



专题：网络智能化与生成式人工智能

意图驱动端到端网络切片编排与控制

赵晓雪¹, 薛富国², 张露露¹, 欧阳颖¹, 杨春刚¹

(1. 西安电子科技大学, 陕西 西安 710071;
2. 中国移动通信集团陕西有限公司, 陕西 西安 710077)

摘要: 6G 系统将实现面向千行百业的多样化和定制化的按需网络服务。端到端网络切片可为用户提供按需灵活的服务保障。然而, 现有的基于网络切片的网络服务编排与控制技术存在人工参与度高、配置复杂度高及运维成本高等问题。因此, 需要一种解决方案应对这些挑战。意图驱动网络具有灵活可重构和自适应策略优化等特性, 可提升用户端到端的服务体验。提出了意图驱动端到端网络切片编排与控制系统架构, 该系统由业务应用层、意图使能层和基础设施层构成; 在此基础上, 设计了意图解析模块、编排与控制模块; 并从用户满意度和系统智能性等角度构建效用评估模型, 通过仿真评估系统效用。

关键词: 意图驱动网络; 端到端网络切片; 编排与控制; 效用评估

中图分类号: TP393

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2023176

Intent-driven end-to-end network slicing orchestration and control

ZHAO Xiaoxue¹, XUE Fuguo², ZHANG Lulu¹, OUYANG Ying¹, YANG Chungang¹

1. Xidian University, Xi'an 710071, China
2. China Mobile Group Shaanxi Co., Ltd., Xi'an 710077, China

Abstract: The 6G system will realize diversified and customized on-demand network services for thousands of industries. End-to-end network slicing can provide users with on-demand and flexible service guarantees. However, the existing network service orchestration and control based on network slicing has problems such as high manual participation, high configuration complexity, and high operation and maintenance cost. Therefore, a solution is urgently needed to meet these challenges. Intent-driven network has the characteristics of flexible reconfiguration and adaptive policy optimization, which can improve the user's end-to-end service experience. An intent-driven end-to-end network slicing orchestration and control system architecture was proposed, which consisted of business application layer, intent-enabled layer and infrastructure layer. On this basis, the intent parsing module, orchestration and control module were designed. Furthermore, a utility evaluation model was constructed from the perspectives of user satisfaction and system intelligence, and system utility was evaluated through simulation.

Key words: intent-driven network, end-to-end network slicing, orchestration and control, utility evaluation

专题策划人: 张同须

收稿日期: 2023-07-31; 修回日期: 2023-09-02

基金项目: 国家重点研发计划项目 (No.2020YFB1807702)

Foundation Item: The National Key Research and Development Program of China (No.2020YFB1807702)



0 引言

随着移动通信技术的迅速发展,6G 将为各种垂直行业提供广泛的创新服务,并显著提高网络性能。然而,当前的 5G 移动通信网络在多业务需求处理、用户服务质量 (quality of service, QoS) 满足等方面的服务效率并不高^[1]。为此,网络切片 (network slicing, NS) 技术的虚拟化和可编程特性将成为确保按需服务最佳和最具成本效益的解决方案之一。

网络切片技术借助网络功能虚拟化 (network function virtualization, NFV) 技术和软件定义网络 (software defined network, SDN) 技术,整合网络、存储和计算资源,创建可编排、可控制的虚拟网络^[2]。其中,网络切片中的每个虚拟网络通过无线电接入网 (radio access network, RAN) 和核心网 (core network, CN) 提供完整的端到端功能。因此,设计一个端到端网络切片编排与控制架构具有重要意义,通过有效地编排虚拟网络功能 (virtual network function, VNF),满足定制化的服务需求,显著降低运营支出和资本支出^[3]。

6G 系统将实现面向千行百业的多样化和定制化的按需网络服务与不断增长的智慧网络服务需求,网络智能化已成为通信网络发展的必然趋势。端到端网络切片在为用户提供按需灵活服务保障的同时,基于网络切片的网络服务编排与控制存在人工参与度高、配置复杂度高及运维成本高等问题。具有灵活可重构和自适应策略优化等特性的意图驱动网络 (intent-driven network, IDN),可提升用户端到端的服务体验^[4]。此外, IDN 可以根据不同的应用场景和业务需求灵活地配置和部署网络,通过实时监测用户需求和网络状态,自适应分析并预测网络性能指标,实现网络资源统一调度,提高网络性能和用户体验^[5]。在端到端网络切片编排与控制系统中引入 IDN 技术,可以提升系统智能性,进一步为用户提供个

性化的网络服务能力。

本文的主要贡献为:首先,梳理了意图驱动网络编排的相关研究现状,明晰了意图驱动端到端网络切片编排与控制优势;然后,提出了意图驱动端到端网络切片编排与控制系统架构,该系统由业务应用层、意图使能层和基础设施层构成;其次,设计并分析了意图解析模块、编排与控制模块的关键技术;最后,从用户满意度和系统智能性两个角度出发构建效用评估模型,通过仿真对系统能力进行了效用评估。

