



专栏：5G 商用和演进

面向 2030 的未来网络关键技术综述 ——Beyond 5G

肖子玉

(中国移动通信集团设计院有限公司, 北京 100080)

摘要: ITU-T SG13 于 2018 年设立了 FG Network 2030 焦点组开展为期两年的研究, 聚焦未来网络需求和场景, 对未来网络能力和关键技术架构进行研究, 并提出面向未来研究方向的建议。针对业界关注度较高的重点技术发展方向, 跟踪了 ITU-T SG13 面向未来网络架构工作组对 Beyond 5G 及 FG Network 2030 的网络需求和关键技术研究, 重点介绍了面向 2030 的网络需求和挑战, 详细分析了确定性网络涉及的关键技术演进、异构网络互通的 New IP 架构以及面向未来网络的机器学习架构、5G 网络中应用机器学习架构。

关键词: Beyond 5G; 确定性网络; 机器学习; New IP

中图分类号: TP393

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2020271

A review of key technologies for the future of the 2030 network ——Beyond 5G

XIAO Ziyu

China Mobile Group Design Institute Co., Ltd., Beijing 100080, China

Abstract: ITU-T SG13 established a Focus Group of Network 2030 in 2018 for a two-year study period. FG NET-2030 focuses on the network requirements, scenarios and the network capabilities of the future network, and proposes the key technologies and study directions of the next study period in SG13. Focus on key technology development directions that the industry pays more attention, the network requirements and key technologies of the ITU-T Future Network Architecture Working Group for Beyond 5G and Network 2030 was tracked. The network requirements and challenges for 2030 was summarized, and the key technologies and evolution trends of deterministic networks, new IP architectures, the network-based machine learning architectures and a use case of machine learning applications in 5G network were analyzed.

Key words: Beyond 5G, deterministic network, machine learning, New IP

1 引言

ITU-T (国际电信联盟-电信标准化部门)

作为联合国下辖的电信标准化组织一直是主导重要通信技术发展驱势和前瞻性技术研究的组织。ITU-T 第 13 研究组 (ITU-T SG13) 是负责

收稿日期: 2020-08-11; 修回日期: 2020-09-01

研究国际移动通信(ITM)的未来网络和云计算、可信网络架构的研究组。ITU-T SG13 研究组下辖的 Network 2030 焦点组(Focus Group on Network 2030, FG-NET-2030)^[1]于2018年7月成立,面向2030年及以后的网络能力需求和网络架构开展研究,并于2020年6月完成了其研究工作,焦点组将于2020年10月底结束。其研究指出,未来网络将支持新的前瞻性场景,如全息式通信、在危急情况下的极快反应和新兴市场垂直市场的高精度通信需求等。

焦点组FG-NET-2030是全球第一个面向2030网络需求和架构开展研究的标准化研究组。自2018年成立共召开了6次研讨会。2019年10月在瑞士日内瓦召开的研讨会更是将未来网络的话题推向了高潮。来自研究机构、科技公司、运营商、设备商、大学的专家在研讨会上分享各自对面向2030的网络关键技术研究方向和需求等观点。本文对FG-NET-2030焦点组及ITU-T SG13相关研究进行综述。

2 未来通信领域的挑战

5G网络的建设正进行的如火如荼,目前建设面向的主要是2C(to customer)用户。业界共识2B(to business)是5G以及Beyond 5G的研究方向,但在垂直行业的需求和能力研究中发现很多需要攻克的技术难题,此类难题也将成为未来网络的研究方向。根据FG-NET-2030的网络能力和需求研究报告^[2]及相关实践,以下5类需求将推动面向2030的下一代网络研究。

(1) 工业和机器人自动化的需求

下一次工业革命即“工业4.0”的核心能力M2M(machine to machine)通信。这类通信的控制信令需要精确定时,不仅时延不能超过限定值,而且也不能送达得太快,即时延需要在一定范围内是确定的。这是因为工业控制需要非常精确的

