

TSN ETB 一体化解决方案

本方案的核心优势是在以太列车网络中融入 TSN 的技术，能有效解决现有以太列车网络存在的支持数据类型粒度过粗、无法精确保证关键性数据延时和抖动要求、组网复杂难以维护等问题，并且基于 IEEE 标准实现，具有良好的通用性，是一种符合列车高速化、智能化发展趋势的列车网络融合网络方案。

一、技术架构和功能

本方案为基于 TSN 的以太列车网络的实现方案，TSN 是为了解决传统网络中无法实现实时、确定以及可靠的数据传输在 IEEE802.1 标准框架下提出的一套协议标准。TSN 通过 802.1AS 的时间同步协议实现设备各节点的时间同步功能，提供了网络级的精确参考时钟；通过帧复制与消除、帧检测与报错机制保证的数据传输可靠性；通过帧抢占以及预约数据流、周期性队列与转发等整形机制保证精确的传输延时；通过资源管理方式以及控制实现资源管理。

TSN 与 ETB、ECN 结合主要是通过将 TSN 的时间同步、802.1Qch 的周期性调度算法以及令牌桶的算法与当前以太列车 ETB、ECN 技术相融合，通过集中控制方式在列车初运行完成后对列车网络中的各 ETBN 以及 ECN 交换节点进行集中管理控制以及统一的资源规划管理，以实现列车通信网络中各业务流的精确控制以及确定转发的功能。

本方案的实现的架构如图 1 所示，实现分为两部分，一部分为软件实现的控制部分，一部分为硬件控制转发部分。其中软件部分主要用于实现列车网络中全局资源管理、离线资源规划、设备状态管理以及转发控制管理等功能；硬件部分用于完成数据的接收与发送控制、数据类型解析、TSN 的输出调度控制等功能。

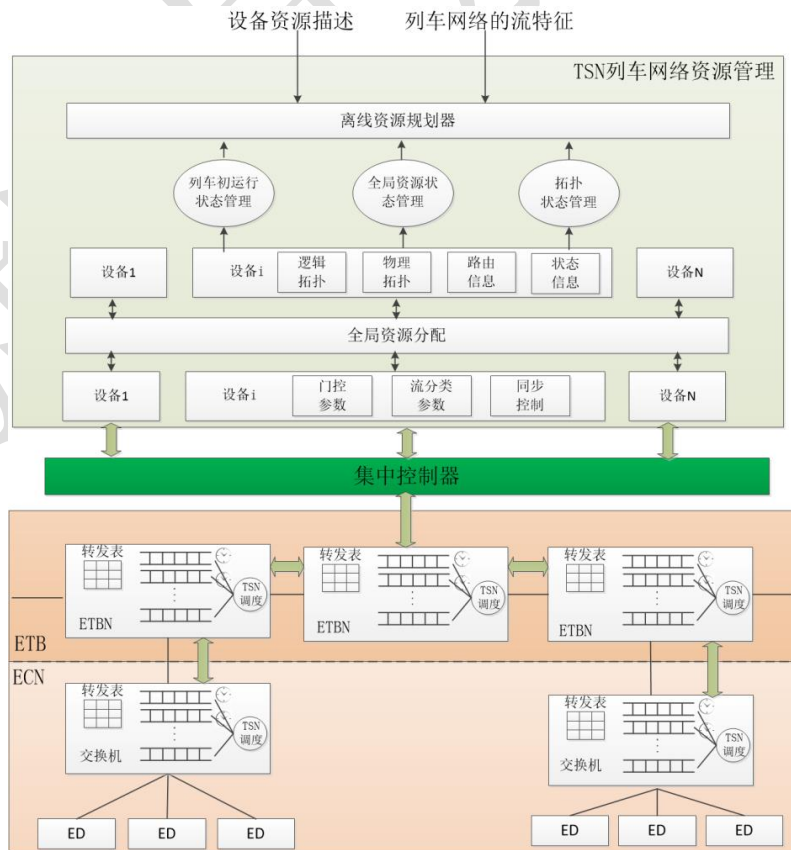


图 1 TSN 以太列车网络实现结构

二、解决方案

本方案主要支持的功能如下：

- 1) 支持 E2E 1588v2 的时间同步算法，同步精度可以达到 100ns。
- 2) 支持 802.1Qch 的 CQF (Cyclic Queuing and Forwarding) 循环队列与转发算法，可对周期性数据流进行精确的延时控制。
- 3) 支持基于令牌桶的预留带宽算法，可以实现预留带宽数据流的带宽保证。
- 4) 支持本地 TSN 节点对本地状态通过 Beacon 消息进行周期上报，用于获得节点的状态信息。
- 5) 支持 TSN 节点数据流镜像备份，获得经过节点的所有数据的备份镜像。

在本方案中为了实现各 ETBN 以太 ECN 交换节点间的数据延时可以基于 TSN 技术进行精确控制，因此需要实现时间同步协议。在本方案中时间同步协议基于端到端 (E2E) 的 1588v2 的时间同步算法实现。本方案中 1588 时间同步 PTP 报文基于 MAC 层实现控制转发，因此就限制了其同步域的范围只能是在当前子网转发，无法实现跨子网的转发控制。为了解决此问题本方案在实现时通过在 ETBN 节点添加报文解析逻辑以及转发控制逻辑来实现，即在解析时识别区分 1588 的 PTP 报文，在转发时通过输出控制进行转发控制，在转发时并不替换源 MAC 地址，实现结构如图 2 所示。

