



国防科学技术大学
NATIONAL UNIVERSITY OF DEFENSE TECHNOLOGY



面向多样化应用需求的TSN 网络定制与评估

全巍

w.quan@nudt.edu.cn

国防科技大学计算机学院

主要内容

- TSN网络定制的必要性的必要性
- TSN-builder: TSN网络定制与评估环境
- 基于TSN-builder的网络定制应用

一、TSN网络定制的必要性的必要性

TSN定制需求

- 工业互联网
 - 树形/环形、节点规模数十个、延迟保障、可靠性要求不一
- 天基超算平台
 - 星型、节点规模数个、抖动保障、可靠性要求高
- 运载火箭网络
 - Mesh拓扑、节点规模数个、抖动保障、可靠性要求苛刻
- 列车网络
 - 线性/环形、节点数个-数十个、延迟+抖动保障、可靠性要求苛刻

Area	Application	QoS Requirements	
		Latencies	Jitter
Medical [47]–[49]	Tele-Surgery, Haptic Feedback	3–10 ms	< 2 ms
Industry [50]	Indust. Automation, Control Syst.	0.2 μ s–0.5 ms for netw. with 1 Gbit/s link speeds	meet lat. req.
	Power Grid Sys.	25 μ s–2 ms for netw. with 100 Mbit/s link speeds	meet lat. req.
Banking [51]	High-Freq. Trading	approx. 8ms	few μ s
Avionics [52]	AFDX Variants	< 1 ms	few μ s
Automotive [53]–[56]	Adv. Driver. Assist. Sys. (ADAS)	1–128ms	few μ s
	Power Train, Chassis Control	100–250 μ s	few μ s
	Traffic Efficiency & Safety	< 10 μ s	few μ s
Infotainment [57]	Augmented Reality	< 5 ms	few μ s
	Prof. Audio/Video	7–20 ms	few μ s
		2–50 ms	< 100 μ s

TSN的标准体系

- 时间同步

- 1588v1、1588v2、AS6802

- 整形机制

- 802.1Qav-基于信令的整形器，带宽保障
- 802.1Qbv-时间敏感整形器，延迟、抖动保障
- 802.1Qch-循环队列转发，延迟、抖动保障
- ATS-异步整形器，不要求同步，延迟保障

- 可选功能

- 可靠性：帧剥夺、帧冗余与消除
- 控制相关：路径控制、流量预留等

TSN实现的关键参数

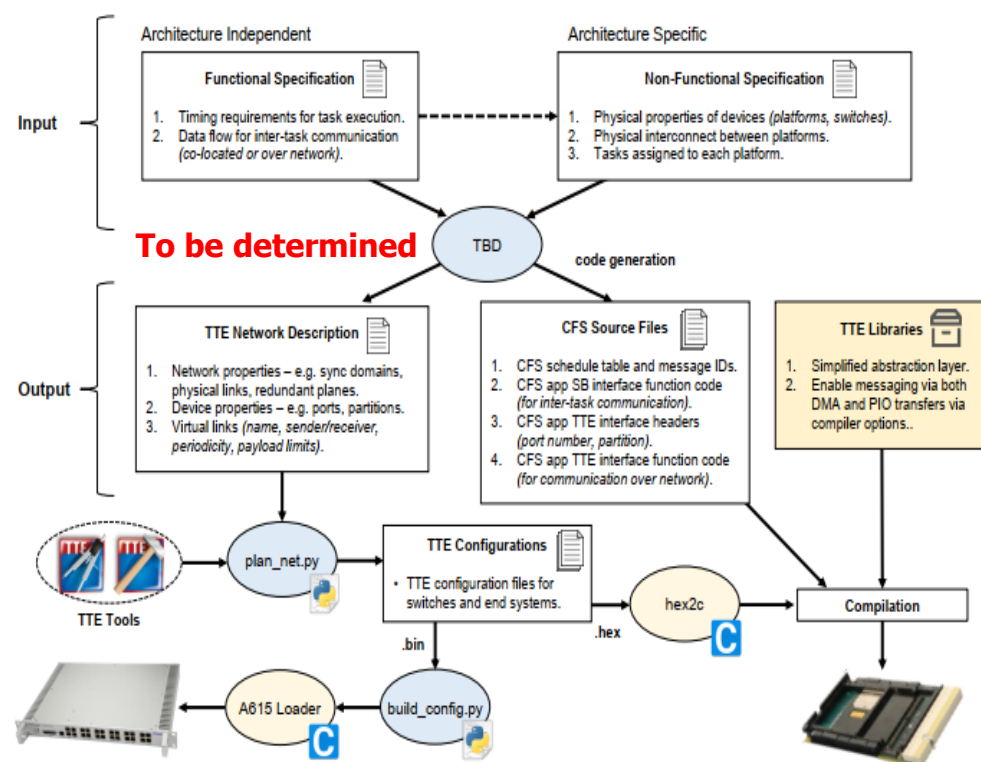
设备原型				TSN网络配置参数				控制软件
网络接口卡		交换机		网络接口卡		交换机		调度算法模块（调度周期）； 路径规划模块（冗余路径数）等
模块选择	模块规格	模块选择	模块规格	模块	模块参数	模块	模块参数	
同步	同步频率	同步	同步频率	同步	主/从	同步	主/从	
		分类	分类表表项数目			分类	分类表项	
		转发	转发表表项数目			转发	转发表项	
输入控制	输入门控表项数目	输入控制	输入门控表项数目	输入控制	输入门控列表；时间槽	输入控制	输入门控列表；流量监管限速；时间槽	
输出控制	输出门控表项数目； 队列数目； 队列深度	输出控制	输出门控表项数目； 队列数目； 队列深度	输出控制	输出门控列表； 时间槽	输出控制	输出门控列表； 令牌桶深度/速率； 时间槽	
缓冲区	缓冲区大小	缓冲区管理	缓冲区大小	缓冲区管理	N/A	缓冲区管理	N/A	

