



# TSN 与 5G 融合部署的需求和网络架构演进

## Requirements and Network Architecture Evolution of TSN and 5G Integrated Deployment

**摘要:** 认为时间敏感网络 (TSN) 技术与 5G 网络系统的融合部署将成为 5G 网络向确定化演进的重要方向。从 TSN 技术现状入手, 分析了 TSN 与 5G 网络系统融合的必要性和可能性, 重点提出了 TSN 与 5G 网络系统融合部署的演进路径和 3 种融合部署形式。

**关键词:** 时间敏感网络; 5G 网络系统; 前传网络; 承载网; 核心网

**Abstract:** It is considered that the integration and deployment of time sensitive network (TSN) technology and 5G network system will become an important direction for the deterministic evolution of 5G network. The technical status of TSN technology is discussed. The necessity and possibility of the integration of TSN and 5G network system are analyzed. The evolution path and three integration deployment forms of TSN and 5G network system are highlighted.

**Keywords:** time sensitive network; 5G network system; fronthaul network; bearer network; core network

朱瑾瑜 /ZHU Jinyu  
张恒升 /ZHANG Hengsheng  
陈洁 /CHEN Jie

(中国信息通信研究院, 中国北京 100191)  
(China Academy of Information and Communications  
Technology, Beijing 100191, China)

DOI: 10.12142/ZTETJ.202106009  
网络出版地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.TN.20200630.1413.004.html>

网络出版日期: 2020-06-30  
收稿日期: 2020-06-10

5G 将开启一个全连接的新时代, 将通信的作用从人与人之间的连接扩展到各行各业、万事万物之间的相互连接, 以非常好的业务体验、效率和性能使能垂直行业, 以用户为中心构建全方位信息生态系统, 为运营商和产业合作伙伴带来新的商业模式, 形成行业数字化新格局。与此同时, 垂直行业多种多样的业务需求场景要求 5G 网络具备差异化的网络定制能力, 并可实现业务数据的确定性传输。这种确定化的业务保障能力涵盖时延、时延抖动和丢包率等关键服务质量 (QoS) 指标。5G 网络通常借助移动边缘计算、网络切片和时间敏感网络 (TSN) 等多种关键技术, 为业务承载提供确定化的传输保障能力。

相关 TSN 技术基础协议的制定和应用推进主要由电气与电子工程师协会 (IEEE) 802.1 TSN 工作组负责。因

具备高精度时间同步、个性化精准流量调度、智能化网络管理机制等特性, TSN 可以广泛应用于存在互联互通、确定性高质量传输、全业务承载需求的业务数据传送场景。近年来, TSN 技术在音视频传输、工业、移动承载、车载网络等各个应用场景受到产业界更为广泛的关注, 众多机构和组织纷纷开展相关研究工作。

### 1 TSN 技术现状

#### 1.1 TSN 发展背景

关于 TSN 技术的研究最早起源于 2006 年。IEEE 802.1 工作组在这一年成立音视频桥接 (AVB) 任务组。AVB 技术成功实现了数据在音视频网络中的确定时序和低时延传输, 并通过对流量的整形调度解决了音视频流量的实时同步确定性传输问题。随

后, 该项技术在网络带宽保证及有界传输时延方面的潜在能力被工业领域所关注。2012 年, AVB 任务组更名为 IEEE 802.1 TSN 任务组, 并对时间确定性以太网的应用需求和适用范围进行了扩展, 以覆盖音视频以外的更多领域, 如汽车、工业制造、运输、过程控制、航空航天以及移动通信网络等。IEEE 802.1 TSN 任务组聚焦 TSN 技术在各类通信场景下的基础共性技术及标准的研究, 已经推出以 IEEE 802.1AS 为基础的时间同步协议、以 IEEE 802.1Q 系列协议为代表的流量调度及网络管理相关协议。目前这些协议已经基本成熟。

IEEE 802.1 工作组致力于 TSN 的标准化工作。TSN 是当前实现确定性网络的技术方向。IEEE 802.1AS 时钟同步、IEEE 802.1Qcc 流预留、IEEE 802.1Qch 循环排队等技术可保障物理

