排层的各组件执行相应的服务编排操作。简单来说,策略配置的任务就是将逻辑策略转换成底层网络编排器可识别的语言,基于意图的抽象服务请求则使用 NFV、VIM 和 MANO 执行用户云业务意图对应的服务功能链。

3 用例分析

3.1 意图驱动的混合云互联

作为云网融合三大典型应用场景之一,混合云是云计算演进到一定程度后才出现的一种形态,通过综合利用公有云和私有云以及本地数据中心等多种部署模型的技术特点,在实现数据迁移、数据通信等需求的同时,提高用户资源利用率。本文以混合云互联为例,对意图驱动的云业务按需编排的具体实现流程加以说明。

意图驱动混合云互联业务按需编排实现流程如图 3 所示。

首先,用户在意图门户中以文本的形式输入其对混合云业务的需求,并以超文本传送协议(hypertext transfer protocol, HTTP)请求的形式发送给后端,如“从西安的本地数据中心到西安的阿

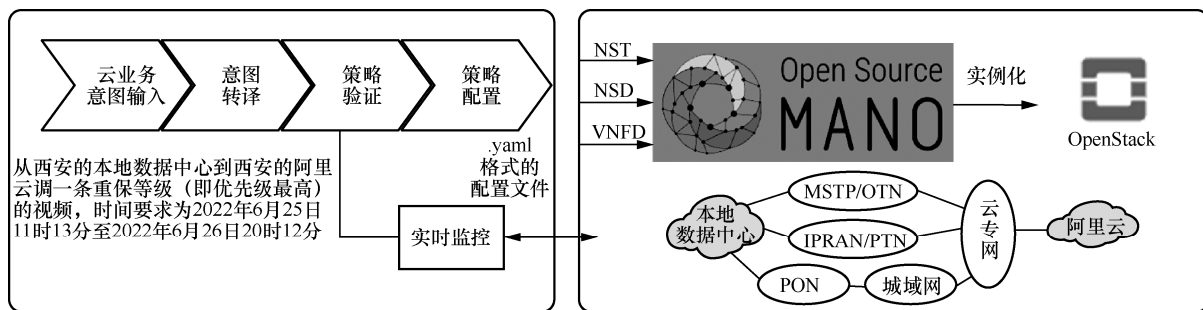


图3 意图驱动混合云互联业务按需编排实现流程

里云调一条重保等级（即优先级最高）的视频，时间要求为2022年6月25日11时13分至2022年6月26日20时12分”。

后端的意图引擎收到用户云业务需求后，意图转译模块采用基于BiLSTM-CRF的命名实体识别模型提取意图实体，并以JSON（JavaScript object notation）格式输出对应的元组信息。本地数据中心和阿里云资源池的因特网协议（Internet protocol, IP）地址、端口号，以及QoS指标、优先级、业务类型、服务类型等业务实现所需的配置参数是通过基于模板形式的映射实现的。具体地，对元组信息进行分解后，通过查找预定义映射规则实现参数匹配优化。例如，QoS指标和优先级由业务类型和业务的重要程度确定。可以得到的部分参数为：业务类型为视频传输；本地数据中心和阿里云资源池的IP地址分别为192.168.1.159、192.168.1.161；业务属性为网络切片；QoS需求为传输速率不小于20 Mbit/s、抖动值不大于1 ms，优先级为3，服务协议类型为用户数据报协议（user datagram protocol, UDP）。其中，优先级按重要程度分为1、2、3这3个等级，重要程度越高，优先级数值越高。

策略验证模块综合依托ONOS控制器，实时监控网络状态信息。首先判断端口号是否被占用，若被占用则重新生成可用的端口号；若没有被占用，则将该策略发送给策略配置模块。

策略配置模块根据数据库中存储的业务类型

—NSD映射关系，对不同的NSD组合生成服务编排所需的网络切片模板（network slice template, NST），并以.yaml格式发送给OSM编排器。

OSM编排器收到NST文件后指导OpenStack实例化云资源池，实现云业务的统一编排。在链路保持过程中，SDN控制器根据网络状态信息实时生成满足QoS约束的路径，若发现链路中断，立即切换至备用链路，保障云间数据的持续传输需求。

