



ENI 辅助的 5G 网络切片 智慧运营

ENI Assisted Intelligent 5G Network Slicing Operation

王海宁 /WANG Haining

(英特尔(中国)有限公司, 北京 100013)
(Intel China Ltd., Beijing 100013, China)

摘要: 利用网络人工智能标准工作组(ENI)系统辅助完成 5G 网络端到端切片的创建、监控、编排管理及终止等一系列生命周期管理操作, 实现基于人工智能的闭环自动化控制, 可以确保切片的快速开通、网络资源的高效利用和服务等级协议(SLA)保证。提出 ENI 系统辅助的端到端 5G 网络切片管理框架。

关键词: 网络切片; ENI; 人工智能; 资源分配; 场景; 概念验证

Abstract: Assisted by experiential networked intelligence (ENI) system, the lifecycle management operations including creation, monitoring, orchestration and management for end to end 5G network slice can be realized with artificial intelligence (AI) based close-loop control. This is essential for ensuring fast service onboarding, efficient network resource utilization, and service level agreement (SLA) for network slice. A framework for end to end 5G network slice management assisted by ENI system is proposed.

Keywords: network slice; ENI; AI; resource allocation; scenario; proof of concepts (PoC)

DOI: 10.12142/ZTETJ.202003008

网络出版地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.TN.20200624.1453.004.html>

网络出版日期: 2020-06-24

收稿日期: 2020-04-12

下一代移动通信网络运营商联盟(NGMN)在 2015 年初发布的 5G 白皮书^[1]中引入了网络切片的概念。5G 网络切片通过组合特定的控制面和用户面 5G 网络功能来支持一类特定的通信连接业务。例如, 第 1 个 5G 网络切片用来支持智能手机宽带业务, 第 2 个 5G 网络切片用来支持自动驾驶业务, 第 3 个 5G 网络切片用来支持大规模物联网业务。这些逻辑独立的网络切片是端到端的, 包括接入网、承载网及云化核心网。切片内部可以按照业务需求来选择所需的 5G 网络功能进行组网, 切片间可以共享通用的物理

基础设施, 并保持良好的业务隔离。

以 5G 网络切片为代表的网络新技术, 一方面为 5G 网络带来了灵活的业务提供能力, 另一方面大大增加了网络运维的复杂性。传统的依赖专家经验和人机交互的被动式网络运维方式, 成本高昂并且容易出错, 将阻碍网络业务的快速创新和部署上线, 不足以支撑 5G 网络运营。上述问题触发了运营商将人工智能(AI)引入网络运维的思考和探索。ETSI 于 2017 年 2 月正式批准成立的网络人工智能标准工作组(ENI)^[2], 致力于通过引入闭环人工智能机制来改善网络运营体验。

ENI 目前已有近 60 家来自全球的成员和参与单位, 是 ETSI 最活跃的 4 大工作组之一。经过 3 年的研究工作, ENI 输出了用例、需求、术语、架构等系列规范, 并启动了 10 余个基于 ENI 架构和用例的概念验证项目。其中, 5G 网络切片智慧运营是 ENI 的一类重要应用场景, 也是 ENI 的重点概念验证方向。

1 ENI 系统功能架构

ENI 系统是一套基于“观察-调整-决策-行动”控制循环模型的功能集合, 它利用人工智能技术输出命

令、建议及知识，用于辅助或直接管理其他系统实现智慧运营^[1]。ENI 系统功能架构如图 1 所示：

ENI 系统通过可选的应用程序编程接口（API）代理与业务支撑系统（BSS）/运营支撑系统（OSS）等外部系统交互，从外部获取数据，经过内部智能化分析，对外输出建议或命令。ENI 系统内部主要包括以下 3 类功能模块。

