



国防科学技术大学

NATIONAL UNIVERSITY OF DEFENSE TECHNOLOGY



支持 TSN 关键技术验证的 开源项目OpenTSN

全巍

w.quan@nudt.edu.cn

国防科技大学计算机学院

主要内容

- 项目背景与动机
- 同步网络模型SyncNet
- OpenTSN开源实现
- OpenTSN发展思路

一、项目背景及动机

缺乏自主化的TSN解决方案

Time-Sensitive Networking (TSN) Market 2019 SWOT Analysis by Players: Cisco Systems Inc., NXP Semiconductors N.V., Marvell Technology Group Ltd., Microsemi Corporation

Global Time-Sensitive Networking (TSN) Market Size, Status and
Forecast 2018-2025

Market segment by Application,

Industrial automation

Power and energy

Automotive

Transportation

Oil & gas

Aerospace

Others



top players in global market

The key players covered in this study

Cisco Systems, Inc.

NXP Semiconductors N.V.

Marvell Technology Group Ltd.

Microsemi Corporation

Intel Corporation

Xilinx, Inc.

National Instruments Corporation

Analog Devices, Inc.

Broadcom Limited

Belden Inc.

Renesas Electronics Corporation

Tttech Computertechnik AG

Testbed Ecosystem

Bosch Rexroth Ag

B&R Industrial Automation GmbH

General Electric Company

Rockwell Automation, Inc.

Schneider Electric Se

有哪些TSN实现方案？

- 基于ASIC的高性能方案
 - 40G/10G接口
 - 适用于5G的前传网络
- 基于SoC可编程解决方案
 - 功能确定，接口数不多的环境
- 基于FPGA的方案
 - 开发周期短，支持功能迭代
 - 功能定制、集约化设计
 - IO灵活性
 - 应用加速

 BROADCOM

Product Brief

BCM53570

1G/2.5G/10G/25G TSN Connectivity Switch



Description

The Broadcom® StrataConnect® BCM53570 System-on-a-Chip (SoC) features an integrated high-speed ARM Cortex-A9 processor, embedded Cortex-R5 processor, and enterprise-level buffer and table sizes. It includes comprehensive IEEE standards-compliant Time-Sensitive Networking (TSN) features such as Preemption, Time Aware Scheduling, and Seamless Redundancy to provide deterministic behavior to Industrial Ethernet, 5G Wireless connectivity, and transport networks. The BCM53570 also offers unparalleled integration for supporting Ethernet time synchronization.

NXP unveils advanced TSN-enabled SoC for Industrial IoT



WHITE PAPER

Time-Sensitive Networking



Time-Sensitive Networking:
From Theory to Implementation in
Industrial Automation

TTTech

Introduction

Time-sensitive networking (TSN) is set to reshape the industrial communication landscape and lay the foundation for the convergence of Information Technology (IT) and Industrial Operations Technology (OT). By bringing industrial-grade robustness and reliability to Ethernet, TSN offers an IEEE Standard communication technology that enables interoperability between standard-conformant industrial devices from any vendor. TSN also removes the need for physical separation of critical and non-critical communication networks, thus allowing open data exchange between operations and enterprise—a concept at the heart of the Industrial Internet of Things (IIoT).

Authors

Simon Brooks
TTTech
Vienna, Austria

TSN方案定制需要考虑的问题

- 与数据中心网络技术不同，TSN技术的应用场景具有多样化、差异化特征
 - 汽车、列车、火箭、卫星、工业控制、5G等需求各异
- TSN设计应该与应用需求紧密结合
 - 确定性需求不同 -- 整形机制802.1Qav、Qbv、ATS
 - 可靠性需求不同 -- 时钟同步机制1588、1588v2、AS6802，不同程度冗余备份的可靠传输机制
 - 端口数目、带宽需求也不一样

需要快速的系统定制以及关键机制验证能力

OpenTSN项目动机

- 学术界和工业界都迫切需要一个开源的TSN实验环境，对TSN的确定性交换、可靠性保证、离线规划调度和应用编程方法等机制进行验证和评估
 - 现有的以太网交换机不支持TSN规范
 - 市场上采购的TSN交换设备也不像SDN交换机一样提供开放的编程接口
- OpenTSN致力于构建一个支持TSN关键技术验证的**开源实验平台**，加速TSN的自主化研制进程

开源的优势

- 工业界采用开源项目的方法，划定技术的势力范围，进行规范的协调，互联互通性和兼容性测试等，加快技术成熟度的提升



SDN控制器（思科，IBM，Intel，Juniper等） SDN控制器（中国移动，华为，思科，AT&T等） NFV平台（IBM，Intel，思科，华为，Juniper等） 基于多核的分组处理平台（Intel，wind river等）

- 开源是弥补工业界与学术界之间鸿沟的重要手段

P4: Programming Protocol-Independent Packet Processors

Pat Bosshart¹, Dan Daly², Glen Gibb³, Martin Izzard⁴, Nick McKeown⁵, Jennifer Rexford⁶, Cole Schlesinger⁷, Dan Talayco⁸, Amin Vahdat⁹, George Varghese¹⁰, David Walker¹¹
¹Barefoot Networks ²Intel ³Stanford University ⁴Princeton University ⁵Google ⁶Microsoft Research

ABSTRACT

P4 is a high-level language for programming protocol-independent packet processors. P4 works in conjunction with SDN control protocols like OpenFlow. In its current form, OpenFlow explicitly specifies protocol headers on which it operates. This set has grown from 12 to 41 fields in a few

multiple stages of rule tables, to allow switches to expose more of their capabilities to the controller.