定制面临的挑战

- 应用需求到TSN功能模块的映射以及参数的自动化生成
 - 根据应用需求选择TSN对应的功能模块
 - 确定TSN功能模块的参数
- 快速的TSN网络原型构建
 - 自动化TSN原型系统构建工具支撑
- TSN网络功能的精确验证与评估
 - 应用流量模型的软件快速仿真
 - 原型系统级的验证评估优化TSN模块级参数

快速网络规划定制示例

■ TTE快速定制工具链



■ 特点

- 对应用需求输入和定制方案输出进行描述
- 提供对端系统和交换机的定制
- 致力于实现整个定制流程的自动化

■ 不足

- 目前应用需求到定制方案的映射方案还未确定
- 缺乏网络状态反馈和再优化的闭环控制流程

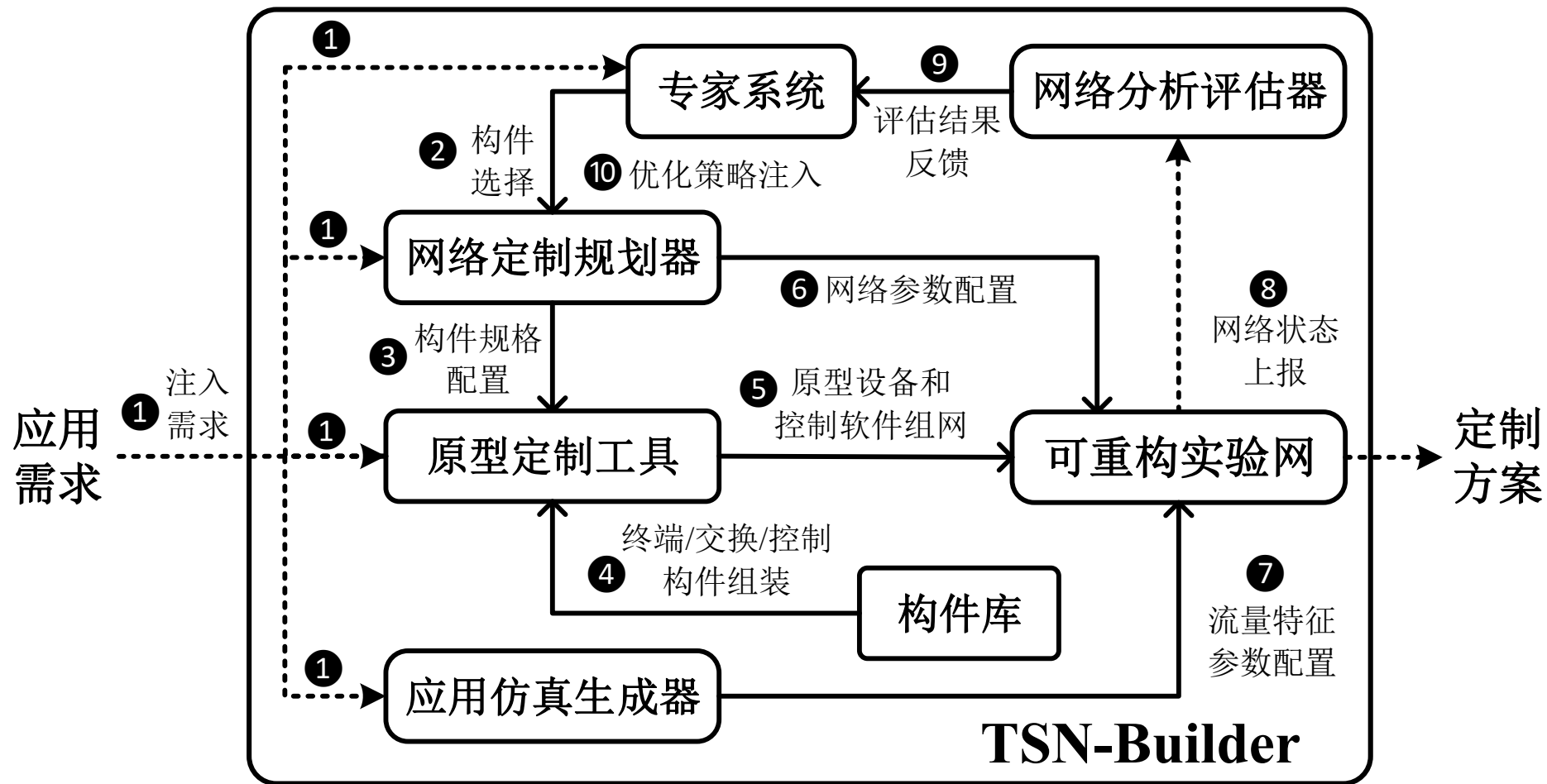
二、TSN-builder: TSN网络定制与评估环境

TSN-builder简介

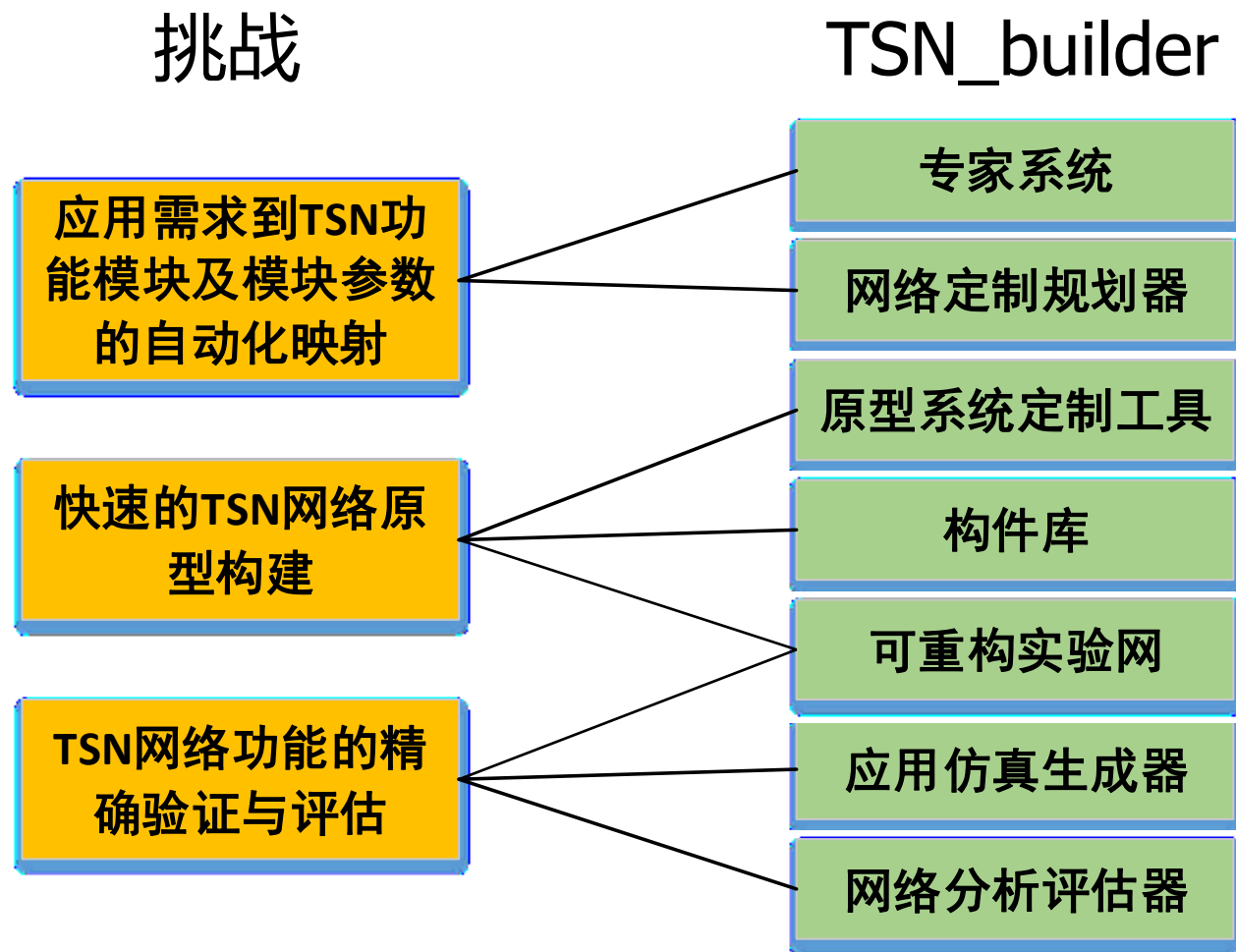
- TSN-builder是面向多样化应用需求、基于FPGA的TSN网络快速定制与评估环境
- TSN-builder的组成