层和链路层的确定性时延<sup>[1-5]</sup>。

## 1.2 TSN 研究现状

随着 TSN 技术受到越来越多的关注, 各类通信标准和行业机构针对 TSN 相关技术在垂直行业的部署应用均展开了研究。相关的标准制定组织有 IEEE、国际电工委员会 (IEC)、国际互联网工程任务组 (IETF)、通用公共无线接口 (CPRI) 联盟、中国通信标准化协会 (CCSA) 等。参与 TSN 研究和推广的机构及产业联盟有中国工业互联网产业联盟 (AII)、美国工业互联网联盟 (IIC)、德国工业 4.0 实验室网络 (LNI4.0), 以及国际联盟组织音视频网络联盟 (AVNU)、用于过程控制的对象连接与嵌入 (OPC) 基金会、OpenStack 基金会等<sup>[6-7]</sup>。

### (1) 工业网络

新型工业网络不仅对带宽有很高的要求, 还必须同时保证控制数据的周期性可靠传输。例如, 每隔 100  $\mu$ s 设备与控制器之间就要进行数据交互, 在这期间不允许有其他数据对这种周期性数据造成阻塞, 也不允许有时快时慢的延时响应。TSN 能够符合工业网络中这种“确定时延、不被中断、可靠传输”的要求。同时 IEEE 又制定了相应的标准, 使得 TSN 更具中立性。2017 年, IEC 和 IEEE 联合成立了 P60802 工作组, 旨在定义 TSN 应用于工业自动化网络的方案类标准。这一举动得到了很多厂商的支持, 如贝加莱、西门子、施耐德、罗克韦尔、三菱、思科、霍斯曼、MOXA 等。随后, 这些主流自动化厂商开始陆续推出基于 TSN 技术的工业以太网产品。由此可见, TSN 成为工业通信领域厂商的共同选择已经是大势所趋。

随着工业企业的信息化转型, 生产系统之间的信息互通逐渐成为普遍需求。工业领域存在诸多私有协议,

要把不同厂商间各个终端节点的数据打通。这需要解决两个层面的问题: 一个是统一的网络架构和链路协议, 另一个是各厂商终端或系统间的数据交互接口。目前业内倾向于利用 OPC UA over TSN 的网络架构来实现这种互联需求, 即由 TSN 提供统一的链路层实时传输, 同时由 OPC UA 提供统一的信息交互架构。OPC 基金会下的 Shaper 工作组正致力于推动此项融合技术的落地。ABB、思科、倍福、华为等厂商是其中的主要参与者。

### (2) 车载以太网网络

在传统的车载网络中, 各类总线的应用范围有着比较明确的区分, 各设备和应用对带宽的要求也相对较低, 如表 1 所示。

面向媒体的系统传输 (MOST) 总线技术在一定程度上可以满足在引入多媒体信息娱乐系统 (MIS) 和基于高清摄像头的高级驾驶辅助系统后大量视音频数据的传输对网络带宽和时延的新需求。然而, 随着自动驾驶技术的发展, 辅助驾驶系统 (ADAS) 将大量精密的传感器融入系统之中, 对车载网络大带宽、低时延、确定性的需求日益迫切。同时人机交互越来越多样化, 智能化数据与电气参数之间的联动也需要一个统一融合的网络<sup>[8-10]</sup>。

TSN 基于标准以太网技术, 能够在二层网络提供高带宽、高可靠、确定性的流量承载和数据传输服务, 符合车载网络的发展需求。因此, 在 TSN 的支持下, 基于以太网发展下一代车载网络已经成为一种必然趋势。

目前, IEEE 802.1 TSN 任务组已经启动 P802.1DG 项目, 以进行 TSN 技术在车辆信息娱乐系统、驾驶辅助系统的应用研究。2016 年起, 芯片厂商恩智浦、英伟达、博通陆续研发 TSN 相关芯片, 并与知名车企联合, 进行了一系列基于 TSN 技术的车载网络应用测试及验证工作。2017 年初, 行业组织 AVnu 联盟发布了《车载以太网及 AVB 技术应用》白皮书, 推动了 TSN 技术在车载音视频领域的应用。

### (3) 移动前传网络

4G 网络采用了集中化无线接入网 (C-RAN) 架构, 即分布式的射频拉远单元 (RRU) 共享集中部署的基带单元 (BBU) 的方式, 以便解决重负载和轻负载基站之间 BBU 的利用均衡的问题。BBU 和 RRH 之间连接的网络称为前传网络。CPRI 标准是前传网络中应用最为广泛的接口规范。5G 网络的带宽消耗大概是 4G 的 1 000 倍, 使得移动承载网络面临更大的传输压力。由于其实现机制的原因, CPRI 接口只有利用造价高昂的光设备才能满足相应的性能要求, 且维护难度大, 不能很好地满足 5G 时代前传网络的承载要求。

