

5G-TSN 协同网络架构与关键传输 流程研究

Research on 5G-TSN Cooperation Architecture and Key Transmission Process

吴思远¹,毕紫航¹,王健全^{1,2},徐浩¹,孙雷^{1,2}(1. 北京科技大学自动化学院,北京 100000;2. 北京科技大学工业互联网研究院,北京 100000)

Wu Siyuan¹,Bi Zihang¹,Wang Jianquan^{1,2},Xu Hao¹,Sun Lei^{1,2}(1. School of Automation and Electrical Engineering,University of Science and Technology Beijing, Beijing 100000, China; 2. Institute of Industrial Internet, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100000, China)

摘要:

5G赋能行业应用是当前产业各方关注的焦点,工业业务需要由具有确定性特征的网络进行承载,而无线网络由于其信道特性,成为影响工业业务确定性传输的最大挑战。因此,5G与时间敏感网络的协同传输被学术界广泛关注,如何提升5G网络承载业务的确定性成为研究的重点。以3GPP标准的5G-TSN协同传输为基础,重点对5G TSN桥接网络架构、支持TSN的5G网元功能、5G空口调度增强策略等进行了阐述和分析;同时基于5G-TSN协同传输架构,对时间敏感业务流跨5G、TSN域的端到端数据传输流程进行了研究。

关键词:

5G网络;时间敏感网络;5G与TSN协同传输;5G TSN网桥

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2022.03.006

文章编号:1007-3043(2022)03-0029-07

中图分类号:TN929.5

文献标识码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Abstract:

5G enabling vertical applications is drawing attentions from all parties in the industry. However, industrial services should to be carried upon deterministic networks, and wireless network becomes the biggest challenge affecting the deterministic transmission of industrial traffic due to its random characteristics of radio channel. In this context, the cooperation transmission of 5G and time-sensitive networking has been widely concerned by the academic community, and how to improve the deterministic of 5G network has become hot research topics. Based on 5G-TSN cooperative transmission defined by 3GPP, it focuses on the 5G TSN bridge network architecture, the functions of 5G network elements supporting TSN and scheduling enhancements in 5G radio access networks. Furthermore, based on 5G-TSN cooperative transmission architecture, the end-to-end data transmission process across 5G and TSN domain is studied and presented.

Keywords:

5G network; Time-sensitive networking; Cooperative transmission of 5G and TSN; 5G TSN bridge

引用格式:吴思远,毕紫航,王健全,等. 5G-TSN协同网络架构与关键传输流程研究[J]. 邮电设计技术,2022(3):29-35.

0 引言

随着工业4.0等新概念的不断提出,企业数字化转型成为制造业的热门话题,工业互联网成为推动企业数字化转型的重要信息通信基础设施。数字化、网络化与智能化是工业互联网的3个重要特征,其中,数字化是基础,网络化是关键,智能化是目标,工业互联网通过网络对生产环节、工艺流程、人机交互等领域

广泛采集数据,构建数据模型实现智能化决策,达到提高生产效率、改进产品质量、降低生产能耗的目的。

未来工业互联网需要满足智能工厂的人员、机器、原料、方法、环境多要素的全面互联,进行全程多域的数据采集以满足数字孪生工厂的构建,从而实现生产全流程的灵活调配与优化。随着机器人、无人机等智能化工业设备的广泛使用,智能化工业业务对无线网络的需求越来越高。在此背景下,具有低时延、低抖动、高可靠的无线接入网络技术逐渐成为研究的焦点。

收稿日期:2022-02-16

时间敏感网络技术 (Time-Sensitive Networking, TSN)由国际电子电气工程师协会(IEEE) 802.1工作组提出,是对传统以太网的增强,能够提供高可靠和有界低时延的流传输服务^[1]。其业务承载方式与时分多址复用(TDMA)类似,在设备时间同步的基础上使用基于时间精准的优先级队列控制方式,使不同优先级的业务在“特定时间”独占传输资源,通过这种有序的资源分配,可以保证端到端时延抖动的有界性。其调度整形机制基于队列和时序进行数据包调度,将业务优先级不同的业务流映射到相应优先级的出口队列,减少了低优先级业务对高优先级业务的干扰,保障了业务的确定性传输。