在OpenStack中得到的网络拓扑如图4（a）所示，其中路由器是预先在OpenStack中手动添加生成的，以实现OpenStack与Internet的连接。由云资源池1向云资源池2发送大小为20 MB的数据，并采用iperf网络测量工具测量云资源池之间的网络带宽和抖动，结果分别如图4（b）、图4（c）所示。由图4可以看出，网络可以提供大于20 Mbit/s的带宽供视频数据传输，以支撑数据传输业务，同时抖动小于0.8 ms，满足云业务抖动小于1 ms的QoS需求。由此可以看出，意图驱动的云业务按需编排模型是有效的。

3.2 意图驱动的工业互联网用例分析

云网融合作为云计算和网络深度融合的产物，简单的云网互联已经无法满足千行百业的云业务需求。在垂直行业中，云网融合除了在教育、医疗、能源等行业得到应用，在工业互联网的应用更为典型。

以工业互联网智能运维为例，用户通过云业

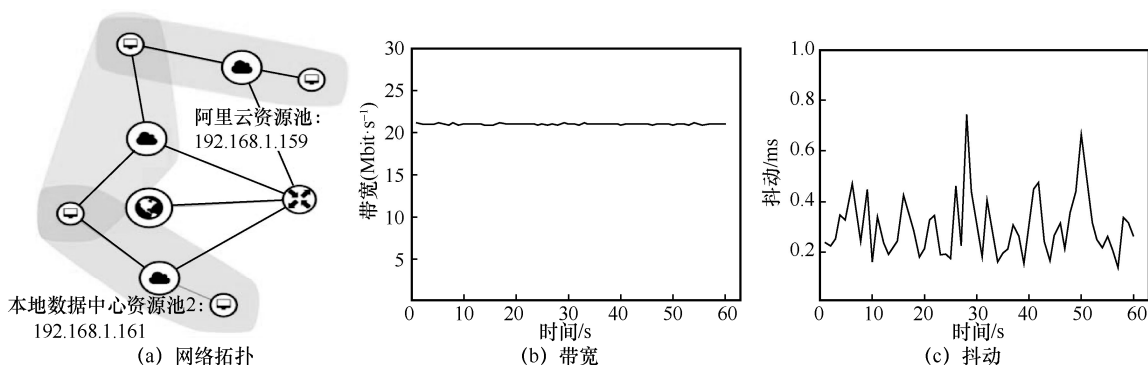


图4 仿真结果

务意图门户输入其运维意图：维持质量监测系统的稳定运行。意图引擎通过综合分析专业知识以及既定的参数标准，得出维持系统稳定运行所需的各设备的参数阈值。通过结合实时运行监测的数据，实现对设备状态的全方位展示以及辅助决策管理，准确判断设备当前运行状态，当设备运行状态不能达到满意度指标时，触发状态维修流程，系统根据设备状态提出设备维护方案，向各单位部门推送相应的维检修业务。最后，通过收集工单填报的故障原因和维修办法，总结形成故障维修信息，并将其作为专业知识存储在数据库中，实现知识共享。

3.3 未来展望

知识推理作为知识图谱研究中的热点方向，已经在语义搜索、智能问答等领域取得了一定成果。在意图驱动的云业务按需编排过程中，同样可以采用基于知识图谱推理的意图转译方法推理业务与策略的映射关系。在执行意图转译推理任务前，同样采用基于 BiLSTM-CRF 的命名实体识别模型提取云业务意图的关键有效信息，并以五元组的形式进行描述。采用基于描述逻辑和规则的推理、基于分布式表示的推理或基于神经网络的推理^[30]实现云网知识推理。然而，目前与云网融合场景相关的数据集尚未成型，知识推理面临知识图谱不完整、知识图谱质量难以保证、应用场景复杂等挑战。因此，提高知识推理的可靠性需要融合多类型信息（如语义信息、结构信

息等）和多种方法（如神经网络和规则等）进行推理。综合考虑上述挑战，笔者计划在后续工作中进一步研究基于语义的知识推理，以多样化意图用例的转译过程，增强意图驱动的云业务按需编排能力。

4 结束语

云网融合的最终目的是屏蔽底层资源的复杂性，实现“以用户的良好体验为中心”的愿景。就目前而言，云和网的简单互联无法满足面向多样化业务场景的服务按需供应、网络自动化和智能化需求，而意图驱动的云网业务按需编排模型综合利用意图驱动网络服务可定制、自动化和自优化的优势，推动云网融合一体化的发展。