同步、遥测流与控制数据的间隔,以保证多维度机器人的精确操作。因此需要高可靠性和高精度的分组传递时延。

(2) 全息通信和其他多媒体通信技术的需求

全息图、触觉和其他感官数据将提供沉浸式和“真实”的用户体验。对下一代网络的要求即是超高数据带宽、多种媒体间的控制和时延的协同,结合不同环境形成多种策略。全息多媒体通信将需要大带宽、精确时延控制的及时传递以及多方通信。当远程“触觉”操控机器人时需要精确时延的“触觉”反馈,这时时延越短越好就不足够了。

(3) 自动化和关键基础设施的需求

网络提供的关键应用如自动驾驶、无人机、自动交通控制系统等均需要与环境进行通信,该通信能力要求高可靠和故障恢复能力,并能应对意外事件的发生,具备快速切换或恢复的能力。该类应用的需求是防止篡改,并确保可信和安全。如果达不到以上目标,这类需求将导致安全灾难。同时该类应用对自动化和分组传递的时延保障也有较高要求。

(4) 应用需求的多样性的需求

新应用可能会爆炸式增长,其中许多依赖于大量数据反馈并由人工智能(AI)驱动的应用,涉及人、机器和IT系统间的相互通信。例如通信系统需要保证数据流之间的相互依赖关系。为保证有效通信服务的传达,各数据流需依据各自服务等级、吞吐量需求、可靠性要求和到达时间的延迟需求而进行传送策略的权衡。这需要动态调整网络服务能力和策略并实现通信数据的按需送达。

(5) 提供业务模式的需求

严格的服务需求直接影响管理和维护成本。因此需求业务提供者提供创新的服务模型,并研发相关的创新功能。服务的可靠性和可审计性将成为服务提供者的技术需求和方向。



(6) 多等级的容错机制的需求

应用应能在间歇性或部分数据丢失情况下正常工作。除了以上需要高精度网络服务外,其他类型的应用应具有容错能力。这些容错能力应包括带宽不足容错、按优先级容错等。

以上列出的需求主要面向精确时间控制的确定性时延服务需求、多种媒体和数据流传送的异构网络互通需求和超大带宽流量的服务需求。当多种应用共存时,也可以分为多个级别适当损失的网络容错需求。面向 2030 年及以后的通信技术要满足上述需求,就需要提供确定性时延网络能力、多协议异构网络互通能力以及灵活智能的通信策略制定和控制能力。

3 技术演进与发展趋势

3.1 确定性网络

3.1.1 确定性网络需求

未来通信领域的多个需求均提出“高精度”通信,高精度指精确的数据分组传送时延。高精度通信服务可以分为“及时”通信服务(in-time services)和“准时”通信服务(on-time services)。及时通信服务指确保数据分组在指定的时延以内送达,多媒体通信通过缓存能力实现及时通信保障是及时通信服务的应用。准时通信服务指确保数据分组在特定的时间窗内送达,特定的时间窗包含一个最大时延和最小时延,数据分组的传送既不能太快也不能太慢。工业自动化、远程触觉操控是准时通信服务的应用案例。及时通信服务和准时通信服务示意图如图 1 所示。

当网络支持及时通信或准时通信时需要成为“时延感知”型网络,以便网络在决定提供任何保障之前评估时延目标。准时通信服务需要网络提供更细粒度的时间精度,如微秒级(μs),并提供确定的时延。

