

文章编号:1007-5321(2021)02-0095-07

DOI:10.13190/j.jbupt.2020-135

时间敏感网络的控制架构

王敬超¹, 高先明², 黄玉栋³, 汪 硕³, 黄 韬³

(1. 鹏程实验室, 深圳 518000; 2. 军事科学院 系统工程研究院, 北京 100141;

3. 北京邮电大学 信息与通信工程学院, 北京 100876)

摘要: 分析了时间敏感网络控制架构的设计需求,从配置对象、架构模型、架构实现等 3 个方面指出了时间敏感网络(TSN)控制架构的发展现状和面临的技术挑战,围绕需求感知、策略计算、策略部署等核心功能重点研究了基于网关和统一架构的 2 种实现方式,给出了 TSN 控制架构的发展趋势,为 TSN 的应用与推广奠定技术基础。

关键词: 时间敏感网络; 软件定义网络; 控制架构; 架构模型; 架构实现

中图分类号: TP393.0

文献标志码: A

Research of Control Framework in Time-Sensitive Network

WANG Jing-chao¹, GAO Xian-ming², HUANG Yu-dong³, WANG Shuo³, HUANG Tao³

(1. Peng Cheng Laboratory, Shenzhen 518000, China;

2. Institute of Systems Engineering, Academy of Military Science, Beijing 100141, China;

3. School of Information and Communication Engineering, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

Abstract: In order to advance control architecture research of time-sensitive networks, the design requirement of time-sensitive network control architecture is analyzed. The development status and technical challenges of time sensitive network(TSN) control architecture are presented from three aspects including configuration objects, architecture models, and architecture implementations. The gateway and unified architecture based implementation models are mainly studied around core functions such as demand perception, strategy calculation, and strategy deployment. The development trend of TSN control architecture is given. It is expected to lay a technical foundation for the application and popularization of TSN through the study of TSN control architecture.

Key words: time-sensitive network; software-defined network; control framework; architecture model; architecture implementation

随着网络互联对象从“人—机”向“人—机—物”方向拓展,柔性生产、远程驾驶、远程手术、虚拟现实等新型应用模式不断出现。这些应用模式得以实现的共性特征为:确定性的时延控制和高精度的时间同步,如柔性生产利用传感器、控制器、执行器和机器人等构成生产线设施,通过不同设备间低延

迟、低抖动地传递报警信息、控制命令等数据信息,实现生产设施准确无误地运转;在第 5 代移动通信系统(5G, the fifth generation of mobile communications system)三大场景之一的超可靠低时延(URLLC, ultra-reliable and low latency communications)^[1]场景,基站间信令传输以及基站与后台间数

收稿日期: 2020-08-21

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(61931017)

作者简介: 王敬超(1982—),男,副研究员。

通信作者: 高先明(1988—),男,工程师, E-mail: nudt_gxm@163.com.

据的传输同样需要满足低时延的传输需求. 为了满足新型应用模式的需求, 网络应具备提供端到端时延为 1 ~ 10 ms 量级、抖动为微秒量级的能力. 为此, 2012 年电子电气工程师学会 (IEEE, institute of electrical and electronics engineers) 成立了时间敏感网络 (TSN, time-sensitive network) 工作组, 致力于时间敏感网络的技术研究和标准的制定^[2].

TSN 架构分为数据平面和控制平面 2 部分. 数据平面按照预定的时间周期、优先级、额定资源等参数进行数据流的存储转发, 确保数据流在截止时间之前到达接收端设备; 控制平面用于管理与配置数据平面, 并依据网络拓扑和业务需求计算出数据平面的配置参数, 如数据平面中时钟同步、资源预留、过滤策略、流量整形等.

目前, TSN 工作组已基本完成时间敏感网络数据平面机制的标准制定工作, 可满足复杂多样应用的差异化服务质量需求. 在时间敏感网络控制平面的标准中, 802.1Qcc^[3] 协议中定义了时间敏感网络控制平面的 3 种架构模型, 但其只定义了模型, 没有明确时间敏感网络中哪些协议和网络功能可抽象到控制平面. 因此, 控制平面如何对 TSN 网络进行统一管控, 是 TSN 网络研究急需解决的问题.

