

TSN与移动网络前传架构融合研究

Study on Architecture Fusion of TSN and Mobile Fronthaul Network

吴越,黄蓉,王友祥(中国联通研究院,北京100176)

Wu Yue,Huang Rong,Wang Youxiang(China Unicom Research Institute,Beijing 100176,China)

摘要:

时间敏感网络(TSN)作为新一代以太网技术,实现数据的有界确定低时延传输,鉴于以太网的前传网络用户数据具有时间敏感性,需要研究如何把TSN技术引入前传网络。首先对TSN和移动前传网络进行了介绍,然后探讨了TSN和前传网络架构的融合,以及前传网络引入TSN需要用到的关键技术,最后对TSN和前传网络融合部署可能遇到的问题进行了分析。

关键词:

时间敏感网络;前传网络;IEEE802.1;Option 7-2x;eCPRI

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2021.03.006

文章编号:1007-3043(2021)03-0026-06

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:

As new generation ethernet technology, TSN implements bounded low latency of data transmission. In view of the time sensitivity of user data in Ethernet fronthaul network, it is necessary to study how to introduce TSN technology into fronthaul network. In ethernet based fronthaul network user data is time sensitive. Firstly, it introduces TSN and mobile fronthaul network, and discusses the integration of TSN and fronthaul network architecture, as well as the key technologies needed to introduce TSN into fronthaul network. Finally, it analyzes the potential problems when deploying TSN within fronthaul network.

Keywords:

TSN; Fronthaul Network; IEEE802.1; Option 7-2x; eCPRI

引用格式:吴越,黄蓉,王友祥. TSN与移动网络前传架构融合研究[J]. 邮电设计技术, 2021(3): 26-31.

1 概述

工业互联网、车联网等垂直行业需要可靠、确定性地传输数据,对5G网络有极高的性能要求。整个5G网络系统(包括无线接入网、承载网和核心网在内的各个环节)需要进行性能优化才可能实现端到端的高可靠和低时延。在现有以太网QoS功能基础上,时间敏感网络(TSN)技术增加了时间片调度、帧抢占、数据流监控及过滤等一系列流量调度特性,确保了数据流的高可靠确定性传输。将TSN技术与5G网络的传

输过程进行融合,可以更有效地保证5G网络端到端的高可靠低时延传输。

5G网络和TSN的融合可以分为2类,一类是3GPP规定的把5G系统作为TSN桥,即TSN over 5G;另一类是5G系统内与承载网的融合,即5G over TSN,又可细分为:5G前传网络融合TSN和5G回传网络融合TSN。本文主要探讨5G前传网络融合TSN。

2 TSN技术

TSN作为新一代以太网技术,IEEE 802.1工作组负责其技术规范的制定。TSN主要是层二桥接网络,在保证节点间高精度时间同步的基础上,实现了域内

收稿日期:2021-01-08

数据传输的时延和抖动的有界性及确定性。IEEE802.1工作组对TSN的架构、时间同步、流量调度、整形及资源预留等多项关键技术进行了标准化,

形成802.1系列协议族,TSN标准按功能分为同步、可靠性、时延、资源管理4类,如图1所示。其中较为核心的功能协议有IEEE802.1AS、802.1Qcc、802.1Qbv、