赋能垂直行业是5G的一项重要使命^[2]。5G不再仅仅满足人与人之间的通信,更使工业现场设备能够实现更加便捷、灵活的网络接入,满足工业的无线化需求。然而,5G无线信道特性不利于工业控制业务的确定性传输,尤其涉及工业控制系统的场景,该场景对网络的稳定性要求更高。如何在接入无线网络的同时保证工业业务传输的确定性,是5G深度赋能行业必须具备的关键技术能力。因此,5G-TSN协同传输技术成为产业界和学术界共同关注的热点问题^[3]。

基于工业互联网发展趋势与工业业务无线化需求,本文重点针对5G-TSN协同传输架构、网元功能及端到端数据传输流程进行研究,旨在为5G-TSN协同传输关键技术的深化研究提供借鉴。

1 5G-TSN协同传输网络架构

TSN是在以太网架构上对二层机制的增强,其物理层机制仍然是以太网帧结构,以时分的方式实现资源的复用。在控制层面,通过资源预留、时间感知整形调度、帧抢占、帧复制与删除等机制来保证传输的实时性、确定性及可靠性。显然,5G与TSN网络在网络特征、技术特点、网络架构方面存在显著差异,网络融合面临诸多挑战。如何在当前5G和TSN网络功能架构基础上,最大限度地减少对各自网络功能的修改,并将TSN确定性业务传输机制引入5G网络,是进行5G-TSN协同传输架构研究的关键技术难题。

1.1 跨网协同架构

5G-TSN协同网络架构是实现工业业务确定性承载的基础,在融合架构方面,存在多种协同模式。常见的有:5G独立作为TSN网络模式、5G独立作为TSN链路模式(单TSN域)、5G作为TSN网桥/交换机互联

多TSN域模式、TSN作为5G承载网络模式^[4]。

5G独立作为TSN网络是指在TSN终端与控制器之间接入5G系统,由5G系统提供全部TSN功能;与之相区别的是5G作为TSN链路模式,此模式下5G系统充当一个TSN域内的TSN网络的一部分链路,此时5G需具备与TSN有线网络无缝融合、为TSN网络提供无线接入的功能;5G系统作为逻辑TSN网桥/交换机接入多个TSN域,可以实现多个TSN网络的无线协同;TSN作为5G承载网络是将TSN作为5G核心网网元及接入网网元间通道的连接技术,为5G网元间的数据转发提供确定性低时延保障。这4种模式对于网络的影响不同、承载能力及应用场景也各不相同。2020年7月,3GPP发布的Rel 16定义了5G-TSN协同架构^[5],该架构将5G作为TSN网桥,实现5G网络与多TSN域的互通(见图1)。

如图1所示,在5G-TSN协同架构中,将整个5G网络系统作为一个TSN网桥,包括设备侧TSN转换器(Device Side TSN Translator, UE/DS-TT)、5G接入网(NG-RAN)、5G核心网控制面、5G核心网用户面功能(UPF)、网络侧TSN转换器(Network side TSN Translator, NW-TT)和TSN AF。在该协同网络架构中,仅DS-TT与NW-TT支持TSN协议,实现与TSN域交换机和终端站点的对接,从而减少协同架构对5G网络自身的影响。

对于5G核心网,主要新增和增强了如下功能。

a) 新增TSN-AF功能,实现与TSN网络间的信令交互。

b) 增强PCF策略控制功能,实现对TSN业务的策略决策和下发通知。

c) 增强接入与移动管理功能(Access and Mobility Management Function, AMF)、会话管理功能(Session Management Function, SMF)、统一数据管理功能(Unified Data Management Function, UDM)等网元,实现对TSN业务的协议数据单元(PDU)会话的管理以及与UE/DS-TT间的TSN参数和策略互通。