1 TSN 控制架构的配置对象

为了确保网络具备低时延、低抖动的传输能力, TSN 在完成全网时钟同步^[4]后, 通过控制平面对 TSN 终端、TSN 交换机等设备进行配置. 控制平面的配置对象主要包括流预留协议、入端口每流过滤和策略、出端口时间感知整形等.

1) 流预留协议

流预留协议 (SRP, stream reservation protocol)^[5] 包括注册和预留 2 个核心步骤, 沿发送端到接收端的路由路径进行属性注册、资源预留和带宽分配, 还包括多媒体存取控制地址 (MAC, media access control address) 注册协议、多虚拟局域网 (VLAN, virtual local area network) 注册协议和多流注册协议等多种注册机制, 并使用 48 位的扩展唯一标识符 (EUI-48) 标识和注册业务流. 其中, EUI-48 包括 48 位的源 MAC 地址并关联 16 位的 StreamID. 一个发送端可以对应多个接收端, 而同一发送端的不同流用 StreamID 进行区分. 在注册步骤中, 可配置参数包括 StreamID、MAC 地址、VLAN 值 (1 ~ 4 094)、最大帧尺寸、最大帧数、优先级 (0 ~ 7)

和 Rank 值 (0 ~ 1).

在预留步骤中, 需要配置预留开始时间、预留结束时间和预留带宽 3 个关键参数. 同时, SRP 规定了 TSN 交换机中的时间敏感业务占用带宽的最大值. 一般情况下, 最多允许预留 75% 的带宽给时间敏感的业务流, 剩余 25% 的带宽用于传输标准以太网的业务流数据. SRP 根据流的优先级类别和带宽需求预留 TSN 交换机中的队列资源. 当路由路径中 TSN 交换机的资源不足时, 预留失败, 数据流将被拒绝接入网络中.

2) 每流过滤和策略

每流过滤和策略 (PSFP, per-stream filtering and policing)^[6] 标准是一个入端口的控制标准, 由过滤表、开关表和计量表 3 部分组成, 通过规则匹配对每个流进行过滤和策略控制, 用于防止因错误传输, 如设备故障和拒绝服务攻击引起的流量过载, 达到提高网络的鲁棒性和可靠性的目的.

首先过滤表根据进入端口业务流的 StreamID 和优先级标识匹配相应的策略, 执行相应的策略动作. 策略动作可选配的参数包括转发至某一端口、丢弃、修改数据包某一字段等. 开关表有开关 ID、开关状态、中间优先级 3 个参数, 若门的开关状态为“开”, 则流进入内部优先级值 (IPV, internal priority values) 映射的优先级队列中. 同时, PSFP 利用计量表对流的最大带宽速率和突发尺寸大小进行限制, 需要配置约定速率、约定突发字节大小、超过约定速率、超过约定突发字节大小 4 个参数. 最后, 业务流被转发到队列中进行排队传输.

3) 时间感知整形

时间感知整形 (TAS, time-aware shaper)^[7] 是增强的出端口流量调度整形机制, 采用类似时分复用的方式保证时间敏感的业务流在传输中具有逐跳的确定性时延.

TAS 在每一个优先级队列后增加一个由门控列表里的门控条目驱动的门, 当门为打开状态时, 对应队列中的业务流进行出队传输; 当门为关闭状态时, 对应队列中的业务流不可被传输. 在时间敏感流的队列门打开前, TAS 通过设定保护带宽, 保证其他流量的传输不阻碍时间敏感流的传输. 时间感知整形的配置对象为门控列表条目, 每个条目需要配置参数为时间点以及对应时刻的门状态 (打开或者关闭), 并可计算选配保护带宽的大小 (最大为 1 522 byte). 此外, TSN 工作组还提出了基于 TAS

变体的循环排队转发机制 (CQF, cyclic queuing and forwarding). CQF 采用名为奇队列和偶队列的 2 个最高优先级队列, 并使其周期性地交替执行入队和出队操作. CQF 不仅简化了门控列表的配置, 还能够保证流量在每跳最多等待 1 个转发周期.