参考文献：

- [1] 郭健. 基于SDN架构的云网融合技术研究与实践[J]. 电信工程技术与标准化, 2022, 35(3): 27-32.
GUO J. Research and practice of cloud network integration technology based on SDN architecture[J]. Telecom Engineering Technics and Standardization, 2022, 35(3): 27-32.
- [2] 中国电信集团公司. 云网融合 2030 技术白皮书[R]. 2020.
China Telecom Corporation. China Telecom cloud network convergence 2030 technical white paper[R]. 2020.
- [3] ZHOU Y Q, LIU L, WANG L, et al. Service-aware 6G: an intelligent and open network based on the convergence of communication, computing and caching[J]. Digital Communications and Networks, 2020, 6(3): 253-260.
- [4] ZHOU Y Q, TIAN L, LIU L, et al. Fog computing enabled



- future mobile communication networks: a convergence of communication and computing[J]. IEEE Communications Magazine, 2019, 57(5): 20-27.
- [5] PANG L, YANG C G, CHEN D Y, et al. A survey on intent-driven networks[J]. IEEE Access, 2020(8): 22862-22873.
- [6] CHU Y H, CHEN Y T, CHOU Y C, et al. A simplified cloud computing network architecture using future internet technologies[C]//Proceedings of 2011 13th Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium. Piscataway: IEEE Press, 2011: 1-4.
- [7] KIM Y, KANG S, CHO C, et al. SDN-based orchestration for interworking cloud and transport networks[C]//Proceedings of 2016 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC). Piscataway: IEEE Press, 2016: 303-307.
- [8] BANIKAZEMI M, OLSHEFSKI D, SHAIKH A, et al. Meridian: an SDN platform for cloud network services[J]. IEEE Communications Magazine, 2013, 51(2): 120-127.
- [9] JIN Y C, WEN Y G. When cloud media meet network function virtualization: challenges and applications[J]. IEEE MultiMedia, 2017, 24(3): 72-82.
- [10] 张鑫. 基于随愿网络的运营商云网融合业务的研究与实现[J]. 电信科学, 2021, 37(8): 136-141.
- ZHANG X. Research and implementation of the IBN for cloud-network convergence service of operators[J]. Telecommunications Science, 2021, 37(8): 136-141.
- [11] 张鑫. 面向下一代互联网的随愿网络研究与实现[J]. 电信科学, 2019, 35(12): 43-48.
- ZHANG X. Research and application of the IBN for the next generation Internet[J]. Telecommunications Science, 2019, 35(12): 43-48.
- [12] BESHLEY M, PRYSLUPSKIY A, PANCHENKO O, et al. SDN/cloud solutions for intent-based networking[C]//Proceedings of 2019 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies (AICT). Piscataway: IEEE Press, 2019: 22-25.
- [13] CHAO W, HORIUCHI S. Intent-based cloud service management[C]//Proceedings of 2018 21st Conference on Innovation in Clouds, Internet and Networks and Workshops (ICIN). Piscataway: IEEE Press, 2018: 1-5.
- [14] WU C, HORIUCHI S, TAYAMA K. A resource design framework to realize intent-based cloud management[C]//Proceedings of 2019 IEEE International Conference on Cloud Computing Technology and Science (CloudCom). Piscataway: IEEE Press, 2019: 37-44.
- [15] AKLAMAMU F, RANDRIAMASY S, RENAULT E, et al. Intent-based real-time 5G cloud service provisioning[C]//Proceedings of 2018 IEEE Globecom Workshops. Piscataway: IEEE Press, 2018: 1-6.
- [16] KHAN T A, ABBASS K, RAFIQUE A, et al. Generic intent-based networking platform for E2E network slice orchestration & lifecycle management[C]//Proceedings of 2020 21st Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium (APNOMS). Piscataway: IEEE Press, 2020: 49-54.
- [17] ABBAS K, AFAQ M, AHMED K T, et al. Slicing the core network and radio access network domains through intent-based networking for 5G networks[J]. Electronics, 2020, 9(10): 1710.
- [18] 周洋程, 闫实, 彭木根. 意图驱动的 6G 无线接入网络[J]. 物联网学报, 2020, 4(1): 72-79.
- ZHOU Y C, YAN S, PENG M G. Intent-driven 6G radio access network[J]. Chinese Journal on Internet of Things, 2020, 4(1): 72-79.
- [19] 毕以峰. 电信云网络架构及对云网融合的要求[J]. 信息通信技术, 2019, 13(2): 26-31.
- BI Y F. Telecom cloud network architecture and the requirements for cloud network integration[J]. Information and Communications Technologies, 2019, 13(2): 26-31.
- [20] 史凡. 云网络: 云网融合的新型网络发展趋势[J]. 中兴通讯技术, 2022, 28(1): 8-10.
- SHI F. Cloud network: new network development trend of cloud network convergence[J]. ZTE Technology Journal, 2022, 28(1): 8-10.
- [21] 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.
- [22] MEHMOOD K, KRALEVSKA K, PALMA D. Intent-driven autonomous network and service management in future networks: a structured literature review[J]. arXiv preprint, 2021, arXiv: 2108.04560.
- [23] ABHASHKUMAR A, KANG J M, BANERJEE S, et al. Supporting diverse dynamic intent-based policies using janus[C]//Proceedings of the 13th International Conference on Emerging Networking Experiments and Technologies. New York: ACM Press, 2017: 296-309.
- [24] MAHTOUT H, KIRAN M, MERCIAN A, et al. Using machine learning for intent-based provisioning in high-speed science networks[C]//Proceedings of the 3rd International Workshop on Systems and Network Telemetry and Analytics. New York: ACM Press, 2020: 27-30.
- [25] LI Y H, YIN X, WANG Z L, et al. A survey on network verification and testing with formal methods: approaches and challenges[J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2018,