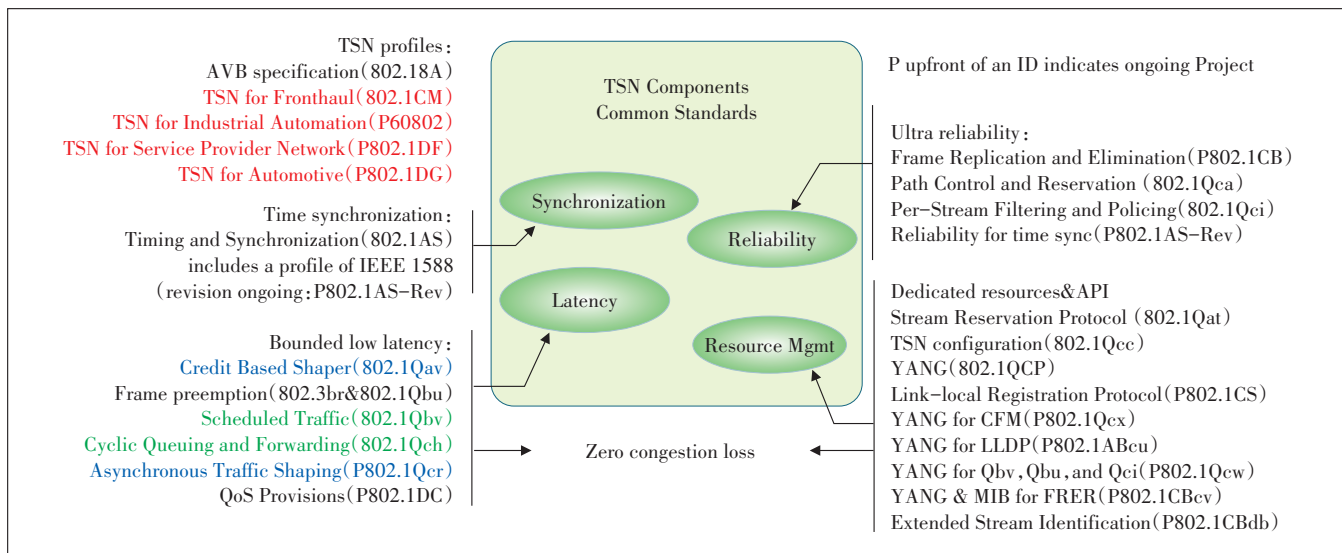


图1 TSN协议功能分类

IEEE 802.1Qbu/802.3Qbr、802.1Qci等。

3 移动前传网络

移动网络包括了无线接入网、承载网和核心网,紧接其后的是互联网、数据中心,如图2所示。5G无线接入网又分为空口部分、前传、中传和回传。移动前传网络是指DU和RU间的网络,DU和RU间可为光纤直连、经由HUB连接或以太网组网连接。前传接口划分主要采用Option 8划分或物理层内划分Option 7-2x。Option 8划分下,前传接口采用传统的CPRI协议,Option 7-2x划分下,前传接口可以采用eCPRI协议。

随着5G技术的应用与发展,5G时代新的网络需求、mMIMO技术的应用、CU/DU云化池化等导致前传网络中连接的设备越来越多,前传网络越来越复杂。而传统的前传网络由于采用Option 8划分方式,应用CPRI协议,逐渐不能满足容量、带宽以及灵活性的需

求,基于包交换的以太网技术开始引入前传网络,前传网络架构也相应发生变化,为了降低前传网络带宽需求而采用物理层内划分。基于包交换以太网的5G无线接入网将BBU划分为DU和CU 2个部分,实时功能下沉到DU,非实时功能上移到CU集中部署。CU/DU的灵活部署有利于实现移动网络资源的按需配置,满足不同场景的个性化需求,但同时网络性能提出了更高的时延和带宽需求。

4 TSN和前传网络架构的融合

4.1 下一代前传接口架构

IEEE 1914.1 (Packet-based Fronthaul Transport Network) 对前传网络的概念进行了扩展,它定义了下一代前传接口(NGFI——Next Generation Fronthaul Interface),如图3所示。