2 TSN 控制架构的模型

时间敏感网络的 802.1Qcc 协议中定义了时间敏感网络控制平面的架构模型, 包括全分布式、分布式用户管理/集中式网络控制、全集中式 3 种控制架构模型.

1) 全分布式控制架构模型

全分布式控制架构模型中的用户需求和网络流量均通过用户网络接口 (UNI, user network interface) 进行传输, 如图 1 所示. 网络控制在 TSN 交换机本地执行, 并且不对终端进行控制, 需提前离线配置好终端. 该架构模型常应用在音视频桥接系统 (AVB, audio/video bridging systems) 协议组, 配置方式较为复杂, 维护成本高.

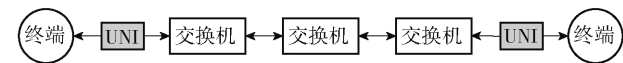


图 1 全分布式控制模型

2) 分布式用户管理/集中式网络控制架构模型

分布式用户管理/集中式网络控制架构模型对所有交换设备进行集中管控, 利用集中式网络控制器 (CNC, central network controller) 对全局网络视图实现最优的计算和控制, 如图 2 所示. CNC 具有计算拓扑路径等网络功能, 通过南向接口下发更新路由路径、门控列表等配置信息到 TSN 交换机.

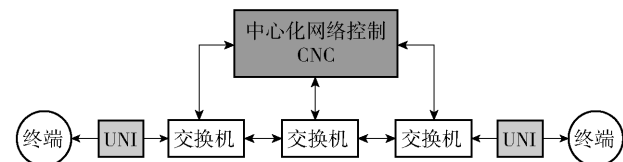


图 2 分布式用户管理/集中式网络控制架构模型

3) 全集中式控制架构模型

全集中式控制架构模型采用开放平台通信统一架构 (OPC-UA, open platform communications-unified architecture) 的发布—订阅模式, 将用户需求交给集中式用户配置 (CUC, centralized user configuration) 进行集中采集和统一翻译转换, 从而增强了服务质

量的保障能力, 如图 3 所示. CUC 负责采集终端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.

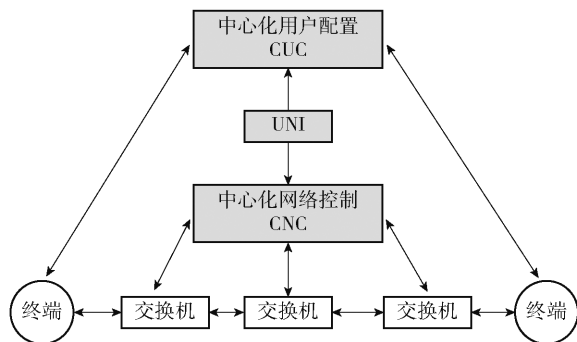


图 3 全集中式控制架构模型

3 TSN 控制架构的实现

软件定义网络 (SDN, software-defined network) 通过获得网络的全局视图对网络进行集中管控, 从而提供敏捷的网络运维能力和高效的资源调度能力. 因此, 采用全集中式控制架构模型, 基于软件定义理念实现 TSN 控制架构是当前的主流方案, 它集合了时间敏感网络确定性传输的特性和软件定义网络集中管控、灵活智能的优点. 基于软件定义理念的 TSN 控制可实现的架构包括数据面、控制面、管理面三大平面和南向接口、北向接口两大接口. 数据平面由若干具有转发和处理数据功能的网元组成, 是被管理的资源在逻辑上的抽象集合; 控制平面的控制器是一个逻辑上集中的实体, 为上层管理面的应用提供底层网络的抽象模型.