1) 输入处理类功能模块

(1) 数据摄取功能模块：从多个输入源收集数据，并使用通用的数据处理技术使摄取的数据能够被其他 ENI 功能模块进一步处理和分析。

(2) 数据规范化功能模块：将对数据摄取功能模块接收到的数据进行处理，并将其转换为其他 ENI 功能

块能够理解和使用的形式，以便进行进一步分析。

2) 分析类功能模块

(1) 知识管理功能模块：负责管理 ENI 系统的知识数据库，是 AI 建模的基础。知识管理包括使用共识性知识表示来创建、修改、维护和增强知识资产的存储、评估、使用、共享和完善。

(2) 上下文感知功能模块：持续地收集 ENI 系统自身及外部系统信息，构建 ENI 系统进行决策的基础环境。

(3) 认知管理功能模块：使用已有知识来生成和验证新知识。

(4) 态势感知功能模块：识别当前情况以及未来可能发生的情况，理解环境如何变化及为何变化，明确这些将如何影响 ENI 系统试图实现的

目标，决定对给定事件的处理操作。

(5) 模型驱动工程功能模块：使用模型驱动的工程机制将态势感知功能模块输出的操作转换成统一的格式，在此基础上可以进一步被策略管理功能模块构建为命令式、声明式及意愿式的策略。

