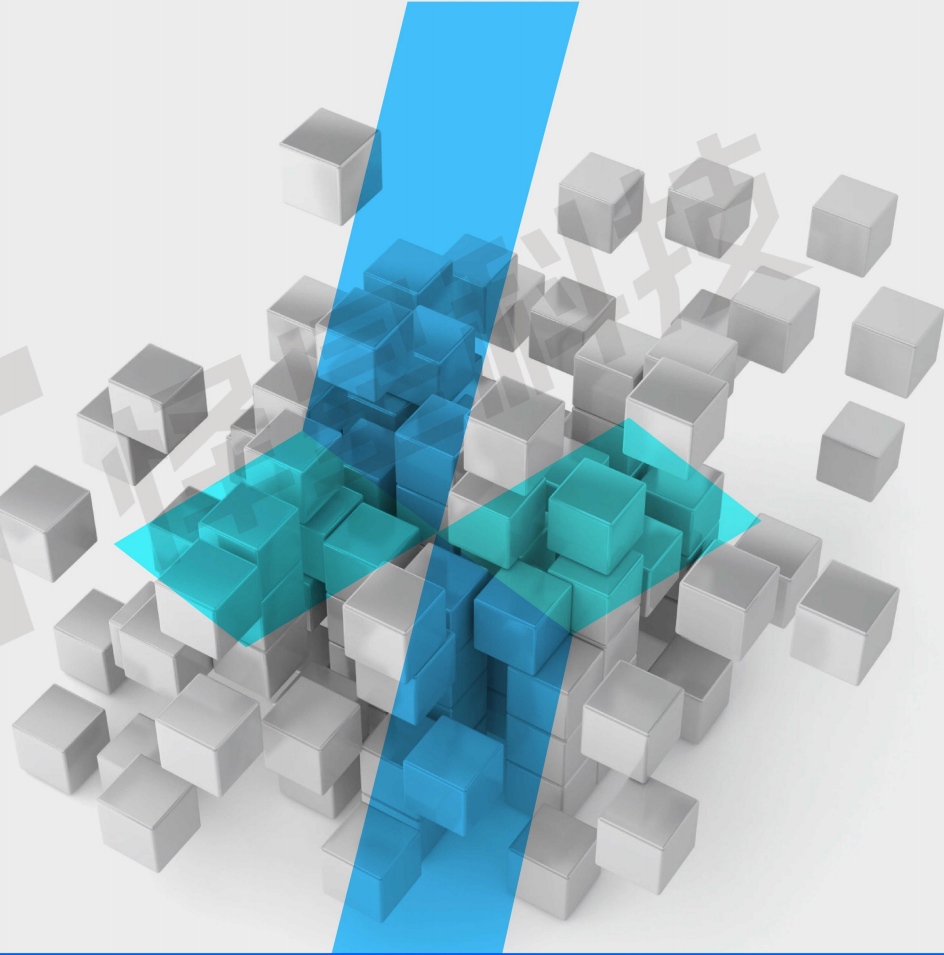


TSN如何赋能 新一代智能网联汽车（下）





CONTENTS

01 车载TSN协议基础简介

02 车载TSN设计方法简介

03 车载TSN测试内容简介

04 怪星科技车载TSN相关服务内容介绍



01

车载TSN协议基础简介

- 深入的智能化、网联化，痛点众多：



需求场景

大量车载传感器

复杂多样数据流

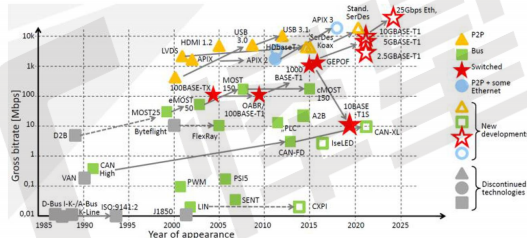
远程通讯



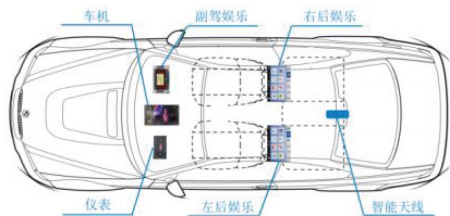
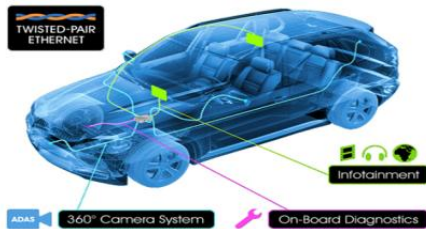
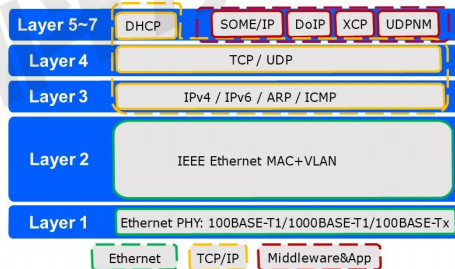
技术难题

- 海量数据，带宽问题
- 数据融合，同步问题
- 流量分类，时延问题
- 可靠传输，冗余问题
- 实时传输，带宽问题
- 端口暴露，安全问题
- 外部数据，影响车内

- 新的E/E架构：以太网作为主干网
- 需求：数据量大，快速传输
=>引入以太网技术满足带宽；



Source: Dr. Kirsten Matheus, BMW AG, Automotive Ethernet Congress 2019

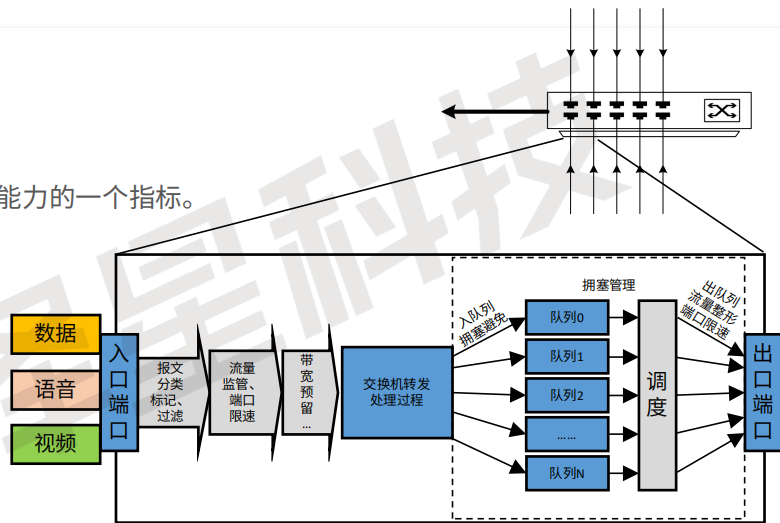
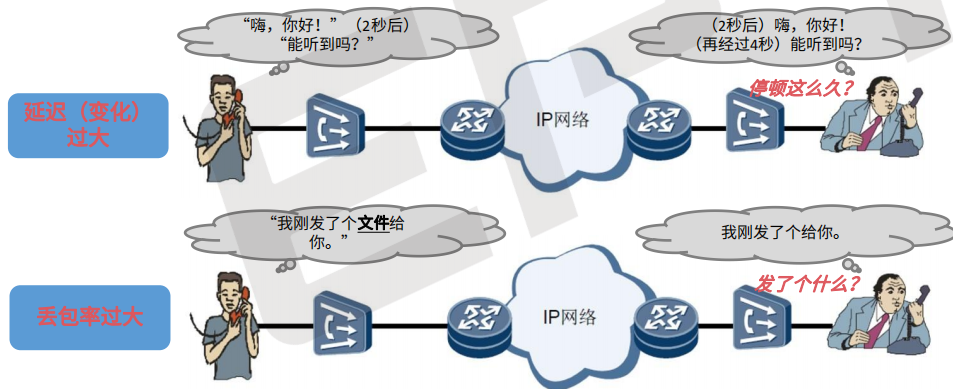