由爱立信、华为、NEC 和诺基亚共同在 CPRI 的基础上设计的增强型 CPRI (eCPRI) 更加适应 5G 网络。相比于 CPRI, eCPRI 具有高带宽、高扩展性、低设备成本等优势, 并且可以支持基于以太网的承载方式, 为与 TSN 技术进行集成提供了基础。2018 年 11 月, IEEE 和 IEEE 标准协

▼表 1 车载网络主要总线一览表

类别	总线	通信速度 / (bit · s <sup>-1</sup> )	应用场景
A 类	LIN	10 <sup>4</sup> ~ 1.25 × 10 <sup>5</sup>	车身 (大灯、灯光、门锁、电动座椅等)
B 类	CAN	1.25 × 10 <sup>5</sup> ~ 10 <sup>6</sup>	状态信息 (汽车空调、电子指示、故障诊断等)
C 类	FlexRay	10 <sup>6</sup> ~ 10 <sup>7</sup>	实时控制 (引擎控制、ABS、悬挂控制、线控转向等)
D 类	MOST/1394	10 <sup>7</sup> 以上	汽车导航系统、多媒体娱乐系统等

ABS: 防抱死制动系统  
LIN: 局域互联网络

CAN: 控制器局域网络  
MOST: 面向媒体的系统传输

会 (IEEE-SA) 发布了针对前传时效性网络的 IEEE 802.1CM-2018 标准。新标准解决了使用以太网将蜂窝无线电设备连接到远程控制器的问题, 有望在 5G 小型蜂窝网络以及未来基于云的无线接入网络的技术设计中发挥重要作用。

#### (4) 运营商网络

2015 年国际标准化组织 IETF 成立了确定性网络 (DetNet) 工作组, 与负责第 2 层操作的 IEEE 802.1 TSN 工作组合作, 为第 2 层和第 3 层定义通用架构, 致力于在第 2 层桥接段和第 3 层路由段上建立确定性数据传输路径。这些路径可以提供延迟、丢包和数据包延迟变化 (抖动) 以及高可靠性的界限。可以说, DetNet 是广义的 TSN 技术。目前 IETF DetNet 工作组已经完成整体架构、数据平面说明、数据流信息模型等的成果交付, 为 TSN 技术应用于以互联网协议 (IP) 或多协议标签交换 (MPLS) 技术为基础的运营商广域网奠定了基础。同时, IEEE 802.1 TSN 任务组已经启动 P802.1DF 研究项目, 以定义 TSN 技术在运营商服务网络中的应用场景和技术需求。

#### (5) 信息网络

StarlingX 是 OpenStack 基金会旗下的一个试点项目, 它提供了一个完整的云堆栈, 专门为在边缘部署云而设计, 包括远端或 Lastmile, 以及工厂的内部云、工业物联网、多接入边缘计算 (MEC) 和虚拟无线接入网络 (vRAN) 等用例。StarlingX 的开源同时响应 Linux 基金会的 Akraino 项目。最新发布的 StarlingX 3.0 版本引入了 TSN, 开始尝试利用 TSN 技术实现在云计算、边缘计算等信息领域网络中数据流量的确定性传输。

#### (6) 5G 网络

第 3 代合作伙伴计划 (3GPP) R16 将 5G 端到端时延目标定为 1 ms。

就现有 5G 超可靠低延迟通信 (URLLC) 标准而言, R16 主要用于实现无线终端与基站之间的传输, 其技术思路与 TSN 并不相同。3GPP R16 23.501 已经将 TSN 技术纳入 5G 标准, 用于满足 5G 承载网的高可靠、确定性需求, 并与 URLLC 形成确定性传输的技术接力。5G URLLC 技术主要关注在可靠性和时延方面的业务保证, 而 TSN 技术则将在时延抖动以及时间同步方面对 5G 网络进行进一步增强。