名称	功能
专家系统	存储关于具体场景/状态与构件组合/优化策略之间的映射规则
网络定制规划器	构件规格和网络参数的规划
原型定制工具	根据构件库进行原型设备和控制软件定制
应用仿真生成器	应用流量特征参数的生成和配置
构件库	平台相关库, TSN交换库, TSN终端库和控制算法库
可重构实验网	支持SDN组网和非SDN组网, 包括端系统、接口适配器、交换机、控制系统
网络分析评估器	网络状态分析, 包括应用传输状态, 链路状态和交换节点状态等

TSN-Builder整体架构



TSN-builder整体架构

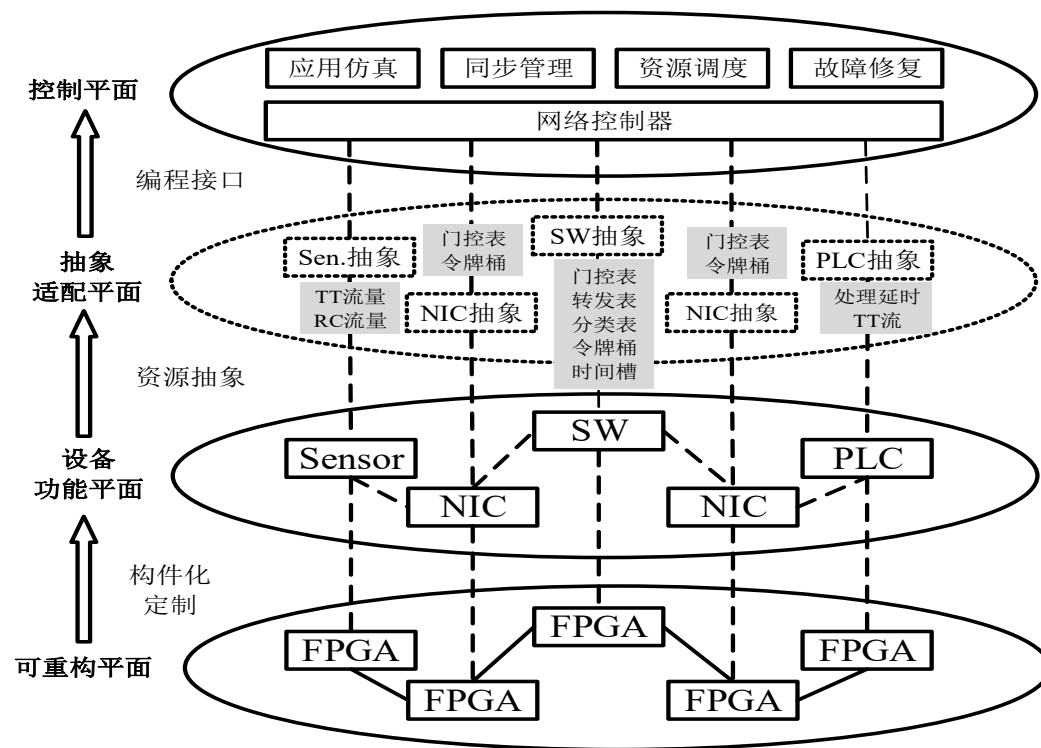


TSN-builder特点：应用驱动的系统设计

- From Top to Down的设计模式
 - 根据上层应用场景需求定制底层的TSN网络，在成本，资源，服务质量等方面达到最优
- 系统级设计保障TSN应用的确定性和可靠性
 - 端系统，交换机，上层控制的高效协同
 - 设备定制、组网、评估，再优化的闭环设计