- 传统IP网络的缺陷：
-缺乏实时性特征
-带宽竞争引起的丢包

■ TSN发展历程

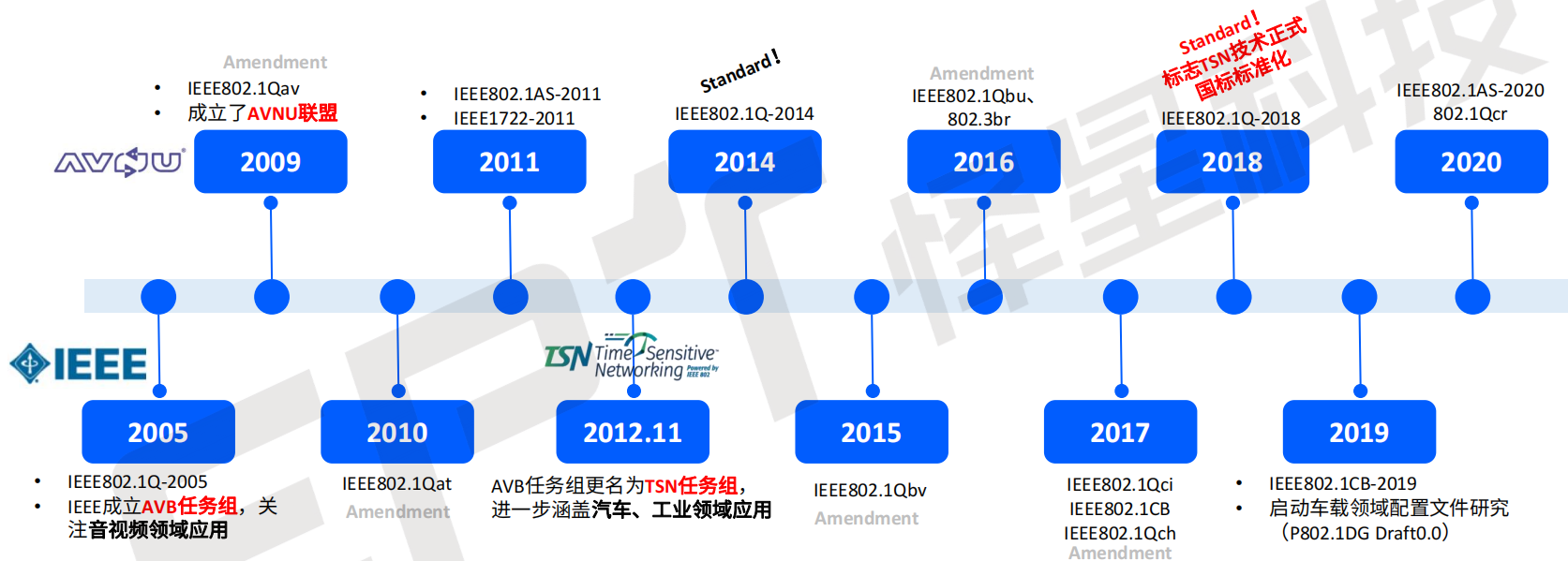
■ 核心问题：服务质量（Quality of Service, QoS）

- QoS是衡量网络和计算系统为选定应用程序和相关网络流提供不同级别服务能力的一个指标。
- ✓ 有界延迟
- ✓ 延迟变化（抖动）
- ✓ 数据包交付保证/丢包率
- ✓ 有序交付



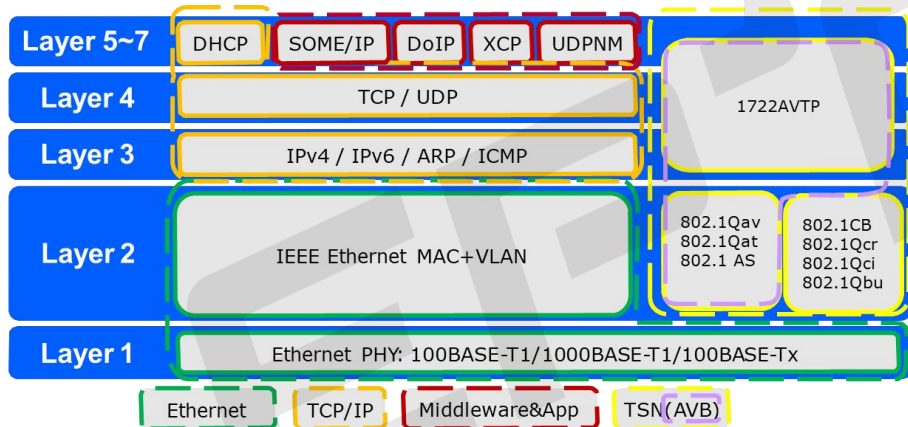
■ 如何保证QoS?

- **带宽预留：**为需要传输的数据，预留部分带宽；
- **同步：**通过某种协议，保证网络中的设备同步运行；
- **时延管理：**将两台设备之间的数据传输的延迟，限制在某个值内；
- **流量优先级：**利用VLAN技术，区分不同流量的优先级；
- **流量整形：**利用队列缓存，传输选择，限制某个连接上的流量；
- **拥塞控制：**监控网络中的特定连接，拥塞时重路由数据；



TSN是传统以太网的扩展和标准化!

- TSN协议族主要是在Layer 2对车载以太网扩展：
 - 物理层：兼容以太网PHY
 - 数据链路层：扩展MAC功能
 - 传输层：IEEE1722



- 时间同步- IEEE802.1AS (gPTP)
- IEEE802.1AS (gPTP) 改进了 IEEE 1588中规定的精确时间协议 (Precision Time Protocol, PTP)，通过gPTP报文进行时间同步。
 - Grandmaster(GM)
 - Time Slave
 - Time-Aware Bridge(i.e. Ethernet Switch)
- 主时钟选择：由于车载网络属于封闭的静态拓扑网络，一般不采用BMCA算法确定主时钟，而是**静态配置主时钟和从时钟**。
- 节点同步：网络节点的时钟同步精度主要受以下因素影响：
 - 两个节点之间的链路上数据传输造成的链路延迟；
 - 网桥在转发数据过程中所消耗的时间（即驻留时间）。
- gPTP报文：
 - 事件报文（端口发送或接收时记录时间戳）： Sync、Pdelay_Req、Pdelay_Resp；
 - 通用报文（仅携带消息）： Follow_Up、Pdelay_Resp_Follow_Up