- 21(1): 940-969.
- [26] SOURI A, NOROUZI M. A state-of-the-art survey on formal verification of the Internet of things applications[J]. Journal of Service Science Research, 2019, 11(1): 47-67.
- [27] KHALILI H, KHODASHENAS P S, FERNANDEZET C, al. Benefits and challenges of software defined satellite-5G communication[C]//Proceedings of 2019 15th Annual Conference on Wireless on-Demand Network Systems and Services (WONS). Piscataway: IEEE Press, 2019: 1-4.
- [28] BECKETT R, GUPTA A, MAHAJAN R, et al. A general approach to network configuration verification[C]//Proceedings of the Conference of the ACM Special Interest Group on Data Communication. New York: ACM Press, 2017: 155-168.
- [29] DENG J, ZHENG Q B, LIU G Y, et al. A digital twin approach for self-optimization of mobile networks[C]//Proceedings of 2021 IEEE Wireless Communications and Networking Conference Workshops. Piscataway: IEEE Press, 2021: 1-6.
- [30] 马瑞新, 李泽阳, 陈志奎, 等. 知识图谱推理研究综述[J]. 计算机科学, 2022, 49(S1): 74-85.
- MA R X, LI Z Y, CHEN Z K, et al. Review of reasoning on knowledge graph[J]. Computer Science, 2022, 49(S1): 74-85.

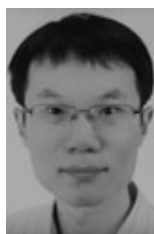
[作者简介]



张露露 (1997-), 女, 西安电子科技大学硕士生, 主要研究方向为意图驱动网络、卫星网络管理。



杨春刚 (1982-), 男, 博士, 西安电子科技大学教授, 电气电子工程师学会 (IEEE) 高级会员, 中国通信学会高级会员, 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。



王栋 (1991-), 男, 博士, 中国电信股份有限公司研究院工程师, LFN ONAP TSC 成员, 主要研究方向为面向 6G 网络架构的随意图网络、新一代云网运营系统。



欧阳颖 (1995-), 女, 西安电子科技大学博士生, 主要研究方向为意图驱动网络、空地一体化网络。



李彤 (1999-), 女, 西安电子科技大学博士生, 主要研究方向为意图驱动网络、无线自组织网络通信。



郭俊杰 (1997-), 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安全及路由协议。



董茹 (1998-), 女, 西安电子科技大学硕士生, 主要研究方向为意图驱动 6G 网络管理架构及服务编排。