NGFI网络的参考架构包括接入网(Access)、汇聚

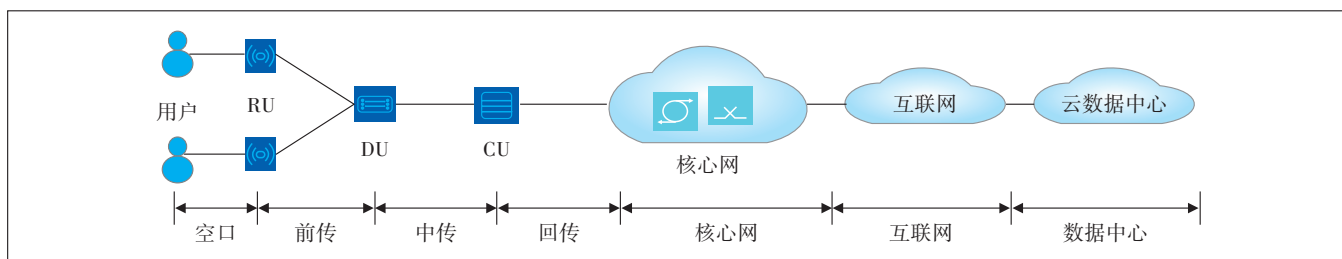


图2 移动网络组成示意图

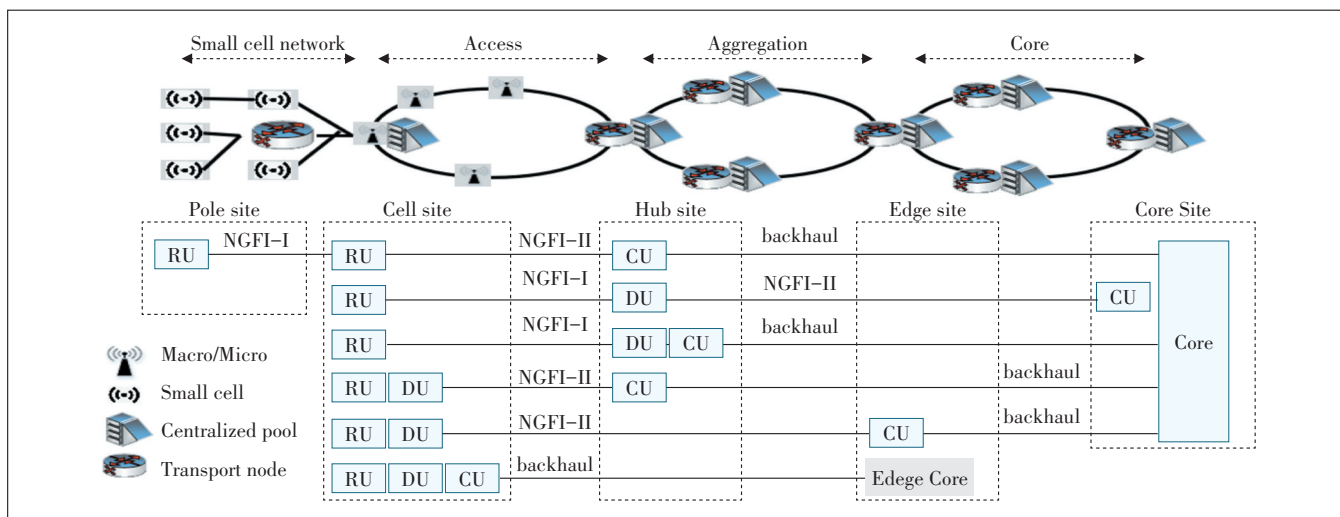


图3 NGFI网络参考架构

网(Aggregation)和核心网(Core)3个主要网络跨度。其中靠近无线电传输点的接入网将传输流量从基站(Cell site)汇聚到集线器站点(Hub site)进行集中处理,汇聚网进一步将集线器站点的流量汇聚到边缘站点(Edge site),然后核心网从汇聚网收集流量。通过这些传输网络基础设施,4G/5G RAN分割的功能实体(RU、DU和CU)及其不同组合可以放在不同的站点,以支持不同功能分割选项下流传输的QoS需求。根据RU、DU和CU之间的部署位置,NGFI分为I级和II级,NGFI-I是连接RU和DU的下层接口,NGFI-II是连接DU和CU的上层接口。NGFI-I接口对应图2所示的前传接口,具有严格的时延和数据速率要求,NGFI-II接口对应图2所示的中传接口,时延要求相对宽松。这种架构中的功能实体部署灵活,例如移动核心实体(4G核心网EPC和5G核心网5GC)可根据移动服务的时延需求,灵活选择边缘站点或核心站点部署方案。