The proliferation of new header fields shows no signs of stopping. For example, data-center network operators increasingly want to apply new forms of packet encapsulation (e.g., NVGRE, VXLAN, and STT), for which they re-



基于FAST架构开源项目OpenTSN

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

二、同步网络模型SyncNet

SyncNet同步网络模型

■ 基于FAST架构的确定性传输模型

□ 确定性交换

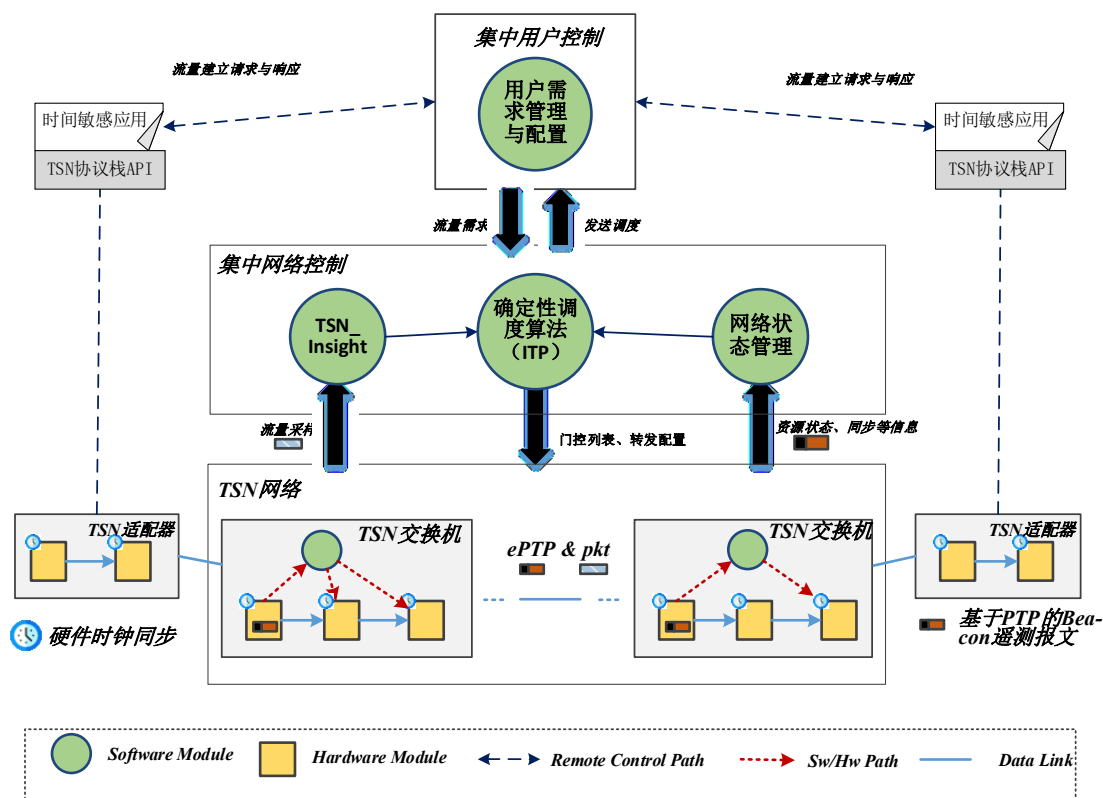
- 确定性交换机制提供

□ 传输控制

- 确定性传输规划
- 网络管理

□ 应用表述

- 确定性应用开发
- 用户管理



SyncNet主要特点

- 纯硬件时钟同步
 - 为提高时钟同步精度，保障传输确定性，采用无需软件干预的纯硬件时钟同步
- 基于Beacon的远程遥测机制
 - 扩展PTP协议，采用Beacon传输机制实现TSN节点的状态收集，为采用SDN对TSN网络进行管控提供支撑
- 注入时间规划
 - 通过端系统流量规划实现确定性流量调度优化
- Insight网络状态分析与展示
 - TSN节点将自身流量复制数据分析器中进行分析诊断

SyncNet相关学术成果

SyncNet: 面向 TSN 的同步网络模型及应用。

SyncNet: A Synchronized Network Model and its Application for TSN.