3.1.2 确定性网络实现机制

(1) Internet QoS 机制

现有网络可以通过工程规划的方式,如分配、

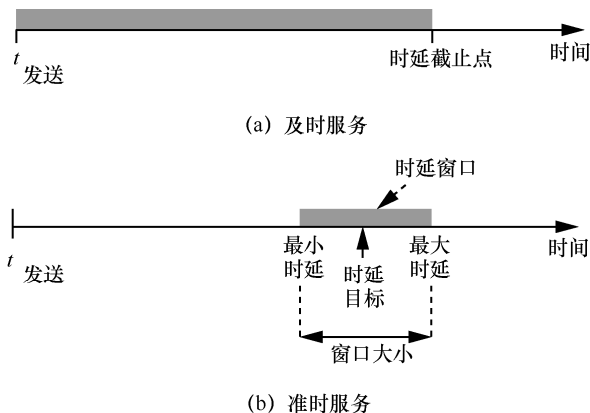


图 1 及时通信服务和准时通信服务示意图

预留资源和优化流量等满足特定时延需求。但时延是基于测量而非设计的,通常情况只能接受现状。而面向 2030 年的网络应具备基于时延目标的精确服务能力。

现有 Internet QoS (quality of service, 服务质量) 架构包含两种方式: 集成服务(integrated service, IntServ)和区分服务(differentiated service, Diffserv)。IntServ 重点关注保障服务(guaranteed service),通过为每个流预留独占的固定带宽保障服务,网络通过边缘节点和逐跳节点限流保证每个流不会占用超过预留资源。IntServ 是电气工程师协会(Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE)层 2(layer 2, L2)时间敏感网络(time sensitive networking, TSN)解决方案和最新的 IETF 确定性网络(deterministic network, DetNet)解决方案的前身。Diffserv 属于多路复用技术,用来管理不同等级的业务流,这些流包括 Intserv 的流和其他流,如拥塞控制的流。拥塞控制流没有预留的带宽,所以可能引起拥塞。拥塞控制方式是动态评估流的码率和资源情况完成的,最坏情况可能引起数据分组丢失,启动重传机制。无论重传还是链路故障恢复倒换均很难满足 2030 年网络目标的时延要求。

(2) 时间敏感网络(TSN)

TSN 是 IEEE 在以太网技术基础上提出的时间同步和确定性网络通信能力的增强型网络技术。

TSN 在以太网层 2 进行了两项重要增强：一是 TSN 支持确定性流塑形模型，该模型不需要传输节点上的每流状态，但需要严格的时间同步，其吞吐量会随着网络规模的增加而降低。TSN 还参照 IntServ 引入了异步流量塑形（ATS）避免时间同步的需要。二是 TSN 引入了 $1:n$ (n 通常为 1) 的路径保护，数据分组在入口处被复制 $n+1$ 次，通过故障不相交路径发送。面对链路或设备（节点或线路卡）故障时，这种主动路径保护可支持接近零的损失。

从以上两种方式可知，TSN 提供在以太网内的短距确定性网络通信，没有路由能力。对于大规模长距离的准时通信网络需求，TSN 无法提供。

(3) 确定性网络架构 (DetNet)

DetNet 架构是 IETF (Internet Engineering Task Force, 国际互联网工程任务组) 提出的单网络域的有限时延和低误码率网络架构。DetNet 架构提供每流的服务保证，包含最大端到端时延、有限抖动、分组丢失率以及上限乱序发送数据分组。DetNet 使用 3 种技术进行以上服务保证。一是资源预留和每跳的流量整形；二是防止故障而造成的损失保护，它基于数据分组复制、消除和排序功能；三是使用显式路由规划给定特定带宽和缓存属性且与多路由中其他路由不相交的工程规划方案。

尽管 DetNet 提供了有效的技术确保确定性的时延，但是其可伸缩性仍然是一个挑战。特别是，实施 DetNet 技术需要数据平面跟踪每个流的状态，并在每个网络节点处实施高级流量整形和数据分组调度方案。该流量整形和调度方式是不可扩展的，因为核心路由器可以同时接收数百万个流。在控制平面中，如果使用资源预留协议 (RSVP)，则每个网络节点都需要维护每流资源预留状态，这也是不可扩展的。