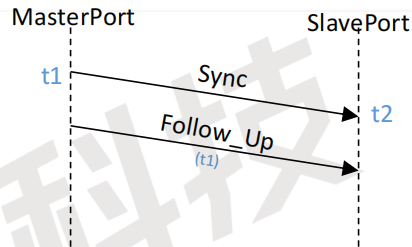


图 - 时间同步信息传输

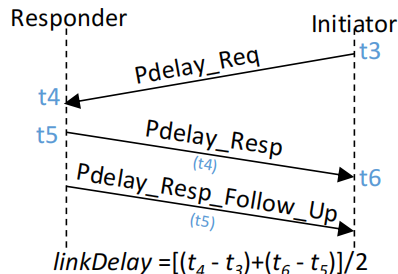
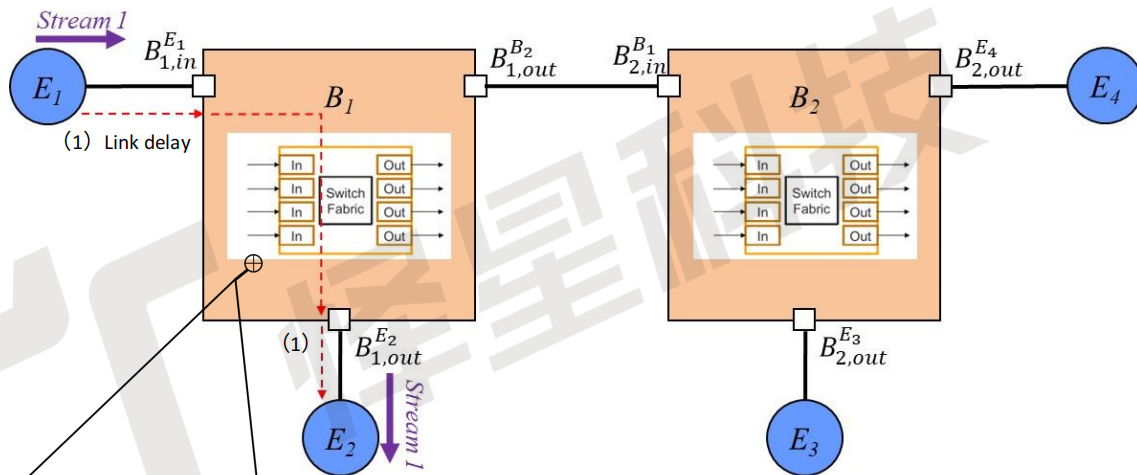


图 - 链路延迟测量（对等机制）

TSN协议简介-“整形器 (Shaper)”

数据流传输延迟:

- 示例: 节点 E_1 发送 *Stream 1*, 经过 B_1 转发至节点 E_2 接收, 延迟主要由以下部分组成:
 - (1) 链路传输延迟 (与线缆长度有关)
 - (2) 交换机转发处理延迟 (与交换机性能有关)
 - (3) 出口端口排队调度延迟 (可以设计尽可能较少延迟)



汽车中的流量:

- 预留流量 (Reserved traffic) ?
- 调度流量 (Scheduled traffic) ?
- 尽力而为流量 (Best Effort traffic) ?

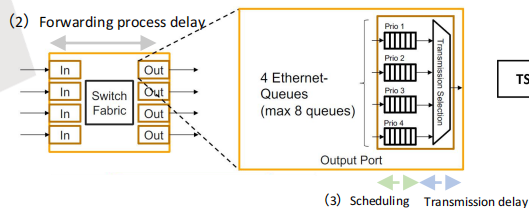


Figure - Forwarding process in legacy switch

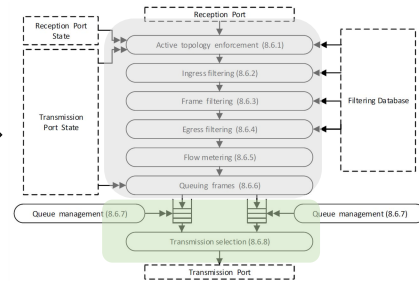
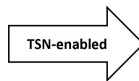
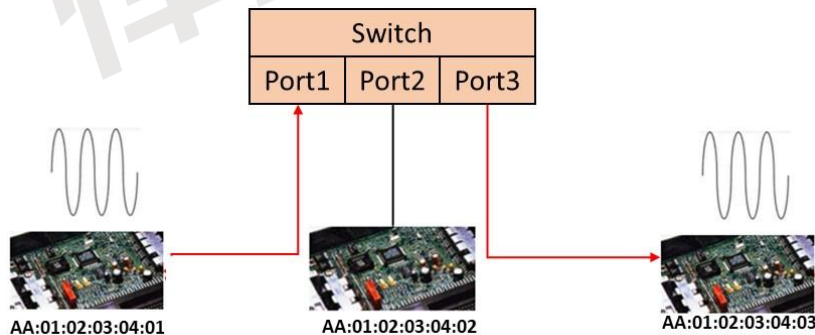
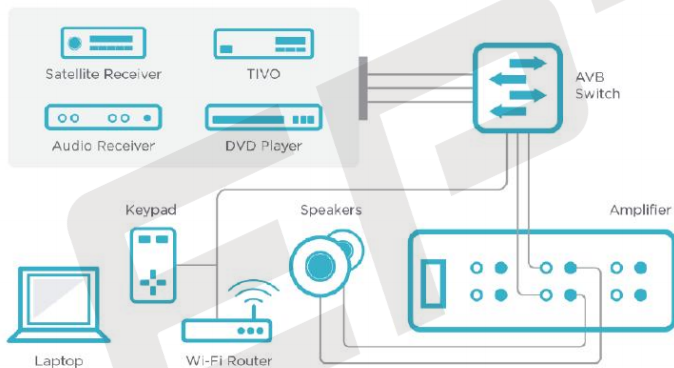
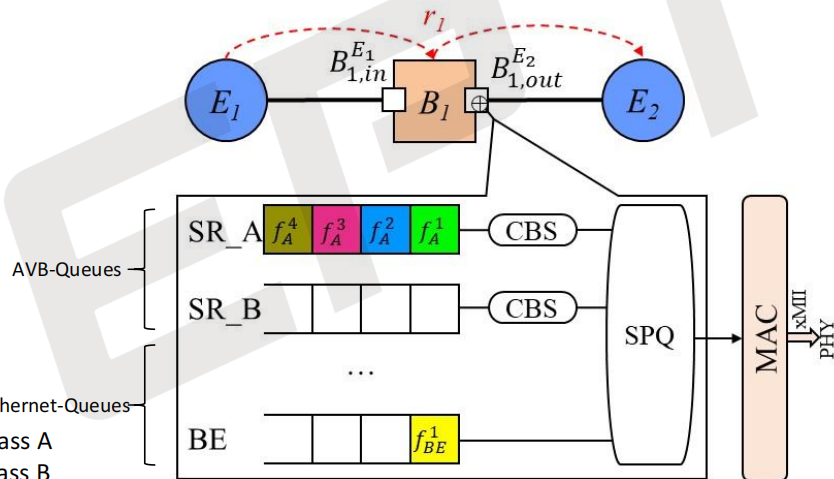


Figure - Forwarding process functions in IEEE802.1Q-2018

- 低延迟传输(802.1Qav,CBS整形器)
- 概述：
 - FQTSS**: Forward and Queueing for Time-Sensitive Stream, 时间敏感流的转发和队列机制
 - 目的**: 保证时间敏感流量（音视频、传感器数据）传输低延迟，提供平滑均匀的数据包流
 - 功能**: 流量整形、优先级划分以及队列管理



- 低延迟传输(802.1Qav,CBS-Credit Based Shaper)
 - 基于信用的整形器采用“信用 (Credit)”机制在时间上均匀地分配帧以避免突发
 - 每个队列都可以分配有CBS整形器, 拥有CBS整形器的队列也有各自的信用
 - 在预留带宽 (idleSlope) 内提供平滑的数据流; 使其在时间上均匀地分配帧
 - 保证较低优先级流量 (如BE流量) 的一定带宽, 也有传输的机会;
 - 避免缓冲区溢出和报文丢失;