全巍 杨翔瑞 孙志刚 严锦立 姜旭艳

国防科技大学计算机学院。

ePTP: 一种天基超算平台交换网络状态监测机制。

杨毅¹, 孙志刚^{1*}, 陈洪义¹, 全巍¹。

1. 国防科技大学, 长沙 410073。

TSN-Insight: An Efficient Network Monitor
for TSN Networks

Tianyu Bu¹, Yi Yang¹, Xiangrui Yang¹, Wei Quan¹, Zhigang Sun¹

¹College of Computer Science and Technology, National University of Defense Technology, China



Injection Time Planning: Making CQF Practical in
Time-Sensitive Networking

2019抗恶劣环境
计算机年会

2019软件定义卫
星高峰论坛

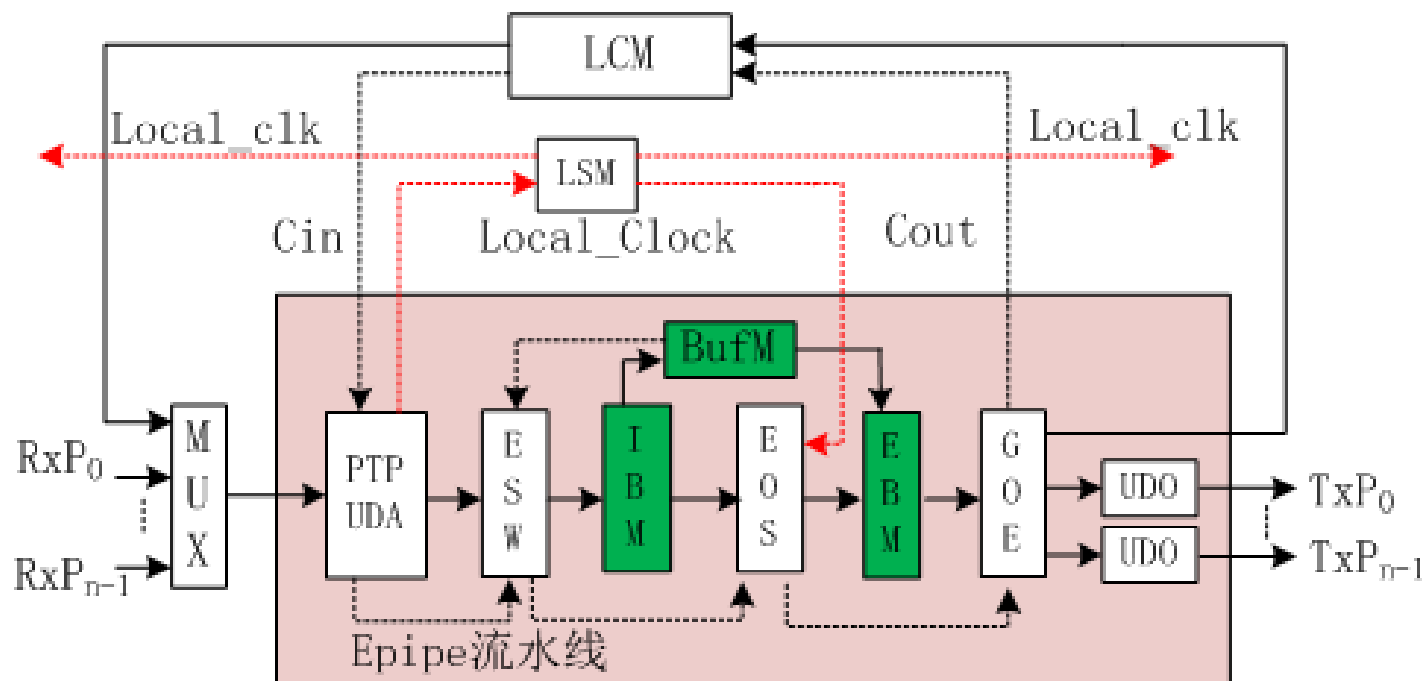
2019APNeT
Poster

Infocomm
Under review

三、OpenTSN开源实现

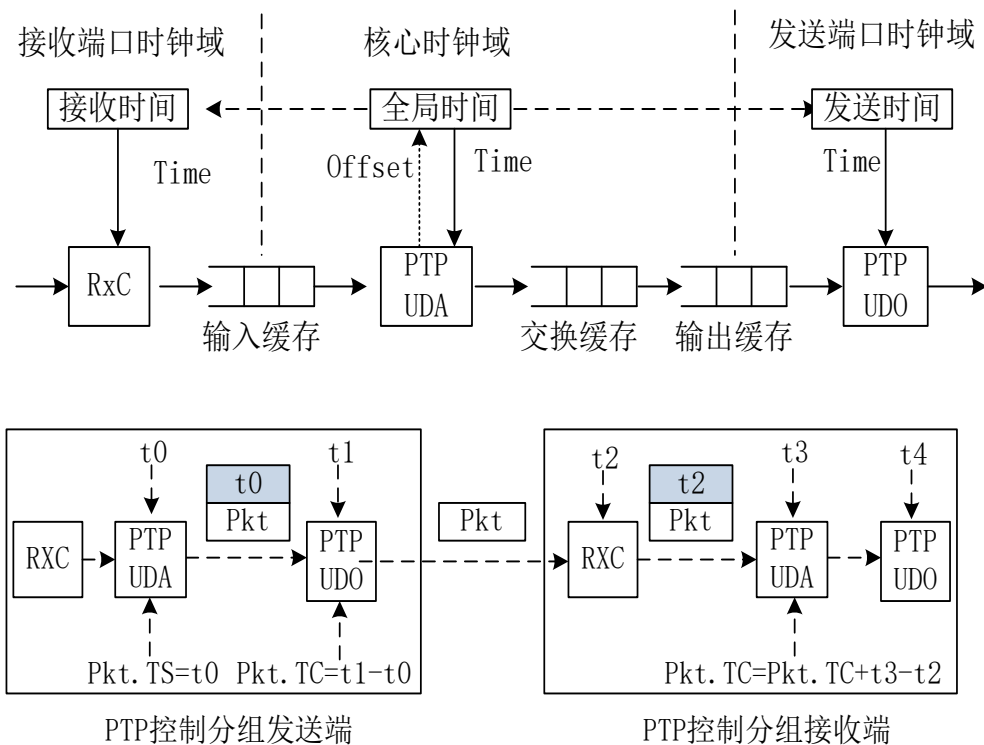
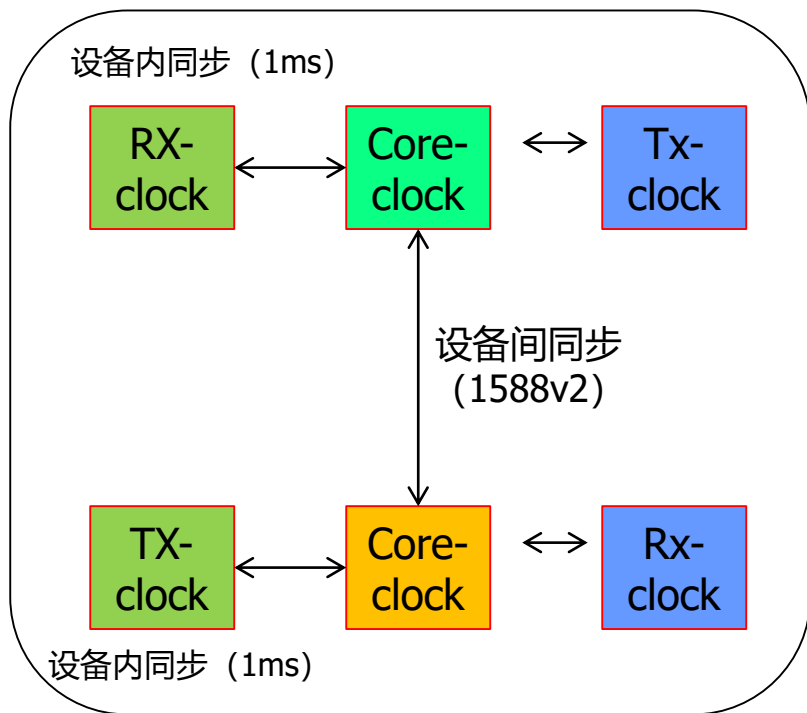
OpenTSN交换机流水线模型

- 基于FAST架构实现TSN节点功能，具有功能集约设计，开发周期短，支持功能迭代的优点



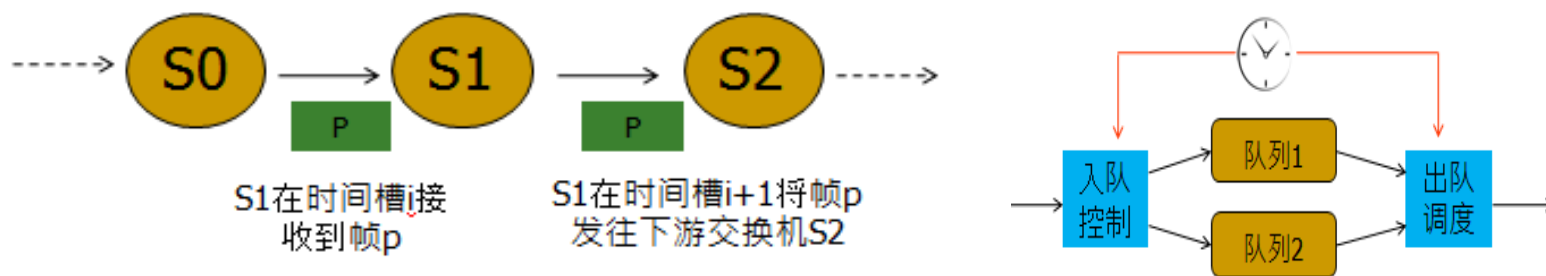
OpenTSN的1588同步

■ PTP-UDA和PTP-UDO的协同工作原理



OpenTSN的确定性延时保证 (1)