3GPP R17 提出 TSN 增强架构。这种增强具体包括: 实现 5G 核心网架构的增强, 使控制面设计支持 TSN 相关控制面功能; 实现 5G 核心网确定性传输调度机制, 而不依赖外部 TSN 网络; 通过用户面功能 (UPF) 增强实现终端间的确定性传输; 实现可靠性保障增强和工业以太网协议对接, 并支持多时钟源技术。

## 2 5G 网络的特点及关键需求

### 2.1 5G 网络特点

作为新一代移动通信系统, 5G 致力于与垂直行业协同实现万物实时全连接。国际电联无线电通信部门 (ITU-R) 定义的增强移动宽带 (eMBB)、URLLC 和海量机器类通信服务 (mMTC) 三大需求是实现这种协同的技术基础。这主要体现在两个方面: 一方面, 5G 网络架构实现了转发面与控制面的彻底分离, 与网络切片和边缘计算技术的结合使得面向行业的可定制化网络构建成为可能。这

不仅可以实现垂直网络服务的快速上线和差异化服务质量保证, 还可以促进 5G 网络向垂直行业应用的开放发展。另一方面, 5G 网络因具有大带宽 (0 ~ 10 Gbit/s)、低时延 (1 ~ 100 ms) 和高可靠性 (99.9999%) 等能力, 已经获得业界广泛认可, 并被应用于工业互联网、智能电网、车联网通信、远程手术等新的垂直行业场景。

在 5G 标准的演进过程中, 3GPP R15 阶段致力于满足 eMBB 和 URLLC 敏感应用需求。在这一阶段, 3GPP 5G 相关标准可用于制造专业 5G 设备和建设独立全新的网络。5G 网络系统可满足超高视频、虚拟现实 (VR) 直播等对移动宽带的要求。虽然 3GPP R15 标准已经进一步减少了传输延迟, 并且提高了稳定性, 但是这些性能并不能满足一些对时延要求严格的应用需求。

3GPP 于 2018 年 6 月发布的 5G 独立组网 (SA) 标准明确定义了 5G 大带宽、高可靠、低时延等特性的实现方式, 使 5G 网络系统具备了在工业互联网、车联网、医疗等垂直行业应用的核心属性。3GPP 正在制定的 R16 版本正式确定 15 个研究方向, 明确将进一步研究 URLLC 来满足诸如工业制造、电力控制等工业物联网场景需求, 以及基于 5G 新空口的车用无线通信技术 (V2X) 场景需求。在 3GPP R16 的网络架构文稿 23.501 定义的 5G 关键应用场景中, 工业物联网和车联网对于业务的端到端时延要求最为严格, 如表 2 所示。

▼表 2 工业物联网和车联网对业务的端到端时延要求

主场景	子场景	端到端时延要求 /ms	3GPP 文件
工业物联网	离散制造业	10	TS 22.261 [2]
	智慧物流	30	TS 22.261 [2]
	高压配电	5	
车联网	高级驾驶、协同换道	10	TS 22.186 [111]
	远程驾驶	5	

3GPP: 第 3 代合作伙伴计划

## 2.2 TSN 与 5G 融合部署需求

在以工业为代表的垂直行业业务中，安全可靠、确定性地传输数据是通信技术的关键要求之一。工业互联网、车联网等应用对 5G 网络架构设计及技术选型提出了三大挑战。

### (1) 端到端极致确定性业务体验

在工业互联网和车联网场景下的应用系统中，典型的闭环控制过程周期可能低至毫秒级别。这种应用系统不仅对可靠性有着极高的要求，还对业务数据传输有着十分严格的确定性要求。实现整个 5G 网络系统中包括新空口 (NR) RAN 核心网在内的各个环节的性能优化和系统整体处理效率的提升，才可能实现端到端的极致高可靠低时延业务应用。TSN 技术在现有以太网 QoS 功能基础上增加了时间片调度、抢占、流监控及过滤等一系列流量调度特性，能够根据业务流量的特点配合使用相关特性，可以确保流量的高质量确定性传输。将 TSN 技术与 5G 网络的传输进行融合，可以更为有效地保证 5G 网络的端到端的高可靠低时延传输。

未来信息系统与生产设备之间的数据交互量将呈指数级增长。尤其是在部署了云平台 and 边缘计算节点的情况下，工业信息网络还将抵挡算力网络的流量冲击，对网络负载有较高要求。这就要求新一代工业网络能够实现大负载和确定性的高质量传送。