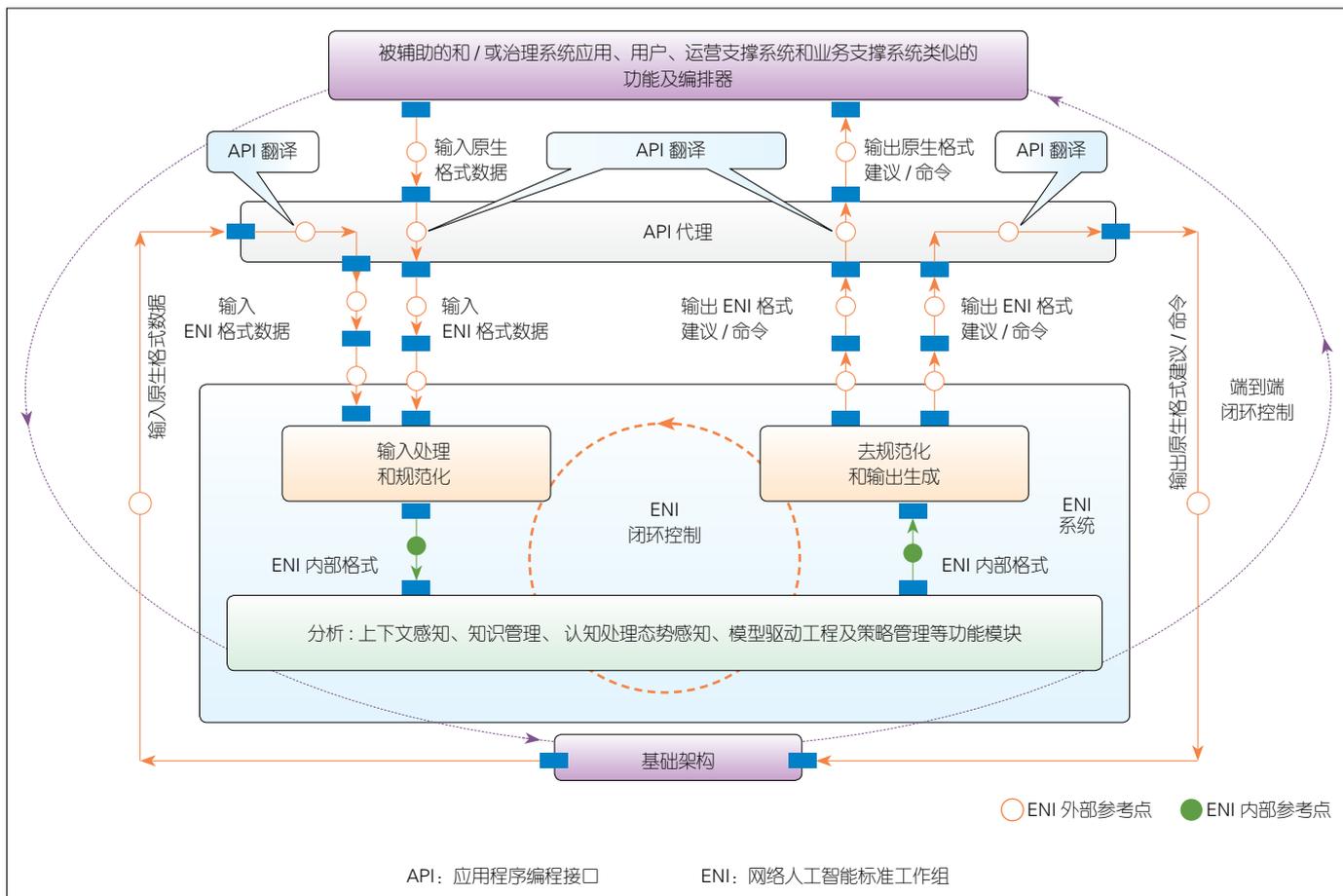
(6) 策略管理功能模块：制定对外部系统的管理、监控和编排等策略。

3) 输出生成类功能模块

去规范化和输出生成功能模块：将 ENI 系统内部格式的数据和信息翻译成外部系统能够理解的格式。

2 5G 网络切片智慧运营场景

ENI 001 规范^[5]定义了 20 余种网络智慧运营的场景，其中涉及网络切片的有 7 个，覆盖了前传网络切片管



▲图 1 ENI 系统功能架构（顶层）^[4]

理编排、承载网切片生命周期管理、接入网和核心网虚拟网元弹性伸缩及云间迁移、切片服务等级协议 (SLA) 保证等方面。

2.1 智能前传网络管理编排

目前全球广泛应用的集中式无线接入网 (C-RAN) 将基站的基带处理单元 (BBU) 部分集中部署, 与射频拉远单元 (RRU) 之间通过前传接口连接, 具体使用通用公共无线接口 (CPRI) 协议。CPRI 采用点对点连接模式, 需要高带宽、低延迟、严格同步和额外的传输设备。

5G 无线网络对 BBU 和 RRU 的功能进行了重新划分, 将部分 BBU 功能转移到 RRU 以减少对前传带宽的压力, 重构后分别称为无线云中心 (RCC) 和射频拉远系统 (RRS)。其中 RRS 又包括天线、RRU 以及传统 BBU 的部分基带处理功能即射频聚合单元 (RAU)。RCC 与 RAU 之间采用增强的 CPRI (eCPRI) 接口, 基于分组交换协议将前传由点对点的模式重新定义为多点对多点的模式。换句话说, 下一代前传网络是一个多层共享网络, 可以按需动态调整 RCC 和 RAU 之间的网络资源切片。

前传网络对资源的切片受多种因素及环境变化影响, 例如: RRU 群集的大小和如何组成群集, RCC 和 RAU 之间的功能划分, 以及前传网络需要保留网络资源的解决方案空间的维度 (比如功率、处理能力、无线资源、缓冲内存、跨多个前传节点的路径选择等)。在这种情况下, 引入基于 AI 的前传网络切片管理编排, 可以充分考虑并平衡上述影响网络切片的多维度因素, 以实现灵活、动态的资源切片和功能拆分。例如, 当前传关键性能指标低于目标值时, 将触发 ENI 系统从不同 RAU / RCC 单元收集前传参

数、当前配置以及过去和当前的流量, 基于历史学习得到的经验和当前上下文对未来需求进行预测, 决定前传参数并反馈给 RAU / RCC 单元执行调整, 重新分配前传网络资源, 新的前传 KPI 也会反馈给 ENI 系统, 这样就形成了前传网络切片的闭环智能化管理编排。

2.2 智能承载网切片生命周期管理

承载网切片是 5G 端到端切片的一部分, 通过对网络的拓扑资源进行虚拟化, 形成按需组织的网络切片以实现特定的性能要求^[6]。承载网切片管理器 (TNSM) 和承载网节点设备之间采用软件定义网络技术, 实现 TNSM 对多个承载网节点设备的集中控制。承载网转发面的切片技术包括基于灵活以太网 (FlexE) 的硬切片技术和基于分段路由 (SR) 的软切片技术, 其中, 软硬切片技术可以结合使用。