TSN-builder特点：应用驱动的系统设计

- 软件定义的可重构实验网
 - 基于FPGA阵列的可重构数据平面
 - 端到端的抽象适配平面

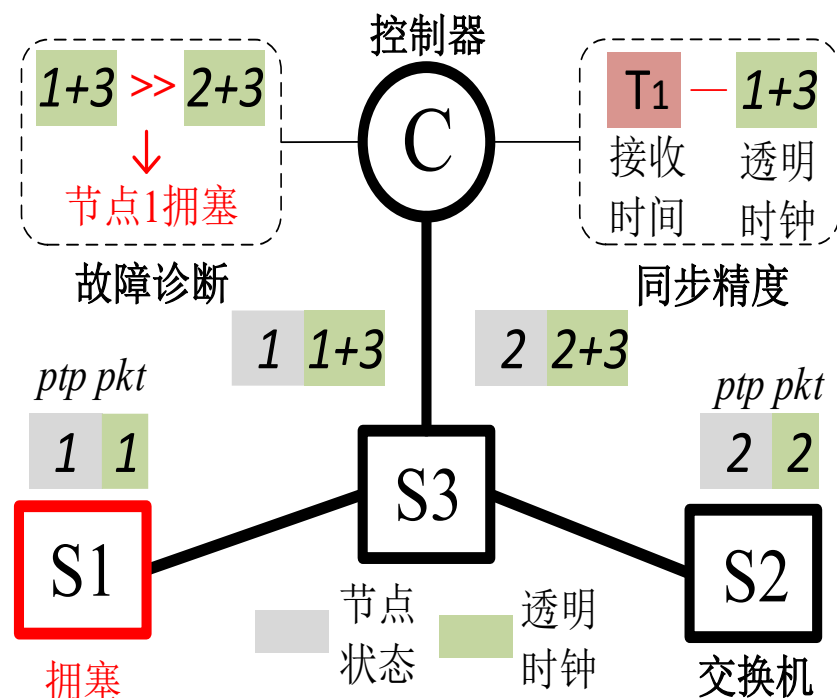


TSN-builder特点：模块化的快速原型构建

- 基于硬构件的硬件模块化设计，实现功能逻辑（处理）和模块规格（资源）解耦
 - 对于相同的功能模块，不同的应用需求下所需要的资源规格不同
 - 将模块的规格参数化，在编译之前注入。提高模块的重用率和开发效率
- 基于软构件的TSN控制器模块化设计，实现控制器功能的灵活组建
 - 良定义的控制器南向接口和功能模块接口

TSN-builder特点：基于Beacon机制的网络深度验证评估

- 基于时钟同步报文（PTP/PCF）封装Beacon报文，收集网络状态信息
 - 透明时钟信息累积后可以用于时钟同步精度和故障诊断
 - 与数据中心的用于带内遥测的INT报文不同，Beacon报文头部不需要携带指令信息，交换机不需要进行复杂的解析，同时可以节省报文负载



TSN-builder目前进展

■ 基于FAST的可重构TSN实验网

应用层
(演示系统)



列车网络验证



TSN交换组网



TTE交换组网



SDN组网



天基超算网络

设备层
(定制板卡)



舰船网关



教学实验平台



全自主交换平台



100G智能网卡



TSN交换节点

原型层
(开源项目)

OpenSec

OpenTSN

FAST-ANT

NETEXP

OpenNE

?

模型层
(论文)

统一安全
(UniSec)

同步网络
(SyncNet)

软件定义网络
(DrawerPipe)

应用加速
(?)

通信层
(规范)

流水线模型、分组格式定义、统一模块ID, 编程库等

器件层
(评估系统)

