

DOI:10.3969/j.issn.1009-6868.2018.01.013

网络出版地址:<http://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.TN.20180110.1150.004.html>

5G 传送标准进展

Standardization Progress of 5G Transport

张源斌/ZHANG Yuanbin

杨剑/YANG Jian

占治国/ZHAN Zhiguo

周严伟/ZHOU Yanwei

(中兴通讯股份有限公司,广东 深圳
518057)
(ZTE Corporation, Shenzhen 518057, China)

中图分类号:TN929.5 文献标志码:A 文章编号:1009-6868(2018)01-0062-005

摘要: 5G 传送是支撑未来 5G 应用的关键技术之一,已成为近期技术研究和标准化领域的热点。介绍了 5G 传送相关的主要标准组织的进展及分析,包括:国际电信联盟电信标准化部(IITU-T)SG15、电气与电子工程师协会(IEEE)802.1、光互联系统(OIF)等,涉及了 5G 传送需求,以及切片分组网(SPN)/灵活以太网(FlexE)、移动优化的光传送网(M-OTN)/灵活光传送网(FlexO)、时间敏感网络(TSN)、超高精度时间同步等的相关技术方案。同时,还指出 2018 年将成为 5G 传送标准化工作的关键窗口期。

关键词: SPN; M-OTN; TSN; FlexE; 超高精度时间同步

Abstract: 5G transmission is one of the key technologies supporting 5G applications in the future, and it has become a hot spot in the field of technical research and standardization. In this paper, the progress of the main standard organizations related to 5G transmission are introduced, including international telecommunication union standardization sector (ITU-T), institute of electrical and electronics engineers (IEEE), optical internetworking forum (OIF) and so on. 5G transport requirements, as well as transport solutions of slice packet network (SPN) /flexible Ethernet (FlexE), mobile OTN (M-OTN) / flexible OTN (FlexO), time sensitive network (TSN), and ultra-high precision time synchronization are involved. It is pointed out that 2018 will be the key window period for the standardization of 5G transport.

Keywords: SPN; M-OTN; TSN; FlexE; ultra-high precision time synchronization

1 5G 传送标准化需求研究进展

5G 时代,无线接入网(RAN)功能新的划分,以及低时延、大带宽、高可靠性、灵活管控、泛在连接、支持网络切片等需求对传送网提出了新的挑战。随着 5G 无线标准研究的深入,5G 传送的标准研究工作也迫在眉睫。5G 传送相关的技术和标准涉及多个标准组织,包括:国际电信联盟电信标准化部(IITU-T)、电气与电子工程师协会(IEEE)、光互联系统(OIF)等。

IITU-T SG15 研究 5G 传送的需求和解决方案,是 5G 承载标准研究的主战场。2017 年 6 月,在瑞士日内瓦召开的 IITU-T SG15 全会上,正式通过了《支持 IMT-2020/5G 的传送网(Transport network support of IMT-2020/5G)》(GSTR-TN5G) 技术报告的立项及 5G 传送标准的研究计划。这标志着 IITU-T 在 5G 传送标准研究上迈出了关键一步,也是中国企业对于推动 5G 传送标准研究所做的重大贡献。

收稿日期:2017-12-10

网络出版日期:2018-01-10

2017 年 10 月,IITU-T SG15 Q11&Q12 联合会议上,对于 5G 需求内容进行了广泛和深入的讨论,并形成了技术报告(TR)文稿的整体框架,目标是在 2018 年 2 月 IITU-T SG15 全会表决通过,并根据此需求文档驱动针对 5G 承载解决方案的立项。中兴通讯针对 5G TR 文稿提出多篇提案,积极参与到 5G 承载的标准化工作中,提出的 5G 承载网络拓扑、网络切片, RAN 各实体接口以及它们之间的关系被采纳为 TR 文稿的素材。在这次会议上,也有一些厂商提出了 5G 承载的解决方案,开始为 2018 年 5G 承载方案的立项做铺垫。值得一提的