为了避免流量高峰期资源紧缺, 承载网切片的资源一般以满足业务峰值的要求进行分配, 但是这也造成了大多数非高峰期时段网络带宽、服务质量等专属资源的冗余和浪费; 因此, 引入 AI 技术对业务未来的流量进行精准预测, 结合承载网上下文信息, 制定智能化承载网切片配置策略, 能够有助于实现承载网切片资源的按需动态扩展和缩减, 提升承载网资源的利用率。

2.3 切片内虚拟网络功能的弹性伸缩和云间迁移

核心网切片基于网络功能虚拟化 (NFV) 技术, 使 5G 的网络功能 (NF) 从传统的专有硬件设备转变为在运行在共享云资源池上的虚拟网络功能 (VNF)。通过网络切片管理器 (NSMF) 及 NFV 管理编排系统 (MANO), 可以按需编排核心网切片内所需的 NF,

并为每个 NF 分配所需的虚拟资源。NFV 技术提供了 VNF 弹性伸缩和迁移的功能, 例如为一个 VNF 实例增加或减少虚拟机数量, 或者直接增加或减少 VNF 实例的数量, 或者将 VNF 实例从一个资源池迁移到另外一个资源池, 以便更灵活地按照业务需求分配资源。

引入 AI 技术后, 对业务趋势和资源需求进行预测, 并根据核心网切片的上下文信息, 给出 NF 的资源分配建议策略。通过 NSMF 和 MANO 执行资源分配和业务迁移, 可以在实时业务过程中实现 VNF 动态弹性伸缩和云间迁移。

3 ENI 辅助的智能切片概念验证

为了验证 ENI 技术的有效性, 并在互操作等方面更好地引导 ENI 后续规范制定工作, ENI 在 2018 年启动了概念验证 (PoC) 项目^[7]。目前 ENI 已有 10 项 PoC 项目, 最早完成的两个 PoC 项目很好地验证了 AI 技术可以辅助实现网络切片智慧运营。

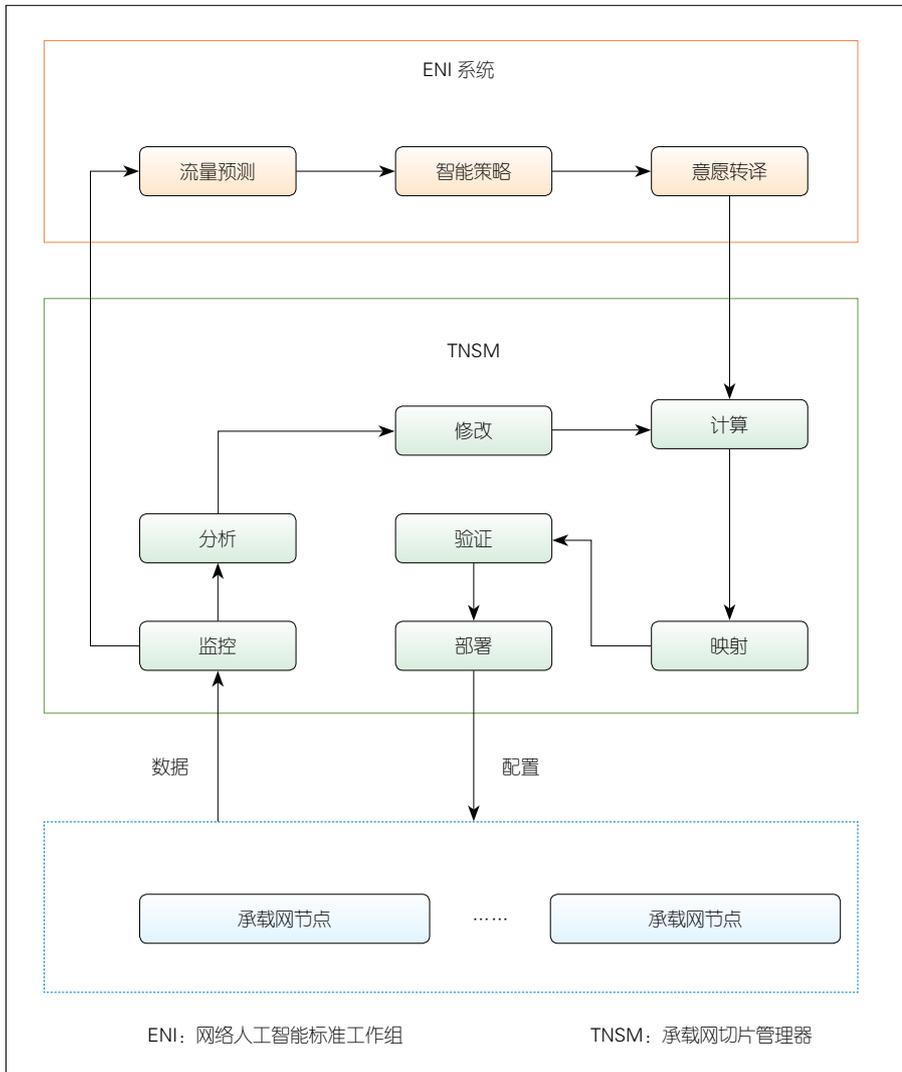
3.1 PoC#1 智能网络切片的生命周期管理^[8]