### (2) 异构系统的精密协作

5G 网络系统将以业务为中心全方位构建信息生态系统，实现设备之间的全面连接和精密协作。以智能工厂为例，生产设备、移动机器人、自动导引车 (AGV) 等智能系统内部均存在异构网络连接，并且各个系统可能会通过不同的方式接入到 5G 网络中。要实现这些设备系统之间的密切协同和无碰撞作业，就需要业务系统彼此

之间能够做到互联互通。

TSN+OPC UA 的组合被认为是解决异构系统互联互通问题的最佳组合，它可以同时实现网络的互联和数据层面的互通。TSN 技术基于标准以太网协议解决数据报文在数据链路层中的确定性传输问题；OPC UA 则提供一套通用的数据解析机制，以用于业务系统端设备，解决数据交换和系统互操作的复杂性问题。

### (3) 全业务承载差异化的传输质量保证

5G 网络全面使能垂直行业新业务模式。以智能工厂为例，工业增强现实可以通过音视频实现生产环境远程感知，以及在线生产指导。远程控制可以用于实现远程人机交互。在恶劣环境下使用机器人有助于实现安全生产。此外，大量的设备维护、原材料及产品数据信息都需要通过传感器、射频识别 (RFID)、智能终端等方式上传到云端。上述业务涉及的音视频、控制信号、物联网数据的传输会采用不同的传输机制和质量标准。虽然分片技术可以用来实现不同业务之间的差异化业务，但是目前的分片技术仅可以在空口和核心网实现，对于承载网则没有特定的技术方案。TSN 基于软件定义网络 (SDN) 架构实现网络资源的集中管理和按需调度，同时配合精确时间同步、流量调度等功能，可为不同类型的业务流量提供智能化、差异化的承载服务。将 TSN 技术与 5G 承载网融合部署，或许可以为 5G 端到端分片提供一种解决思路。

## 3 TSN 与 5G 融合部署演进

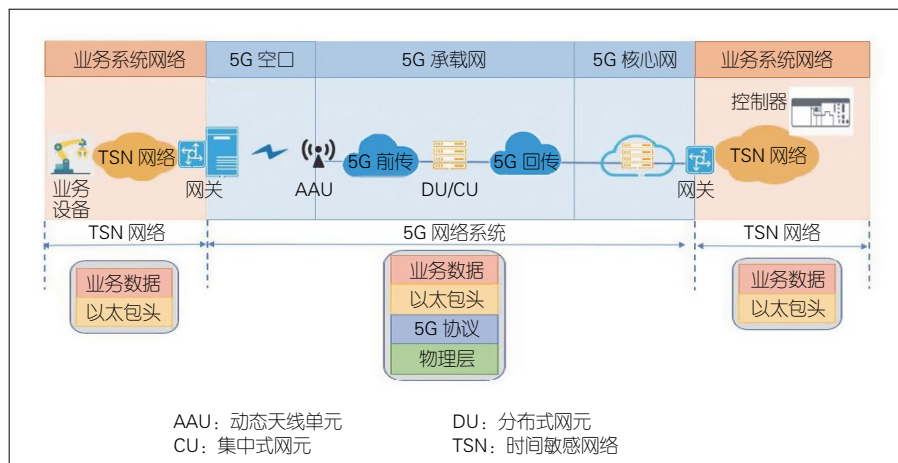
从 3GPP R16 相关标准中可以看出，端到端确定性传输是 5G 网络能够在工业互联网、车联网等对网络传输有极致要求的垂直领域落地应用的关键。5G 的确定性网络应该是一个端到

端的概念，它涉及业务系统网络、无线空口、承载网、核心网等多段网络。结合目前产业界需求及相关研究成果分析，我们认为 TSN 与 5G 的融合部署大体可以分为拼接式融合、5G 承载网融合和深度融合 3 个阶段。

### 3.1 拼接式融合

2018 年 6 月 3GPP 发布的 5G SA 标准定义了 5G 大带宽、高可靠、低时延等特性的具体实现方式，进一步降低了业务传输时延，提高了系统稳定性。在此基础上，5G 网络系统与 TSN 技术融合并提供网络服务的关键在于 5G 网络与 TSN 网络的互通，即把原有已经具备 TSN 特性的业务系统 (如工业控制网络、车载网络等) 与 5G 系统进行拼接，协同流量调度，通过分段实现业务传输的确定性来提升端到端业务传送质量，如图 1 所示。