综上所述，面向 2030 网络需求，现有确定性时延网络技术和架构还有待进一步增强和完善，挑战是实现大规模跨域的确定性数据传送能力。

3.2 New IP 架构

3.2.1 New IP 架构的需求

未来网络发展的趋势是电信和互联网的融合，越来越多的电信设备运行 TCP/IP 协议，成为 IP 设备。面向 2030 年的新业务需求，包括全息通信、确定性通信、多网通信等，现有网络面临挑战。一是现有网络主要服务于两类终端电话和电脑，对未来如多网连接空间和大地网络、IoT 网络、工业网络的适应不足。二是通信协议多样，形成“通信岛”需要进行多通信协议间的适配。三是安全和信任需要加强，安全和可信模型需要设计和部署以实现稳定可信的环境，同时需要推动安全可靠数据分享方案，以便服务于 AI、大数据和其他新技术。

3.2.2 New IP 架构

New IP 架构是华为公司在 ITU-T 提出的下一代新型传送网络的研究方向^[3]。New IP 架构具有以下能力。New IP 功能示意图如图 2 所示，其体现了 New IP 功能的需求。

- 新连接：异构地址空间和不同 IP 地址长度的网间可直接互联。支持未来多样性网络终端和新业务能力。
- 新业务：为上层应用提供确定性通信服务；新传输层动态协同网络层，并超高带宽能力。
- 新能力：提供内在安全；提供用户自定义功能。网络协议可以承载来自用户或应用程序的更多信息、需求和功能。

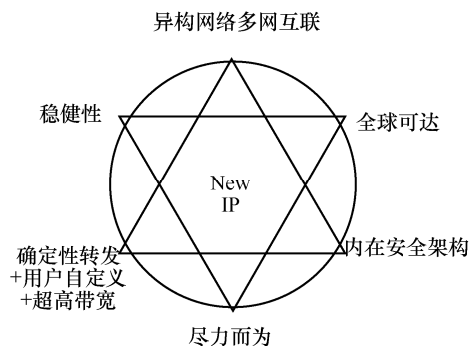


图 2 New IP 功能示意图



(1) New IP 需要支持异构网络地址空间通信, 网络地址增加多样化 ID 指定目的地, 提高路由能力。基于多样化 ID 的直接路由、在网络中维护多样化 ID 路由表。一些公共应用可以不需要 ID, 用户提供业务类型, 边缘节点根据业务类型转发。为支持多网异构互联, New IP 协议需支持基于网络拓扑的地址和基于地理位置的地址; 卫星网络的入口网关添加基于地理位置的地址信息, 在出口网关删除它; 卫星根据坐标计算最短路径; 数据分组转发到最近的卫星通信节点, 并最终送达终点。

(2) New IP 需支持用户定义的自定义网络请求, 数据分组级别的网络编程能力要求数据分组携带指令、元数据和执行许可对网络行为进行编程; 带内信令能力将控制平面和数据平面相结合; 用户或应用粒度的带内管理, 实现细粒度和准确的性能监控。

(3) New IP 需支持内在安全可信架构, 采用分布式技术实现网络资源和所有权管理, 从下至上建立通用可信网络架构, 为各种应用提供安全和可信的基础架构; 应用层提供面向第三方开放的 API, 以实现更多的网络可信和安全服务; 命名空间管理层提供各种资源的管理; 区块链层为上层提供分布式的可信基础架构。

(4) 新传输技术提供超高带宽, 满足复杂网络环境, 提高传输效率; 网络感知通过协同带内

信令、带外信令和网络设备优化多路径策略和方案; 定制传输根据应用描述规划匹配的传输策略。New IP 架构下的新传输协议示意图如图 3 所示。

3.3 人工智能/机器学习

3.3.1 人工智能/机器学习需求

机器学习 (machine learning, ML) 提供了一种从数据中获取知识的方法。随着 ML 成为业界重要的技术趋势且逐步通用化, 面向未来网络的多样化、异构和高精度、高可靠要求, 将 ML 纳入未来网络架构中成为研究和探索的技术趋势。ML 对网络故障排除、网络流量预测、流量优化调整、网络安全审核等领域都将做出重要贡献。