d) 增强UPF;实现网络侧UPF/NW-TT与TSN业务网络间的TSN时钟同步。

1.2 网元功能介绍

1.2.1 新增网元

1.2.1.1 控制面——TSN-AF

TSN-AF作为5G新增网元,主要具备3个方面的功能。

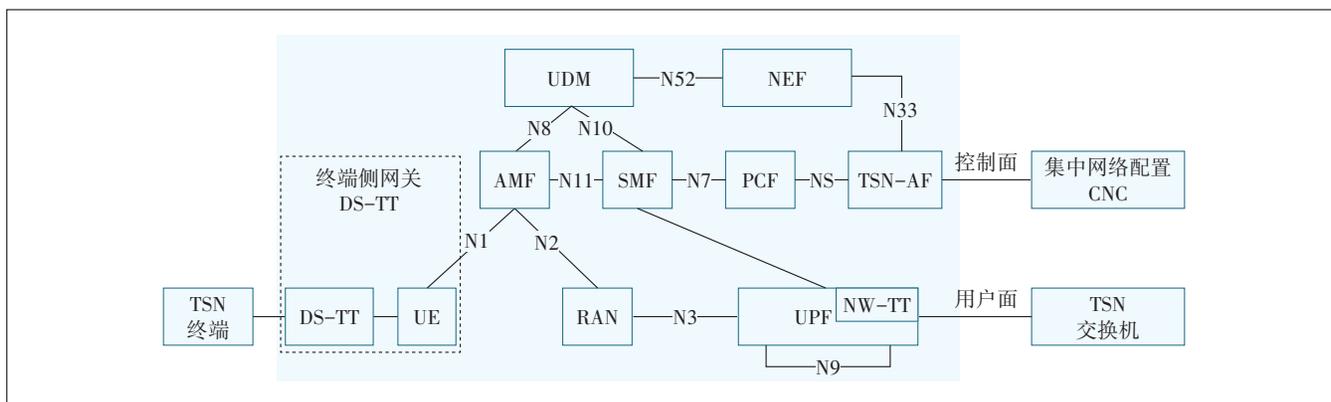


图1 3GPP R16提出的5G-TSN协同传输架构

a) 与TSN域中集中化网络控制器(Centralized Network Configuration, CNC)交互,实现TSN流传递方向、流周期、传输时间预算、业务优先级等参数向5G系统的传递。

b) 与5G核心网PCF、SMF等实体交互,实现TSN业务流关键参数在5G时钟下的修正与传递,并结合TSN业务流优先级配置相应的5G QoS模板,保障5G系统内的QoS。

c) TSN-AF与UPF及DS-TT交互,实现5G TSN网桥端口配置及管理功能^[6]。

1.2.1.2 用户面——DS-TT、NW-TT

新增TSN转换器NW-TT、DS-TT,支持IEEE802.1AS、802.1AB及802.1Qbv等协议以实现TSN网络的协议转换。IEEE802.1AS、IEEE802.1AB协议允许DS-TT通过高精度授时方式和NW-TT通过底层高精度时间同步协议(Precision Time Protocol, PTP)承载网的辅助,完成TSN网络与5G时钟的同步。

NW-TT可以接收来自TSN网络的通用精确时间协议(general Precise Time Protocol, gPTP)报文,并在其中加上时间戳,经过UPF将gPTP报文发送给DS-TT;DS-TT根据接收到的gPTP报文时间以及时间戳信息,计算gPTP报文在5G系统内的驻留时间,并设置gPTP报文头进行时延补偿,完成本地和TSN时钟的同步以及TSN时钟到TSN终端站的授时^[7]。另外,通过IEEE802.1Qci提供的对入口流量进行每流过滤和管控(Per-Stream Filtering and Policing, PSFP)以及IEEE802.1Qbv对出口队列进行的时间感知整形(Time-Aware Shaping, TAS)功能,实现对多种业务流量的有序映射和及时转发,满足多类别流量对网络可用带宽和不同的端到端时延要求。

1.2.2 增强网元

1.2.2.1 控制面——增强PCF、AMF、SMF

PCF是5G核心网的重要网元,是对多种业务流进行差异化QoS保障的功能实体。在5G-TSN协同传输架构下,PCF需要为来自TSN的业务流制定相应的5G QoS模板。在接收到来自TSN-AF提供的TSN业务的QoS需求参数(如:TSN业务流特征、TSCAI突发时间、周期、流向、优先级、时延、带宽等)后,PCF可以基于用户的签约和业务流特征,为不同等级的用户/业务分配合适的5G QoS策略,如针对TSN业务流、TSN时钟同步消息流分别指定满足各自传输需求的QoS策略。

SMF和AMF通过控制面信令交互,获取PCF下发的业务QoS模板(如5QI),一方面由AMF通过N2接口将消息发送给基站,另一方面由SMF通过N4接口将其携带给UPF,由UPF和UE将不同QoS需求的业务流映射到合适的PDU会话和QoS流中,在5G系统内实现区分不同业务流的差异化QoS调度。另外,SMF可以通过PCF与TSN-AF建立连接,交互5G网桥信息(包括时延、与相邻TSN节点的拓扑关系、端口配置信息),转发给对应的UE和UPF,以保证业务流量的共网高质量传输。