在此类方案中，整个业务系统被看成一个用户设备 (UE)，TSN 中的流量分类要与 5G 网络系统的业务类型建立映射关系，同时 TSN 对于流量配置的相关标记需要被保留。流量在经过 5G 网络系统的远程传输后剥离 5G 封装，并且在进入到协同业务系统后，仍然按照 TSN 流量调度类型进行确定性传输。该方案的关键在于 TSN 网络与 5G 网络的边缘应部署对应网关。按照部署位置的不同，这种网关有两种：部署于 TSN 网络与蜂窝无线网络之间的 UE 侧网关和部署于 TSN 与 5G 核心网之间的核心网侧网关。TSN 与 5G 融合部署网关在业务系统网络侧的接口需要具备 TSN 的相关特性，并兼具将业务系统数据及包含 TSN 特性的以太网封装进 5G 传输包头中的功能。在封装过程中，网关还要将相关的业务流量标识映射到 5G 网络传输结构中。此外，UE 侧网关还需要具备有线网络向无线蜂窝网络转换的能力。



▲图1 TSN 与 5G 网络系统拼接部署示意

### 3.2 承载网融合

除了 5G 网络系统 NR 标准及新的核心网架构以外，承载网络的重构也是一个重要研究方向。5G 网络系统中承载网络通常采用有线网络进行流量承载。在分布式网元（DU）和集中式网元（CU）合设的情况下，承载网络通常可以分为前传和回传两部分，如图 2 所示。

自 3G 开始移动回传网络通常采用包转发技术进行基站到核心网之间的流量承载，例如无线接入网 IP 化（IPRAN）、分组传送网（PTN），并借助 MPLS 转发技术实现业务流量的转发、调度和保护倒换。目前基本承

载技术已相对稳定成熟。5G 时代的回传网络一方面结合 SDN 和网络功能虚拟化（NFV）技术将驱动回传网络的智能化演进，另一方面天然具备利用确定性网络技术（MPLS Over TSN）实现回传网络低时延、低抖动业务传输的能力<sup>[11-13]</sup>。

在 4G 时代，射频单元与基带单元分离的基站架构催生了前传网络的概念。CPRI 可作为前传网络主流接口。射频单元与基带单元的无线电单元通过光纤进行直连，只需要将信号调制到有线物理载波上即可完成传输。为更好地满足 5G 网络大带宽、高可靠、低时延传输要求，爱立信、华为、

NEC 和诺基亚在 CPRI 的基础上创建了更加适应 5G 网络的 eCPRI。eCPRI 接口用户面数据基于以太网进行传送。以太网具有带宽大、扩展性高、设备成本低等优势，可以更好地与光传送网相匹配。可以说以 eCPRI 为接口的 5G 前传网络已经具备了与 TSN 融合部署的技术前提。事实上，IEEE 为此成立了两个相关项目组：IEEE 1914 下一代前传接口工作组和 IEEE 802.1CM 前传 TSN 工作组。

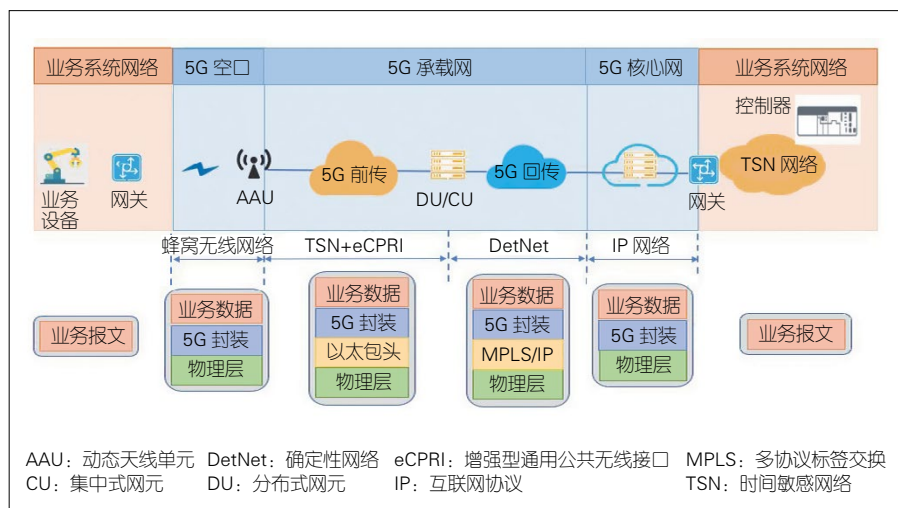
值得注意的是，当 CU 与 DU 分离部署真正实现后，前传的传输距离可能缩短，DU 与 CU 之间的中传网络将很可能采用包传输方式进行数据传输。因此，TSN 与 5G 中传网络的结合也将是融合部署的一个关键点<sup>[14-16]</sup>。