目前, 全集中式控制架构模型存在 2 种实现方式: 一是基于网关的实现方式, 指通过协议转换实现新旧协议的兼容, 实现 TSN 域和 SDN 域的互连互通, 无需修改现有软件定义网络的相关标准和接口, 达到平稳过渡的目的; 二是统一框架的实现方式, 指直接在一台设备上同时实现 TSN 协议和 SDN 接口功能, 是 2 种技术真正意义上的融合. 这 2 种方式创建端到端的时间敏感连接步骤如下: 首先, 全网进行时钟同步, 控制器收集全局的拓扑视图. 在接收到终端业务的带宽时延抖动需求后, 控制器根据需求计算路由路径并沿路径预留带宽资源, 并下发流表、门控列表等配置信息. 若成功建立连接, 则将成功信息返回给发端, 发端开始发送时间敏感流; 若连接建立失败, 则流不能被加到时间敏感网络中.

3.1 基于网关的实现方式

在基于网关的实现方式中,TSN 和 SDN 使用通用的网络抽象层,如 MAC 地址学习、拓扑发现、路径

计算,具有独立的控制平面、数据平面和管理平面,如图4所示。

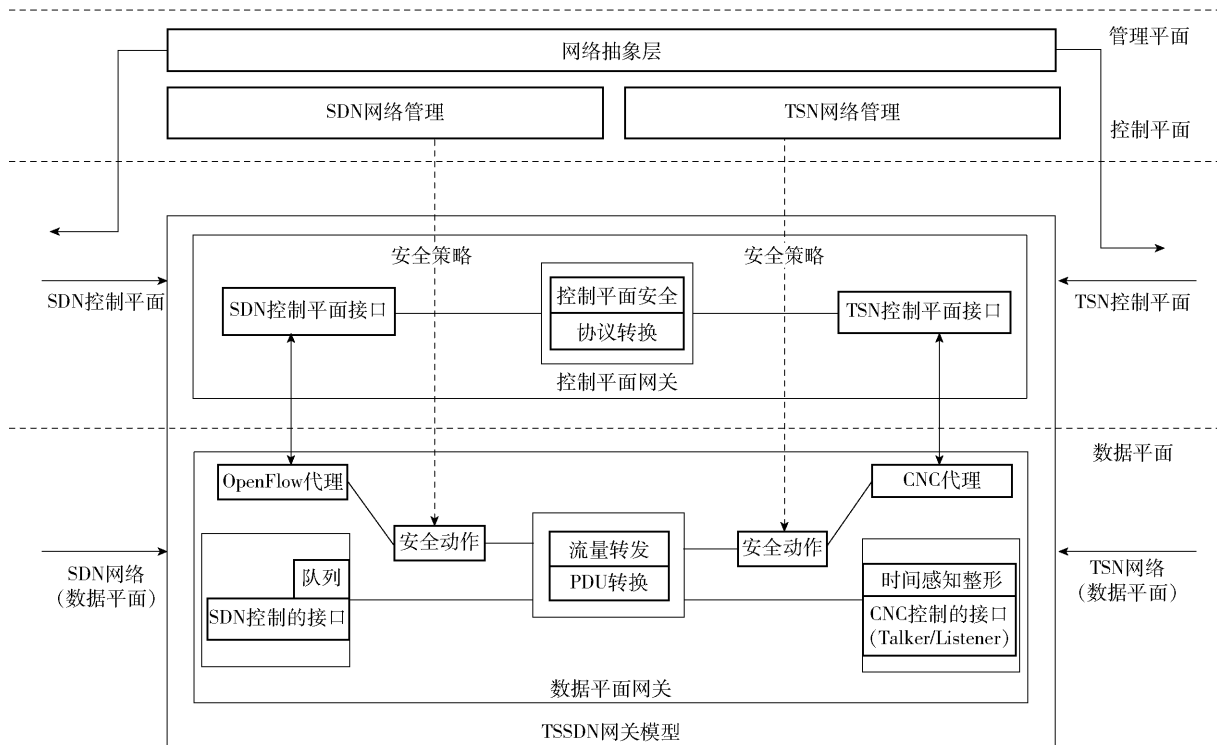


图4 基于网关的实现方式

1) 数据平面. 由于 TSN 和 SDN 使用的协议和接口不同,网关通过协议数据单元(PDU, protocol data unit)实现相互转换,如修改虚拟局域网(VLAN, virtual local area network)标签中的 PCP(priority code point)字段,实现域间的优先级映射并进行 NAT 网络地址转换(NAT, network address translation)等。