Altera+Intel

Xilinx Zynq SOPC

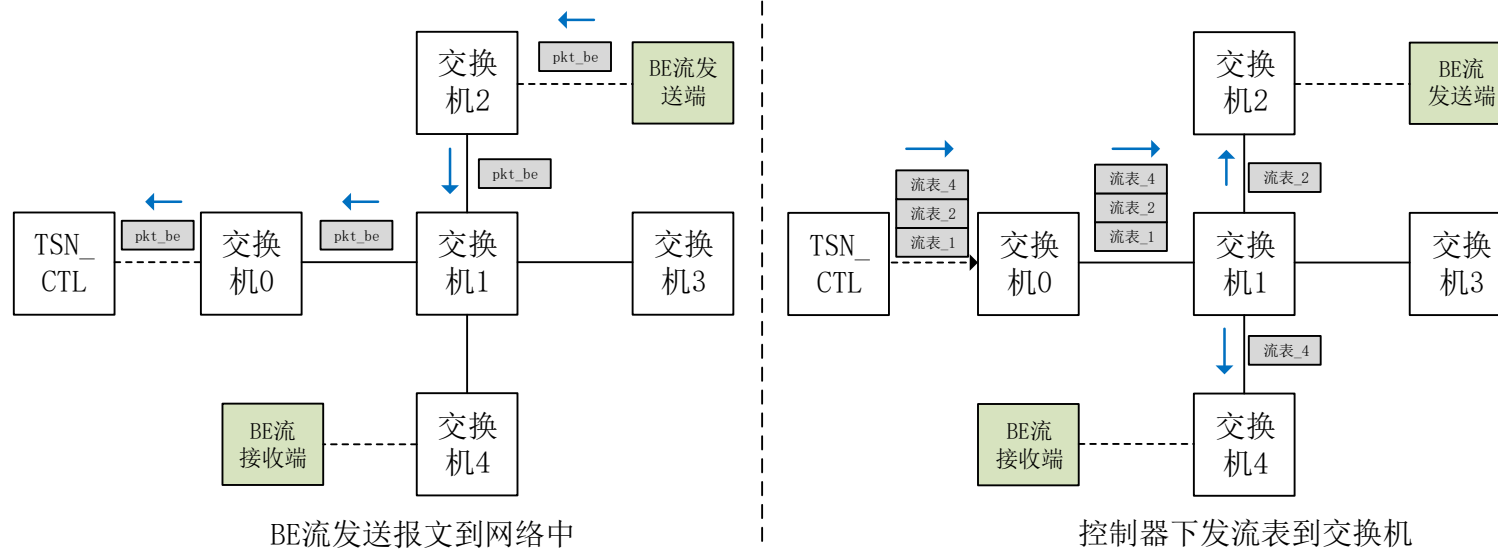
紫光+飞腾

TSN-builder目前进展

- 可重构TSN实验网---TSN控制器
 - TSN网络配置和TS、RC、BE流量管理
- 构件库
 - 硬构件：802.1AS、802.1Qci、802.1Qav、802.1Qbv、802.1Qch、802.1Qcc等
 - 软构件：资源管理、流表管理、流量调度管理等
- 网络定制分析器
 - 网络状态可视化软件TSN_insight
 - 网络状态分析器TSN_NA（同步精度、延迟）
- 应用仿真生成器
 - 模拟TS、RC、BF等各类具有不同特征的流量

TSN-builder相关进展

- TTE时钟同步标准AS6802
 - 将AS6802运用于TSN，提高可靠性
- TSN+SDN
 - TSN、RC采用静态配置方式，BE流采用SDN控制



TSN-builder的开源形态-OpenTSN¹

- OpenTSN的设计代码和文档已经在开源中国（OSCHINA）的代码托管平台码云（gitee）托管

目录	说明	子目录
bin	存放编译后的软硬件可执行文件	tsn_CNC
		tsn_switch
		tsn_insight
doc	操作手册，设计文档和配置文件	设计文档
		操作手册
src	OpenTSN软件和硬件源代码	软件代码
		硬件代码
tool	测试仪和流量分析器等工具	ANT测试仪
		流量分析器
sys	硬件平台相关文件	fast
		TFcard

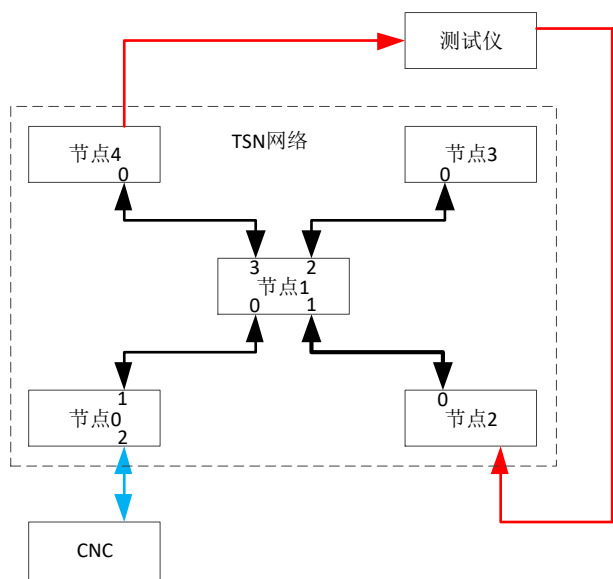
1. <https://gitee.com/opentsn/openTSN.git>

TSN-builder的开源形态-OpenTSN

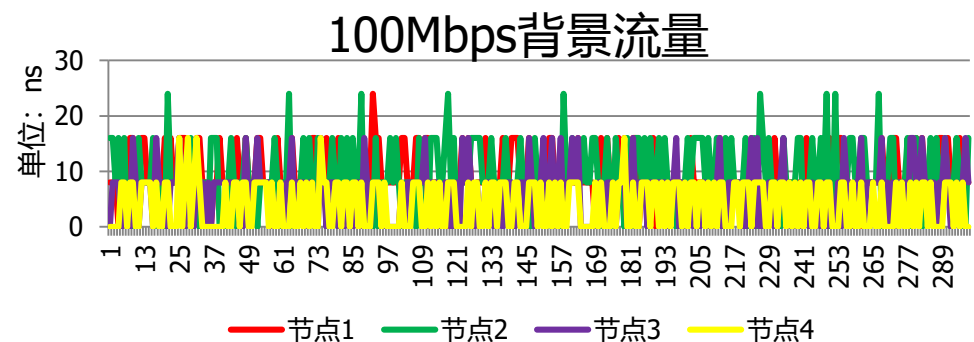
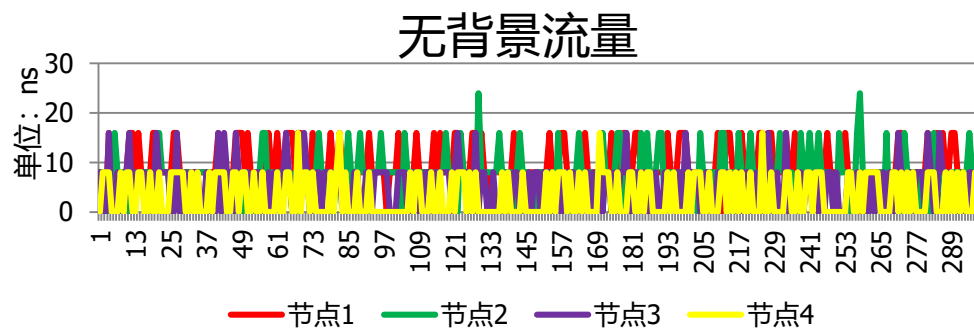
- OpenTSN进展—预计10月下旬更新gitee内容
 - 测试仪
 - 增加802.1Qbv功能、可控制TS流按不同调度时间槽发送
 - 增加逐流（8条）统计功能
 - 增加流量配置界面
 - OpenTSN硬件代码
 - 增加星型拓扑功能，Openbox四个端口都支持TSN
 - 基于Beacon机制扩展星型拓扑的配置能力
 - 增加组播功能
 - OpenTSN软件代码
 - 扩展星型拓扑配置和管理功能
 - 可执行代码和文档相关扩展