1.2.2.2 用户面——增强UPF

UPF增加了对5G域和TSN域时钟信息交互及监控功能,实现跨域的时钟信息同步;在此基础上,UPF需实现基于精准时间的调度转发机制,并支持以太网PDU会话类型,在UE和TSN域网络之间承载以太网帧,提供桥接的二层服务,实现快速数据包处理和转发。

1.2.3 集中化网络控制器(CNC)

基于IEEE802.1Qcc的集中化配置模型^[8],CNC掌握网络的物理拓扑结构和各个网桥节点能力的完整信息,对复杂的业务信息集中计算并决策出对应于业

务流的调度信息(传输路径、资源需求和调度参数), CNC还可配置交换设备。5G系统作为透明网桥,其自身相关信息需要上报TSN网络,由CNC统一配置。

一方面,CNC需要接收5G网桥的必要信息,比如:网桥ID、DS-TT和NW-TT端口上的预定流量配置信息、5G网桥的出口端口、流量类别及其优先级等。此外,5G系统还需要提供端口管理信息容器(Port Management Information Container, PMIC),在该容器中有DS-TT/NW-TT端口进行TSN数据转发的配置需求,用于支持TSN AF和DS-TT/NW-TT之间的传输标准化与特定部署的端口管理信息。

另一方面,CNC向5G系统提供配置信息,特别是与IEEE 802.1Q相关的信息。在CNC从5G网桥接收到必要的信息之后就计算这些配置信息,且最终在网桥中设置对应的5G QoS配置文档。例如:CNC根据接收的PSFP信息计算最大流比特率,由TSN AF提供给PCF,PCF对照5QI的平均窗口可以选择GBR,通过这种方式调整最大流比特率,得到5G QoS配置文档中的GBR参数;CNC还可以通过TSN AF向PCF提供业务类别中聚合的时间敏感流的最大突发大小,便于PCF导出5G QoS配置文档的最大数据突发量值(Maximum Data Burst Volume, MDBV)。

总之,与建立端到端连接相关的所有信息都可以由CNC通过5G核心网的接口进行交互和配置(需要对5G网桥进行预配置)。

1.3 5G空口调度策略增强

对于跨5G-TSN的端到端确定性传输而言,空口无疑是整个数据传输流程中最具挑战的一部分。为了让空口部分更好地为时间敏感业务流提供可靠的资源保障,5G核心网将从TSN域接收到的信息进行转化后,形成时延敏感通信辅助信息(Time-Sensitive Communication Associate Information, TSCAI)^[9],通过N2接口传递给基站,从而有利于基站有效地调度空口资源,能够为周期性的TSN业务进行半静态调度(SPS),在保障TSN业务流QoS的同时,提升5G系统对多业务的支持。

TSCAI主要包含如下3类参数。

a) 突发到达时间。用于指示在给定流向(UL为DS-TT, DL为NW-TT)下5GS入口端口的突发到达时间,有利于在5G网络上传输确定性流。

b) 周期时间。用于指示突发之间的时间间隔,协助5G网络传输确定性流。

c) 流方向。指示上述参数对应的业务流是上行方向还是下行方向。

2 5G-TSN跨网数据传输流程

2.1 5G-TSN网桥系统

从第1章的介绍可以看出,3GPP提出的5G-TSN协同传输网络架构是将5G网络作为TSN的网桥系统。如图2所示,在该协同架构下,5G网络中新增的NW-TT、DS-TT 2个边界网关被纳入TSN网络CNC的管理范畴^[3]。CNC与TSN AF基于数据链路层发现协议(link layer discovery protocol, LLDP)进行通信,使得5G网桥的信息全部上报,由CNC集中决策并对TSN网桥进行配置。DS-TT、NW-TT支持TSN数据流的保持和转发机制,可以通过门控在预定的传输时延将数据包转发到对应的NW-TT和DS-TT端口。

