

5G TSN 融合发展和 应用方案探索


Exploration of 5G TSN Integration Development and Application Solutions

董秋丽, 李 静 (中国联通研究院, 北京 100048)
Dong Qiuli, Li Jing (China Unicom Research Institute, Beijing 100048, China)

摘要:

为了达到5G使能工业网络的目的,3GPP对低时延、高可靠场景进行了全面增强,在标准上深度讨论和制定了支持TSN的确定性业务的方案。5G TSN打造全面互通灵活接入的确定性工业网络,5G和TSN的融合是技术发展的趋势。重点分析了5G TSN网络的需求,归纳了5G TSN技术的标准化研究进展;最后对应用方案进行了探索和总结。

关键词:

5G; TSN; 应用
doi: 10.12045/j.issn.1007-3043.2024.01.019
文章编号: 1007-3043(2024)01-0088-05
中图分类号: TN915
文献标识码: A
开放科学(资源服务)标识码(OSID): 

Abstract:

In order to achieve the purpose of 5G enabling industrial networks, 3GPP has comprehensively enhanced low latency and high reliability scenarios, and has deeply discussed and developed solutions to support deterministic services in TSN from the standard level. 5G TSN builds a deterministic industrial network with comprehensive interoperability and flexible access. The integration of 5G and TSN is the trend of technology development. It focuses on analyzing the requirements of 5G TSN network, and summarizes the standardization research progress of 5G TSN technology. Finally, it explores and summarizes the application solutions.

Keywords:

5G; TSN; Application

引用格式: 董秋丽, 李静. 5G TSN融合发展和应用方案探索[J]. 邮电设计技术, 2024(1): 88-92.

0 引言

随着工业物联网、自动化制造、智能交通等领域的不断发展,对网络时延精度和可靠性的要求也越来越高。在这种背景下,5G TSN技术应运而生,成为满足高时间精度、高可靠性应用的重要技术手段。5G TSN技术将5G网络和TSN技术结合起来,实现对工业物联网、自动化制造、智能交通等领域中时延抖动和

可靠性要求更高的应用的支持。5G TSN技术可以提供更高的网络时间精度和可靠性,为相应的工业应用带来显著好处;通过5G无线网络替代工厂内有线网络,解决工厂有线连接的问题,增加工业设备和网络部署的灵活性,让工业生产更加柔性化。5G TSN打造全面互通灵活接入的确定性工业网络。TSN作为有线代表、5G作为无线代表,二者融合是技术发展的趋势。本文旨在研究5G TSN融合需求、标准演进进展,并对应用方案进行探索,为进一步推动5G TSN融合技术的发展做出贡献。

收稿日期: 2023-12-22

1 5G TSN 融合需求

1.1 背景

TSN 是由以太网音视频桥接技术 (Audio Video Bridging, AVB) 网络演进而来, AVB 工作组制定了一系列新的 802.1 技术标准, 对现有以太网进行功能扩充, 包括带宽保持、限制延时和精确时钟同步, 提供了高质量、低延时、时间同步的音视频局域网解决方案。之后, 随着工业和汽车对实时以太网技术的需求迅速增长, 在 2012 年, AVB 工作组更名为 TSN 工作组, 在已有技术的基础上, 进一步针对实时通信应用场景, 提出了更多可行的技术标准, 借此在未来的工业和汽车等领域继续引领以太网技术的发展。然而, 随着技术的演进, 有线的工业通信网络已经不能适配所有场景的需求, 工业 4.0 需要网络破除僵化壁垒, 提供更加动态、灵活和智能的连接。