OpenTSN星型拓扑最新测试结果

■ 星型拓扑结构下1588时钟同步精度和802.1Qch测试

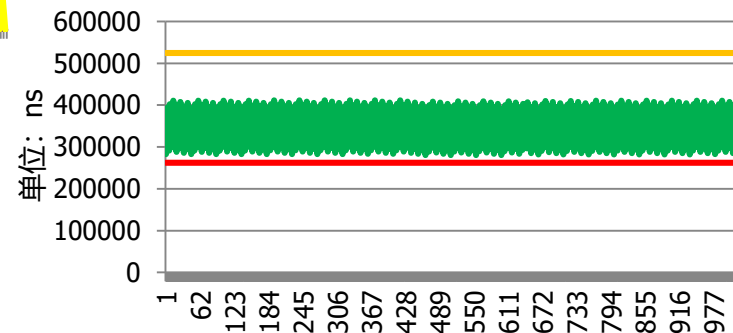


拓扑结构图



同步精度---小于50ns

时间槽130us, 经过3跳, 报文长度64字节, 理论延迟为260us-520us, 抖动260us

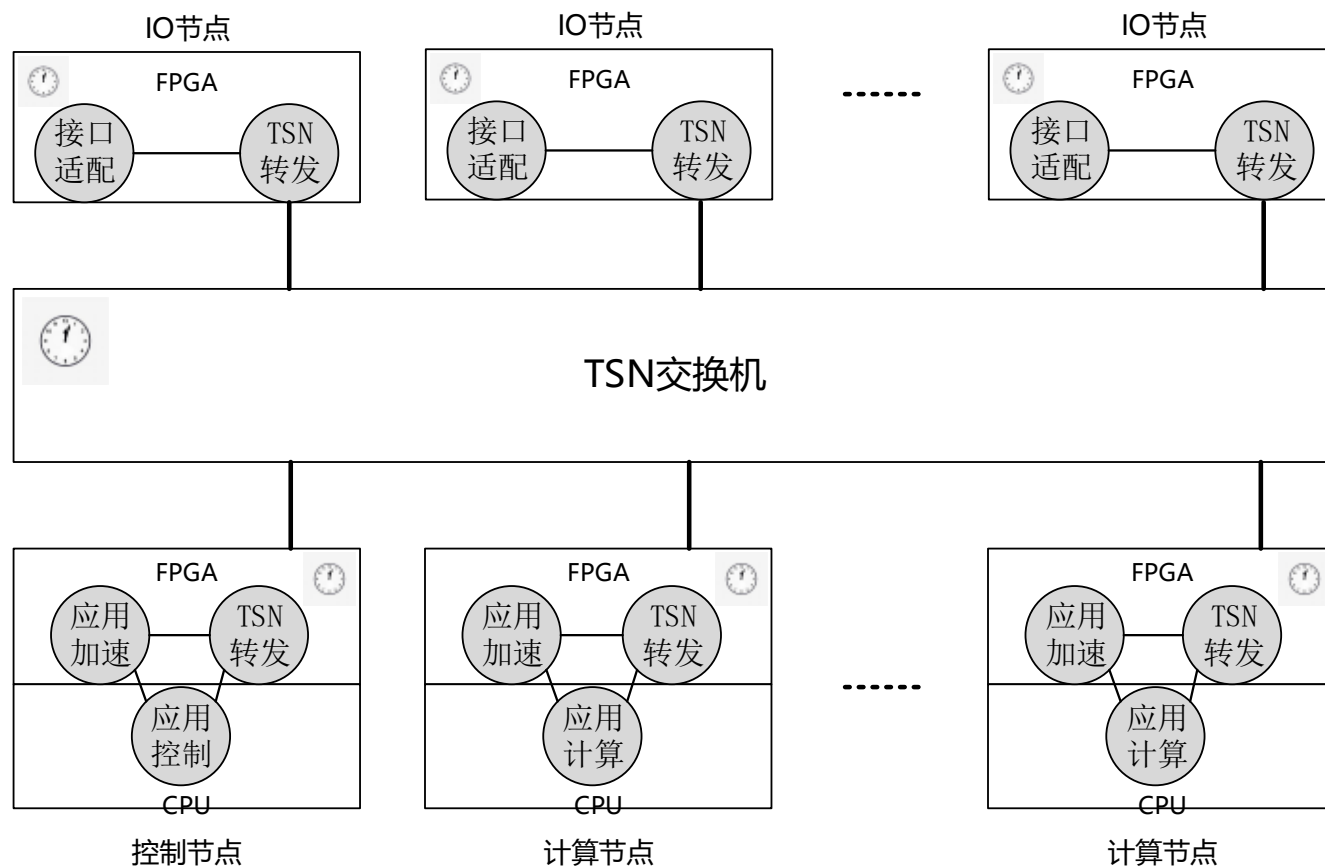


CQF延迟---符合CQF理论

当前CQF实现支持的延迟抖动最小值为8us

三、基于TSN-builder的网络定制应用

天基超算原型系统



数据交换确
定性、可靠
性

IO扩展/应用
加速功能定制
灵活性

计算高效能

天基超算原型系统

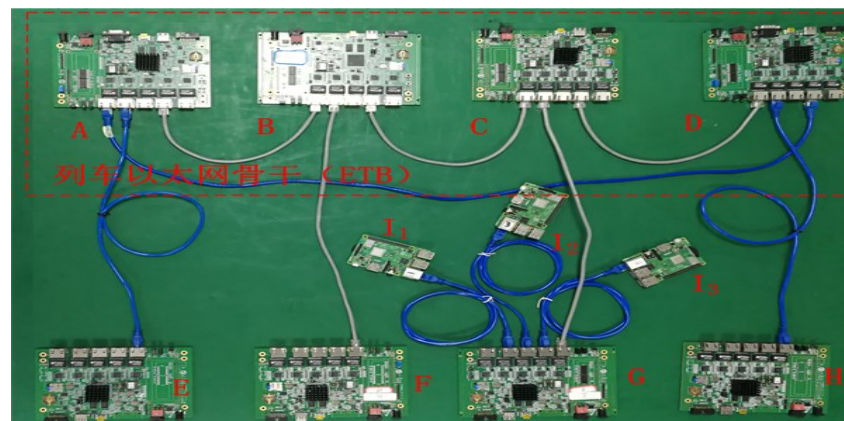
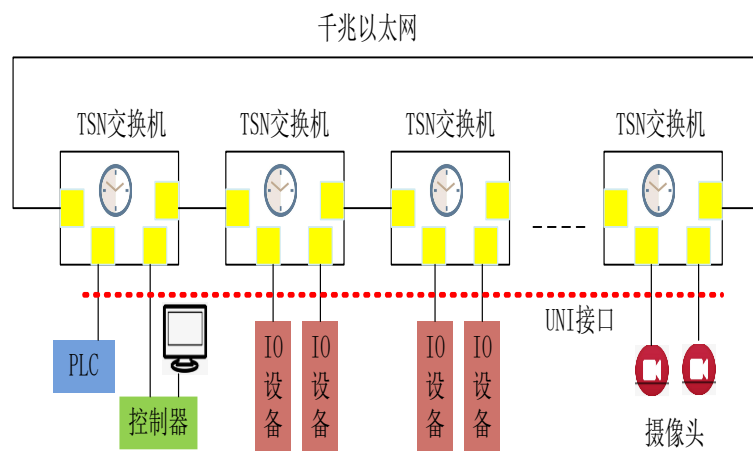
- 基于FAST设备Openbox-S4组建天基超算平台原型系统
 - 拓扑结构--星型拓扑，一个中心节点，四个边缘节点
 - 流量类型--TSN测试仪产生的时间敏感流量和摄像头所采集的带宽预约视频流量



设备名称	设备类型	配置	功能
TSN交换机	Openbox	TSN转发硬构件	TSN数据交换
TSN测试仪	Openbox	TSN转发硬构件 TSN仿真软构件	产生TSN测试流
TSN_CNC	Openbox	通用转发硬构件 TSN控制软构件	管理和配置时间敏感环形网络
相机载荷	IP摄像头	-	视频数据采集
成像终端	终端设备	摄像头控制软件	视频数据显示

列车网原型系统

- 基于FAST设备Openbox-S4组建列车骨干网原型系统
 - 拓扑结构--环形拓扑结构
 - 流量类型--支持时间敏感流量和尽力转发流量



总结与展望

- TSN_builder

- 自动化的TSN网络定制环境，生成基于FPGA的原型验证系统，支持对原型系统的验证、评估与优化

- 后续工作

- 期待和更多TSN应用单位交流合作，针对需求定制更多TSN网络，进一步完善和优化TSN_builder
- . . .



谢 谢!