4.2 开放前传接口架构

为了实现基站设备的软硬件解耦,接口开放,满足不同厂商间DU和RU互联互通的目标,O-RAN联盟WG4开放前传接口工作组定义了基于物理层内划分的开放前传接口技术。O-RAN把无线接入网划分为O-RAN控制单元(O-CU)、O-RAN分布单元(O-DU)和O-RAN射频单元(O-RU)。O-CU与O-DU间的接口称为高层分离接口,即HLS接口,O-DU与O-RU间的接口称为底层分离接口,即LLS接口。开放前传接口是指O-DU与O-RU间的接口,也就是LLS接口,如图4所示。

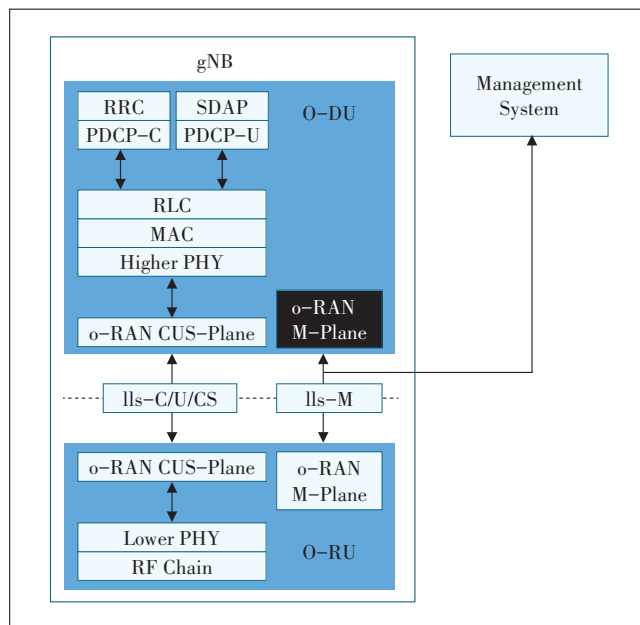


图4 开放前传接口架构

开放前传接口采用基于Option 7-2x的物理层内划分,传输层是以太网,用户面采用基于以太网包交换的eCPRI协议。当前开放前传接口技术主要支持简单组网模式,例如DU和RU直连,或通过FHM设备相连,如果中间经由交换机设备组网,则并不完全能保证端到端的时间同步和正确的时延处理。TSN技术将是开放前传接口下一步需要考虑引入的关键技术之一。

4.3 前传网络和TSN技术

基于以太网的前传网络由DU、RU和之间的交换机组网形成,为了保证用户面数据在天线空口精准发

送和接收需要满足3GPP定义的空口时间同步要求。在简单组网的情况下,例如DU和RU直连或通过HUB相连,DU和RU上的前传功能部分可以预先或动态地算出用户面数据需要提前发送和接收的时间量。这个时间量或时间窗口的测量不仅包含了DU和RU自身内部的处理时延,还包括DU和RU间的传输时延,若传输网络中包含交换机组网,则意味着所有经过交换机处理及缓存的时间都要计算在内。

如果前传网络融合TSN,交换机需要支持TSN协议,DU和RU的前传网口部分也需要支持TSN协议。融合了TSN技术的前传网络如图5所示,其中eREC表示DU,eRE表示RU。

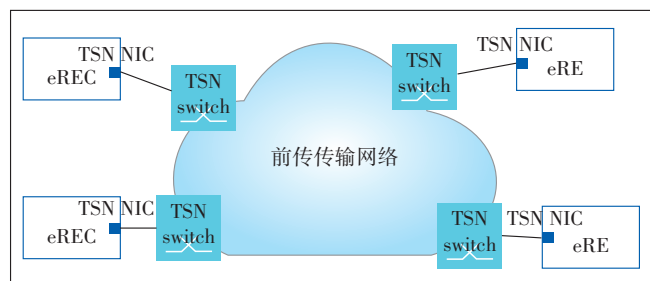


图5 支持TSN的前传传输网络

5 关键技术

5.1 时间同步

时间同步是TSN网络实现精准时延转发及时延有界性的基础,TSN网络需要支持时间同步协议IEEE802.1AS。IEEE802.1AS在1588V2基础上采用通用精准时间协议gPTP,通过在主时钟与从时钟之间传递时间事件消息(带有精准时间戳的消息),并通过计算点对点的链路传输时延、驻留时延等信息后完成时间补偿,从而实现2个节点间的时钟同步。