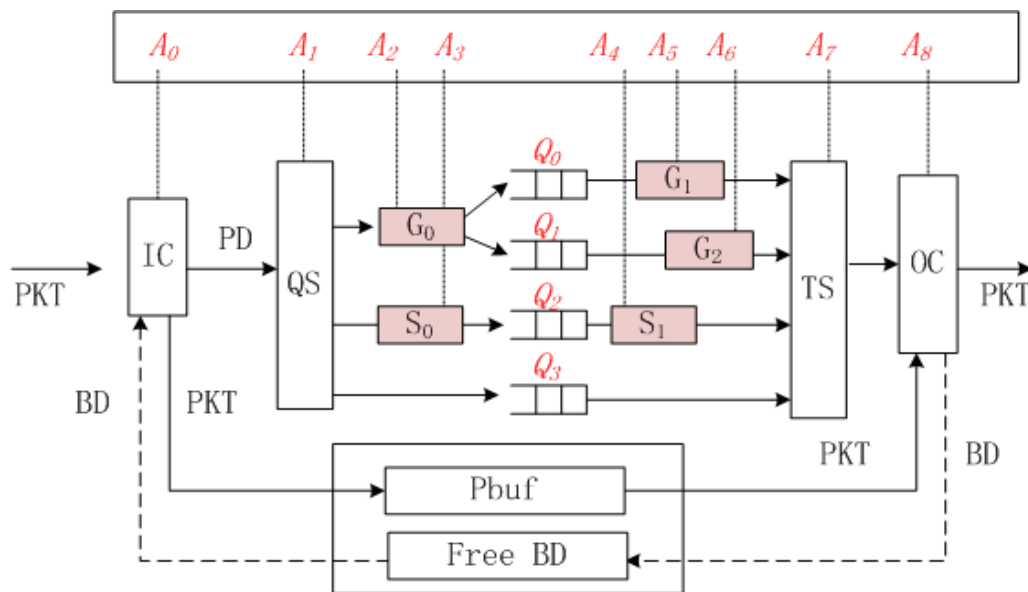
- 基于循环队列转发 (CQF) 机制，通过乒乓队列和时间门控调度实现时间敏感分组的确定性延时
 - 若交换机在时间槽*i*接收到TS帧，则在*i+1*时间槽输出



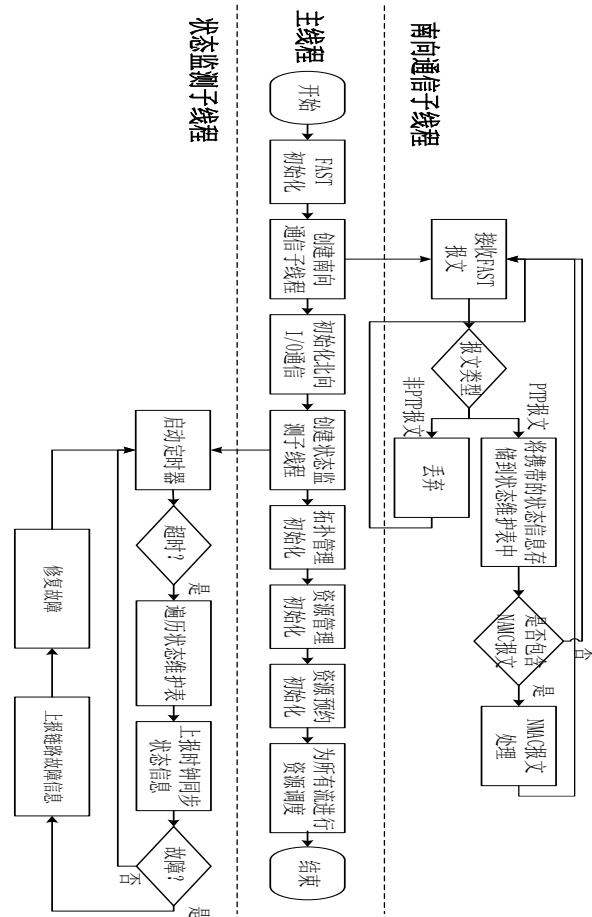
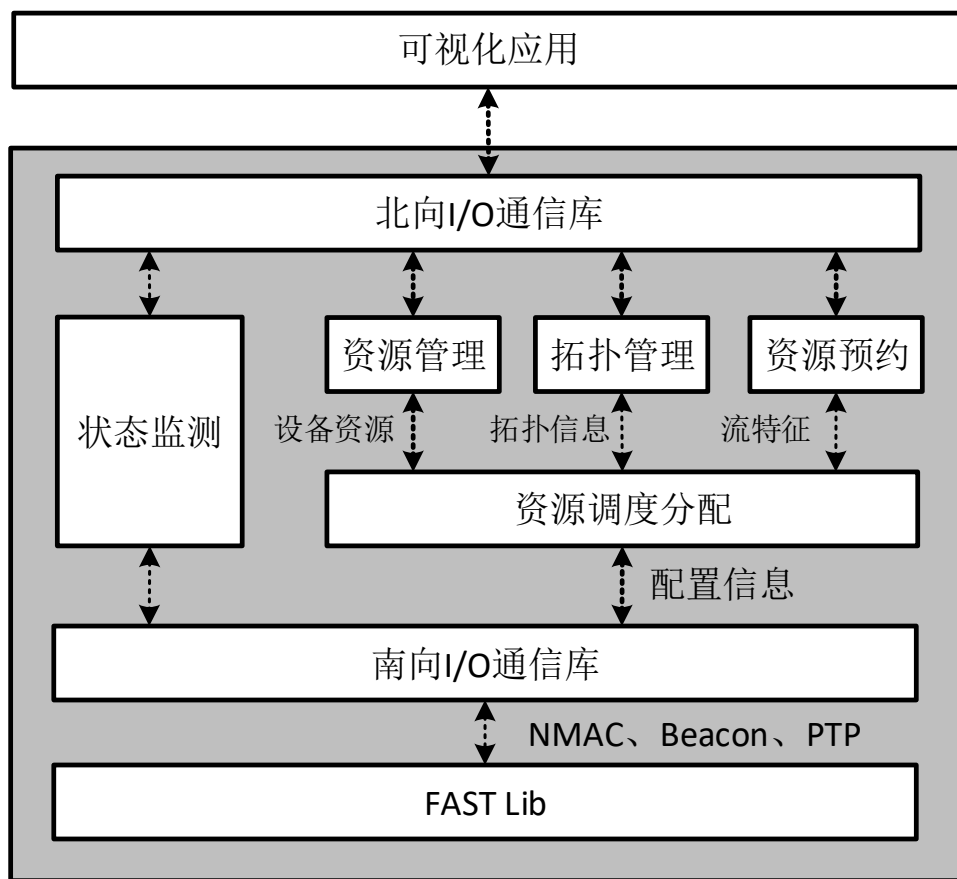
- TSN网络帧p的最大延时为 $(h+1) * d$ ，最小延时为 $(h-1) * d$ ，其中*h*为传输路径跳数