1 意图驱动网络编排相关研究现状

2015 年,开放网络基金会提出了“网络意图”的概念^[6]。2017 年, Gartner 正式定义了意图网络^[7]。IDN 作为一种新型的网络管理体系,具有自动化网络参数配置、状态监控及安全故障排除等能力,旨在实现网络的自我调节、自我保护和自我修复,并提供高可靠性、高性能和高安全性的网络服务^[8]。通过人工智能 (artificial intelligence, AI) 和机器学习 (machine learning, ML) 技术, IDN 可以将用户的业务需求转译为网络配置和策略,自动收集和分析网络数据,并根据业务需求进行动态调整和优化,从而实现自动化的网络管理,有效提升网络的可靠性和安全性^[9]。另外,基于 IDN 的网络管理体系,用户可以通过表达他们的业务需求,而不需要深入了解网络的底层运作和技术细节,来控制和管理网络。在满足用户需求、提高网络管理效率、减少网络管理开销、增强网络的可靠性和安全性、适应复杂环境等方面, IDN 具有显著的优势。

文献[10]提出了一种基于意图的端到端网络切片架构,结合深度学习能够有效地预测网络资源状态,实现网络配置和网络管控自动执行。文献[11]提出了一个网络服务编排意图管理系统,用户服务意图可以被转换为编排器可识别的配置文件,之后下发到底层中,实现了网络服务编排。

文献[12]提出了一个跨多个技术领域的端到端网络管理和编排架构以及基于意图的北向接口(northbound interface, NBI), 该架构受到欧洲电信标准组织(European Telecommunications Standards Institute, ETSI)提出的管理和编排(management and orchestration, MANO)框架的启发。文献[13]提出了一个灵活通用的意图定义和端到端意图驱动网络系统体系结构, 并对意图驱动网络管控系统的核心方面以及相关的意图建模进行了全面的讨论, 以支持它们的标准化。意图驱动网络编排相关研究现状见表 1。

作为 SDN 架构的演进, IDN 既具有 SDN 架构的数控分离特点, 又具有基于 NFV 技术实现资源按需、统一调度的能力^[14]。更重要的是, IDN 面向用户, 且贴合 6G 网络发展愿景。然而, IDN 在网络编排与控制的应用中尚且不足。面对网络环境的复杂性和可变性以及用户个性化需求, 现有的意图驱动网络编排与控制仍然存在一些关键问题, 系统的智能性程度以及对用户意图的响应能力不够完善, 最终影响用户的服务体验。因此, 本文从用户服务体验出发, 在端到端网络切片编排与控制中引入 IDN 技术, 在增强服务质量供应能力的同时提高系统智能性。

2 意图驱动端到端网络切片编排与控制系统

本节先介绍所设计的意图驱动端到端网络切片编排与控制系统架构, 该架构综合考虑了意图驱动网

络通用架构和 ETSI 提出的 NFV MANO 架构, 然后对该系统所涉及的关键技术进行了分析, 并从用户满意度和系统智能性角度出发构建效用评估模型。

2.1 系统架构

意图驱动端到端网络切片编排与控制主要利用 IDN 技术, 结合端到端网络切片的特殊性, 构建一个可行的网络编排与控制方案, 以优化网络性能。意图驱动端到端网络切片编排与控制系统架构如图 1 所示, 由业务应用层、意图使能层及基础设施层构成。在 IDN 架构基础上, 实现业务流与控制流解耦、控制面与数据面分离, 在逻辑上将网络控制功能集中到同一平面进行统一管理, 从而提高网络编排与控制的自动化能力。

(1) 业务应用层

业务应用层主要负责与用户进行交互。允许用户以各种方式按需声明意图, 用户可以使用模板、命令行等方式创建用户意图。该层作为整个框架的门户, 为用户提供了一种灵活且可操作性强的意图输入方式。同时, IDN 技术对网络底层实现了细节封装, 最大限度地降低了用户对专业知识的依赖度。

(2) 意图使能层

意图使能层主要负责从用户请求和需求中提取出用户的意图, 并将其转化为网络底层资源的请求, 按需创建网络切片。该层由意图解析模块和编排与控制模块构成, 其中, 意图解析模块对用户的意图进行解析, 提取关键信息并挖掘不同类型业务的网络特征参数, 同时确保网络正确理

表 1 意图驱动网络编排相关研究现状

文献	应用场景	研究内容
[10]	网络切片编排	提出了一种基于意图的端到端网络切片架构, 结合深度学习能够有效地预测网络资源状态, 实现网络配置和网络管控自动执行
[11]	网络服务编排	提出了一个网络服务编排意图管理系统, 用户服务意图可以被转换为编排器可识别的配置文件, 之后下发到底层中, 实现了网络服务编排
[12]	多域 SDN/NFV 管理和编排	提出了一个跨多个技术领域的端到端网络管理和编排架构以及基于意图的 NBI, 该架构受到 ETSI 提出的 MANO 框架的启发
[13]	端到端 IDN 编排	提出了一个灵活通用的意图定义和端到端意图驱动网络系统体系结构, 并对意图驱动网络管控系统的核心方面以及相关的意图建模进行了全面的讨论, 以支持它们的标准化