2) 控制平面. 恩智浦、思科等企业发布的 TSN 商用交换机支持时钟同步、每流过滤和策略、时间感知整形等功能。为了实现端到端的服务质量保障,SDN 控制器(或 CNC)需要交换 2 个域的网络资源和服务,例如,使用 OpenFlow 协议^[8]作为南向接口,利用其现有的 Queuing 队列进行简单的流量调度以及使用 Meter 计量表进行速率限制,保障 TSN 域传来业务的服务质量(QoS, quality of service)。

3) 管理平面. 管理平面主要考虑安全功能,如接入控制、身份验证、授权和加密等,不同的安全策略需要在时延敏感的软件定义网络(TS-SDN, time-sensitive software-defined network)的网关中实现统一转译和管理。

3.2 统一框架的实现方式

在统一框架的实现方式中,TSN 和 SDN 不仅使用相同的网络抽象层(路径管理、拓扑管理、策略管理),而且具有统一的数据平面、控制平面和管理平面,如图5所示。

1) 数据平面. 在 SDN 设备中集成 802.1AS 精确时钟同步协议,并支持流预留、入端口每流过滤和策略、出端口时间感知整形、Yang 数据模型等功能。

2) 控制平面. 控制平面通过流预留协议来实现 OPC UA 的发布—订阅模式,通过添加 CUC、CNC 等网络组件来实现 TSN 的网络功能和服务,并基于 OpenFlow、Netconf 等接口对 TSN 交换机下发流表和门控列表等配置。TSN 工作组发布了一系列与 Yang 模型定义相关的标准草案,包括:基于统一数据语言的信息模型和 Yang 数据模型,实现基本的桥配置;结合 Netconf 实现时间感知整形、帧抢占、每流过滤和策略的配置以及结合 Netconf 的包复制和消除机制的配置。