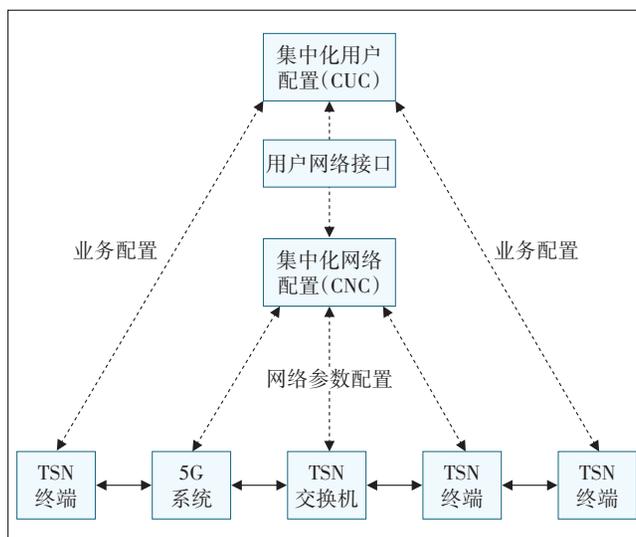


图2 5G在协同传输架构中的位置与角色示意图

图3为5G网桥系统组网示意图,每个5G网桥由UE/DS-TT侧的端口、UE与UPF之间的用户面隧道(PDU会话)以及UPF/NW-TT侧的端口组成。其中UE/DS-TT侧的端口与PDU会话绑定,UPF/NW-TT侧的端口支持与外部TSN网络连接。UE/DS-TT侧的每个端口可以绑定一个PDU会话,连接在一个UPF的所有PDU会话共同组成一个网桥;在UPF侧,每个网桥在UPF内有单个NW-TT实体,每个NW-TT包含多个端口。5G系统可以充当多个网桥,用UPF区分,网桥ID与UPF的ID具有关联关系^[5]。

在该系统中,控制面功能TSN AF接收5G网桥的信息,将信息注册或更新到TSN网络并在CNC进行集

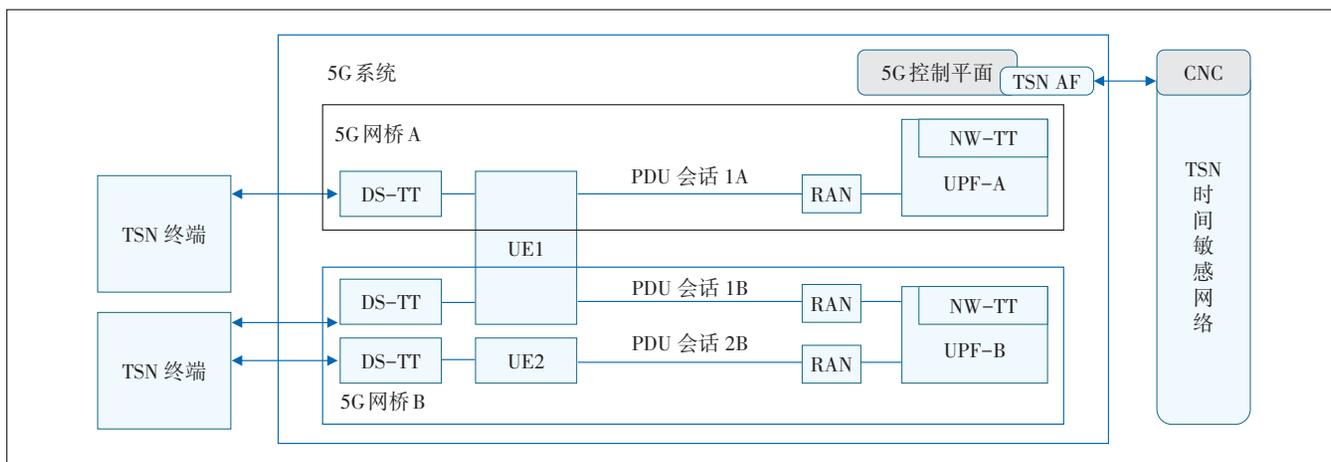


图3 5G-TSN网桥系统组网示意图

中配置。5G网桥的配置信息包括以下内容。

- a) 5G系统网桥 ID。
- b) DS-TT和NW-TT端口上的预定流量的配置信息。
- c) 5G系统网桥的出口端口,例如DS-TT和NW-TT上的端口。
- d) 流量类别及其优先级。
- e) 端口管理信息容器(PMIC)。

2.2 跨5G与TSN的业务传输流程

2.2.1 控制面信令流程

要研究跨5G与TSN的业务传输过程,必须先了解其网元之间的通信流程,另外业务端到端的传输能有条不紊地进行也依赖信令传达的准确性。实现业务传输的控制面信令过程主要分为4个部分,一是TSN AF预配置网桥;二是TSN AF与CNC进行信令交互获取业务的特征信息,并经SMF导出TSCAI信息传输到基站,为TSN流量的发送和接收执行调度;三是TSN AF与DS-TT/NW-TT之间通信交换网桥和端口管理信息;四是PCF根据PCF映射表进行TSN QoS与5G系统QoS关联。图4为信令传输的流程。