1.2 行业需求推动

行业需求推进 5G TSN 融合。垂直行业对网络提出了额外的要求: 即时延敏感要求和灵活可靠的连接。例如工业领域的 PLC 系统需要按特定顺序执行控制动作, 系统内各设备甚至需要 μs 级的时钟同步; 运动控制通过定期向执行器传输请求的速度和位置值等来实时控制机器部件的运动和旋转, 系统必须在特定时刻及时完成所有相关执行器的数据和所有传感器报告的传输, 以实现精确运动, 因此需要较低的时延。港口龙门吊场景通过远程控制可以避免高空作业的安全风险, 需要较低的时延和灵活的网络部署。将 5G 网络和 TSN 技术结合起来, 可实现对工业物联网、自动化制造、智能交通等领域中对网络时序精度和可靠性要求更高的应用的支持。表 1 所示为未来工厂的一些最重要应用领域的节点数量、周期时间和有效载荷大小的一些典型值。这些典型的需求反映了当前 5G 网络满足行业时延需求需要达到的指标。

1.3 技术优势推动

5G 和 TSN 融合在技术上具有优势。TSN 是以太网协议模型中第 2 层 (数据链路层) 的一套协议标准。TSN 技术可以提供更高的网络时序精度和可靠性保障, 包括精度时钟同步、低时延抖动、高可靠性等确定性服务。同时, 基于通用标准构建工业以太网的数据链路层传输, 打破封闭协议限制, 提高连接性和通用性, 使得工业互联网生态更开放。5G uRLLC 功能提供了与 TSN 功能的良好匹配, 这 2 种关键技术可以组合

表 1 未来工厂典型场景业务需求

应用场景		可靠性/%	典型消息大小/B	循环时间/ms	设备数量	典型服务区域
运动控制	印刷机	>99.999 9	20	<2	> 100	100 m×100 m×30 m
	机床	>99.999 9	50	<0.5	~20	15 m×15 m×3 m
	封装机	>99.999 9	40	<1	~50	10 m×5 m×3 m
移动机器人	协同运动控制	>99.999 9	40~250	1	100	< 1 km ²
	视频运动控制	>99.999 9	15~150	10~100	100	< 1 km ²
具有安全功能的移动控制面板	装配机器人	>99.999 9	40~250	4~8	4	10 m×10 m
	移动起重板	>99.999 9	40~250	12	2	40 m×60 m
过程自动化/监控		>99.99	可变	>50	10 000 设备/km ²	

和集成以提供端到端的确定性连接。在时延方面, 可实现最低空口时延 1 ms 的目标; 在此基础上, 时间同步方面, 通过 UE、gNB 和 UPF 之间的时钟同步, 在 5G 作为 TSN 网桥时, 保障数据传输的确定性时延, 5G 内时钟同步误差小于 1 μs ; 通过传输时延补偿, 5G 内时钟同步误差小于 900 ns。5G TSN 融合将进一步增强网络的实时性能, 满足实时控制和监测的需求。

2 5G TSN 标准化进展

5G 系统是工业应用中无线通信的关键使能技术。3GPP 从一开始就考虑了工业应用场景的超高可靠、超低延迟的技术特征。3GPP 分别在 SA 和 RAN 开展 TSN 的研究, SA 侧首先从需求角度展开分析, 开展垂直行业对除时延外的确定性要求研究; 之后分别在 SA2 和 RAN 开展 5G TSN 的研究; 在 R16 完成 5G TSN 系统间拉通, 完成基本与 TSN 系统的对接功能; 在 R17 进行深度确定性增强, 灵活的时间同步机制以及扩展的 TSCAI 帮助 RAN 调度; R18 进行广域扩充, 包括支持 DetNet, N3 确定性以及时间同步增强。

图 1 所示为 TSN 标准研究的主要内容。以下就 R16、R17、R18 的研究课题和主要研究内容进行了进一步的介绍。

2.1 5G TSN 网桥阶段

即 R16 5G TSN 阶段, 主要连通两端的 TSN 网络, 5G 作为 TSN 网桥, 保障端到端网络的确定性。TSN 在 5G 顶层集成, 最大限度减少对现有 5G 网络内部机制的影响, 需要完成 TSN 网桥能力上报、配置信息下发以及 QoS 映射等功能。首先, 将 5G 充当 TSN 网络的 1