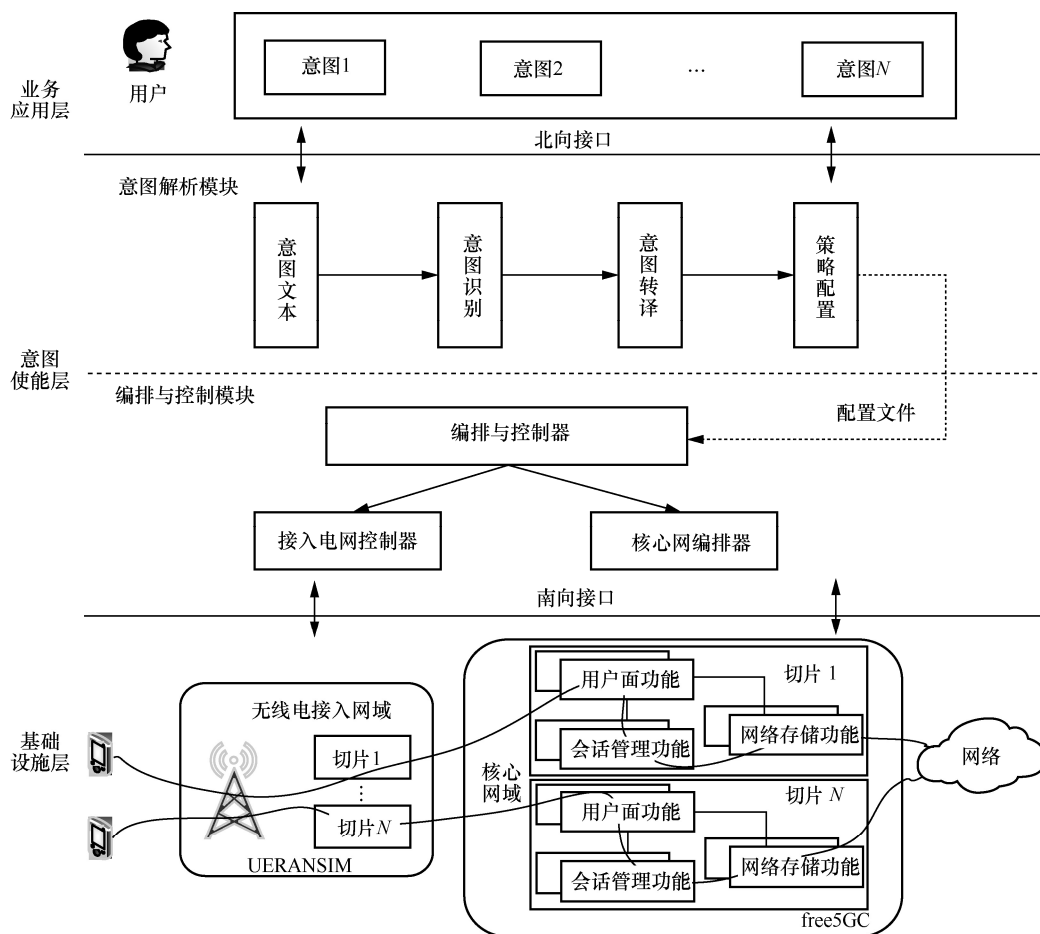


图1 意图驱动端到端网络切片编排与控制系统架构

解用户意图，生成具有网络切片信息的策略配置文件，并进行下发。编排与控制模块主要负责对虚拟网络进行管控，与 VNF 管理者和权限管理器进行交互，驱动 VNF 进行实例化，监控 VNF 状态，重新调配不满足预期状态的 VNF 实例。

(3) 基础设施层

基础设施层主要负责利用虚拟化技术，将涉及的端到端各个功能模块进行虚拟化。使用 UERANSIM 实现 RAN 的功能，配置和模拟多个用户和基站之间的通信场景^[15]；使用 free5GC 实现 CN 的功能^[16]，包含用户面功能（user plane function，UPF）、会话管理功能（session management function，SMF）、网络存储功能（network repository function，NRF）等，UPF 负责路由转发、策略实施等；SMF 负责基于用

户或者会话的粒度选择 UPF；NRF 负责维护可用网络功能实例、支持网络功能配置文件等。从用户端接入，经过 UPF、SMF、NRF 等功能模块连接到网络，构成了一个端到端的网络切片。网络切片通过将这些 VNF 按照一定的排序组合，可以实现一个具有特定功能的网络服务。

2.2 关键技术

本节主要分析意图使能层中意图解析模块和编排与控制模块所涉及的关键技术。意图解析模块通过意图识别、意图转译、策略配置来实现，编排与控制模块则包含用于 CN 切片的开源 MANO（open source MANO，OSM）编排器和用于 RAN 切片的 FlexRAN 控制器。

2.2.1 意图解析

意图解析功能的实现可分为两个阶段，第一

阶段采用命名实体识别模型对用户的文本意图进行词性、语法分析,提取上下文信息的关联关系及句子内部的依存关系和关键信息,识别用户意图图中的业务类型、场景类型、用户类型等特征信息;第二阶段通过意图库映射等过程,完成意图解析,输出规范的意图元组,策略配置将该信息转换为切片模板的形式,形成网络编排器可接受的配置文件格式并下发。

(1) 意图识别

意图识别使用基于双向长短期记忆(bi-directional long short-term memory, BiLSTM)-条件随机场(conditional random field, CRF)的网络结构,从文本信息中提取特征,实现上下文信息的关联。BiLSTM-CRF 算法模型主要有3层:输入层、BiLSTM层和CRF层。输入层采用字向量的形式完成文本数据的输入表示,BiLSTM层根据字符之间的依赖性获得每个字符的隐藏表示,在字向量序列经过BiLSTM层处理后,分别通过前向LSTM和后向LSTM得到字向量的前向和后向隐藏层序列,然后将它们按位置进行拼接,从而形成最终的隐藏层序列,进一步符合识别任务中密切贴合前后文的要求。