TSN 与 5G 承载网的融合，不仅存在利用 TSN 技术驱动承载网实现确定性传输的需求，还具备从回传到前传再到中传部署 TSN 技术的基本技术前提。TSN 与 5G 承载网融合部署的实现，将推进确定性传输方案从业务系统 TSN 网络与 5G URLLC 的拼接模式向 5G 网络系统内部承载网融合方向演进。

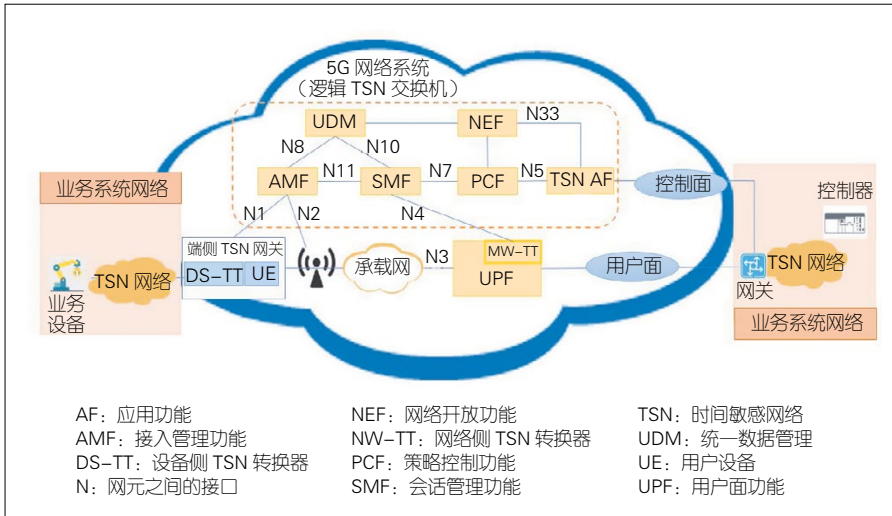
### 3.3 深度融合

在 TSN 与 5G 深度融合阶段中，整个 5G 网络系统将升级为具备 TSN 特性的桥接系统，以承载业务系统流量的远程确定性传送。3GPP R16 23.501 已经明确提出相关技术思路，如图 3 所示。

在深度融合的架构下，相对于业务系统 5G 网络被视为黑盒 TSN 交换机，支持 TSN 集中式架构和时间同步机制，并通过定义新的 QoS 模型（流方向、周期、突发到达时间）来实现精准的流量调度，同时实现 5G 系统中 UE 到 UPF 之间多种确定性业务流量的共网高质量传输。其中涉及的关键技术有 4 个方面。



▲图2 TSN 与 5G 承载网络融合部署



▲图 3 TSN 与 5G 深度融合部署

(1) TSN 技术与空口传输的融合: 在 URLLC 通信服务基础上增加时间同步、时延和时延抖动的有界性定义, 将 TSN 技术思路应用于无线空口。

(2) 设备侧 TSN 转换器 (DS-TT): 在 UE 侧部署 DS-TT 对相关端口、协议数据单元和 QoS 机制进行 UE 与业务系统之间的映射, 并支持 TSN 相关流量调度。

(3) 网络侧 TSN 转换器 (NW-TT): NW-TT 对相关端口、协议数据单元和 QoS 机制进行核心网与业务系统之间的映射, 并支持 TSN 相关流量调度。

(4) TSN 应用功能 (AF-TSN): 支持在同一 UPF 下的 UE 与 UE 之间确定性通信的能力开放。

在深度融合阶段, TSN 技术思路被进一步应用到 5G 网络系统中。除了承载网以外, 用户面的空口和核心网融入了 TSN 的流量调度特性, 同时控制面还结合了 TSN 的网络架构。