5G系统需要支持时间同步协议IEEE1588 PTPv2。5G系统时间同步和TSN网络时间同步这2个过程可以是彼此独立的,但是当5G系统和TSN集成时,5G系统需要使能TSN时间同步。5G系统作为802.1AS的兼容实体,使能TSN时间同步,如图6所示,即5G系统作为TSN桥,被建模成802.1AS“time aware system”支持TSN时间同步。

前传网络的端点是DU和RU,作为5G系统的一部分,DU可以通过本地GNSS或上游PTP分组包进行时间同步。RU可以由DU或某个中间网络节点(如某一个交换机)作为PTP master对RU进行时间同步,或者RU本地直连GNSS进行时间同步。对前传网络的整体同步要求可参考IEEE802.1CM (TSN for fronthaul),802.1CM为前传网络数据定义了端到端的传输时延要求和时间同步要求,基于以太网的前传网络时间同步如图7所示,其中eREC/REC表示DU,eRE/RE表示RU。前传网络引入TSN技术后,需要DU、RU和它们之间的以太网各交换机都支持TSN协议。

5.2 资源管理

TSN的IEEE802.1Qcc协议定义了TSN控制平面的架构,分为全分布式、集中式网络控制/分布式用户、全集中式3种模型,当前主要采用全集中式模型,如图8所示。CUC是中心化用户配置,相当于编排器,负责采集端点业务的带宽时延抖动等网络服务质量需求,并将其转换后通过北向接口发给CNC,CNC是中心化网络控制,相当于控制器,包含计算拓扑路径等网络功能、并通过南向接口下发更新门控列表等配置信息给TSN交换机。

实现TSN基于精准时间的调度转发机制,是前传网络支持TSN功能的核心功能。TSN交换机提供TSN数据流的驻留和转发机制,遵循IEEE 802.1Qbv标准。

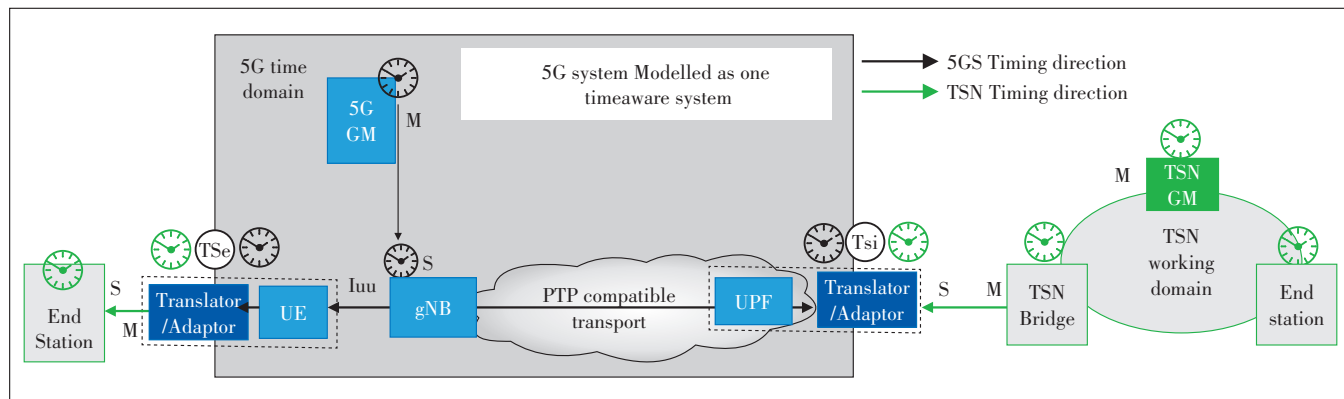


图6 5G系统作为IEEE 802.1AS“time aware system”