是:此次会议为了获取更多来自运营商的需求,举行了一个研讨会,来自 AT&T、中国移动、中国电信、BT、KDDI、KPN 6 个不同的运营商代表发表了对于 5G 的看法以及关于解决方案的考虑。AT&T 认为无源光网络(PON)优化后可以很好地满足 5G 传送的需求,中国移动提出了切片分组网(SPN)的解决方案,中国电信针对移动场景优化的光传送网(OTN)方案提出了移动优化的光传送网(M-OTN)的概念以及需要满足的需求。

2 SPN/FlexE 进展

2015 年 1 月的 OIF 会议上,OIF 正

式启动了灵活以太网(FlexE)的工作，其主要目的是扩展标准以太网接口的功能，针对的主要场景是数据中心互连，其通用结构如图1所示^[1]。

通过在传送 IEEE 802.3 的协议栈媒体接入控制(MAC)层和物理编码子层(PCS)之间增加一个灵活以太网(FlexE) shim 层，FlexE 提供了 3 种通用能力：

- 绑定。通过绑定多个标准以太网接口来支持更大速率业务的传送，主要解决现有以太网中链路聚合(LAG)协议低效率的问题。

- 通道化。将多个任意比特速率的以太网数据流复用在一起，通过标准的以太网接口进行传送。

- 子速率。提供一种简单的方法用标准的以太网接口承载灵活速率的以太网数据流。

通道化强调 FlexE Group 的总带宽可以按需分成多个通道，每个通道分配一个客户，各个通道之间互不影响；子速率则强调可以传送低于以太网物理层速率的业务。经过一年多的研究讨论，FlexE IA1.0 在 2016 年 3 月正式发布。

2016 年 11 月，在 OIF Q4 会议上，正式启动了 FlexE IA2.0 技术研究的项目，主要研究内容包括：支持绑定 200 GE 以及 400 GE 以太网 PHY 的技术、FlexE 的时间同步技术等。中兴通讯积极参与了 FlexE IA2.0 的讨论，在 OIF 会议上提交了多篇提案，涉及 200 GE/400 GE FlexE 方案、精确时间同步协议(PTP) over FlexE 等主要研究点，促进了 FlexE IA2.0 标准的发展。经过 3 次会议的讨论，针对 FlexE IA2.0 关键技术已达成一致意见，并形成了 FlexE IA2.0 草案，针对 200 GE/400 GE FlexE 技术采用基于 100 G FlexE 交织的方案，针对 PTP over FlexE 采用利用 FlexE 复帧边界打时戳，在 FlexE 段管理通道开销(SMC)中携带 PTP 报文的方案，FlexE IA2.0 已经进入到投票阶段，预计在 2018 年第 2 季度正式发布^[2]。

针对 5G 应用场景，中兴通讯在 OIF 提出了多篇扩展 FlexE 功能的提案，会议讨论认为这些需求可能需要启动新的项目来研究和规范，这为在 OIF 中开展 5G 传送研究打下了基础。

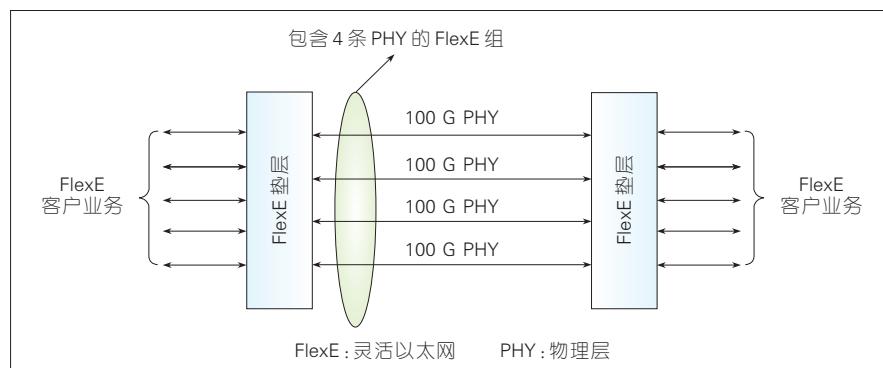
在 ITU-T 组织中，2017 年 6 月召开的 ITU-T SG15 全会上，中兴通讯的提案《FlexE 层网络模型(FlexE layer network model)》在业界首次提出基于 FlexE 的层网络模型架构，创新性地将当前仅限于链路的 FlexE 技术扩展为网络技术，定义了 FlexE 通道层和 FlexE 段层，以及相应的交叉连接、保护和操作管理维护(OAM)，为基于 FlexE 技术的 5G 承载标准研究奠定了基础。FlexE 层的网络模型如图 2 所示^[3]。