(2) 意图转译

意图转译在用户意图和网络服务之间建立映射关系,通过利用自然语言处理、AI辅助分析等技术,基于<领域><属性><对象><操作><结果>形式的意图五元组及形态学规则,将意图识别结果转换为规范化的意图元组并输出。

(3) 策略配置

策略配置的任务是将逻辑策略转换成底层网络编排器可识别的配置文件。提取意图转译输出结果中的参数信息,配置网络切片策略,包括定义切片的要求,如时延、带宽、安全性等方面的需求。并将配置文件下发,指导编排与控制层的各组件执行相应的VNF编排操作。

2.2.2 编排与控制

编排与控制模块负责完成用户意图与网络切片间的业务映射,根据策略配置文件中的切片信息生成相应的描述,驱动VNF进行实例化,对正在运行的VNF进行监控和维护。编排与控制功能实现平台有多种选择,一些开源的网络编排和控制使网络运营商能够对CN和RAN的网络资源进行切片。

(1) 用于CN切片的OSM编排器

ETSI提供了一个基于NFV规范开发的开源编排器,称为OSM编排器,OSM编排器旨在提供端到端网络编排,定制化CN网络切片并自动部署网络服务^[17]。OSM编排器提供了VNF的生命周期管理功能,有效地组织NFV基础设施资源,并允许它们映射到不同的VNF。因此,错综复杂的网络服务可以通过VNF的相互连接实现。OSM编排器的功能结构如图2所示。

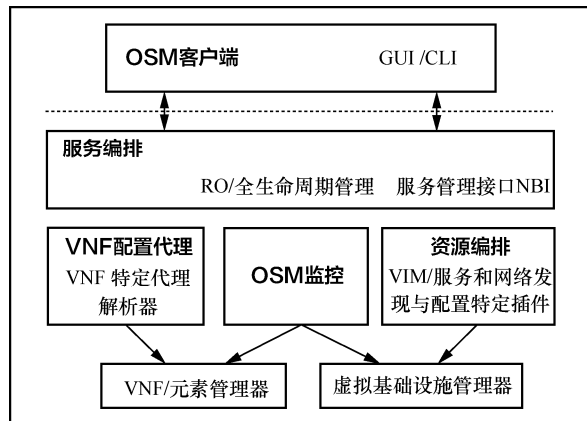


图2 OSM编排器的功能结构

OSM编排器由多个核心组件组成:服务编排(service orchestration, SO)、资源编排(resource orchestration, RO)、VNF配置代理(VNF configuration agent, VCA)及OSM监控(monitring)。其中,SO负责提供端到端的一致性,每个网络切片都需要按照其定义的要求进行资源配置和服务编排,确保网络切片内的各个服务和资源能够协同工作;RO负责处理云计算和物理资源,根据不



同切片的需求,对物理和虚拟资源进行合理分配;VCA 负责处理与 VNF 及应用程序的交互,根据切片的需求进行 VNF 配置和管理;监控组件负责监视应用程序,确保切片的正常运行并满足性能要求^[18]。除此之外,OSM 编排器将图形用户界面(graphical user interface, GUI)、命令行界面(command line interface, CLI)和应用程序接口(application program interface, API)作为服务提供,以便在客户端使用所有支持功能。

OSM 编排器采用虚拟网络功能描述符(virtual network function descriptor, VNFD)、网络服务描述符(network service descriptor, NSD)及网络切片模板(network slice template, NST)描述一个网络切片的文件^[19]。首先, VNFD 描述创建一个 VNF 所需的资源(CPU、内存和存储)和通过 OpenStack 指定所需的镜像;其次, NSD 描述创建具体的服务实例所需的 VNF;最后, NST 确定如何连接这些服务实例,以创建端到端网络切片。OSM 能够与 OpenStack 进行交互, OpenStack 根据 OSM 的编排需求,动态分配管理计算和存储资源并配置网络连接,确保网络资源的运行和交付。

(2) 用于 RAN 切片的 FlexRAN 控制器

MOSAIC 社区提供了使用 FlexRAN 控制器对 RAN 资源进行切片的解决方案^[20]。FlexRAN 允许在控制器内开发用于执行自动部署控制功能的应用程序,提供可编程性的支持。同时可以控制多个分布式基站及其相互之间的协调。FlexRAN 控制器的功能结构如图 3 所示。

FlexRAN 包括 FlexRAN 控制平面组件和 FlexRAN 代理组件,其中, FlexRAN 控制平面由 FlexRAN 主控制器组成,该主控制器进一步连接到 FlexRAN 代理, FlexRAN 代理 API 用于数据平面与控制平面分离。在上层,监控应用程序通过 NBI 与主控制器通信,检查 FlexRAN 控制平面中基站的统计信息和监控日志,修改接入网资源^[21]。