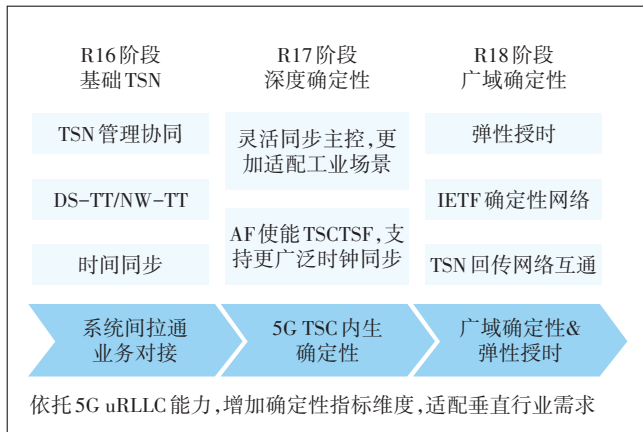


图1 5G TSN 标准化进展

个或多个网桥集成在TSN系统中。TSN在5G顶层集成,并通过TSN转换器(TSN translator, TT)进行系统间拉通。

5G系统与TSN网络系统在技术上融合创新并协同部署。通过支持802.1Qci和802.CB协议和5G Delay Critical GBR QoS management功能,同时在控制面引入TSN AF,用户面引入NW-TT(UPF侧)和DS-TT(UE侧),对相关端口、协议数据单元以及QoS机制进行UE和业务系统间的映射,支持TSN相关流量调度特性。一方面,通过TSN转换器(NW-TT和DS-TT)解决5G与TSN网络的对接;另一方面,完成业务能力的适配,即以以太网转发功能、增强的QoS和高精度时间同步。5G TSN融合进一步满足时间同步、低时延、高可靠、资源管理等功能需求。

R16支持的5G TSN关键功能包括高精度时间同步、确定性转发、TSN管理协同、网络拓扑发现和Ethernet类型的PDU Session。

5G TSN网桥阶段是5G与TSN早期系统拉通的解决方案。时间同步作为其操作的重要组成部分嵌入到5G蜂窝无线系统,主要应用在5G与传统网络共存、不同域协作的场景。5G TSN网桥阶段版本是5G TSN融合早期版本,它提供了基本思路和框架。

2.2 确定性增强阶段

5G增强确定性功能,一方面新增网元管理5G系统内TSN相关模块功能,另一方面通过灵活配置同步主控,增强时间同步的灵活性,更加适配工业场景如UE-UE通信。通过全面引入相关的TSN特性以支持更高要求的工业网络,提升了确定性网络能力,保障UE-UE的确定性通信,适配工业非TSN网络,为外部提供时钟源;保障更多的确定性网络能力。R17对5G

TSN进行了增强以支持TSC,并分别在SA2和RAN(IIoT)开展研究,进一步扩展了时间敏感通信,提升内生确定性网络能力,保障UE-UE的确定性通信,适配工业非TSN网络,为外部提供时钟源;保障更多的确定性网络能力。

R17支持的5G TSN主要包括如下功能。

a) 引入survival time,优化RAN侧调度。
b) 新增网元TSC TSF(Time Sensitive Communication and Time Synchronization function),支持更广泛的时钟同步服务。

c) 支持UE-UE通信。确定性增强阶段从5G系统内部提升时间感知能力,时间同步机制更加灵活,是5G系统内部具备TSN能力的阶段。特别是UE-UE的确定性通信能力,可以更好地匹配行业需求。

2.3 广域确定性阶段

5G支持IETF确定性网络(DetNet),保障更广域的确定性能力。5GS和回传网络的TSN互通,是在回传网络已经支持TSN的基础上,回传网络和5GS互通可以提供端到端的确定性转发能力。TSN与5G承载网融合提升传输网络的确定性,就是提升N3接口上的确定性。其好处是使得N3接口的组网更加灵活,可以把TSN网络部署在更大的范围内。同时,除了TSN网桥外,支持与CNC交互,完成TSN功能,面向CNC的交互和相关功能配置标准化,实现“TSN in 5G”。