该项目针对本文 2.2 节所述的场景进行了验证, 具体包括两个方面: 一是利用基于意愿的接口将用户业务意愿自动翻译为配置并创建切片; 二是利用 AI 技术预测网络流量变化趋势并对网络切片资源进行预调整。

项目采用的方案验证架构如图 2 所示。

验证方案及结果如下:

1) 基于业务意愿的承载网切片自动化创建。用户通过 TNSM 操作界面输入业务意愿, 例如业务类型、优先级、带宽和时延需求等, TNSM 将上述业务意愿自动转译为创建承载网切片所需的配置信息, 结合对承载网



▲图 2 ENI 系统辅助的智能承载网切片验证架构

实际情况的分析，计算得到最佳的切片配置信息，经过验证后下发到承载网节点执行，从而实现承载网切片的快速自动化创建。

2) 基于 AI 的流量预测及切片带宽智能化调整。使用 27 312 条按小时聚合的真实网络流量数据对基于长短期记忆 (LSTM) 网络叠加传统神经网络的 AI 流量预测模型进行训练。ENI 系统通过 TNSM 收集承载网切片实例的准实时流量数据和网络切片资源分配情况，并使用预训练的流量预测模型根据准实时流量数据预测未来 6 小时的流量趋势，并传递给智能策略生

成器。智能策略生成器根据接收到的预测结果判断承载网切片的带宽在下一个小时是否需要调整以及如何调整，并在需要调整时生成智能扩缩容策略，例如需要扩容两个单位的带宽，之后 ENI 系统将智能策略转译为配置建议下发至 TNSM。最后，TNSM 通过重新配置承载网节点的端口带宽来执行相应的智能扩缩容策略，从而实现承载网切片带宽根据未来流量变化趋势进行动态智能化调整。经实验验证，使用上述方法在真实网络流量测试数据集基础上，网络资源利用率可提高 30% 左右^[9]。

3.2 PoC#2 弹性网络切片管理^[10]

该项目是欧盟的 5G-MoNArch 项目^[11]的一部分。针对本文 2.3 节所述的场景，该项目目标是验证 AI 辅助的网络切片弹性管理和编排的可行性和收益。