注:

SR_A: SR Class A

SR_B: SR Class B

BE: Best Effort

SPQ: Strict Priority Queueing

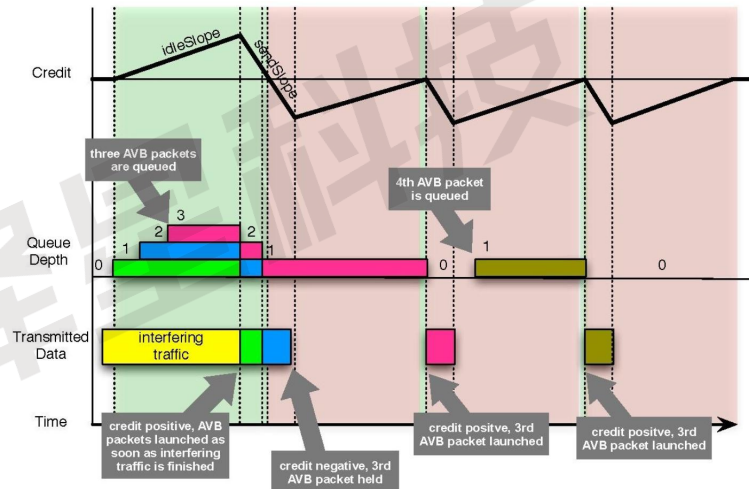


图 - 一个队列使用CBS整形器的示例

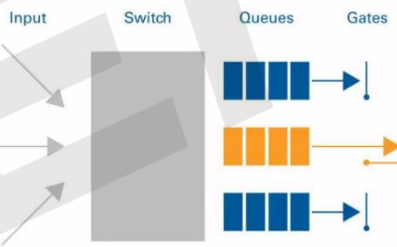
信用 (credit) 值变化规则:

- 信用值初始为0, 信用不为负 (即 $credit \geq 0$) 时开始数据传输;
- 当报文在队列中的等待传输时, 或者队列中没有报文且信用值为负时, 信用值会以idleSlope的速率增加;
- 当信用值为正且没有报文在队列中等待传输时, 信用值重置为0;
- 当一个或多个报文传输时, 信用值会以sendSlope的速率减少。(注: $sendSlope = idleSlope - portTransmitRate$)

- “调度流量”-低延迟抖动需求：
 - 一些时间关键型数据流（如ADAS）对延迟抖动要求较高，无法满足时可能会导致比较严重的系统故障。
 - 目前严格优先级（SPQ）和基于信用的整形器（CBS）无法保证它在网络中的延迟抖动；
- 时间感知整形器（Time-Aware Shaper, TAS）：
 - 采用TDMA方式，通过周期性重复的门控列表调度（Schedule），提前为时间关键型数据流预留传输时隙，避免受到其他数据流干扰；
 - 基于门控（Gate-based）的队列（注：需要802.1AS时间同步提供Global Time）
 - 当传输门打开（O）时，队列中的数据帧能够传输；反之关闭（C），队列中的数据帧不能传输。
 - 门控列表包含两个参数（队列传输门状态和时间间隔）
 - “保护带（Guard Band, GB）”机制

时间触发

IEEE 802.1Qbv: Time-Aware Shaping



Global Time



Schedule

= Guaranteed Latency

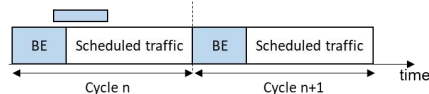
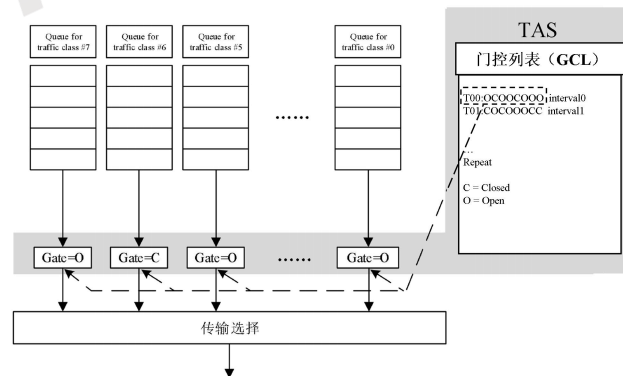


图 - BE流量影响时间关键流量

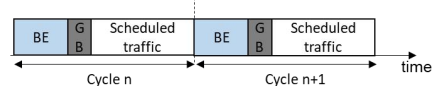
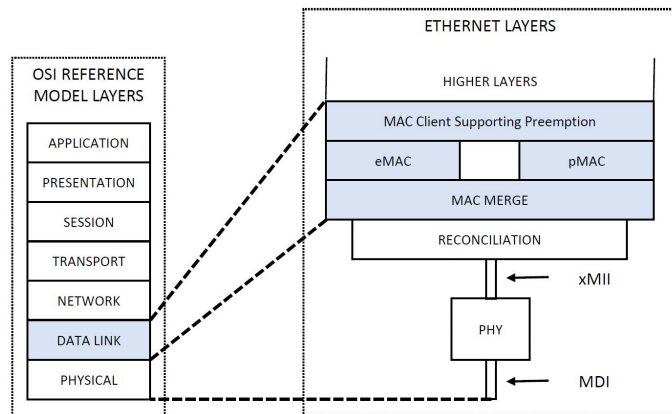
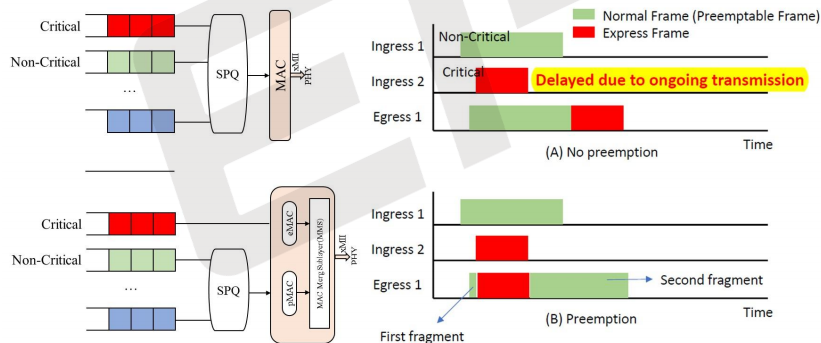


图 - 保护带机制

■ 帧抢占机制：

- FP: Forwarding and Queuing - Frame preemption, 帧抢占
- 目的：有助于为时间关键的高优先级帧实现低延迟传输。
- 功能：以太网帧抢占允许较高优先级帧中断以太网 MAC 层中较低优先级帧的传输。
 - 报文按照紧急程度分为**快速帧（express frame，通过eMAC发送）**和**可抢占帧（preemptable frame，通过pMAC发送）**；
 - 当低优先级帧的传输过程中有高优先级帧可传输时，以太网MAC可以中断低优先级帧的传输，立即开始发送高优先级帧。
 - 当高优先级帧结束时，MAC 可以从中断处继续传输低优先级帧，最终以两个（或更多）片段发送低优先级帧。
- 协议支持：
 - 802.3br: 帧抢占的原理以及MAC实现机制；
 - 802.1Qbu: 帧在队列排队的分类



(Source: see Cha99 in 802.3br)