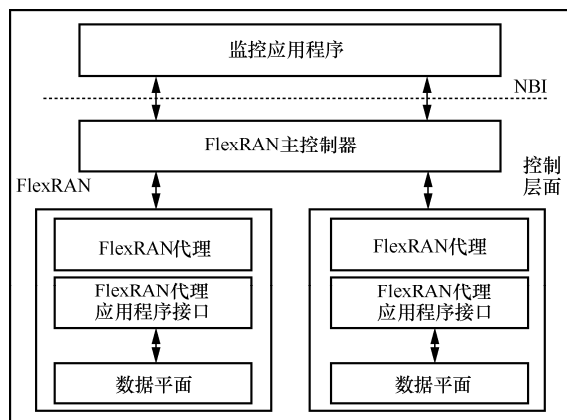


图 3 FlexRAN 控制器的功能结构

在所设计的意图驱动端到端网络切片编排与控制系统中,OSM 编排器接收意图解析模块生成的 JS 对象简谱(JavaScript object notation, JSON)格式的配置文件,根据配置文件包含的源节点、目的节点、连接点及所需的 VNF 类型等配置信息创建 CN 切片。同样, FlexRAN 控制器接收包含基站数目、切片个数、资源分配等信息的 JSON 格式的配置文件,进一步在基站上部署配置以创建切片。因此,该系统可以实现 CN 和 RAN 的端到端切片机制。

2.3 效用评估模型

效用评估模型解决了如何评估管控效果的问题,为网络建模提供了数据支持和改进方向。然而,现有评估往往突出某一方面的卓越性,而忽略其他因素,导致评估失衡,不能准确描述系统整体的效果。因此,为了评估所提出的意图驱动端到端网络切片编排与控制系统的性能,从用户满意度和系统智能性两个角度出发,构建效用评估模型。

(1) 用户满意度

用户满意度定义为系统响应策略所消耗的时间,用于描述用户意图下发到策略执行过程中所消耗的总时间。消耗的时间越小,表示系统的灵敏度越高,响应速度越快,即用户意图满意度越高。系统响应策略所消耗的时间包括意图解析时延、策略生成所消耗的时间及虚拟网络基础设施对策略的响应时延,即:

$$T = T_1 + T_2 + T_3 \quad (1)$$

其中, T 表示系统响应策略所消耗的时间, T_1 表示意图解析时延, T_2 表示策略生成所消耗的时间, T_3 表示虚拟网络基础设施对策略的响应时延。

(2) 系统智能性

系统智能性用于描述意图驱动端到端网络切片编排与控制系统的自动化和智能化程度, 从智能化的通用实现过程中抽象出广泛适用的 5 个分级维度: 需求映射、数据采集、分析、决策和执行, 用于对系统智能性进行分级^[22], 系统智能性评价维度如图 4 所示。

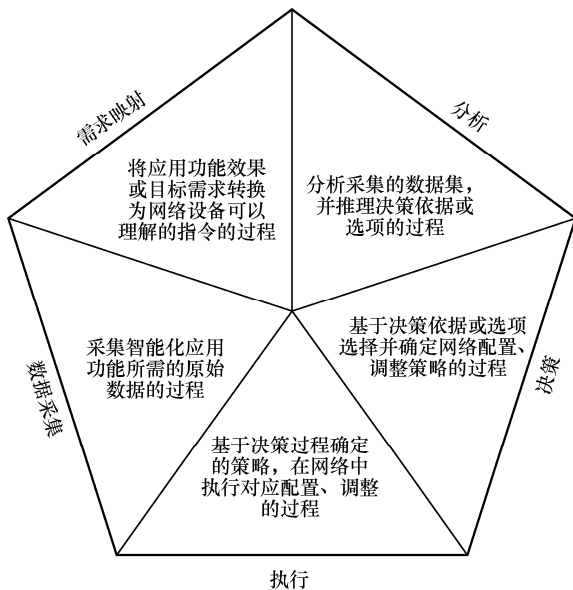


图 4 系统智能性评价维度

从智能化网络系统和网络管理人员在每个维度的参与程度考虑, 具体的系统智能性分级标准见表 2。

根据上述分级标准, 从 L0~L4 来看, 随着级别的提升, 网络管理系统从完全依赖人工操作逐渐实现了自动化和智能化。在 L4, 系统已经能够形成完整的智能化闭环, 减少人工干预, 提高效率和精确性。同时, 可以看出智能化等级的划分主要依据各维度的自动化程度及应用场景范围, 且有:

$$\text{Level} = \text{Auto} \times \text{Sce} \quad (2)$$

其中, Level 表示智能化等级, Auto 表示每个维度的自动化程度, Sce 表示应用场景范围。

3 实例分析

3.1 系统功能实现

意图门户为用户提供多样化、抽象意图的输入界面, 为网络管理员提供方便、简洁、可视化的意图输入手段。意图门户是基于 Le5le Topology 设计的, 提供了一个简单直观的意图输入界面, 如图 5 所示。用户通过前端页面在意图输入框输入用自然语言形式表述的意图, 如“将一条 4K 全息通信直播视频从主楼实验室 430 传输至科技楼 214, 时间要求为从 2023 年 7 月 20 日 09:10 至 2023 年 7 月 20 日 11:30, 将重要级别调为重保”, 前端输入的用户意图以超文本传送协议 (hypertext transfer protocol, HTTP) 请求 POST 操作的方式发送至意图解析模块。