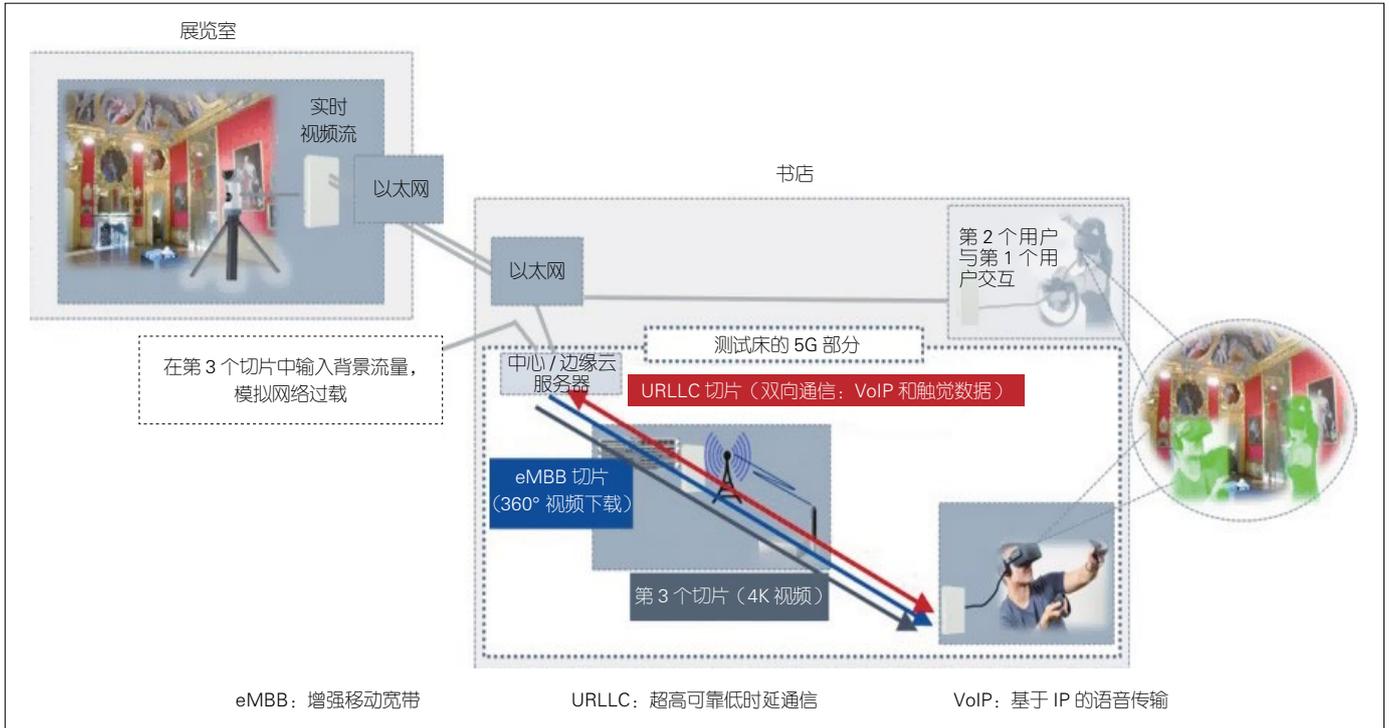
该项目在意大利都灵市的马达马宫艺术博物馆搭建了如图 3 所示的测试床，使用虚拟现实 (VR) 游览业务进行了现场验证和展示，验证方案及结果如下。

1) 系统包括边缘云和中心云两个资源池，首先通过 MANO 创建 3 个切片：第 1 个切片用于承载来自 VR 业务所需的展览室 360° 视频流，属于增强型移动宽带类 (eMBB) 切片；第 2 个切片用于处理 VR 业务的其他所有通信服务，例如基于 IP 的语音传输 (VoIP)、多用户交互及 3D 模型注册和控制等，属于超高可靠低时延通信 (URLLC) 切片；第 3 个切片用于加载 4K 视频流作为背景流量模拟资源占用，也是 eMBB 类切片。