R18计划进行功能提升(与DetNET互通),保障更广域的确定性能力,主要包含如下研究项目和内容。

a) FS_DetNet项目。主要研究3GPP网络如何支持IETF确定性网络(DetNet),该项目目前还在研究阶段。

b) FS_5TRS_uRLLC项目。主要研究时间同步增强、时间同步能力开放增强、5GC和支持TSN的回传网络互通等内容。

广域确定性是5G确定性能力的进一步增强,通过N3确定性研究进一步提升系统低时延能力。通过弹性授时提出5G时间即服务的概念,除传统意义上的速率可靠性指标,5G满足诸如电网、金融等行业的授时需求。

3 应用方案探索

3.1 关键问题

5G系统与TSN网络融合需要在技术上的融合创新以及在方案上的协同部署。当前产业链发展还不

够成熟,相应产品仍处于早期阶段,同时系统间接口缺乏统一规范,接口适配工作较大,融合推进需要分步进行。应用方案针对以下3个关键问题逐步推进。

a) 应以具备 TSN 能力为基础,使得 5G 网络本身具备 TSN 能力。在低时延、高可靠的基础上,针对周期性业务流更进一步降低转发调度时延、精准的时延控制和抖动控制。

b) 提升 5G 网络 N3 确定性。5G 网络端到端确定性涉及业务系统网络、无线网络、承载网、核心网等多段网络,但是 N3 接口即承载网部分尚未进行标准化,亟需提升该部分的保障能力。

c) 与外部 TSN 网络的对接能力。如通过 DS-TT、NW-TT 与外部网络对接,逐步实现与工业应用无缝融合,拓展 5G 网络应用场景。

3.2 基础能力提升

相比传统业务,垂直业务需要确定性能力要求,如图 2 所示。因此,5G 具备 TSN 功能是首先要解决的关键问题,这也是 3GPP 标准 R16/R17 阶段所研究的内容。

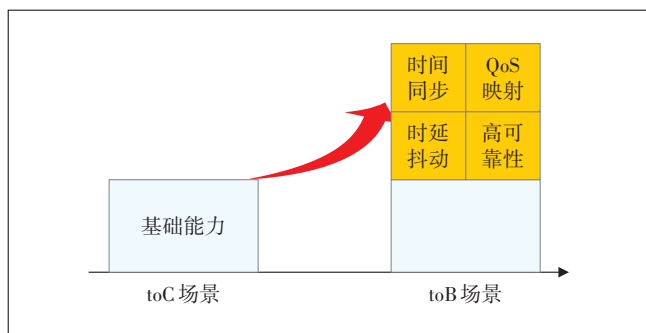


图2 相比toC业务,toB业务具有能力增强要求

a) 5G 实现 TSN 精确时间同步的能力。采用高精度时钟同步技术,如 IEEE 1588v2、GPS、北斗卫星等,

实现 μs 级时钟同步。通过 5G 系统分发外部时钟;通过 SIB9 和 UAI 配置实现 5G 网络时钟同步。

b) 5G 实现 TSN 流调度业务保障能力。TSN 中的流量分类与 5G 网络的业务类型建立映射关系,同时保留 TSN 对于流量配置的相关标记。流量在经过 5G 网络的传输后剥离 5G 封装,进入业务系统,仍然按照 TSN 流量调度类型进行确定性传输。5G 网络通过 QoS 为 TSN 数据包分配优先级,保障 TSN 数据包的优先级和可靠性。

c) 5G 实现有界确定时延和抖动的能力。通过 Delay Critical GBR、TSCAI 调度、预调度等技术降低空口时延;在抖动方面,基于 802.1Qbv 精准门控的优化调度、低 MCS 等技术,消除抖动。