意图提交后, 意图解析模块将意图解析结果发送至意图解析结果展示界面, 如图 6 所示。由

表 2 系统智能性分级标准

等级	需求映射	数据采集	分析	决策	执行
L0	人工操作	人工操作	人工操作	人工操作	人工操作
L1	人工操作	在预设的场景下可由工具辅助自动完成数据采集	人工操作	人工操作	基本由系统自动完成, 少数需要人工参与
L2	人工操作	在多数场景下依据预设规则自动采集数据	在部分预设场景下可依据静态策略自动分析	人工操作	系统自动完成
L3	人工操作	系统自动完成	在多数场景下可自动完成分析	在预设场景下系统可辅助人工自动完成决策	系统自动完成
L4	部分预设场景系统自动完成	系统自动完成 (系统自定义采集规则)	系统自动完成 (系统自动更新分析策略)	在多数场景下可自动完成决策	系统自动完成



将一条4K全息通信直播视频从主楼实验室430传输至科技楼214，时间要求为2023年7月20日上午9时10分至2023

Submit

待确认的意图

待确认

Racing car sprays burning fuel into

待确认

Japanese princess to wed commoner.

待确认

Australian walks 100km after outback crash.

待确认

Man charged over missing wedding girl.

待确认

Los Angeles battles huge wildfires.

图5 意图输入界面

Intent Detail

Intent id	100	request time	2023-7-20-上午9:10
status	● Running		
Intent input	将一条4K全息通信直播视频从主楼实验室430传输至科技楼214，时间要求为2023年7月20日上午9时10分至2023年7月20日上午11时30分，将重要级别调为重保		
▼ Intent translate result			
translate result confirm modify			
requestSource: 100	serviceType: data	vnName: data	
netType: ip	vnType: chain	vnStatus: 正常	
serviceStartTime: 2023-7-20-上午9:10	serviceStopTime: 2023-7-20-上午11:30	maxBandwidth: 20 Mbit/s	
minBandwidth: 10 Mbit/s	vnDelay: 100	vnDelayLimit: 0	
vnPriority: 2	vnLinksFlag: ture	serviceTerminalInfoList: [{"terminalIP":"11.11.106.101","terminalPort":80,"otherInfo":""}, {"terminalIP":"11.11.106.102","terminalPort":8080,"otherInfo":""}]	

图6 意图解析结果展示界面

于用户意图解析生成的19个规范意图元组中包含部分冗余信息，因此本系统在前端界面中仅显示15个关键的意图元组。

CN 策略配置器提取意图元组中的有效信息并生成JSON格式的配置文件下发到OSM编排器，OSM编排和部署相应的VNF连接顺序和参数，创建CN网络切片。OSM编排器向OpenStack发送编排需求，使其实例化相应的VNF。同理，

RAN策略配置器将生成的JSON格式的配置文件下发到FlexRAN控制器，通过FlexRAN代理进一步在基站上部署这些配置以创建RAN网络切片。最后为用户的视频业务创建端到端网络切片。编排与控制模块实现流程如图7所示。

3.2 系统效用评估

意图驱动端到端网络切片编排与控制系统在部分场景下可以通过意图解析功能模块依据预设映射

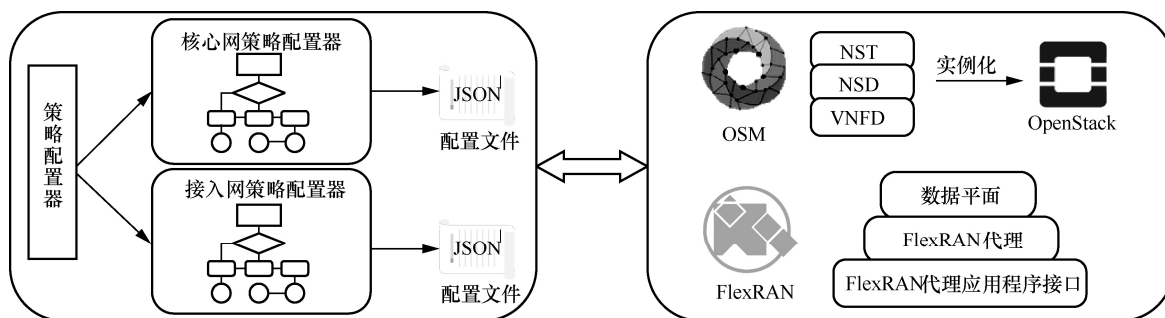


图7 编排与控制模块实现流程

规则完成用户意图到目标网络状态信息的转换,具有一定的智能性。为了多维度、全方面地评价该系统,根据第2.3节构建的效用评估模型,从用户满意度和系统智能性两个维度仿真验证系统性能。

(1) 用户满意度

由 Postman 软件可得,解析系统初次完成意图解析耗时 2.04 s。统计了 10 次初始化之后的意图解析时间,具体为 49 ms、43 ms、48 ms、53 ms、114 ms、51 ms、62 ms、43 ms、45 ms、45 ms,删除最大值和最小值后其平均数为 49.5 ms,因此,认为初始化之后的意图解析耗时为 49.5 ms,即 $T_1=49.5$ ms。启动意图解析功能模块后初次进行意图解析所消耗的时间较大,这主要是因为初次执行意图解析时需要加载训练模型,该过程所消耗的时间远大于意图解析时间。由于在该系统中策略生成和响应是紧密相连的,因此统计了不同 VNF 数量所对应的策略生成所消耗的时间以及虚拟网络基础设施对策略的响应时延总和,不同 VNF 数量所对应的 T_2+T_3 值如图 8 所示。其中,初次调用是指系统初次执行策略生成和响应所需要的时间,由于系统需要加载模型,需要消耗较多的时间;其他是指除初次调用外,进行策略生成与响应所需的时间。