FlexE 层网络模型的提出，将 FlexE 链路技术扩展为网络层技术，从而满足端到端承载需求，包括：

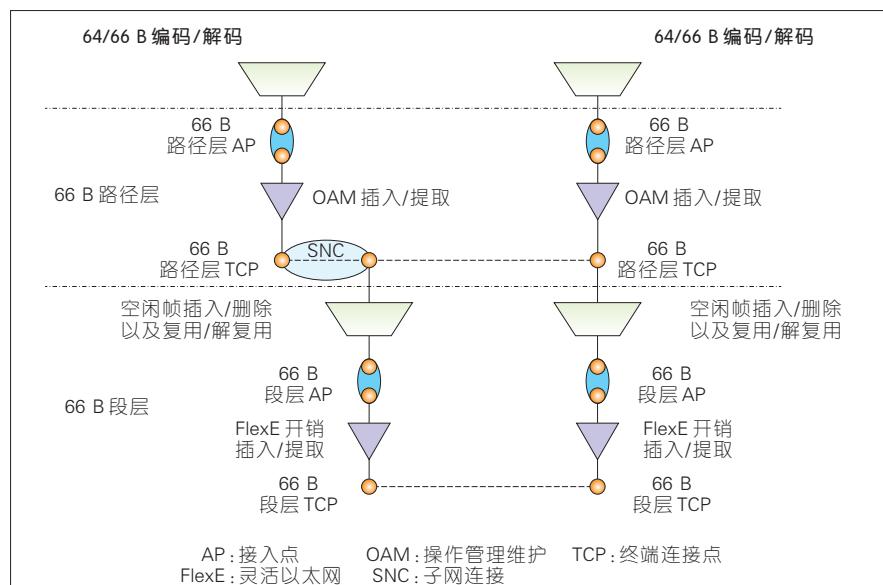
- 66 B path 层。完成 66B 的交叉连接，客户业务的 OAM 插入/提取，保护等。

- 66 B section 层。与 OIF 定义的 FlexE 1.0 完全相同，完成速率适配，以及段层的 OAM 插入/提取、复用/解复用等。

2017 年 10 月份的 ITU-T SG15 Q11/Q12 联合会议，中国移动联合中兴通讯等单位首次提出了基于 FlexE 层网络扩展技术的 SPN 概念。SPN 网络既可用于新的 5G RAN 业务承载，同时也兼顾现有的 2G、3G、4G 业务，可涵盖前传、中传、回传等范围。



▲ 图 1 FlexE 通用结构示意



▲ 图 2 FlexE 层网络模型

SPN 的网络分层架构如图 3 所示^[4]。

分片传送层 (STL)：基于 IEEE 定义的以太网 802.3 PHY，扩展覆盖至 10~40 km 甚至 80/120 km 的距离，灰光或彩光，非相干或相干接口。通过 FlexE 组的绑定机制，可以支持基于多个以太网物理层 / 波分复用 (WDM) 波长，从而满足面向 5G 传输网络要求的 10~100 倍的带宽增长。

分片通道层 (SCL)：提供端到端的以太网子网连接、OAM，和保护。低时延分组数据流或基于 64/66 B 的编码流，通过以太网的交叉连接，可有效疏导业务而不必触及每个分组的标签/地址，无需分组缓冲队列，无需转发表查询。此种以太网交叉连接也支持嵌套网络切片服务。天然支持 TDM 业务，如呈现为 64 / 66 B 编码流的公共无线电接口 (CPRI) 业务。

分片分组层 (SPL)：提供数据包的转发和路由，基于 IP 多协议标记转换 (MPLS)/多协议标记转换传送子集 (MPLS-TP)/802.1Q MAC 等技术。此外，IETF 正在开发的分段路由 (SR) 技术也可能成为 SPL 的应用技术之一。SPL 能够天然地支持分组业务，因此使得 SPN 成为了一个分组友好的体系结构，共享 IP / 以太网生态