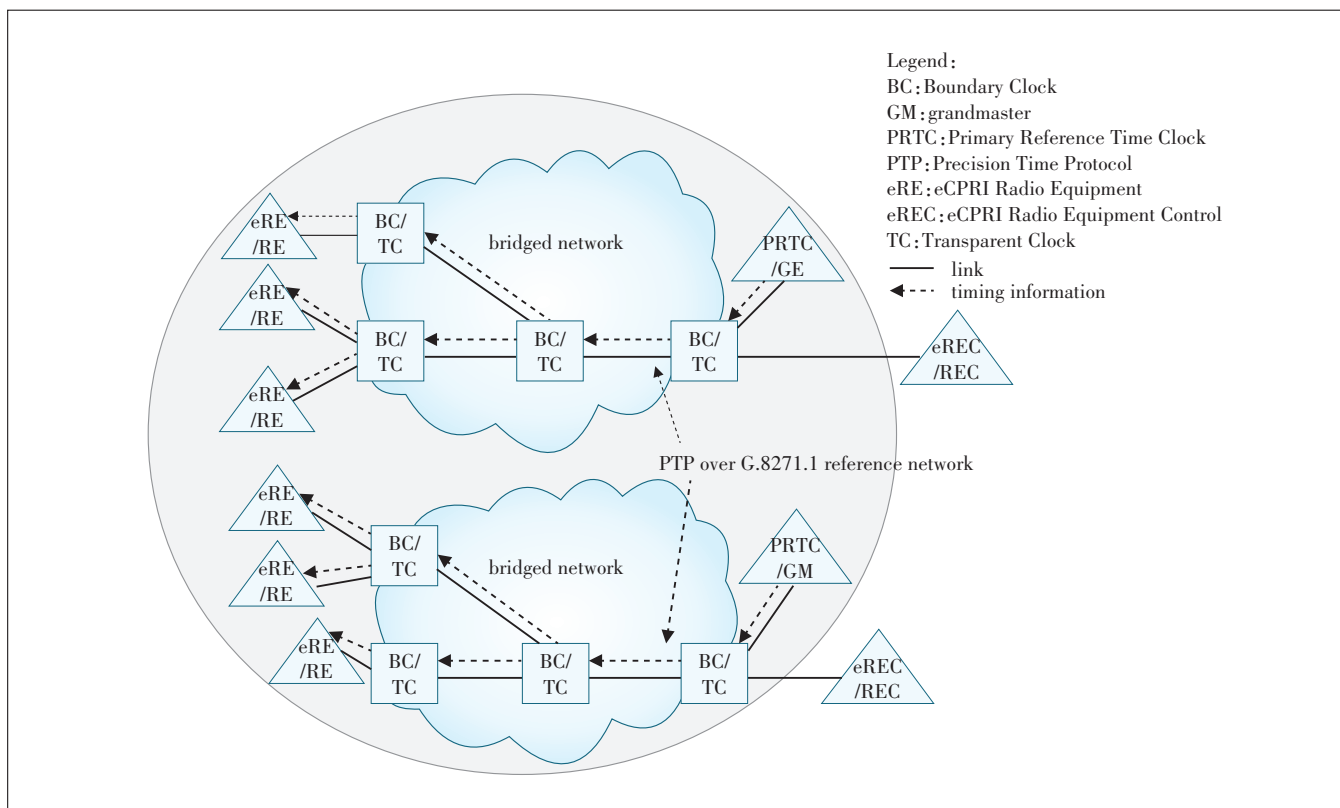


图7 基于以太网的前传网络时间同步

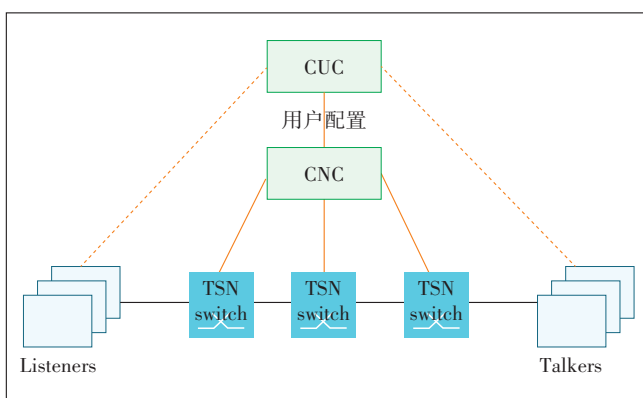


图8 TSN控制平面全集中式模型

为了对TSN数据流进行更有效的调度,需要考虑CUC/CNC在前传网络中的部署。支持TSN的前传网络使得前传时间敏感数据的低时延和确定性传输更有保障。前传网络引入TSN后的控制平面架构如图9所示。

6 融合应用的几点思考

TSN和前传网络的融合部署可能更适用于复杂、混合的网络。例如DRAN和CRAN共用传输基础设施

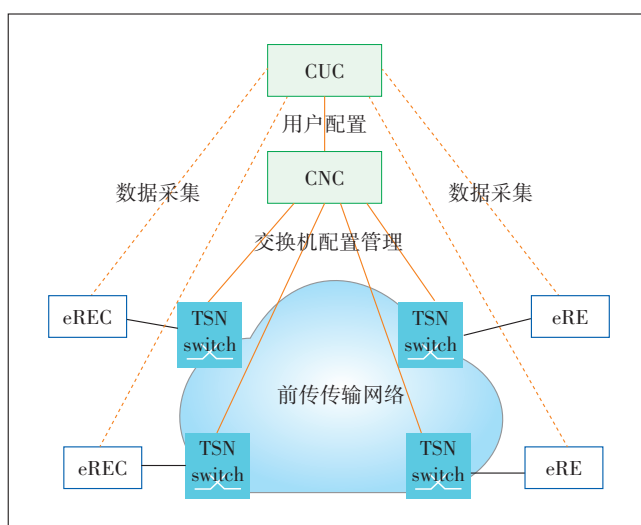


图9 TSN在前传网络中的控制平面架构

的网络、CU/DU池化网络和采用前传网关FHGW的网络等。这种网络可能会承载各种不同类型的流量,如:CU和DU间的中传数据,DU和RU间的前传数据、管理面数据、同步面数据等。各种不同类型的数据需要不同等级的QoS策略,这时可以考虑应用TSN帧抢占、流量调度、队列整形、优先级调度等功能来满足各

种类型流量不同的QoS需求。例如,对前传用户面数据(时延敏感流),可以考虑应用TSN的端到端的带宽分配和资源预留功能、入端口流量过滤功能、出端口流量门控队列调度整形功能等,能基本保证时延敏感流的确定性时延和抖动需求。

TSN时间同步和前传网络时间同步的融合。TSN应用IEEE 802.1AS,即gPTP协议,进行网络时间同步,而基于eCPRI的前传网络应采用IEEE 1588 PTPv2协议。802.1AS定义了一个基于1588的特定配置并提高时间精度,PTPv2并不可以代替gPTP。引入TSN后,前传网络时间同步需要考虑如何融合802.1AS和1588。