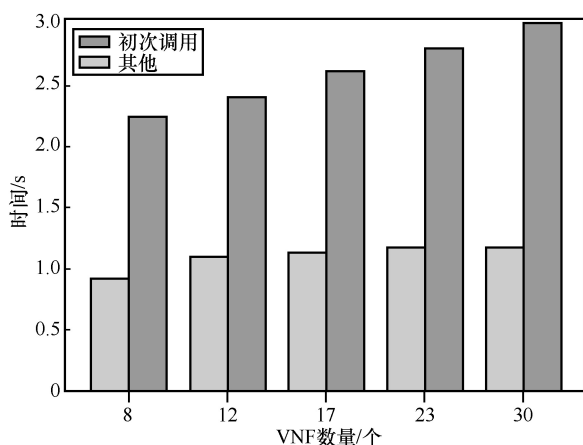


图 8 不同 VNF 数量所对应的 T_2+T_3 值

以 30 个 VNF 为例,系统总耗时为 $3.03\text{ s}+0.049\text{ s}=3.079\text{ s}$ (初次进行策略生成与响应)。需要说明的是,此处统计的系统耗时不包括意图

反馈以及用户确认意图解析结果时所产生的不可控时间。随着 VNF 数量的不断增加,系统的策略生成与响应时间缓慢增加,但仍保持在秒级。因此,可以认为该系统具有较高的用户意图满意度。

(2) 系统智能性

根据表 3.1,对自动化程度 Auto、应用场景范围 Sce 参数进行数字化处理, $\text{Auto} \in \{0, 0.5, 1\}$,其中 0 表示手动,0.5 表示半自动,1 表示全自动; $\text{Sce} \in \{0.25, 0.75\}$,其中 0.25 表示少数场景,0.75 表示多数场景。绘制意图驱动端到端网络切片编排与控制系统所对应的智能性蛛网图,如图 9 所示。

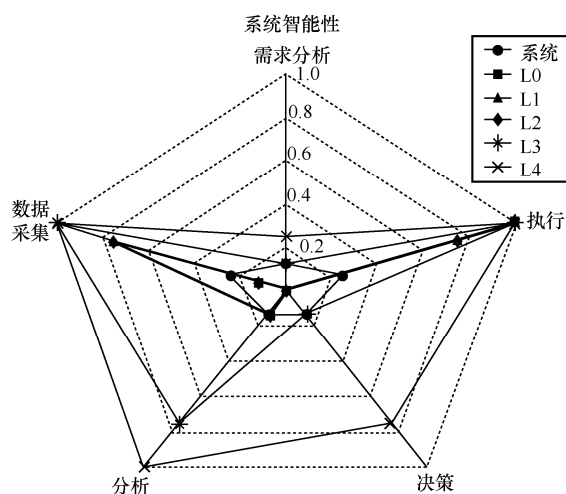


图 9 意图驱动端到端网络切片编排与控制系统的智能性蛛网图

蛛网图直观形象地展示了意图驱动端到端网络切片编排与控制系统在需求映射、数据采集、分析、决策和执行 5 个维度上均具有一定的自动化能力;并且根据智能性分级标准,系统整体的智能性处于 L2 和 L3 之间,系统具有较高的智能性。

3.3 未来展望

随着业务需求的快速增长,网络运营商迫切需要通过智能化推动网络敏捷化、高效化、智能化,实现网络自我配置、自我管理、自我优化^[23]。AI 等新技术的成熟,赋予网络架构演进更多的可能。如何在满足用户意图的同时,提升网络的智能性及智能化运维能力已成为未来网络架构建设亟须解决的问题^[24]。综合考虑上述挑战,笔者计



划在后续工作中设计意图保障模块，通过引入新技术加持深度学习、强化学习等算法，利用历史数据和实时数据对网络业务和资源需求进行预测和评估，实现对网络资源的智能化调整和分配，当多个意图冲突且资源受限时，仍能满足用户意图；并对切片性能进行测试，衡量切片自动化编排之后用户意图的满足情况，增强意图驱动端到端网络切片编排与控制能力。

4 结束语

意图驱动端到端网络切片编排与控制系统的设计与实现，方便网络运营商灵活、可定制地部署网络业务。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，意图驱动端到端网络切片编排与控制系统综合利用意图驱动网络的优势，通过提供抽象级别的配置创建、删除和更新网络切片。并通过其自规划、自部署、自优化和自演进的能力，大大提高了业务执行的自动化能力和用户的服务体验。