系统，并且友好地支持任何主流分组业务。

SPN 这种分层架构，能够很好满足 5G 承载的各种需求：对分组业务的天然支持，具有以太网的经济性，能够提供大带宽，能够提供确定性的低时延，能够提供灵活的管理和控制，支持多种业务接入，支持多高精度同步等。因此，SPN 技术在未来有着良好的应用和市场前景。

3 M-OTN/FlexO 进展

OTN 技术结合了光域传输和电域处理的优势，不仅可以提供端到端的刚性透明管道连接和强大的组网能力，而且可以提供长距离、大容量传输的能力，完善的 OAM 机制保证了业务传送质量并使网络便于维护管理。面对 5G 提出的大带宽、低时延、海量连接等需求，OTN 技术需要进行优化来更好地满足 5G 时代的新需求。

在 2016 年 9 月的 ITU-T SG15 全会上，就有厂商提出在 Q11 小组内启动使用 OTN 承载无线信号的研究，号召大家提出提案讨论这个话题。在随后的 Q11 中间会议，中兴通讯等多家厂商提出了关于 OTN 承载 5G 信号

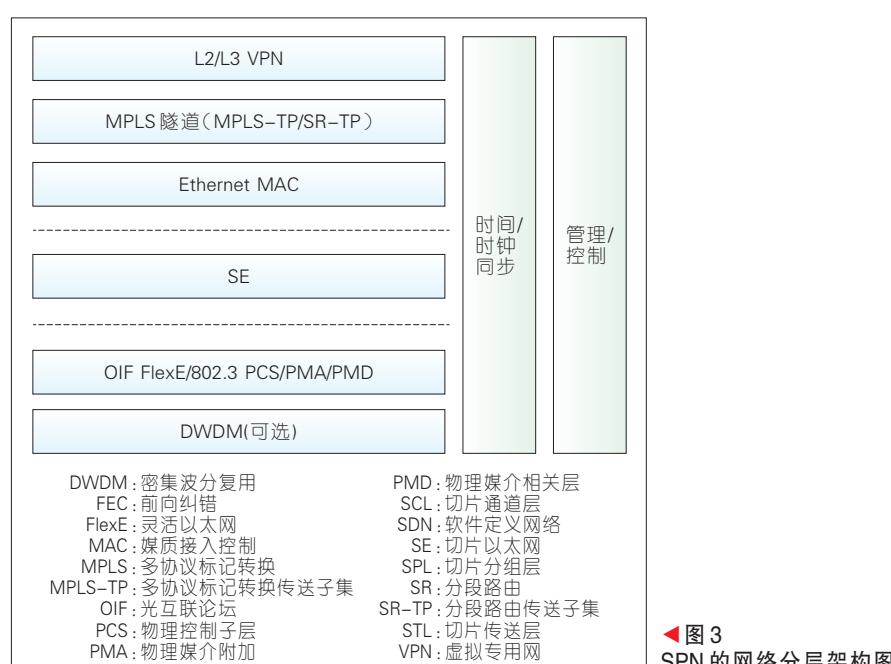
的需求以及考虑，为了深入探讨这些需求以及解决方案，Q11 启动了为期两个月的通信活动来号召各厂商参与讨论，期间中兴通讯输出 1 篇提案，从应用场景、参考模型、业务类型、性能需求等方面描述了 OTN 承载 5G 所需要解决的问题。

2017 年 6 月 ITU-T SG15 全会上，越来越多的厂商参与到 5G 传送的研究中，在 OTN 方向上，多个成员提出了组织 1 个关于 OTN 承载 5G 信号的项目。针对越来越多关于承载 5G 信号的提案，由于这些提案涉及 Q11、Q12、Q13 等多个研究小组，会上决定在 WP3 内协调这些工作，由 Q11 与 Q12 牵头，收集 5G 承载的需求，同时正式通过了《支持 IMT-2020/5G 的传送网 (Transport network support of IMT-2020/5G)》(GSTR-TN5G) 技术报告的立项及 5G 传送标准的研究计划，将主要工作集中在 TR 报告的完善和表决。TR 报告表决后，会驱动针对解决方案的立项，因此此次会议上关于解决方案的立项提议并未得到通过。尽管此次会议大部分提案是关于需求的，也有厂商提出了基于 OTN 的 5G 前传解决方案，在现有的灵活光传送网 (FlexO) 基础上进行优化，在 FlexO 中增加时隙，减少映射复用层次，优化 OTN 的 OAM 功能，进一步满足 5G 前传苛刻的需求。