d) 5G 实现 TSN 帧复制和帧消除的高可靠能力。通过双 UE、双连接、帧复制和帧消除等机制提升系统可靠性。

3.3 承载网增强

N3 确定性是 5G 端到端确定性的重要组成部分。目前实现上可以通过本地分流方案,或者通过网络切片、FlexE 等方式提升承载网能力。

5G 本地数据分流是指在 5G 网络中,将用户设备产生的数据流量分流到本地网络中处理,而不是全部发送到核心网络中处理。可以通过 UPF 下沉或者基站侧数据分流的方式实现。本地数据分流可以将数据处理分配到距离用户更近的边缘设备上,从而减少数据在网络中的传输距离和时间,降低网络时延。同时还能保障园区数据不外流,使得企业数据得到保护,节省防火墙的配置。5G 本地数据分流是一种有效的网络优化手段,可以提高网络性能和用户体验,同时也可以减轻核心网的压力,提高网络资源利用率,从而支持更多的应用场景(见图 3)。

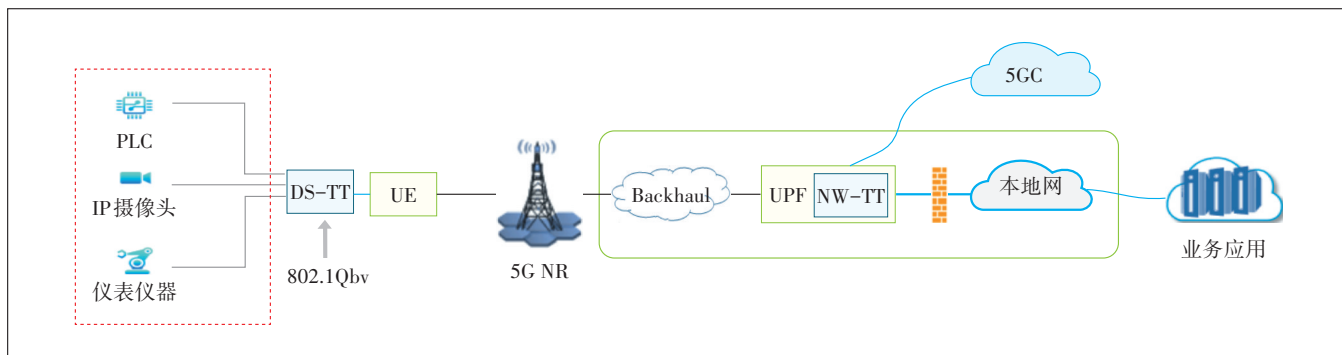


图3 本地分流方案

FlexE 技术是一种灵活以太网 (FlexEthernet) 技术, 它可以将以以太网接口的带宽拆分成更小的部分, 从而提高以太网的灵活性和可扩展性。FlexE 技术的主要作用是在提供高带宽网络连接的同时保证服务质量 (QoS)。网络切片是可以为 TSN 应用划分独立的网络切片, 提供可靠的网络资源保障。

同时, 也可以通过在 N3 接口部署 TSN 设备的方式进行互通。但是该方案还处于 R18 课题研究阶段, 需要标准化的支持。

3.4 协同部署方式

在当前的工厂中, 对时间要求严格的设备 (例如控制器和现场设备) 都是通过有线连接。无线对有线替换需要逐步渗透, 完成有线和无线的无缝对接是必须要解决的问题。因此需要打通系统间接口, 形成统一的网络, 实现网业协同。目前, 标准支持通过 DS-TT 和 NW-TT 完成 5G 与 TSN 对接。DS-TT/NW-TT 可作为用户面网桥的入口/出口, 支持 802.1Qbv 定义的门控机制执行保持和转发缓冲功能, 实现确定性转发时延。控制面通过 TSN AF 适配 5GS 接口与 TSN 协议, 实现与 TSN CNC 的 CP 交互。同时, 通过工业网关实现 5G 与原有工业协议的适配, 完成不同协议层的转换也是一个可行的解决方案。

4 结束语

5G 与 TSN 融合, 本质是 5GS 实现 TSN 网络部分网元的功能, 达成无线的 TSN 网络能力。精准授时、确定性保障、管理协同等为工业互联网提供低时延、低抖动的确定性通信, 助力工业互联网的无线化和柔性制造。应用方案结合 5G TSN 标准演进情况, 从 5G 本身出发使能确定性能力, 注重基础能力提升。之后再打通系统间接口, 实现网业协同。TSN 为 5G 注入了新活力, 在传统维度上新增了确定性能力, 同时新增时间服务作为能力指标提供给外部设备。但是 5G TSN 的实际部署尚处于起步阶段, 应用较少, 未来还应探索更多实际应用助力 5G TSN 技术越来越成熟。

参考文献:

[1] 3GPP. Service requirements for cyber-physical control applications in vertical domains; 3GPP TS 22.104 [S/OL]. [2023-08-09]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.