	严格优先级(SP, 802.1p)	基于信用的整形器(CBS, 802.1Qav)	时间感知整形器(TAS, 802.1Qbv)	帧抢占(FP, 802.1Qbu)
时间同步	否	否	是	否
调度机制	按优先级高低依次转发	队列按照信用机制进行选择转发	根据门控列表, 对已预留时隙资源的数据帧进行转发	高优先级数据帧可抢占低优先级数据帧进行优先传输
传输延迟	高优先级数据帧传输延迟较小, 低优先级数据帧延迟较大	传输延迟较大	传输延迟较小	高优先级数据帧传输延迟极小, 低优先级数据帧延迟较大
传输抖动	传输抖动较大	传输抖动较大	传输抖动极小	传输抖动较大
适用场景	调度机制设计简单, 适用于较低应用成本的场景	音视频领域等传输带宽需求较大的应用场景	拥有很高的传输确定性, 适用于周期性控制数据帧传输	适用于存在突发性的低优先级数据帧传输
总结	实现简单, 通过优先级标识实现对不同数据流的调度	基于队列信用值对数据流进行整形, 解决高带宽数据流长期占用带宽资源造成的持续拥塞问题	依靠精准时间同步, 根据门控列表进行实时控制, 对实时性需求不同的数据流提供不同的调度服务	需要物理层提供抢占机制支持, 实现难度较大, 可极大降低突发性高优先级数据流的传输延迟

-

Destination address	Source address	802.1Q Tag	Redundancy Tag	Length/Type	Data Field	FCS
---------------------	----------------	------------	----------------	-------------	------------	-----

16 bits 16 bits 16 bits		
EtherType	Reserved	Sequence Number

The diagram illustrates the flow of Sync packets in Domain 0. Key components and connections include:

- gTP Primary Grand Master:** The central node for Sync packet distribution.
- Switch 1:** Connected to the Radar ECU and Switch 2.
- Switch 2:** Connected to the Rogue ECU and Switch 1.
- Switch 5:** Connected to the Central Compute and Switch 3.
- Switch 3:** Connected to the Rear View Camera ECU, Vehicle Speed Monitor ECU, and Switch 4.
- Switch 4:** Connected to the Vehicle Fuel Control ECU.

Flow of Sync packets in Domain 0: Indicated by dashed arrows.

Legend:

- Master Port:** Represented by a green square.
- Slave Port:** Represented by a green circle.
- Links not part of Sync tree:** Represented by a dashed line with diamond endpoints.

TSN协议简介-安全性(802.1Qci,PSFP)

- 802.1Qci协议对到达网桥入端口的报文提供流过滤和监管功能（Per-Stream filtering and policing, PSFP），防止流量过载。
- 流过滤和监管功能的数据处理过程主要由以下组件支持：
 - (1) 流过滤器（stream filter）；
 - (2) 流门控（stream gate）；
 - (3) 流计量器（stream meter）。