OpenTSN的确定性延时保证 (2)

- 支持入队和出队的时间门控机制，为软件管理配置提供9个访问点
 - 基于动态缓冲区管理机制，减小资源开销



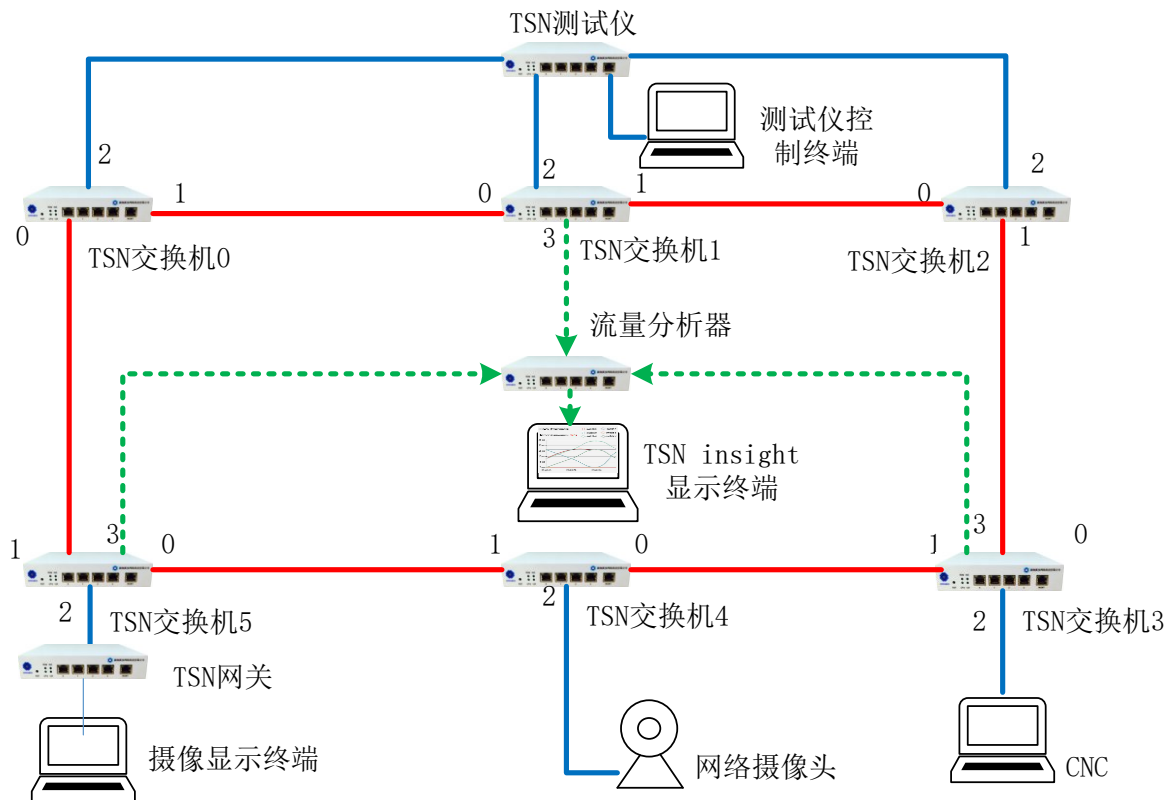
TSN控制器架构及处理流程



OpenTSN工作环境（一）

■ 主要功能节点

- ❑ TSN交换机
- ❑ TSN控制器(CNC)
- ❑ TSN测试仪
- ❑ 流量分析器
- ❑ TSN insight
(TSN_insight)
- ❑ TSN网关
- ❑ 摄像头
- ❑ 终端系统