[2] 3GPP. Study on communication for automation in vertical domains (CAV); 3GPP TR 22.804 [S/OL]. [2023-08-09]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.

[3] 3GPP. System architecture for the 5G System (5GS); 3GPP TS 23.501 [S/OL]. [2023-08-09]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.

[4] 3GPP. Study on timing resiliency and TSC and uRLLC enhancements; 3GPP TR 23.700-25 [S/OL]. [2023-08-09]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.

[5] 5G-ACIA. Integration of 5G with time-sensitive networking for industrial communications [EB/OL]. [2023-10-22]. <https://5g-acia.org/whitepapers/integration-of-5g-with-time-sensitive-networking-for-industrial-communications/>.

[6] 3GPP. Study on 5G timing resiliency and TSC&uRLLC enhancements; WI # 940055 [R/OL]. [2023-08-09]. <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/WorkItem/WorkItemDetails.aspx?workItemId=940055>.

[7] 3GPP. Study on extensions to the TSC framework to support deterministic networking (DetNet); WI # 940054 [R/OL]. [2023-08-09]. <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/WorkItem/WorkItemDetails.aspx?workItemId=940054>.

[8] 中兴通讯, 中国移动研究院. 面向工业互联网的 5G TSN 实践与展望 [EB/OL]. [2023-08-09]. https://res-www.zte.com.cn/mediares/zte/Files/PDF/white_book/202203011054.pdf.

[9] 工业互联网产业联盟. 5G+TSN 融合部署场景与技术发展白皮书 [EB/OL]. [2023-08-09]. <https://aai-alliance.org/uploads/1/20220106/aa59fab3fb22ae7c8e6ed944a103879c.pdf>.

[10] NASRALLAH A, THYAGATURU A S, ALHARBI Z, et al. Ultra-low latency (ULL) networks: the IEEE TSN and IETF DetNet standards and related 5G ULL research [J]. IEEE Communications Surveys&Tutorials, 2019, 21(1): 88-145.

[11] 吴欣泽, 信金灿, 张化. 面向 5G TSN 的网络架构演进及增强技术研究 [J]. 电子技术应用, 2020, 46(10): 8-13.

[12] 张强, 王卫斌, 陆光辉. 工业互联网场景下 5G TSN 关键技术研究 [J]. 中兴通讯技术, 2020, 26(6): 21-26.

[13] 朱瑾瑜, 张恒升, 陈洁. TSN 与 5G 融合部署的需求和网络架构演进 [J]. 中兴通讯技术, 2021, 27(6): 47-52.

[14] 李立平, 陆威, 王梦晓, 等. 5G 专网 TSN 总体架构及关键技术 [J]. 移动通信, 2022, 46(8): 41-46, 105.

[15] 樊陆陆, 郭刚. 基于工业互联网的 5G TSN 研究 [J]. 通信技术, 2021, 54(4): 893-897.

[16] 杨旭, 肖子玉, 张明, 等. 5G 核心网面向 3GPP R16 演进关键技术及引入策略 [J]. 电信科学, 2021, 37(6): 150-159.

[17] 彭海燕, 郭钊杰, 瞿水华. 5G 专网技术在电网配网差动保护中的应用研究 [J]. 广东通信技术, 2022, 42(2): 43-48.

作者简介:

董秋丽, 工程师, 主要从事移动通信无线技术研究相关工作; 李静, 高级工程师, 主要从事移动通信无线技术研究相关工作。