但 ML 功能的异构性和未来通信技术的独特特征对在网络中集成 ML 提出了各种各样的要求, 如机器学习功能和通信网络的发展不一致; 网络集成 ML 的成本是一个重要因素; ML 功能和网络功能的不同管理机制。为了应对这些挑战, ITU-TSG13 FG ML5G 提出了将 ML 与未来网络进行集成的体系结构框架。

3.3.2 机器学习架构

根据 ITU-T Y.3172 建议^[4], 未来网络中的 ML 架构如图 4 所示。图中给定了 ML 体系架构的功能组件, 并组成面向未来网络的 ML 体系架构。ML 架构与集成网络功能 (NF) 交互, 使得 ML 架构应用于通信网络中。

(1) 机器学习管道 (machine learning pipeline)

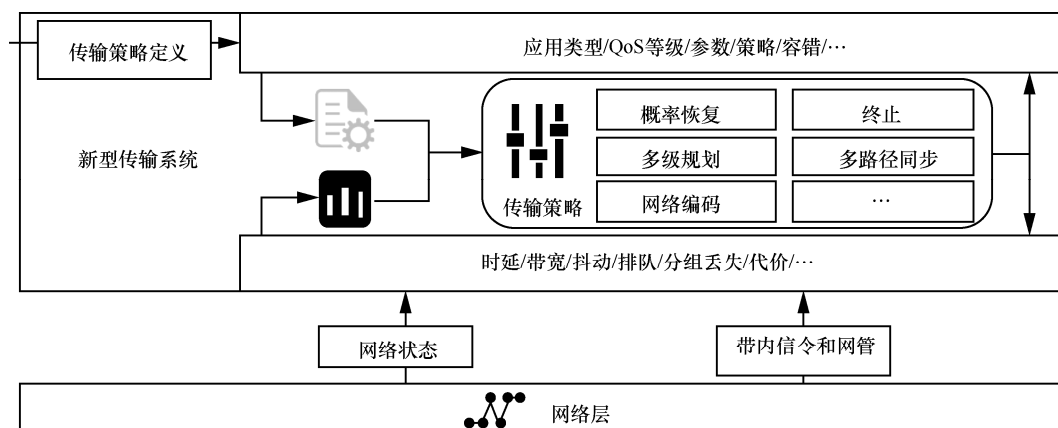


图 3 New IP 架构下的新传输协议示意图

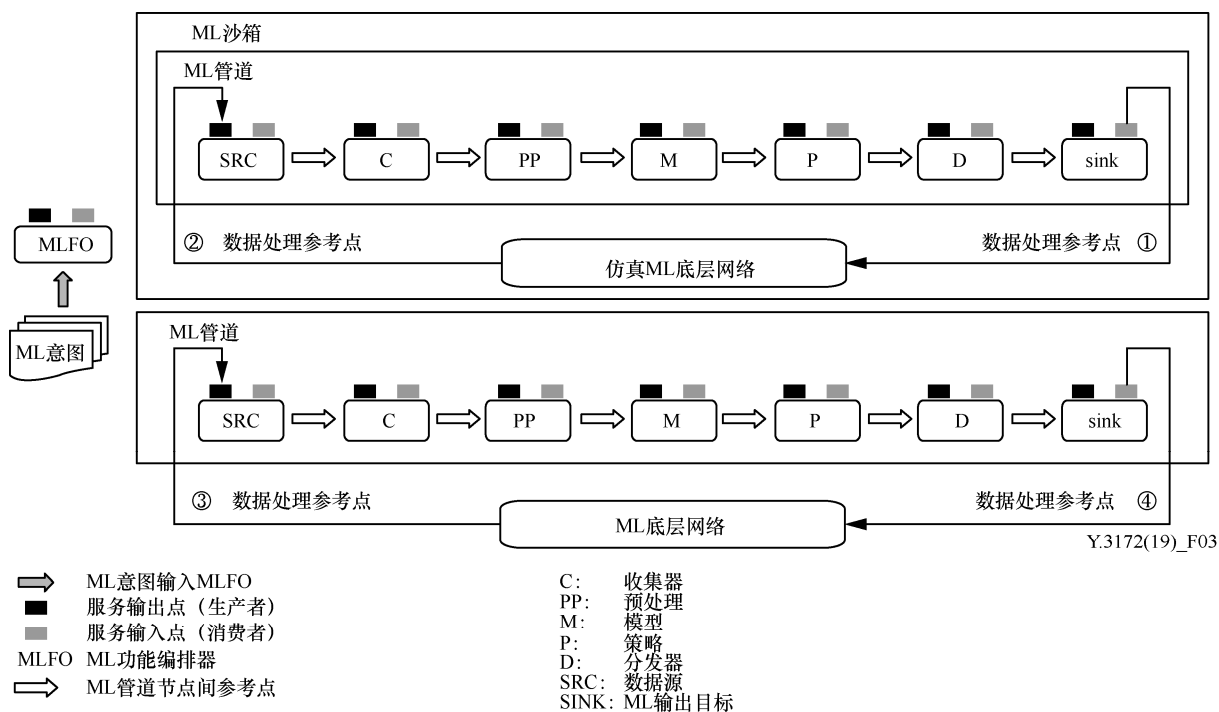


图4 ML架构组件示意图

是指一组逻辑节点, 每个逻辑节点具有特定的功能, 可以将这些逻辑节点组合起来以形成电信网络中的机器学习应用。机器学习管道可以部署在模拟或现实的底层网络上 (如 SBA 架构的 5GC)。

- SRC (数据源): 此节点可用作 ML 管道输入的数据源, 包括 UE、网络功能 (NF) 等。
- C (收集器): 此节点负责从一个或多个 SRC 节点收集数据。