3) 管理平面. 管理平面不仅要考虑安全,如接入控制、身份验证、授权和加密等,还要对时间敏感

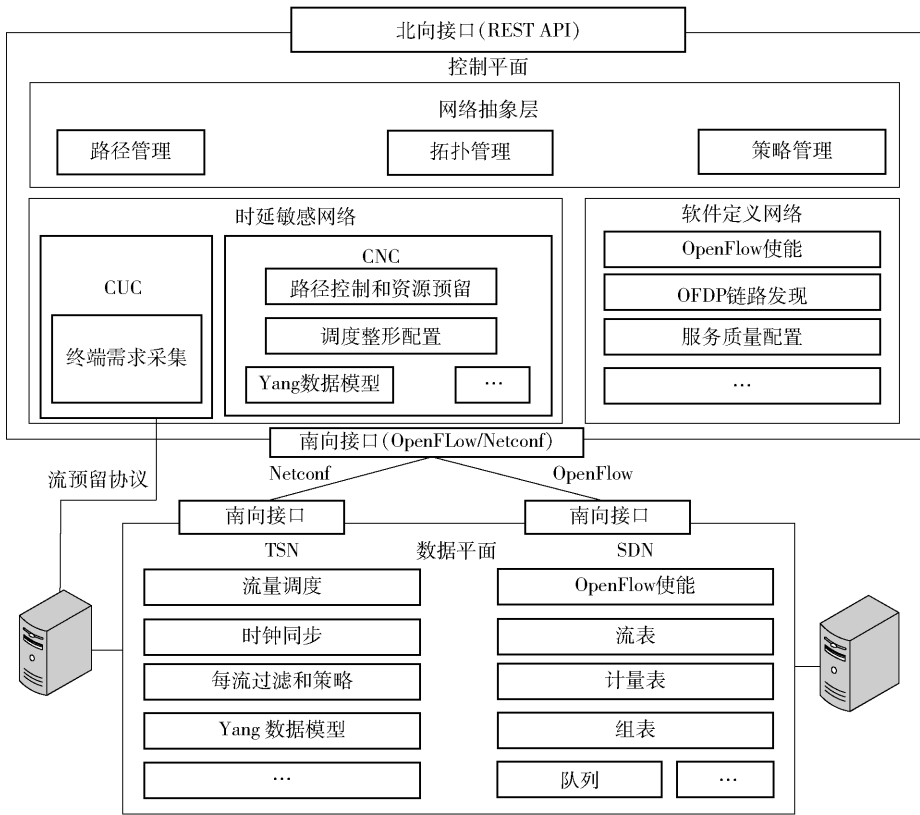


图 5 软件定义的时间敏感网络统一模型

网络进行端到端的统一调度和编排,对跨域同步、时隙对齐、用户需求采集和更新、策略更新等功能进行统一编排。

4 TSN 控制架构面临的挑战

1) 完善南向接口标准

南向接口可采用 OpenFlow 和 Netconf 协议。其中,OpenFlow 协议保持不变,主要用于流表、计量表、组表下发等;Netconf 协议主要用于 TSN 相关协议的配置和更新,须修改匹配字段。现阶段,Netconf 协议(RFC 6241)规定了网络设备中的 Netconf Server 和控制器中的 Netconf Client 组件,客户端通过 RPC(remote procedure call)的方式进行 get-config 和 edit-config 等操作。如何通过 edit-config 等方式对 SRP 流预留资源进行实时建立和释放以及对门控列表进行修改,有待进一步的探讨和研究。

2) 确保实时性和一致性

TSN 采用离线方式进行网络配置,而在进行在线配置和重配置时,时间敏感网络的控制平面必须保证配置的下发和更新的实时性和一致性。例如,门控列表下发时,如果一台交换机的门控列表进行

了更新,而下一跳更新不及时或者未能成功更新,会导致流量无法在正确的时隙被传输。同时,现有的确保一致性方法是在检验所有的设备配置成功后,向终端发送“确认可以发包”的消息。若确认的时间过长,或确认消息丢失,则无法保证配置下发的实时性。

3) 仍有待有界时延抖动

TSN 数据平面和控制平面带来的开销原则上不能影响 TSN 网络的有界时延抖动。控制平面在带来集中灵活管控的同时,会导致时延抖动开销不确定。例如,当时钟同步采用最佳主时钟算法(BMC, best master clock)时,将时钟同步的功能移至控制面,主动控制主时钟的选举和手动配置时钟,连接控制平面的时间开销会导致时钟同步不稳定并出错,处理时延开销的增加可能导致时延上界增加。

4) 增强应用适配能力

未来会存在大量时间敏感的应用场景,对灵活性、可靠性和可扩展性等网络指标各有侧重,网络应用的适配能力仍有待增强。现有典型场景包括: $L_1 \sim L_5$ 级自动驾驶对应所需的时间敏感网络技术和用例^[9]、工业自动化和车载以太网领域^[10]、超可

靠低时延^[11]、工业 4.0 下端到端的应用场景^[12]等。当前,时间敏感网络还处在样机开发和软件仿真阶段^[13],如基于 OMNeT++ 的仿真平台,实现支持时钟同步、流预留、时间感知整形等多种时间敏感网络机制的仿真,以及通过 OpenFlow 和 Netconf 协议下发流表和配置信息^[14]。

5 TSN 控制架构的发展趋势

1) 实现分层分域与多级控制。在实现南向接口和控制功能的基础上,随着时间敏感网络规模的不断扩大以及不同层次服务质量需求的增加,未来 TSN 控制架构将通过控制器间的东西向接口提高控制平面的可扩展性,在纵向不同协议层间实现跨层的配置操作,并在横向不同域间(接入网、城域网、广域网)实现跨域的管理和控制。同时,还需考虑成本、开销、安全、稳定性等问题。因此,实现面向大规模组网的多级控制是未来 TSN 控制技术的主要发展方向。