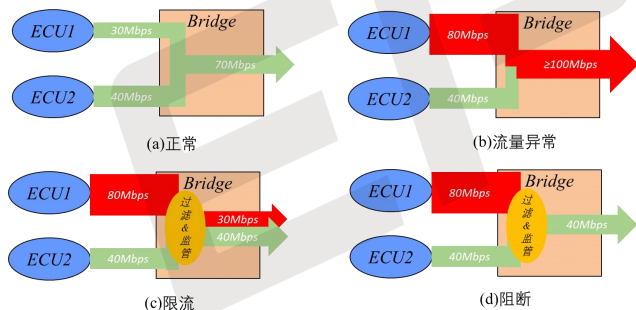


图 - DoS攻击的示例

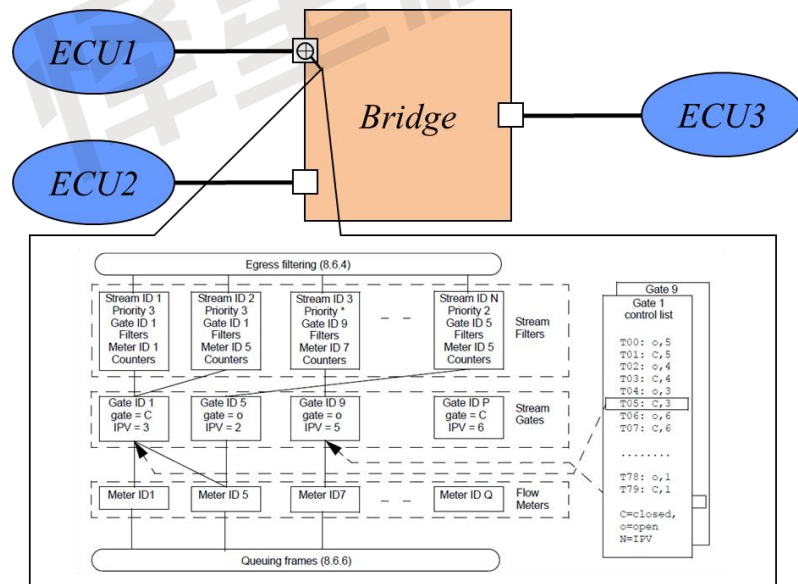


图 - 流过滤和监管功能

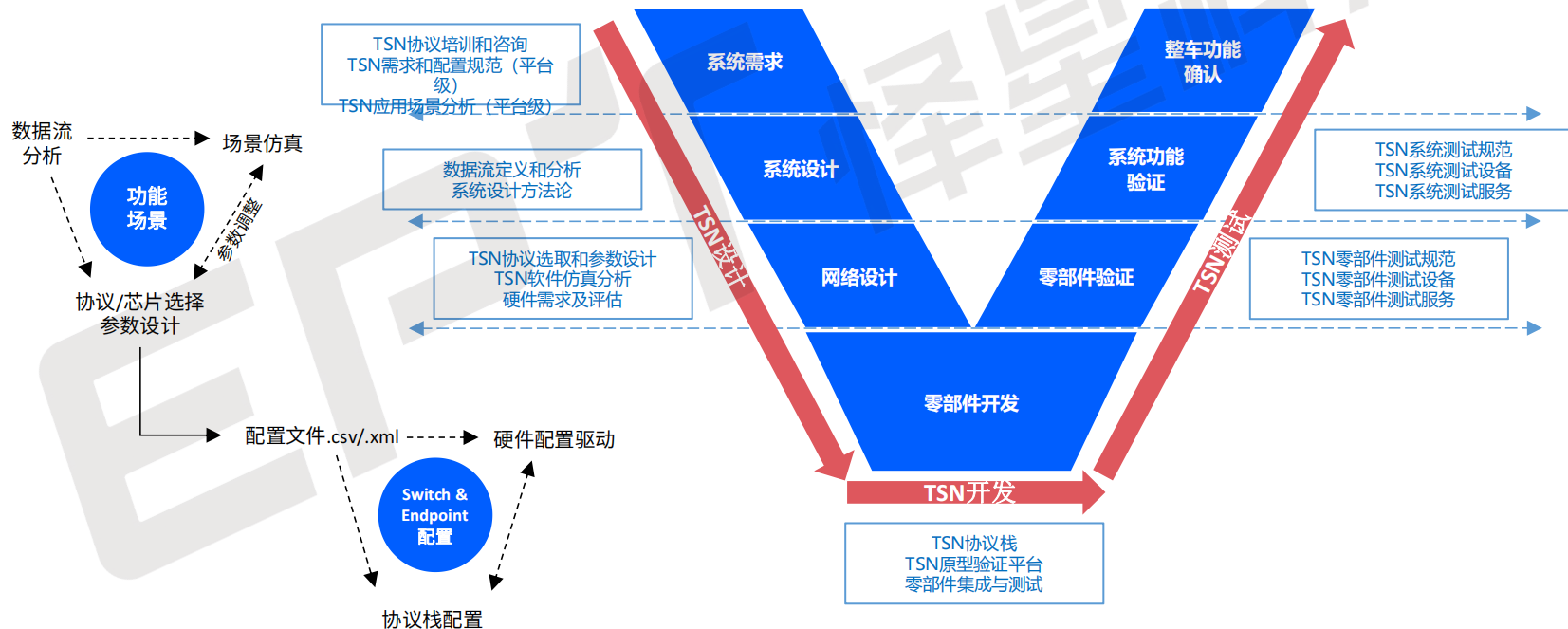


02

车载TSN设计方法简介

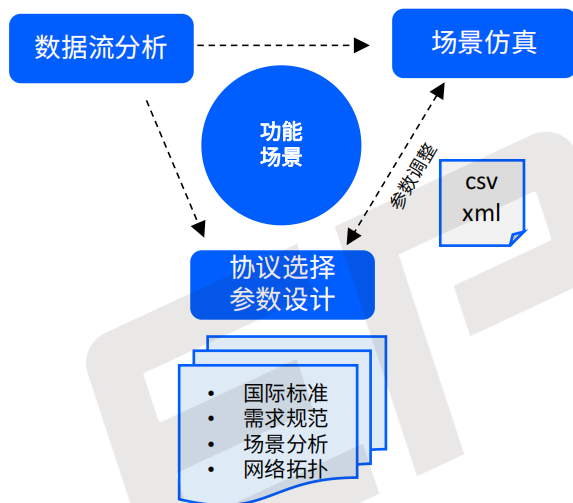
基于“V”模型的TSN开发流程

- 基于“V”模型的TSN设计、开发和测试



车载TSN设计

数据流定义及分析：



Name	Prod...	Sender	Priori...	ArrivalModel	Period	MaxDir...	MinSize	MaxSize	BurstSi...	MaxRate	Receptions
Frame_CC_1		ES_1	6	Periodic	40 ms	40 ms	300 byte	300 byte		64.000 kbit/s	'Frame_CC_1' reception by 'Frame_CC
Frame_CC_2		ES_1	6	Periodic	40 ms	40 ms	300 byte	300 byte		64.000 kbit/s	'Frame_CC_2' reception by 'Frame_CC
Frame_CC_3		ES_1	6	Periodic	10 ms	10 ms	87 byte	87 byte		85.600 kbit/s	'Frame_CC_3' reception by 'Frame_CC
Frame_CC_4		ES_1	6	Periodic	20 ms	20 ms	98 byte	98 byte		47.200 kbit/s	'Frame_CC_4' reception by 'Frame_CC
Frame_Audio_1		ES_1	5	Periodic	1.333 ms	1.333 ms	256 byte	256 byte		1956.489 kbit/s	'Frame_Audio_1' reception by 'Frame
Frame_Audio_2		ES_1	5	Periodic	1.333 ms	1.333 ms	256 byte	256 byte		1956.489 kbit/s	'Frame_Audio_2' reception by 'Frame
Frame_Audio_3		ES_1	5	Periodic	1.333 ms	1.333 ms	512 byte	512 byte		3492.873 kbit/s	'Frame_Audio_3' reception by 'Frame
Frame_Audio_4		ES_1	5	Periodic	1.333 ms	1.333 ms	512 byte	512 byte		3492.873 kbit/s	'Frame_Audio_4' reception by 'Frame
Frame_Audio_5		ES_1	5	Periodic	1.333 ms	1.333 ms	256 byte	256 byte		1956.489 kbit/s	'Frame_Audio_5' reception by 'Frame
Frame_Video_1		ES_1	3	PeriodicBurst	0.25 ms / 33.333 ms		250 byte	352 / 250 byte	112	11318.993 kbit/s	'Frame_Video_1' reception by 'Frame
Frame_Video_2		ES_1	3	PeriodicBurst	0.25 ms / 33.333 ms		337 byte	345 / 337 byte	114	11352.593 kbit/s	'Frame_Video_2' reception by 'Frame
Frame_Video_7		ES_1	4	PeriodicBurst	0.125 ms / 33.333 ms		212 byte	288 / 212 byte	148	12698.046 kbit/s	'Frame_Video_7' reception by 'Frame
Frame_Data_1		ES_1	2	Periodic	2 ms	2 ms	1500 byte	1500 byte		6080.000 kbit/s	'Frame_Data_1' reception by 'Frame_I
Frame_Data_7		ES_1	2	Periodic	50 ms	50 ms	512 byte	512 byte		85.120 kbit/s	'Frame_Data_7' reception by 'Frame_I
Frame_Data_11		ES_1	2	Periodic	25 ms	25 ms	200 byte	200 byte		70.400 kbit/s	'Frame_Data_11' reception by 'Frame
Frame_CC_24		ES_2	6	Periodic	40 ms	40 ms	146 byte	146 byte		33.200 kbit/s	'Frame_CC_24' reception by 'Frame_C
Frame_CC_32		ES_2	6	Periodic	5 ms	5 ms	66 byte	66 byte		137.600 kbit/s	'Frame_CC_32' reception by 'Frame_C
Frame_Video_3		ES_2	4	PeriodicBurst	0.125 ms / 33.333 ms		160 byte	211 / 160 byte	71	4776.047 kbit/s	'Frame_Video_3' reception by 'Frame
Frame_Data_2		ES_2	2	Periodic	2 ms	2 ms	1500 byte	1500 byte		6080.000 kbit/s	'Frame_Data_2' reception by 'Frame_I
Frame_CC_5		ES_3	6	Periodic	5 ms	5 ms	68 byte	68 byte		140.800 kbit/s	'Frame_CC_5' reception by 'Frame_CC
Frame_CC_6		ES_3	6	Periodic	5 ms	5 ms	68 byte	68 byte		140.800 kbit/s	'Frame_CC_6' reception by 'Frame_CC
Frame_CC_7		ES_3	6	Periodic	5 ms	5 ms	194 byte	194 byte		342.400 kbit/s	'Frame_CC_7' reception by 'Frame_CC
Frame_CC_8		ES_3	6	Periodic	5 ms	5 ms	86 byte	86 byte		169.600 kbit/s	'Frame_CC_8' reception by 'Frame_CC
Frame_CC_9		ES_3	6	Periodic	5 ms	5 ms	194 byte	194 byte		342.400 kbit/s	'Frame_CC_9' reception by 'Frame_CC
Frame_Audio_6		ES_3	5	Periodic	1.333 ms	1.333 ms	256 byte	256 byte		1956.489 kbit/s	'Frame_Audio_6' reception by 'Frame
Frame_Video_4		ES_3	4	PeriodicBurst	0.125 ms / 33.333 ms		164 byte	214 / 164 byte	70	4759.247 kbit/s	'Frame_Video_4' reception by 'Frame

车载TSN设计

- TSN网络设计：
- 基于标准、需求规范、应用场景分析，依据数据流分析的结果和车型网络拓扑，选择网络协议，设计各TSN协议配置参数，输出TSN系统配置文档
- 悍星提供一套适应车载网络业务场景的TSN参数设计方法，包括：