TSN控制管理平面和基站管理面功能的融合。基站管理面负责前传网络相关的配置管理,引入TSN之后,需要考虑基站管理面和TSN控制管理平面功能的融合,需要考虑如何在基站管理面上实现TSN的CUC、CNC等网络功能,基站管理面要能通过Netconf等南向接口对TSN交换机下发流表和配置。如果考虑到核心网UPF和MEC下沉,和CU/DU共站,则基站、MEC和TSN需要整体考虑管理面和控制面的部署问题,例如是否可以统一部署到MEC平台。

7 结束语

本文介绍了TSN与移动前传网络融合的背景,基于以太网的前传网络新架构,探讨了TSN与前传网络融合需要用到的关键技术,并对融合部署可能遇到的问题进行了分析。作为新一代以太网技术,当前TSN技术仍在持续发展中,在3GPP层面更多的考量是把5G系统作为一个整体,当作一个逻辑TSN桥,而在5G系统内部,尤其是在前传网络中如何有效地利用TSN技术达到DU和RU间时间敏感数据高可靠低时延的传输和网络资源的灵活配置还有待于更进一步的研究。

参考文献:

[1] NG-RAN; Study on enhancement of 5G System (5GS) for vertical and Local Area Network (LAN) services; 3GPP TR 23.734[S/OL]. [2020-12-11]. https://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/23_series/23.734/23734-g20.zip.