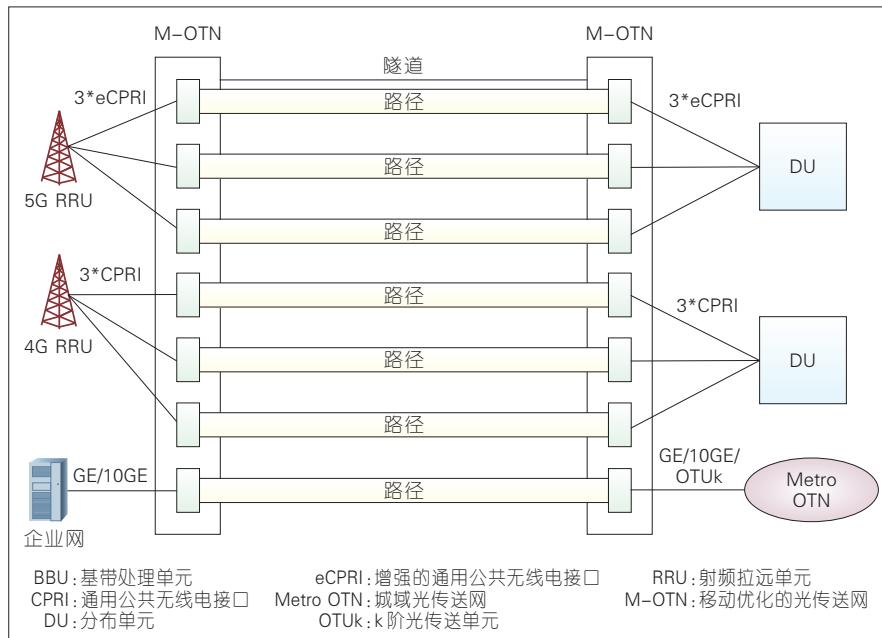
2017 年 10 月的 ITU-T SG15 Q11&Q12 联合会议上，中国电信等成员提出了 M-OTN 的概念，以及基于 FlexO 技术的解决方案。针对前传场景所提出的 M-OTN 网络参考模型如图 4 所示^[5]。

在 5G 前传场景下，为了降低时延，只需要 1 层的复用结构。业务信号首先映射进路径中，路径可以是灵活 ODU、FlexO 时隙等，然后所有的 Path 信号复用到通道中，通道可以是 OTU、FlexO 等。

M-OTN 在未来会进一步扩展，不仅要满足前传低时延需求，也会考虑如何满足中传以及回传灵活组网的



◀ 图 3
SPN 的网络分层架构图



▲图 4 5G 前传: M-OTN 网络参考模型

需求,需要考虑在增强 OTN 分组处理能力的基础上,增强路由转发功能。

4 TSN 进展

IEEE 802.1 时间敏感网络 (TSN) 研究时延敏感网络的需求和解决方案。TSN 起源于音频视频桥 (AVB) 项目,后续逐渐增加在工业和汽车行业用例,在 2012 年改名为 TSN,并在 2015 年 Interworking 任务组和 TSN 任务组进行了合并。TSN 任务的目标是通过以太网提供确定性的业务,例如:确保业务传输是有边界的低时延、低抖动、极少的丢包。TSN 要解决的问题有:

- 全网同步困难,精度不高;
- 特定业务的时延无法确定范围,时延抖动太大;
- 链路可靠性不高,无法保证高可靠性;
- 无法全网端到端的管理资源情况。

TSN 的关键技术有:

- 帧抢占。

采用 802.3br 和 802.1Qbu,将低优先级可以被抢占的数据分成较小的“区段”,让传输中的高优先级的数据

拥有比低优先级的数据更优先处理的顺序。这意味着高优先级的数据不必等待所有的低优先级的数据完成传送后才开始,从而确保更快速的传输路径。

- 帧复制和消除。

采用 802.1CB,用来保证丢帧率,确保关键流量的副本在网络中能以不相交集的路径进行传送,对到达的两份数据进行合并和删除,从而实现无缝冗余。

- 流预留协议增强和性能改善。

采用 802.1Qcc,用于配置 TSN 的流量等级,比原有流预留协议 (SRP) 提供了更多的增强功能。配置的方式有完全分布式,完全集中式,网络集中式/用户分布式。