- MAC/VLAN
- 静态流预留配置参数
- 时钟同步参数
- CBS整形参数
- TAS整形参数
- 流量监管参数
- 数据流传输协议参数

No.	Name	Data type	Default value
1	PortIdentity	uint8 array	
2	PortRate		
3	DelayMechanism		
4	AsCapable		
5	MaxLinkDelay		
6	RateRatio		
7	NeighborRateRatio		
8	InitialDelayRx		
9	OpPortDelayRx		
10	InitialDelayTx		
11	OpPortDelayTx		
12	SyncRxAcceptTime		
13	AllowLateRxResponse		
14	OneStepTxOp		
15	OneStepRxOp		
16	OneStepTxUnit		

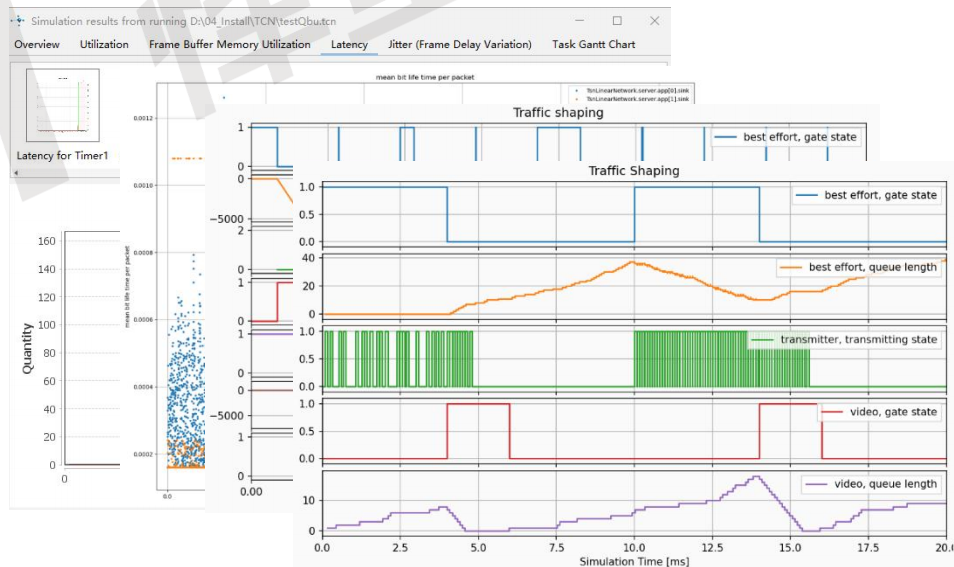
No.	Name	Data type	Default value
1	StreamID	8 octets array	
2	MAAPEnable		
3	DestMAC		
4	EndStationID		
5	VlanID		
6	VlanPriority		
7	AvtpSubType		
8	AvtpStreamID		

名称	说明
queueMaxSDU	定义每个队列的最大服务数据单元大小； 每个队列对应一个
frerSeqRecoveryStreamList	应用 Sequence recovery 功能的流识别 ID
frerSeqRecoveryPortList	应用相同封装格式的 Sequence encode/decode 功能的流识别 ID 列表
frerSeqRecoveryDirection	此 Sequence encode/decode 功能所在的端口
frerSeqEncStreamList	此 Sequence encode/decode 功能放置在端口的具体位置
frerSeqEncPort	指定此条目是被动 (False)，因此仅用于解码通过协议栈的输入数据；还是主动 (True)，因此仅用于识别输入数据，也用于对正在通过的输出数据包进行编码 在协议栈中。
frerSeqEncDirection	Boolean
frerSeqEncActive	R-TAG、HSR sequence tag、PRP sequence trailer
frerSeqEncEncapsType	实例的封装类型
frerSeqRecoveryIndividual	要添加到输出数据包中的 HSR 序列标签的 PathID 字段或 PRP 序列尾标中的 LanId 字段中的 4 位整数值。
frerSeqRecoveryLatentError	
frerSeqEncPathIdLanId	

- TSN场景仿真分析：
- 借助仿真工具，对网络性能进行仿真分析，定量评估网络设计参数。
- 悱星支持的TSN仿真平台

	RTaW-Pegase	OMNeT++	TCN
Credit-Based Shaper (Qav)	√	√	√
Scheduled Traffic (Qbv)	√	√	√
Asynchronous Traffic Shaping (Qcr)	√	√	√
Clock Sync. (gPTP)	√	√	√
Frame Preemption(Qbu)	√	√	√
Per-stream Filtering and Policing(Qci)	√	√	√
Frame Replication and Elimination(CB)	√	√	√
Configuration Protocols(Qcc)		√	

- 仿真分析
 - 延迟、延迟抖动、流量整形、交换机缓存、丢帧情况



03

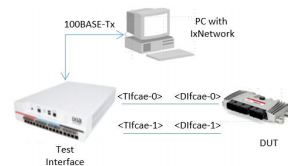
车载TSN测试内容简介

测试规范：



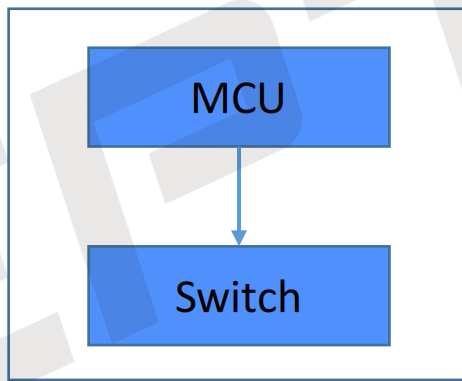
测试设备：

- IXIA
 - 设备型号: NOVUS ONE Plus
 - 软件: IxNetwork
 - 支持的测试协议: AS、Qav、Qbv、Qci、Qbu&br、CB、AVTP、Qat
- Vector
 - 设备型号: VN5650 or VN5640
 - 软件: CANoe
- Xinertel
 - 设备型号: BigTao chassis+ TSN Module Card
 - 软件: Renix
 - 支持的测试协议: AS、Qav、Qbv、Qci、Qbu、CB、AVTP
- 数字示波器
- PPS tester

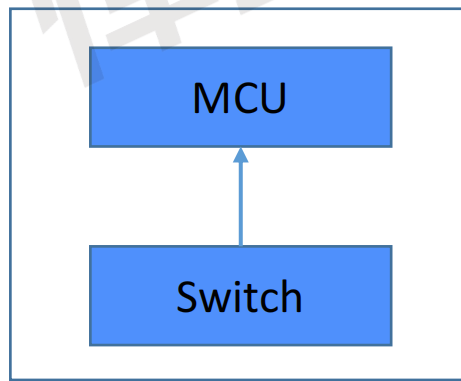


- 节点类型：

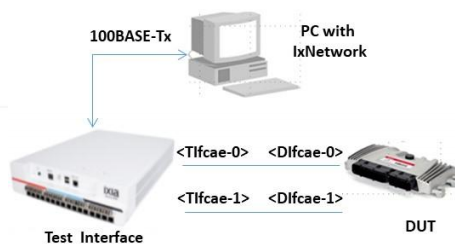
- 集成Switch的节点，如中央计算单元、区域控制器，分为Talker（数据发送节点）和Listener（数据接收节点）
- 作为Endpoint的节点，如LIDAR、电机控制器
- 时间同步的设备类型：GM设备和非GM设备