[2] eCPRI Specification V2.0[S/OL]. [2020-12-11]. http://www.cpri.info/downloads/eCPRI_v_2.0_2019_05_10e.pdf.

[3] CPRI Specification V7.0[S/OL]. [2020-12-11]. http://www.cpri.info/downloads/CPRI_v_7_0_2015-10-09.pdf.

[4] ORAN-WG4.MP.0-v02.00[S/OL]. [2020-12-11]. <https://www.o->

[ran.org/s/O-RAN-Fronthaul-Specifications-v20-2019-07.zip](https://www.o-ran.org/s/O-RAN-Fronthaul-Specifications-v20-2019-07.zip)

[5] ORAN-WG4.CUS.0-v02.00[EB/OL]. [2020-12-11]. <https://www.o-ran.org/s/O-RAN-Fronthaul-Specifications-v20-2019-07.zip>

[6] IEEE Std 1914.1-2019 Standard for Packet-based Fronthaul Transport Network[EB/OL]. [2020-12-11]. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9079731/>.

[7] IEEE Std 1588-2008 Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems[EB/OL]. [2020-12-11]. <https://ieeexplore.ieee.org/document/7949184/>.

[8] IEEE Std 802.1CM-2018 Standard for Local and metropolitan area networks—Time-Sensitive Networking for Fronthaul [EB / OL]. [2020-12-11]. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8376066/>.

[9] IEEE Std 802.1Qcc-2018 Standard for Local and Metropolitan Area Networks—Bridges and Bridged Networks Amendment 31: Stream Reservation Protocol (SRP) Enhancements and Performance Improvements [EB / OL]. [2020-12-11]. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8514112/>.

[10] IEEE Std 802.1AS-2020 Standard for Local and metropolitan area networks—Timing and Synchronization for Time-Sensitive Applications[EB/OL]. [2020-12-11]. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9121845/>.

[11] IEEE Std 802.1Qbv-2015 Standard for Bridges and Bridged Networks - Amendment 25: Enhancements for Scheduled Traffic [EB/OL]. [2020-12-11]. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8613095/>.

[12] BHATTACHARJEE S, SCHMIDT R, KATSALIS K, et al. Time-Sensitive Networking for 5G Fronthaul Networks[C]// ICC 2020 - 2020 IEEE International Conference on Communications (ICC). IEEE, 2020.

[13] HISANO D, NAKAYAMA Y, KUBO T, et al. Gate-Shrunk Time Aware Shaper: Low-Latency Converged Network for 5G Fronthaul and M2M Services [C]// GLOBECOM 2017 - 2017 IEEE Global Communications Conference. IEEE, 2017.

[14] BHM M, OHMS J, KUMAR M, et al. Time-Sensitive Software-Defined Networking: A Unified Control-Plane for TSN and SDN [C]// 24. ITG Fachtagung Mobilkommunikation. 2019.

[15] PARK S H, SIMEONE O, SAHIN O, et al. Fronthaul Compression for Cloud Radio Access Networks: Signal processing advances inspired by network information theory[J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2014, 31(6): 69-79.

[16] YEGANEH H, VAEZPOUR E. Fronthaul network design for radio access network virtualization from a CAPEX/OPEX perspective [J]. Annals of Telecommunications, 2016, 71(11-12): 1-12.

作者简介:

吴越,移动网络资深架构师,主要从事移动通信相关技术研究及标准化工作;黄蓉,毕业于北京邮电大学,高级工程师,博士,主要从事无线移动通信相关技术研究及标准化工作;王友祥,高级工程师,博士,主要从事未来网络、通信云、开放网络新技术研究及试验工作。