2.2.1.1 TSN AF预配置网桥

网桥预配置分为2个方面,一方面5G网桥根据自身存储的数据网络名称(Data Network Name, DNN)、流量类别、虚拟局域网(Virtual Local Area Network, VLAN)信息为承载当前TSN业务的PDU会话选择适当的UPF,同时UPF确定网桥ID和UPF/NW-TT侧端口;另一方面,TSN AF预先配置QoS映射表,该映射表包括TSN业务类别、预先配置的网桥延迟[特指UE和UPF/NW-TT之间延迟(网桥端口对不同、业务类型不

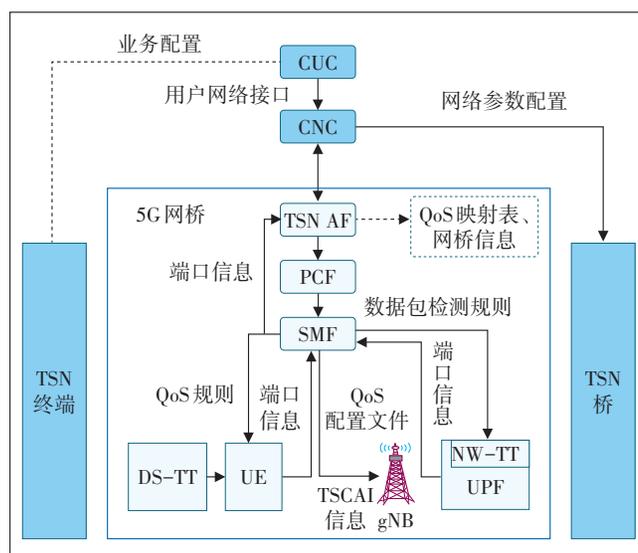


图4 信令传输流程图

同,需要预先配置的网桥延迟也不同)和UPF确定的PDU会话中每个业务类别的最大最小延迟]和TSN业务优先级。

2.2.1.2 TSN AF与CNC信令传输

a) 网桥信息上报。PDU会话建立期间,UE将在UE和DS-TT内、UE和DS-TT端口之间转发数据包所用的UE-DS-TT驻留时间传递给TSN AF,TSN AF根据DS-TT以太网端口端口号和NW-TT以太网端口端口号确定端口对,并根据预先配置的网桥时延和驻留时间更新预先配置的网桥延迟。TSN AF将更新后的网桥延迟、网桥的特定信息(比如网桥名称、地址、端口数)、端口的特定信息(例如端口号、端口地址)注册或更新到CNC。

b) TSN AF计算TSN QoS参数。TSN AF根据从

CNC接收PSFP信息和传输门控调度参数,计算业务模式参数(例如参考入口端口的突发到达时间、周期性和流向)。TSN AF建立映射表来决定TSN QoS参数,该映射表包括每个端口的流量类别及其优先级、TSN流的TSC突发大小、每个端口对的网桥延迟和流量类别、每个端口的传输延迟和UE-DS-TT驻留时间。TSN AF将TSN QoS信息与相应的业务数据流描述相关联,并提供给PCF。如果TSN流属于同一业务类别、使用相同的出口端口、周期性相同、突发到达时间兼容,TSN AF为这些TSN流计算出一组参数和一个容器,使其具有相同的QoS参数并聚合到相同的QoS流。此时,TSN AF为聚集的TSN流创建一个时间敏感通信(Time-Sensitive Communication, TSC)辅助容器,并将TSC辅助容器中的参数通过PCF转发给SMF。

c) SMF导出TSCAI信息。PCF从TSN AF接收TSN QoS参数之后执行QoS映射,输出PCC规则给SMF。SMF触发PDU会话修改过程以建立或修改QoS流,基于QoS容器计算QoS流的TSCAI参数并将它们发送到基站。基于TSCAI信息,基站为TSN流量的发送和接收执行调度。