2) 设计抽象控制功能。在抽象控制功能方面,尚未出现统一的解决方案。目前,功能抽象主要存在以下几个方面:一是采用带 configTSN 和 EthernetTSN 服务的 OpenDaylight 控制器作为 CNC 实体,基于 802.1AS 协议的管理信息库(MIB, management information base)具化 Yang 数据模型,实现了在 SDN 中自动地配置时钟同步功能,包括实时开启、关闭、配置和重配置时钟同步等操作^[15];二是将 SRP 中的 talker 和 listener 分别匹配到以太网源地址和目的地址,并添加新的 OpenFlow 控制信息 ForwardSRP,以进行交换机和控制器间的流预留信息交换^[16];三是基于软件定义流预留(SDFR, software-defined stream reservation)的架构,通过修改 TrustNode 设备的 Yang 数据模型,利用 RTman 应用连接 OpenDaylight 控制器的北向接口^[17]。在抽象控制功能方面,将更多 TSN 协议和网络功能抽象到控制平面,实现 TSN 网络的控制平面和数据平面真正的解耦,这是未来的重要发展方向。

3) 优化集中配置开销。目前,采用组件性能分析(CPA, compositional performance analysis)方法证明了集中式网络配置的最坏情况是时延低于 50 ms^[18],故时间敏感网络的接入控制、故障恢复和重配置等配置开销优化是未来的重要研究方向。现阶段主要有以下几种优化研究方法:一是增加配置代理,通过监控、抽象、调度、重配置 4 个步骤实现时

间敏感网络的自动配置^[19],该方法的可行性仍有待验证;二是在实时以太网设备中增加 SDN 代理,或在传统以太网设备采用支持 TSN 升级的 Nano Profile 配置机制^[20];三是用本体论的时间敏感网络的即插即用配置方法,基于明确的形式化规范对应用、设备、服务质量的需求和时间感知整形建立综合数学模型^[21]。

6 结束语

TSN 控制平面用于管理与配置数据平面,并依据网络拓扑和业务需求计算出数据平面的配置参数,如数据平面中时钟同步、资源预留、过滤策略、流量整形等。TSN 控制架构主要分为全分布式、分布式用户管理/集中式网络控制和全集中式 3 种控制模型,通常采取基于网关和统一框架 2 种方式实现。指出了 TSN 在南向接口标准、控制功能抽象、集中配置开销、应用适配能力等方面面临的技术挑战。总结了时间敏感网络控制技术的发展趋势和方向,为相关领域的研究人员提供参考。

参考文献:

- [1] Boehm M, Ohms J, Kumar M, et al. Time-sensitive software-defined networking: a unified control-plane for TSN and SDN[C]// Mobile Communication - Technologies and Applications. Osnabrueck: VDE, 2019: 1-6.
- [2] Huang Tao, Wang Shuo, Huang Yudong, et al. Survey of the deterministic network[J]. Journal on Communications, 2019, 40(6): 160-176.
- [3] IEEE. IEEE draft standard for local and metropolitan area networks—media access control bridges and virtual bridged local area networks amendment: stream reservation protocol enhancements and performance improvements: IEEE P802.1Qcc/D2.0—2017 [S/OL]. 2017 [2021-03-07]. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8118313>.
- [4] IEEE. IEEE standard for local and metropolitan area networks—timing and synchronization for time-sensitive applications in bridged local area networks: IEEE Std 802.1AS—2011[S/OL]. 2011 [2021-03-07]. <https://ieeexplore.ieee.org/document/5741898>.
- [5] IEEE. IEEE standard for local and metropolitan area networks—virtual bridged local area networks amendment 14: stream reservation protocol: Std 802.1Qat (Revision of IEEE Std 802.1Q-2005)—2010 [S/OL]. 2010 [2021-03-07]. <https://ieeexplore.ieee.org/document/>