- PP (预处理器): 此节点负责清理数据、聚合数据或执行将数据转换为合适格式所需的任何其他预处理, 以便 ML 模型可以使用。
- M (模型): 机器学习模型, 可在机器学习管道中使用。
- P (策略): 此节点允许将策略应用到模型节点的输出。
- D (分发器): 此节点负责识别 sink, 并将 M 节点的输出分发给相应的 sink 节点。
- sink: 此节点是对其执行操作的 ML 输出的目标。

(2) 机器学习功能编排器 (machine learning function orchestrator, MLFO) 是一个逻辑节点, 具有基于 ML 意图和/或动态网络条件管理协调 ML 管道节点的功能。

(3) ML 沙箱 (ML sandbox) 是一个隔离的域, 它允许单独的 ML 管道来训练、测试和评估, 然后再将它们部署到现实网络中。为了进行培训或测试, ML 沙箱可以使用从模拟 ML 底层网络和/或现实网络生成的数据。

如果将以图 4 构以网络功能维度进行组合, 则得到如图 5 所示的 ML 网络功能架构示意图。

(4) 管理子系统 (management subsystem) 包括 MLFO 以及其他管理和编排功能, 管理子系统支持将用于未来网络的管理和编排机制扩展到 ML 管道节点。解决了 ML 功能和 NF 的管理一致性问题。MLFO 与管理子系统的其他功能协同工作, 以管理 ML 管道节点。