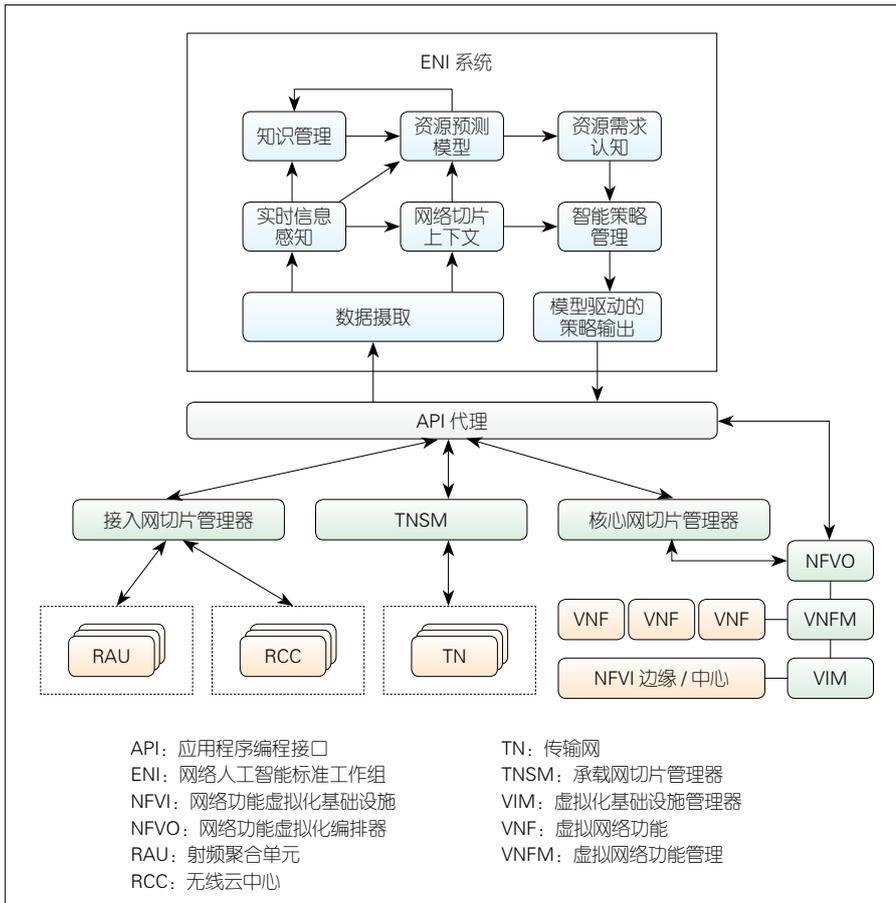
2) VR 业务两个切片的 NF 部署在边缘云。当背景流量增加，同时影响到 URLLC 切片的性能时，触发 ENI 的智能编排算法将制定 NF 编排策略，通过 MANO 将 eMBB 切片的 NF 迁移部署到中心云，以便保证 URLLC 切片的性能。

3) 当 eMBB 切片的视频分辨率和视频流的编码速率引起资源需求变化时，将触发 ENI 的跨切片资源分配算法制定资源重分配策略，通过 MANO 对 VNF 进行扩缩容。例如，将背景流量 eMBB 切片的部分资源调整给 VR 业务 eMBB 切片使用，从而保证最佳的业务体验。

上述测试验证了 ENI 系统可以根据业务需求对核心网切片进行 NF 部署位置和数量两个维度做出智能化调整，保证切片业务的 SLA。



▲图 3 网络人工智能标准工作组系统辅助的弹性网络切片管理测试床^[2]



▲图 4 ENI 辅助的端到端网络切片管理框架

4 ENI 系统辅助的端到端网络切片管理框架

ENI 系统通过可选的 API 代理与接入网、承载网、核心网各切片子网的切片管理器对接, 实现对整个端到端切片的智慧运营。ENI 辅助的端到端网络切片管理框架如图 4 所示。