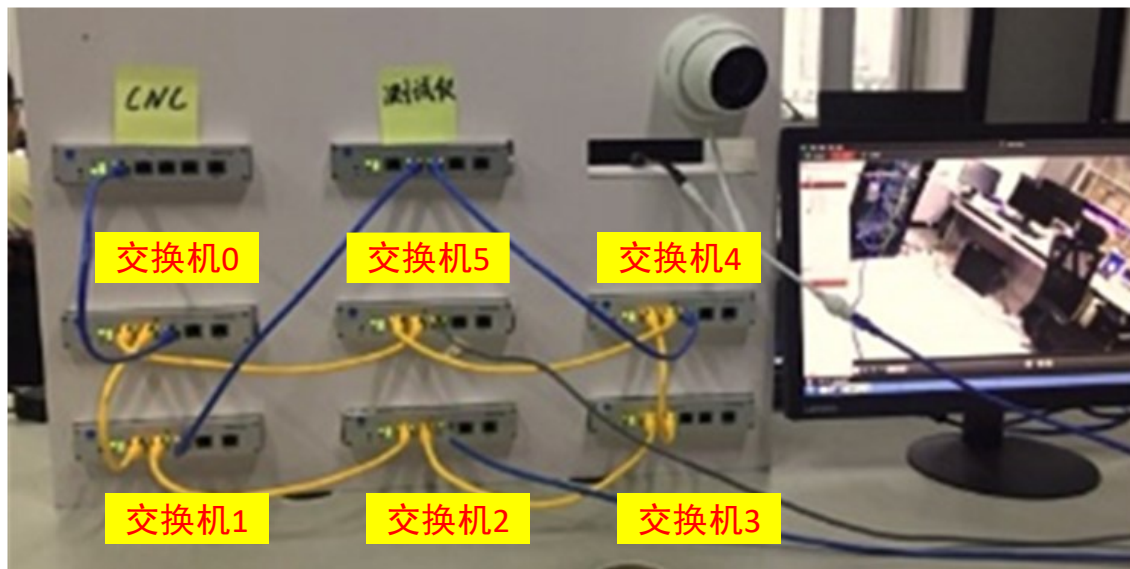
OpenTSN工作环境（二）

■ 原型系统

- 基于FAST开源项目（FAST流水线，FAST软件驱动、FAST编程库），Openbox-S4平台（基于Zynq FPGA平台的FPGA OS）

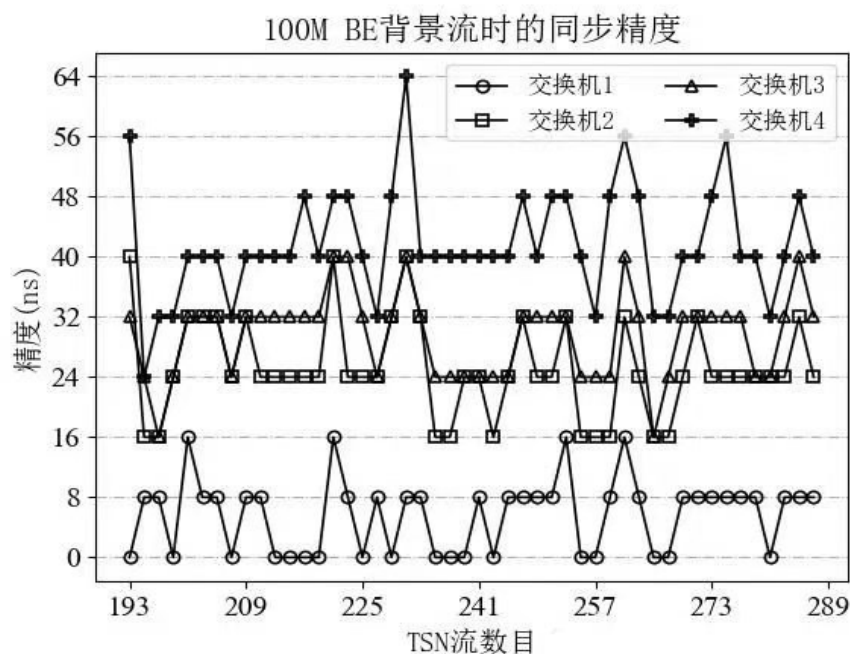
■ 功能特征

- 802.1AS
- 802.1Qci
- 802.1Qav
- 802.1Qbv
- 802.1Qch
- 802.1Qcc
- . . .