- 时间片调度。

采用 802.1Qbv,通过增加开关门的机制来增强传统的调度方法,在原有系统调度基础上增加了基于时隙的调度,确保时延敏感队列有确定的调度时间,使时延敏感业务得到有保障的带宽。

TSN 的大部分标准制定接近尾声,与 5G 传送相关的是 IEEE 802.1CM 标准^[6],TSN 也与 CPRI 组织保持着紧

密的合作关系。

为了建立可以传输对于时间敏感的前传数据流的网络,802.1CM 定义了子集(挑选了一系列特性,选项,配置,协议和桥接过程),终端站和局域网。标准采用 profile A 严格优先级和 profile B 帧抢占两种机制来满足需求,需要注意的是帧抢占会随着端口速率的增加而降低效果。2017 年 8 月,在 CPRI 组织发布增强的通用公共无线电接口 (eCPRI) 标准之后,IEEE 802.1CM 也增加了 eCPRI 的需求和解决方案。IEEE 802.1 CM 在 2017 年 11 月通过了工作组投票^[7],后续要进行赞助者投票,预计 2018 年上半年标准就要发布。

采用 TSN 的优点是以太网产业链成熟,部署简单,成本也相对低;但是 TSN 是一个基于 2 层的局域网技术,适合于工业控制网络这样的局域网业务,对于解决广域网上端到端确定性服务的需求还需要进一步改进和增强。随着 TSN 标准的逐步完善和发布,后续将聚焦在工业自动化、车联网、自动驾驶、远程医疗等各个行业的应用,这些新兴行业也将依托 TSN 完成深度的垂直整合。

5 超高精度时间同步进展

在 ITU-T SG15 Q13, 超高精度时间同步方面的工作主要是对增强型参考时间时钟(增强型主参考时间时钟 (ePTC), G.8272.1)、增强型参考时钟(增强型同步以太网设备时钟 (eEEC), G.811.1)、增强型同步以太设备从时钟 (eEEC, G.8262.1) 等的定时性能进行研究,包括频率精度、噪声产生、噪声容限(漂移和抖动容限)、噪声传递、瞬态响应和保持性能、接口要求等。

随着先进长期演进技术 (LTE-A)、基站协同多点传输 (COMP) 协作化、基站精细定位业务以及未来 5G 发展,对同步精度指标有了更高的要求,端到端指标提升为百纳秒级;对主参考时间时钟 (PTC) 锁定模式下

的时间误差和漂移要求更严苛，ePRTC 在锁定模式下的时间误差应在 30 ns(即 $\text{max}|\text{TE}|$) 内或更好；主参考时钟 (PRC) 频率精度 (长于一周) 从之前的 10^{-11} 到现在提高到 10^{-13} 。对于 PRC 和 PRTC，为了适应更高精度的需求，ITU-T SG15 Q13 在此基础上进一步细化为不同的类型，例如 A 类主参考时间时钟 (PRTC-A) 和 B 类主参考时间时钟 (PRTC-B)，A 类增强型主参考时钟 (ePRC-A) 和 B 类增强型主参考时钟 (ePRC-B)，A 类增强型主参考时间时钟 (ePRTC-A) 和 B 类增强型主参考时间时钟 (ePRTC-B)，并且通过不同的时钟组合来定义更高精度的时钟。

对于增强型仿真模型，Q13 也一直在进行仿真讨论，包括 a 类增强型假设参考模型 (eHRMa)、b 类增强型假设参考模型 (eHRMb)、c 类增强型假设参考模型 (eHRMc)、d 类增强型假设参考模型 (eHRMd) 这 4 种同步模型，4 种同步模型主要针对不同数量的同步以太网设备时钟 (EEC)、eEEC、电信级边界时钟 (T-BC) 的组合模型，并且主要考虑的是 SyncE 和 PTP 同路径的场景。在最近的会议中，有参会者提出：从现网应用来看，认为还需要考虑 SyncE 和 PTP 不同路径的增强型模型场景，会上同意对 SyncE 和 PTP 不同路径的场景进行仿真研究。