(5) ML 管道子系统 (ML pipeline subsystem) 是可以覆盖在现有网络上的逻辑管道。MLFO 作

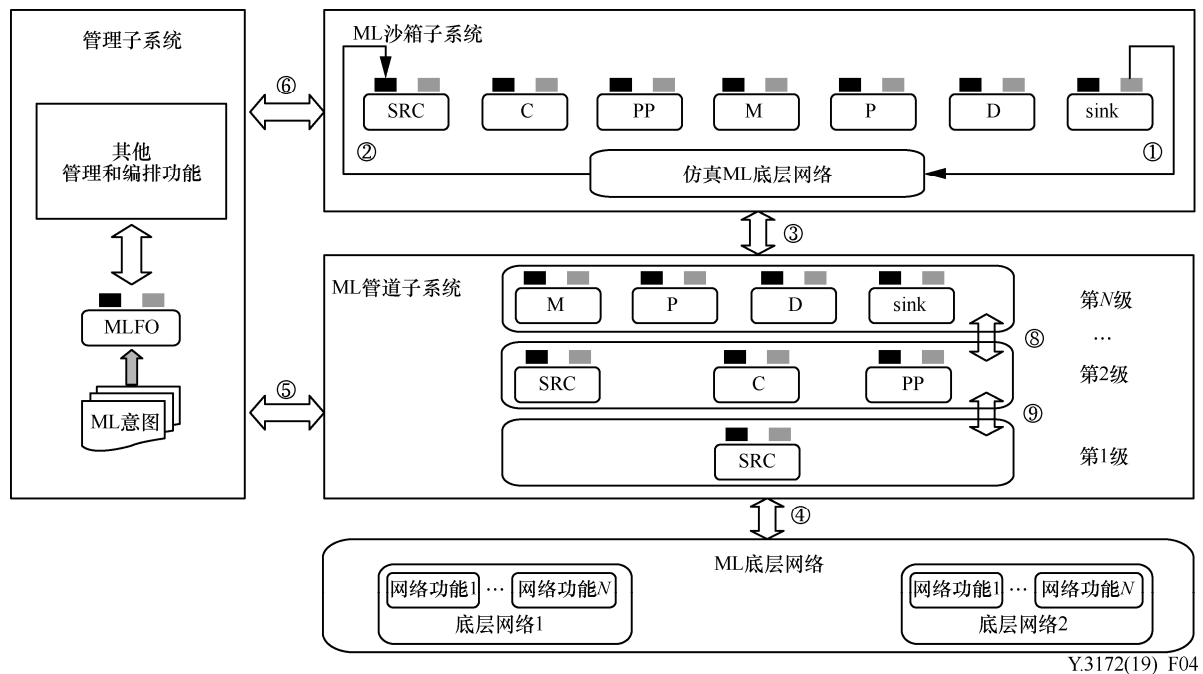


图5 ML网络功能架构示意图

为NF可实例化和设置。底层网络和ML管道的集成方面需要定义特定的接口协议和API。

(6) ML沙箱子系统(ML sandbox subsystem)是用于训练ML模型和进行现网信真的，通过ML沙箱可有效保障ML管道适应动态网络环境。ML沙箱子系统包括ML管道和模拟的ML底层网络，并且由MLFO根据ML意图中的规

范进行管理。ML沙箱子系统使网络运营商可以在将ML输出部署到现实网络ML底层网络之前研究ML输出的影响。来自管理子系统功能的反馈被提供给ML沙箱子系统，以便ML沙箱子系统的ML管道可以适应动态变化的网络环境。