Talker



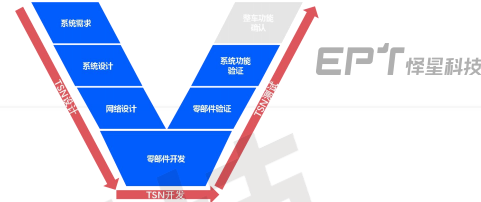
Listener



- 零部件测试：
- 协议一致性测试（依据需求测试）
 - Avnu协议一致性

测试名称	测试描述
Automotive gPTP	车载gPTP测试规范
Automotive Bridge FQTS	车载网桥FQTS测试规范
Automotive EndStation Media Formats and SR Classes	车载端点媒体格式和预留类的测试规范
Automotive Network Startup	车载网络启动测试规范
Automotive Exception Handling	车载AVB异常处理测试规范
Automotive Diagnostic Counter	车载AVB诊断计数测试规范

- TSN协议一致性（设备厂商自定义）
 - 流量整形：Qbv、Qbu&br
 - 安全可靠：Qci、CB
 - 时钟同步：AS-2020



功能测试

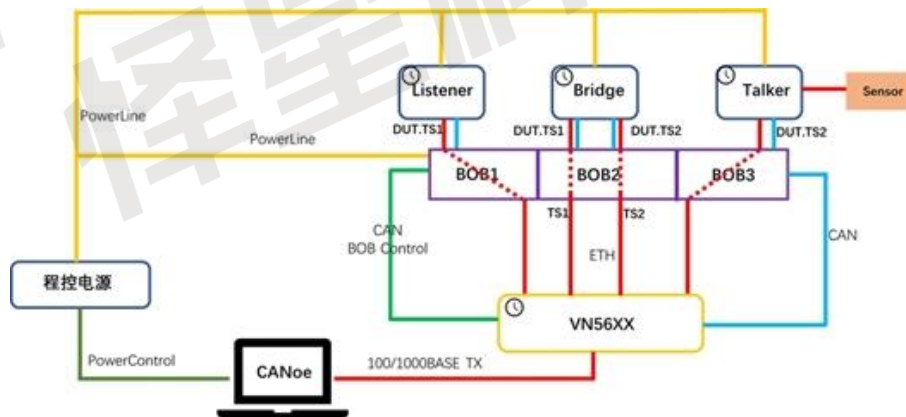
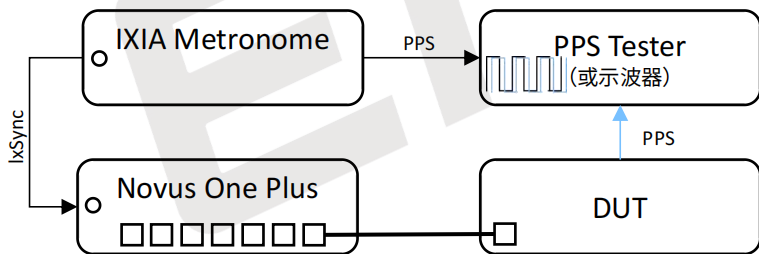
- 配置参数测试

协议	测试内容
gPTP	报文周期、端口角色
Qav	预留带宽
Qbv	周期、GCL
CB	CB行为
Qci	流量识别、过滤
Qbu	优先级与抢占状态

- 鲁棒性测试
 - 同步丢失、DTC相关测试、CB鲁棒性
- 性能测试
 - bridge设备：干扰流下的转发延迟；时钟同步精度
 - Endpoint：时钟同步精度

■ 系统测试：

- 系统时钟同步测试
 - 时钟同步精度、同步冗余、系统唤醒后Sync行为、时钟同步稳定性测试
- 系统QoS
 - 正常情况下，关键数据流的延时、抖动、丢帧率（稳定性）
 - 帧干扰下，关键数据流的延时、抖动、丢帧率（稳定性）
 - 同步失效下，Qbv数据流的延时、抖动、丢帧率（稳定性）
- 系统功能测试
 - 数据冗余功能测试及稳定性测试
 - 环路广播抑制



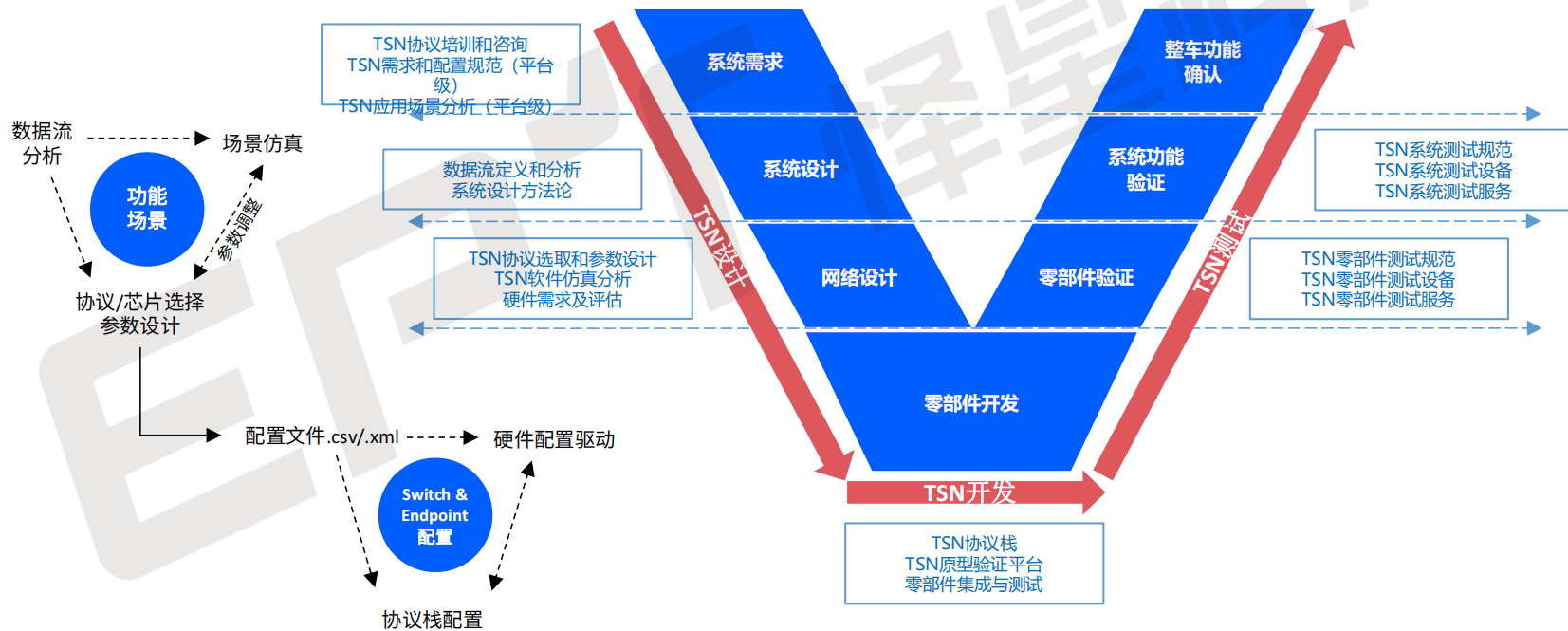


04

怵星科技车载TSN相关服务内容介绍

基于“V”模型的TSN设计、开发和测试

- 惺星科技提供基于“V”模型的TSN设计、开发和测试服务方案



01 车载TSN协议基础简介

02 车载TSN设计方法简介

03 车载TSN测试内容简介

04 恽星科技车载TSN相关服务内容介绍

让每一台智能汽车都有我们的贡献



以太网微信社群



小怪助手



微信公众号

咨询邮箱 : mkt@eptcom.com



微信公众号



小怪助手