2.2.1.3 TSN AF与DS-TT/NW-TT进行端口配置

TSN AF和DS-TT/NW-TT之间在端口管理信息容器内分别透明地传输标准化和部署特定的端口管理信息。其中,端口管理信息容器(Port Management Information Container, PMIC)的传输包括如下2种流程^[5]。

a) 端口管理信息从DS-TT/NW-TT传送到TSN AF。DS-TT向UE提供PMIC和DS-TT端口MAC地址,其包括PMIC作为N1 SM容器的可选信息元素,并触发UE请求的PDU会话建立过程或PDU会话修改过程以将PMIC转发给SMF。SMF将PMIC和相关DS-TT以太网端口的端口号转发给TSN AF。NW-TT向UPF提供PMIC,UPF触发N4会话级报告程序,将PMIC转发给SMF。SMF依次将PMIC和相关NW-TT以太网端口的端口号转发给TSN AF。

b) 端口管理信息从TSN AF传输到DS-TT/NW-TT。TSN AF提供PMIC、为PDU会话报告的MAC地址(即与PDU会话相关的DS-TT端口的MAC地址)和以太网端口的端口号,以便通过使用AF会话级过程来管理PCF。PCF使用SM策略关联修改过程,基于MAC地址将信息转发给SMF。SMF认证端口号与DS-TT以太网端口相关,请求PDU会话修改过程将PMIC转

发给DS-TT。TSN AF为网桥相关PDU会话选择PCF-AF会话,并向PCF提供PMIC和相关NW-TT端口号。PCF使用SM策略关联修改过程将从TSN AF接收到的信息转发给SMF。SMF通过检测端口号与NW-TT以太网端口是否相关来确定所包括的信息是否需要被传送到NW-TT,然后使用N4会话修改程序将相关端口号与NW-TT连接。

2.2.1.4 PCF执行QoS映射

PCF根据映射表执行QoS映射并输出PCC规则到SMF,SMF将PCC规则对应到5G QoS配置信息(QoS规则、QoS配置文件、数据包检测规则),从而将TSN QoS与5G QoS机制对齐。PCF执行QoS映射的过程如下。

a) CNC经由TSN AF向PCF发起的AF会话中包含分配给5G网桥的TSN QoS需求和TSN调度参数,PCF接收的相关信息有:

(a) 以太网包过滤器的流描述,例如:以太网PCP、VLAN ID、TSN流终点MAC地址。

(b) TSN QoS参数,即TSC辅助容器信息,包括突发到达时间、周期性和流的方向。

(c) TSN QoS信息,即优先级、最大TSC突发大小、网桥延迟和最大流比特率。

(d) 端口管理信息容器及相关端口编号。

(e) 网桥管理容器信息。

b) PCF接收到上述信息之后根据PCF映射表设置5G QoS配置文件,并触发PDU会话修改过程建立新的QoS流。

c) 5G QoS配置文件包含分配和保留优先级(ARP)、保证流比特率(GFBR)、最大流比特率(MFBR)、5G QoS标识符(5QI)等参数。其中ARP被设置为预配置值,MFBR和GFBR可由5GS网桥接收的PSFP信息导出。

d) PCF使用DS-TT端口MAC地址绑定PDU会话,基于TSN QoS信息导出5QI。根据TSN AF、导出的5QI、ARP提供的描述业务流的信息,PCF生成一个PCC规则(其中包含服务数据流过滤器、GBR和MBR以及从AF会话接收的TSC辅助容器信息),PCF将这些规则提供给SMF,从而触发PDU会话修改过程建立或修改QoS流,以满足TSN业务需求。

2.2.2 用户面数据通道

数据业务在用户面通道传输时,如何减小无线信道的变化对业务确定性传输的影响,是需要考虑的关键问题。IEEE802.1Qbv定义的时间感知整形机制

(Time Aware Shaping, TAS),通过将业务按照优先级进行编码,并映射在不同优先级的队列,使用预先设置的周期性门控列表(Gate Control List, GCL)对出口队列进行开关控制^[9],从而减小了低优先级业务对高优先级业务的干扰,保证了高优先级业务的传输质量。作为业务经过5G系统的2个网关,DS-TT与NW-TT都支持此协议,在5G-TSN协同传输架构下允许CNC对其门控信息进行配置,可以有效减小数据在空口传输的抖动。

如图5所示,TSN业务通过5G网桥需要经过DS-TT、NW-TT网关,根据TSCAI信息描述业务流的到达时间、周期时间、流方向和控制面确定的流量调度策略,可以对业务在空口的传输时延预先设置一个值,基于该预设值和业务的到达时间、周期时间计算出业务在空口的预算时延,从而在出口端口(DS-TT/NW-TT)设置周期性的门控列表。当数据包按照预算的时延到达出口端口时,此时的门控打开,传输不受影响;当数据包由于信道变化提前到达出口端口时,未到门控打开时间,数据包持续等待到下一个门控打开时间。通过这种方式就消除了由于数据包提前到达引起的传输抖动,保障了传输的确定性^[10]。然而,5G系统门控设置方法仍需进一步研究。