实际底层网络—以5G网络为例应用ML架构的示意图如图6所示。

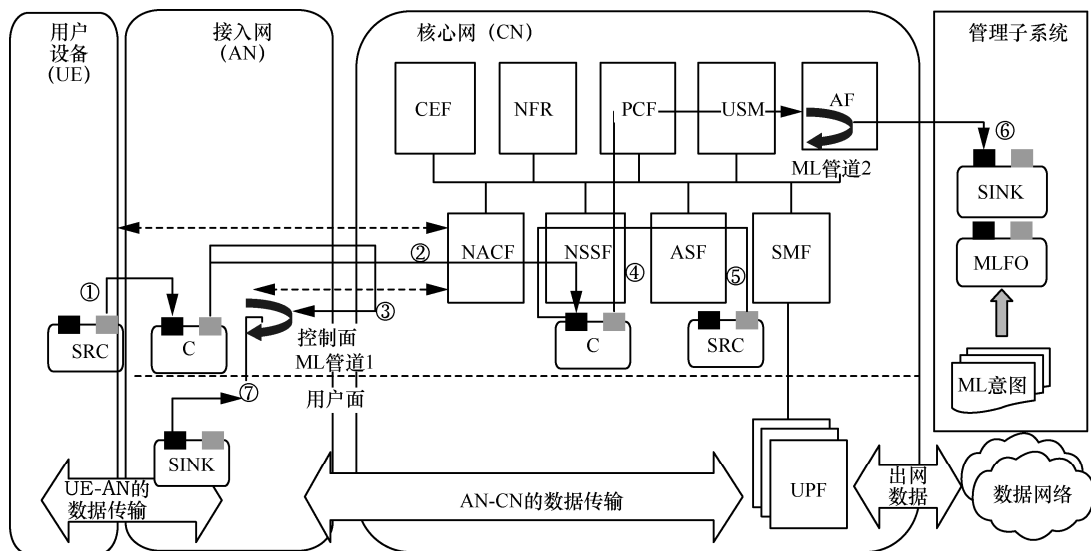


图6 ML架构与5G网络集成示意图

在 5G 网络架构中^[5], ML 管道可集成到核心网 (CN)、接入网 (AN)、用户终端 (UE) 或管理节点中。为了简化, 图 6 中未画出 ML 沙箱子系统, 但其功能是必不可少的。

图 6 中由箭头 1→3→7→指示的 ML 管道 1 应用终端 UE 的信息作为数据源输入, 并在无线接入网 AN 侧部署了 ML 模型如进行时延预测, 可以应用于基站的时延敏感性业务策略决策。

图 6 中 5→4→6 指示的 ML 管道 2 应用 5G 核心网 (CN)^[6-7]作为数据源, 并结合了用户终端 (UE) 的数据输入, 在 CN 侧部署了 ML 模型进行预测, 其预测输出结果应用于 ML 管理功能模块 (MLFO), 并将影响如网络自动化配置决策和资源分配等网络配置管理。

4 结束语

面向网络长期演进的 2030 年网络目标, ITU-T 已成立焦点工作组开展为期 2 年的研究。本文跟踪了 SG 13 FG-NET-2030 和 SG 13 面向未来网络 Beyond 5G 的关键技术研究。除上述时延确定性网络技术、New IP 技术架构和 ML 集成网络架构外, 未来还应关注区块链在通信网络中的应用架构和需求、异构多网络互联技术架构和需求、数字双网的关键技术和需求以及计算能力感知网络。

参考文献:

- [1] ITU-T. Network 2030-a blueprint of technology, applications and market drivers towards the year 2030 and beyond[S]. 2019.
- [2] ITU-T. Sub-g2 new services and capabilities for network 2030: description, technical gap and performance target analysis[S]. 2019.
- [3] ITU-T. Network 2030-description of demonstrations for network 2030 on sixth ITU workshop on network 2030 and demo day[S]. 2020.
- [4] ITU-T. Architectural framework for machine learning in future networks including IMT-2020[S]. 2020.
- [5] 马洪源, 肖子玉, 卜忠贵. 面向 5G 的核心网演进[J]. 电信科学, 2019, 35(9): 135-143.
MA H Y, XIAO Z Y, BU Z G. Evolution of core network oriented to 5G[J]. Telecommunications Science, 2019, 35(9): 135-143.
- [6] 杨旭, 肖子玉, 邵永平. 5G 网络部署模式选择及演进策略[J]. 电信科学, 2018, 34(6): 138-146.
YANG X, XIAO Z Y, SHAO Y P. Deployment mode selection and evolution strategy of 5G network[J]. Telecommunications Science, 2018, 34(6): 138-146.
- [7] 马洪源, 肖子玉, 卜忠贵. 5G 边缘计算技术及应用展望[J]. 电信科学, 2019, 35(6): 114-123.
MA H Y, XIAO Z Y, BU Z G. 5G edge computing technology and application prospects[J]. Telecommunications Science, 2019, 35(6): 114-123.

[作者简介]



肖子玉 (1969-), 女, 中国移动通信集团设计院有限公司网络所总工程师、教授级高级工程师, 主要从事通信工程咨询、设计和研究工作。