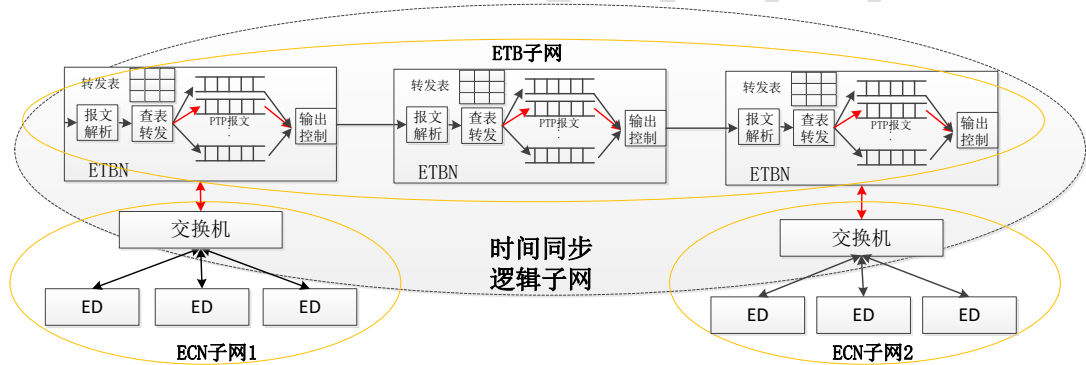


图 2 时间同步逻辑子网结构

图 2 所示，在以太列车网络中，ETB 的骨干网络为一个独立的子网，各 ECN 网络也为一个独立的子网。通过报文解析模块以及输出调度模块的控制，可以使的 ETB 子网与 ECN 子网 1 以及 ECN 子网 2 成为一个虚拟的时间同步的逻辑子网，并实现不同子网间的时间同步功能。

在各 ETBN 以及 ECN 交换节点同步的基础上，本方案针对列车网络应用数据的特点以及分类将列车网络中的过程数据、监控数据、消息数据、流数据以及尽力转发数据映射为 TSN 的时间敏感流、资源预留流以及尽力转发流特征，映射表如表 1 所示。在实现时，我们根据其流的特征以及其每条流的转发周期数、延时要求、带宽要求的不同分别对 TSN 的特征流进行不同的参数配置，从而实现数据流的细粒度控制。

表 1 列车数据类型与 TSN 数据类型映射表

数据类型	用途	特征	优先级	TSN 特征流映射
监控数据	列车初运行，ETB 完整性	HELLO 帧发送的快周期为 15ms，发送慢周期为 100ms。TOPOLOGY 发送周期为 100ms。	高	时间敏感流，分配其周期转发时间槽

过程数据	列车控制和监视	每秒 10 到 100 个报文循环发送, 数据量可达 1500 字节, 在整个 ETB 延时不超过 20ms	高	时间敏感流, 分配其周期转发时间槽
PTP 数据	时间同步	每间隔 1ms 进行一次同步, 报文长度 64 字节。	次高	预约带宽流, 为其分配有效带宽
流数据	音频和视频信息	要求高传输带宽, 低延时, 低抖动。	次高	预约带宽流, 为其分配有效带宽
消息数据	旅客信息和诊断系统	消息数据的传输靠事件驱动, 每次几千字节内容, 延时不超过 100ms	中	预约带宽流, 为其分配有效带宽
尽力服务数据	配置数据娱乐数据	限制带宽不影响其他数据转发	低	尽力转发流

本方案通过根据以上数据流的特征以及数据流的特点将其分为周期性固定延时转发流、带宽保障流以及尽力转发流。根据其流的特点, 本方案通过 TSN 的循环队列转发 CQF 算法实现周期性确定延时的时间敏感流输出调度, 通过基于令牌桶的带宽预留算法实现对保障带宽流的控制转发, 并在以上转发算法的基于通过严格优先级的调度策略实现时间敏感流、预约带宽流以及尽力转发流的混流转发。具体实现结构如图 3 所示。

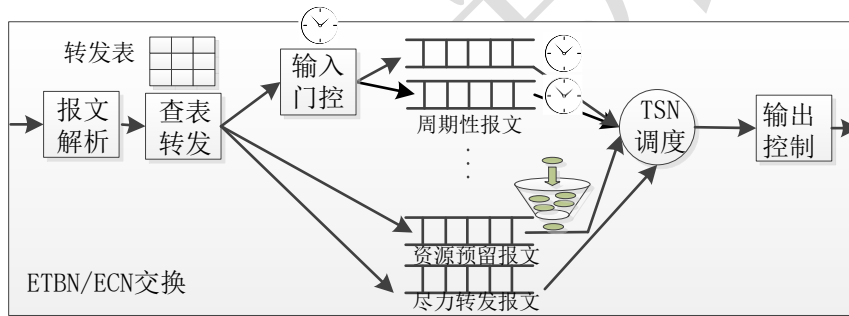


图 3 混合数据流转发控制实现结构

方案中, 根据周期性数据特点将其划分为多种周期性转发控制流, 其通过 CQF 的乒乓处理机制, 即奇数时间槽到达的数据存入奇数报文的队列中, 偶数时间表槽达到的数据存入偶数报文的队列中。输出时奇数时间槽输出偶数队列的内容, 偶数时间槽输出奇数队列的内容, 通过控制时间槽的大小从而实现对报文的输入输出的时间进行精确控制。从而实现精确的延时控制。对于带宽预留的数据流, 根据列车网络流的特点通过控制其不同流预约带宽的不同, 控制对应队列的令牌桶令牌的下发粒度从而控制其预留带宽大小。

另外, 为了控制相同类型的时间敏感流之间的干扰, 在开始阶段就需要对列车网络中各种流的特征分析并对其转发的时间进行规划, 从而保证相同类型时间敏感流在转发时彼此不会干扰。