- 5594972.
- [6] IEEE. IEEE standard for local and metropolitan area networks – bridges and bridged networks – amendment 28: per-stream filtering and policing; Std 802.1Qci; 2017 [S/OL]. 2017[2021-03-07]. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8064221>.
 - [7] IEEE. IEEE standard for local and metropolitan area networks – bridges and bridged networks – amendment 25: enhancements for scheduled traffic; Std 802.1Qbv—2017 [S/OL]. 2017[2021-03-07]. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8613095>.
 - [8] McKeown N, Anderson T, Balakrishnan H, et al. Open-flow: enabling innovation in campus networks [C]//SIGCOMM Computer Communication Review. [S. l.]: ACM, 2008: 69-74.
 - [9] Samii S, Zinner H. Level 5 by layer 2: time-sensitive networking for autonomous vehicles[J]. IEEE Communications Standards Magazine, 2018, 2(2): 62-68.
 - [10] Bello L L, Steiner W. A perspective on IEEE time-sensitive networking for industrial communication and automation systems[J]. Proceedings of the IEEE, 2019, 107(6): 1094-1120.
 - [11] Nasrallah A, Thyagaturu S, Alharbi Z, et al. Ultra-low latency networks: the IEEE TSN and IETF detnet standards and related 5G ULL research[J]. IEEE Communications Surveys and Tutorials, 2019, 21(1): 88-145.
 - [12] Mannweiler C, Gajic B, Rost P, et al. Reliable and deterministic mobile communications for industry 4.0: key challenges and solutions for the integration of the 3GPP 5G system with IEEE [C]// Mobile Communication Technologies and Applications. Osnabrueck: VDE, 2019: 1-6.
 - [13] Chen Q, Zhong Q, Sun D, et al. Etn-Ethernet transport network for 5G mobile transport, metro, and DCI network[C]//2018 IEEE International Conference on Communication Systems (ICCS). Chengdu: IEEE, 2018: 332-336.
 - [14] Häckel T, Meyer P, Korf F, et al. Sdn4core: a simulation model for software-defined networking for communication over real-time Ethernet[C]//Proceedings of the 6th International OMNeT++ Community Summit. Hamburg: EasyChair, 2019: 24-31.
 - [15] Said S B H, Truong Q H, Boc M. SDN-based configuration solution for IEEE 802.1 time sensitive networking [J]. ACM SIGBED Review, 2019, 16(1): 27-32.
 - [16] Hackel T, Meyer P, Korf F, et al. Software-defined networks supporting time-sensitive in-vehicular communication[C]//2019 IEEE 89th VTC2019-Spring. Kuala Lumpur: IEEE, 2019: 1-5.
 - [17] Gerhard T, Kobzan T, Blöcher I, et al. Software-defined flow reservation: configuring IEEE 802.1-q time-sensitive networks by the use of software-defined networking[C]//2019 24th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA). Zaragoza: IEEE, 2019: 216-223.
 - [18] Thiele D, Ernst R. Formal analysis based evaluation of software defined networking for time-sensitive Ethernet [C]//2016 Design, Automation and Test in Europe Conference and Exhibition (DATE). Dresden: IEEE, 2016: 31-36.
 - [19] Gutiérrez M, Ademaj A, Steiner W, et al. Self-configuration of IEEE 802.1 TSN networks [C]//2017 22nd IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA). Limassol: IEEE, 2017: 1-8.
 - [20] Schriegel S, Kobzan T, Jasperneite J. Investigation on a distributed SDN control plane architecture for heterogeneous time sensitive networks[C]//2018 14th IEEE International Workshop on Factory Communication Systems (WFCS). Imperia: IEEE, 2018: 1-10.
 - [21] Farzaneh M H, Knoll A. An ontology-based plug-and-play approach for in-vehicle time-sensitive networking [C]//2016 IEEE 7th Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON). Vancouver: IEEE, 2016: 1-8.