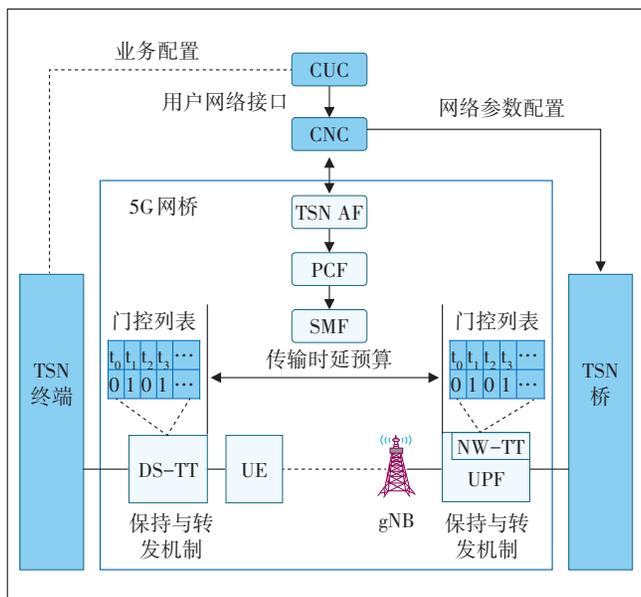


图5 5G-TSN跨网数据转发流程示意图

3 结束语

无线网络的信道特性是业务确定性传输的最大挑战,时间敏感网络的高可靠特性与5G网络结合可以

提升5G网络的确定性业务承载能力。基于此背景,本文开展了5G-TSN协同传输的研究,重点研究了5G TSN协同传输架构、网元功能以及端到端跨网数据传输流程,并从控制面和用户面对业务传输流程做了深入的阐述和分析,为跨域数据传输机制、调度机制等后续技术的研究提供了框架和流程基础。

当前,虽然5G-TSN协同传输已经取得了一些进展,但是目前标准方面还有待进一步完善,在设备方面还存在uRLLC芯片模组缺乏,5G难以提供低时延和高可靠连接保障的问题。随着工业对无线化需求的凸显,5G-TSN提供的确定性传输机制将在工业互联网深化发展中发挥重要作用,也是促进5G和工业垂直行业应用深度融合的关键基础技术。

参考文献:

- [1] 徐晓麟. 时间敏感网络技术及其在工业互联网中的应用[J]. 电信网技术, 2018(5): 1-5.
- [2] 中兴通讯. 5G Core 技术趋势白皮书[EB/OL]. [2021-12-15]. <https://max.book118.com/html/2019/0812/7060121012002046.shtm>.
- [3] 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 V1.0 版[EB/OL]. [2021-12-15]. <https://max.book118.com/html/2022/0116/5111220232004140.shtm>.
- [4] 蔡岳平, 李栋, 许驰, 等. 面向工业互联网的5G-U与时间敏感网络融合架构与技术[J]. 通信学报, 2021, 42(10): 43-54.
- [5] 3GPP. System architecture for the 5G System (5GS): 3GPP TS 23.501[S/OL]. [2021-12-15]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.
- [6] 孙雷, 王健全, 林尚静, 等. 基于无线信道信息的5G与TSN联合调度机制研究[J]. 通信学报, 2021, 42(12): 65-75.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 3GPP. System architecture for the 5G System (5GS): 3GPP TS 23.501[S/OL]. [2021-12-15]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.
- [10] 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.

作者简介:

吴思远, 北京科技大学硕士在读, 研究方向为面向工业应用的5G与TSN联合资源调度关键技术; 毕紫航, 北京科技大学硕士在读, 研究方向为时间敏感网络流量调度; 王健全, 北京科技大学教授, 博士生导师, 主要研究方向为工业泛在网络、工业互联网、工业互联网安全、网络协同与智能制造等; 徐浩, 北京科技大学硕士在读, 主要研究方向为TSN和EtherCAT融合组网; 孙雷, 博士, 北京科技大学副教授, 硕士生导师, 主要研究方向为移动通信技术、时间敏感网络、工业确定性网络、5G与时间敏感网络协同传输技术、异构网络联合资源管理机制等。