### 4 结束语

在 5G 进入规模化部署以后, 以工业互联网、车联网为代表的垂直行业对网络系统的确定性提出了更为严格要求。本文从 TSN 发展现状和技术

优势等方面分析了 TSN 适用的 6 种场景, 并结合 5G 网络系统特点及相关行业对于 5G 网络系统的新需求, 分析了 TSN 与 5G 网络系统融合部署的必要性, 重点提出了 TSN 与 5G 融合部署的演进思路和技术方案。总体而言, TSN 与 5G 网络系统的融合正处于探索阶段, 尚有许多技术细节需要进一步研究论证。但是可以预见, 这种融合将成为 5G 网络系统向确定化演进的重要技术方向。

### 参考文献

- [1] 3GPP. System architecture for the 5G System (5GS): 3GPP TS 23.501 [S]. 2019
- [2] 3GPP. Policy and charging control framework for the 5G System (5GS): 3GPP TS 23.503 [S]. 2019
- [3] 3GPP. Service requirements for the 5G System: 3GPP TS 22.261 [S]. 2018
- [4] Ericsson, Huawei, NEC, et al. Common public radio interface: eCPRI interface specification V2.0 [EB/OL]. (2019-05-10)[2020-01-15]. [http://www.cpri.info/downloads/eCPRI\\_v\\_2.0\\_2019\\_05\\_10c.pdf](http://www.cpri.info/downloads/eCPRI_v_2.0_2019_05_10c.pdf)
- [5] IEEE. IEEE standard for local and metropolitan area networks — bridges and bridged networks — amendment: IEEE 802.1Q-2018 [S]. 2018
- [6] IEEE. Enhancements to fronthaul profiles to support new fronthaul interface, synchronization, and synchronization standards: IEEE P802.1CMde [S]. 2019
- [7] IEEE. TSN profile for automotive in-vehicle ethernet communications: IEEE P802.1CDG [S]. 2019
- [8] IEEE. TSN profile for service provider networks:

- IEEE P802.1CDF [S]. 2019
- [9] IETF. IETF Deterministic Networking (DetNet) working group [EB/OL]. [2020-01-03]. <https://datatracker.ietf.org/wg/detnet/>
- [10] 王卫斌, 朱进国, 王全. 5G 核心网演进需求及关键技术 [J]. 中兴通讯技术, 2020, 26(1): 67-72. DOI: 10.12142/ZTETJ.202001015
- [11] 黄韬, 汪硕, 黄玉栋, 等. 确定性网络研究综述 [J]. 通信学报, 2019, 40(6): 160-176. DOI: 10.11959/j.issn.1000-436x.2019119
- [12] 工业互联网产业联盟. 时间敏感网络 (TSN) 产业白皮书 (征求意见稿) [EB/OL]. (2019-10-31)[2020-01-03]. <http://www.aii-alliance.org/index.php?m=content&c=index&a=show&catid=23&id=800>
- [13] 张蕾, 夏旭, 朱雪田. 基于 5G 确定化网络的行业应用研究 [J]. 电子技术应用, 2019, 45(12): 20-28
- [14] ITU. Functional architecture for supporting fixed mobile convergence in IMT-2020 networks: ITU-T Y.3131 [S]. 2019
- [15] 赵福川, 刘爱华, 周华东. 5G 确定性网络的应用和传送技术 [J]. 中兴通讯技术, 2019, 25(6): 62-67. DOI: 10.12142/ZTETJ.201905010
- [16] IMT-2020 (5G) 推进组. 5G 愿景与需求 [R]. 2014

### 作者简介



**朱瑾瑜**, 中国信息通信研究院技术与标准研究所产业互联网研究部工程师; 主要研究方向为工业互联网网络技术、时间敏感网络技术、移动承载网络技术等, 从事技术研究及相关标准研制工作; 参与工信部、科技部多个工业互联网项目的研究与建设。



**张恒升**, 中国信息通信研究院技术与标准研究所产业互联网研究部副主任; 主要研究方向为工业互联网网络; 主持参与工业互联网总体网络架构等多个标准的制定工作, 参与工信部、科技部多个工业互联网项目的研究与建设。



**陈洁**, 中国信息通信研究院技术与标准研究所产业互联网研究部工程师; 主要研究方向为工业互联网网络架构、园区网络架构以及工厂外网架构等; 参与工信部、科技部多个工业互联网项目的研究。