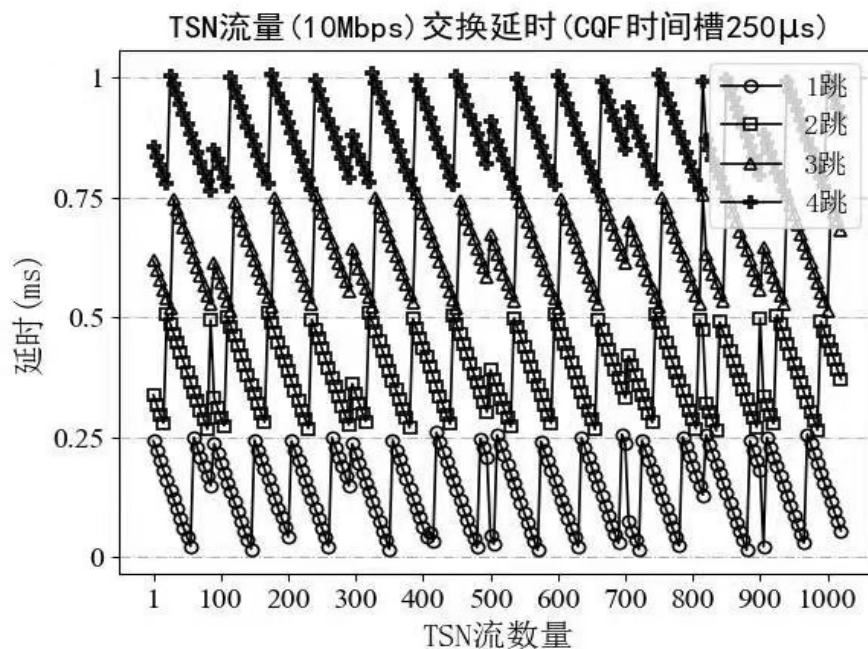
OpenTSN测试

1588时钟同步测试



时钟同步精度 < 100ns
优化后可 < 50ns

时延确定性测试



符合CQF时延预期
 $[(n-1)*T, (n+1)*T]$

OpenTSN开源站点¹

- 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

缺少需求驱动的APP目录

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>

四、OpenTSN发展思路

下一步发展计划

■ 现有工作完善

- 解决现有代码潜在bug（刚优化了硬件时钟同步的逻辑bug）
- 将软硬件逻辑模块的接口规范化、标准化，方便重用与替换

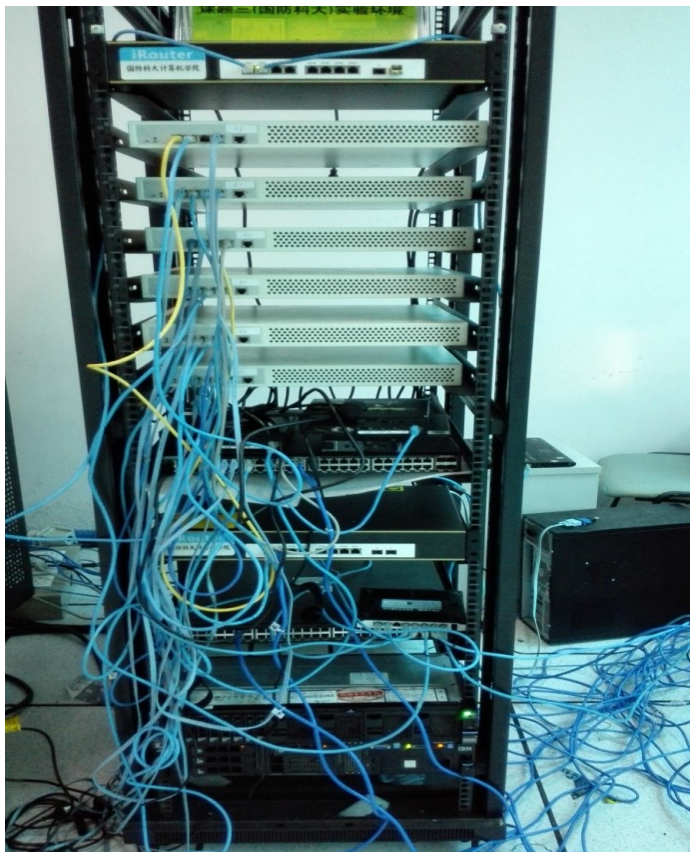
■ 新功能扩展

- TSN功能扩展，包括确定性、可靠性相关标准扩展
- 辅助开发工具扩展，例如测试仪、网络分析仪功能扩展
- 将课题组已有的Ipv6与SDN工作与TSN结合

■ 与应用需求结合

- 各单位提出新需求，根据需求定制tsn

IPv6和SDN现有基础

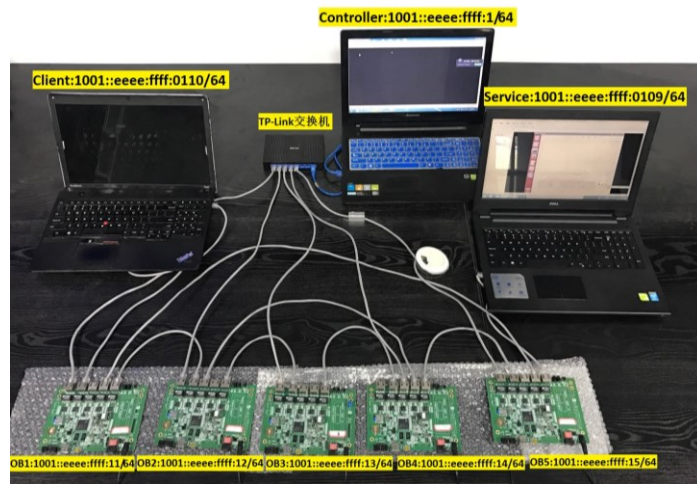


863项目--IPv6大规模编址与路由关键技术验证原型系统

基于FAST的openflow交换机实现

- 来自33个单位的130名代表在“**2016年SDN交换技术研讨会**”(2016年10月15日, 长沙)上, 观看了基于FAST架构的openflow 1.3交换机原型演示

□ Intel Atom CPU+Altera FPGA平台



SDN+SRv6原型系统



谢 谢!