在 2017 年 10 月的 ITU-T SG15 Q13 中间会议中，德电 (DT) 等公司提出新型、精度要求更高的 cnPRTC (命名待定)^[8]。提出的 cnPRTC 是 ePRTC-B (即 ePRC-B 和 PRTC-B 组合)、eEEC 和 T-BC-C 结合的新型时钟，也是一种新的增强型时钟，跟

ePRTC-B 的区别是在于增加了 eEEC 和 C 类电信级边界时钟 (T-BC-C)，提出 cnPRTC 网络应尽量独立于全球导航卫星系统 (GNSS)，相关的网络 (即骨干网和核心网) 应该达到 $\text{max}|\text{TE}| < 30 \text{ ns}$ 的网络同步性能。

后续高精度时钟同步方面会继续对增强型时钟的性能和实现方法继续讨论和定义，包括：ePRTC、ePRC 等的实现方法。此外还会根据 3GPP 对于 5G 的需求，对更高性能的时钟进行定义。

6 结语

5G 传送的标准化工作已经在各个标准组织中全面展开。随着 5G 需求越来越明确，5G 传送解决方案的标准化工作也会启动。2018 年将会是 5G 传送标准化关键的一年。中兴通讯也将在 5G 传送标准化工作中发挥积极、重要的作用。

致谢

本文撰写得古渊博士的帮助，古渊博士对全文架构内容方面提出了合理性建议，谨致谢意！

参考文献

- [1] OIF. Flex Ethernet Implementation Agreement 01.0[S]. Fremont: OIF, 2016
- [2] TROWBRIGE S J, STAUFFER D R. Flex Ethernet 2.0 Implementation Agreement[C]// Q317 Technical and MA&E Committees Meeting, Canada: OIF, 2017:9-49
- [3] YANG J, BETTS M, GU Y. FlexE layer network model[C]// ITU-T SG15 plenary meeting, Switzerland: ITU-T, 2017:1-5
- [4] LI H, WANG L, CHENG WV Q, et al. Architecture of Slicing Packet Network (SPN) for 5G mobile transport[C]// ITU-T SG15 Q11/Q12 interim meeting, Switzerland: ITU-T, 2017:1-9
- [5] JING R Q, TANG R, GORSHE S, et al. Requirements of M-OTN for 5G fronthaul application[C]// ITU-T SG15 Q11/Q12 interim

- meeting, Switzerland: ITU-T, 2017:11-14
- [6] FARKAS J. Draft Standard for Local and metropolitan area networks—Time-Sensitive Networking for Fronthaul[C]// Proceedings of 2017 IEEE802 plenary meeting. USA: IEEE, 2017:1-53
- [7] FARKAS J. DISPOSITION OF FIRST WORKING GROUP BALLOT COMMENTS ON IEEE Draft P802.1CM/D1.0[C] // Proceedings of 2017 IEEE802 plenary meeting. USA: IEEE, 2017:1-4
- [8] IMLAU H, ARAI K, LI H, et al. Primary Reference Clock at ITU-T: Further Development towards cnPRTC[C]// ITU-T SG15 Q13 interim meeting, New Zealand: ITU-T, 2017:6-7

作者简介



张源斌，中兴通讯股份有限公司预研标准部标准预研工程师；主要研究领域为 5G 承载技术、OTN，以及 FlexE 相关标准预研；已向 ITU-T 以及 OIF 提交提案 10 余篇。



杨剑，中兴通讯股份有限公司预研标准部标准预研工程师；主要研究领域为 PTN、5G 承载相关标准预研；已向 ITU-T 提交 5G 承载技术提案 10 余篇。



占治国，中兴通讯股份有限公司预研标准部高级架构师；主要研究方向是 5G 承载技术；曾负责过国家重大专项课题项目和发改委技改项目；已发表论文 10 余篇，获得 10 余项专利授权。



周严伟，中兴通讯股份有限公司软件算法工程师；主要研究领域为时钟时间算法和相关标准预研；已向 ITU-T 提交超高精度时间同步提案 10 余篇。