参考文献：

- [1] KATSALIS K, NIKAEIN N, SCHILLER E, et al. Network slices toward 5G communications: slicing the LTE network[J]. *IEEE Communications Magazine*, 2017, 55(8): 146-154.
- [2] BARAKABITZE A A, AHMAD A, MIJUMBI R, et al. 5G network slicing using SDN and NFV: a survey of taxonomy, architectures and future challenges[J]. *Computer Networks*, 2020(167): 106984.
- [3] AFOLABI I, TALEB T, FRANGOUDIS P A, et al. Network slicing-based customization of 5G mobile services[J]. *IEEE Network*, 2019, 33(5): 134-141.
- [4] PANG L, YANG C G, CHEN D Y, et al. A survey on intent-driven networks[J]. *IEEE Access*, 2020(8): 22862-22873.
- [5] YANG C G, MI X R, OUYANG Y, et al. SMART intent-driven network management[J]. *IEEE Communications Magazine*, 2023, 61(1): 106-112.
- [6] CHANG X T, YANG C G, WANG H, et al. KID: knowledge graph-enabled intent-driven network with digital twin[C]//*Proceedings of 2022 27th Asia Pacific Conference on Communications (APCC)*. Piscataway: IEEE Press, 2022: 272-277.
- [7] MI X R, SONG Y B, YANG C G, et al. Intent-driven wireless 6G mobile communication systems with fundamentals, architecture, and use case[C]//*Proceedings of 2022 IEEE International Conference on Signal Processing, Communications and Computing (ICSPCC)*. Piscataway: IEEE Press, 2022: 1-6.
- [8] DONG R, YANG C G, GUO J J, et al. An intent-driven next-generation mobile communication management system[C]//*Proceedings of 2022 IEEE 22nd International Conference on Communication Technology (ICCT)*. Piscataway: IEEE Press, 2023: 1270-1275.
- [9] ZHANG J W, YANG C G, ANPALAGAN A, et al. IDSM: intent-driven slice management and maintenance for 6G RANs[C]//*Proceedings of 2022 IEEE 22nd International Conference on Communication Technology (ICCT)*. Piscataway: IEEE Press, 2023: 1244-1249.
- [10] ABBAS K, AFAQ M, KHAN T A, et al. IBNSlicing: intent-based network slicing framework for 5G networks using deep learning[C]//*Proceedings of 2020 21st Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium (APNOMS)*. Piscataway: IEEE Press, 2020: 19-24.
- [11] RAFIQ A, MEHMOOD A, AHMED KHAN T, et al. Intent-based end-to-end network service orchestration system for multi-platforms[J]. *Sustainability*, 2020, 12(7): 2782.
- [12] CERRONI W, BURATTI C, CERBONI S, et al. Intent-based management and orchestration of heterogeneous openflow/IoT SDN domains[C]//*Proceedings of 2017 IEEE Conference on Network Softwarization (NetSoft)*. Piscataway: IEEE Press, 2017: 1-9.
- [13] MWANJE S S, BANERJEE A, GOERGE J, et al. Intent-driven network and service management: definitions, modeling and implementation[J]. *ITU Journal on Future and Evolving Technologies*, 2022, 3(3): 555-569.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] ELAVEL V G, DAYANA R, KRISHNAMURTHY S, et al. 5G UE simulation[C]//*Proceedings of 2023 International Conference on Recent Advances in Electrical, Electronics, Ubiquitous Communication, and Computational Intelligence (RAEEUCCI)*. Piscataway: IEEE Press, 2023: 1-5.
- [17] LIU Y, LI Q L, CAO Q P, et al. Evaluation of free5GC forwarding performance on private and public clouds[C]//*Proceedings of 2022 IEEE Cloud Summit*. Piscataway: IEEE Press, 2022: 9-16.
- [18] PAGANELLI F, PARADISO F, GHERARDELLI M, et al.

Network service description model for VNF orchestration leveraging intent-based SDN interfaces[C]//Proceedings of 2017 IEEE Conference on Network Softwarization (NetSoft). Piscataway: IEEE Press, 2017: 1-5.

- [18] 李春阳. 5G 场景的网络编排平台设计[D]. 重庆: 重庆大学, 2021.

LI C Y. Design of network arrangement platform for 5G scenes[D]. Chongqing: Chongqing University, 2021.

- [19] YILMA G M, YOUSAF Z F, SCIANCALEPORE V, et al. Benchmarking open source NFV MANO systems: OSM and ONAP[J]. Computer Communications, 2020(161): 86-98.

- [20] 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.

- [21] FOUKAS X, NIKAEIN N, KASSEM M M, et al. FlexRAN: a flexible and programmable platform for software-defined radio access networks[C]//Proceedings of the 12th International on Conference on emerging Networking Experiments and Technologies. New York: ACM Press, 2016: 427-441.

- [22] 曹汐, 余立, 马键, 等. 移动通信网络智能化分级评估方法研究[C]//5G 网络创新研讨会(2019)论文集. 2019: 337-343.

CAO X, YU L, MA J, et al. Research on intelligent classification evaluation method of mobile communication network[C]//Proceedings of 5G Network Innovation Seminar Workshop (2019). 2019: 337-343.

- [23] 李涛, 王春佳, 李姗姗. 电信网络智能化方案研究[J]. 电信科学, 2023, 39(3): 162-172.

LI T, WANG C J, LI S S. Research on intelligent scheme of telecommunication network[J]. Telecommunications Science, 2023, 39(3): 162-172.

- [24] 张平, 许文俊, 王凤玉, 等. 智简空天地一体化网络[J]. 无线电通信技术, 2022, 48(3): 381-384.

ZHANG P, XU W J, WANG F Y, et al. Intellicise air-space-ground integrated networks[J]. Radio Communications Technology, 2022, 48(3): 381-384.

[作者简介]



赵晓雪(2000-), 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、网络级意图目标自适应分解及映射。



薛富国(1977-), 男, 博士, 中国移动通信集团陕西有限公司高级工程师, 主要研究方向为意图驱动网络、招投标管理等。



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。



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、空天地一体化网络。



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。