1) ENI 系统利用历史数据训练基于 AI 的各网络域切片资源预测模型, 并利用最新的数据知识进行周期性迭代训练和模型优化。

2) ENI 系统通过各网络域的切片管理器收集网络切片的各类信息, 包括网络切片的资源分配情况和关键参数等, 构建端到端网络切片上下文。

3) 资源预测模型根据实时数据预测未来的资源需求趋势形成资源需求认知, 并传递给智能策略管理器。

4) 智能策略管理器结合接收到的资源需求预测和网络切片上下文, 制定网络切片资源分配策略。

5) ENI 系统将网络切片资源分配策略通过模型驱动工程方式, 转译为

各网络域切片配置建议, 例如前传网络切片的资源配置建议、承载网切片的带宽调整建议、核心网 VNF 的扩缩容建议等, 并下发给各网络域的切片管理器执行。

上述框架可以实现端到端网络切片的闭环智能化资源动态调整, 辅助 5G 网络切片智慧运营。

5 结束语

网络切片是 5G 网络的重要创新特性, 为 5G 网络提供了一个灵活的生态系统。该生态系统将端到端云网资源集成在一起, 面向多样化的 5G 业务需求, 提供软件化、虚拟化、可编程的网络创新能力和网络连接服务。引入基于 AI 的闭环自动化技术, 可以更好地发挥网络切片的优势, 提升网络资源利用率和业务体验, 实现网络切片的智慧运营。

参考文献

- [1] NGMN Alliance. 5G white paper, version 1.0[EB/OL]. (2015-02-17)[2020-06-16]. https://www.ngmn.org/wp-content/uploads/NGMN_5G_White_Paper_V1_0.pdf
- [2] WANG Y, FORBES R, CAVIGIOLI C, et al. Network management and orchestration using artificial intelligence: overview of ETSI ENI[J]. IEEE communications standards magazine, 2018, 2(4):58-65. DOI: 10.1109/MCOM-STD.2018.1800033
- [3] ETSI. Experiential networked intelligence (ENI); Terminology for main concepts in ENI: ETSI GR ENI 004[S]. 2018
- [4] ETSI. Experiential networked intelligence (ENI); System architecture: ETSI. GS ENI 005[S]. 2018
- [5] ETSI. Experiential networked intelligence (ENI); ENI use cases: ETSI. GS ENI 001[S]. 2018
- [6] 王强, 陈捷, 廖国庆. 面向 5G 承载的网络切片架构与关键技术[J]. 中兴通讯技术, 2018, 24(1): 58-61. DOI: 10.3969/j.issn.1009-6868.2018.01.012
- [7] ETSI. Experiential networked intelligence (ENI); Proof of concepts framework: ETSI. GS ENI 006[S]. 2018
- [8] ETSI. Intelligent network slice lifecycle management[EB/OL]. [2020-06-16]. https://eniwiki.etsi.org/index.php?title=PoC_01:_Intelligent_Network_Slice_Lifecycle_Management
- [9] 王海宁, 袁祥枫, 杨明川. 基于 LSTM 与传统神经网络的网络流量预测及应用[J]. 移动通信, 2019, 43(8): 37-44
- [10] ETSI. Elastic network slice management[EB/

OL]. [2020-06-16]. https://eniwiki.etsi.org/index.php?title=PoC_02:_Elastic_Network_Slice_Management

[11] 5G-MoNArch. 5G mobile network architecture, about the project[EB/OL]. [2020-06-16]. <https://5g-monarch.eu/about-the-project/>

[12] 5G-MoNArch. Touristic city use case[EB/OL]. (2019-05)[2020-06-16]. <https://5g-monarch.eu/about-the-project/touristic-city-use-case/>

作者简介



王海宁, 英特尔(中国)有限公司人工智能技术政策和标准总监、中关村高端领军人才、正高级工程师、北京邮电大学兼职教授, 担任 ETSI ISG ENI 副主席、CCSA SP1 NFV 特设项目组副主席、CCSA TC610 网络人工智能应用工作组

组长等职务, 主要研究方向为 4G/5G 网络技术、SDN/NFV、网络人工智能等; 2017 年获北京市委组织部青年骨干个人项目资助; 主持编制数十项国际标准和行业标准, 拥有 20 余项授权专利, 发表文章多篇, 出版《5G 网络架构》并作为专著封面作者。