

确定性承载技术

ZTE 中兴



紧握本质，穿透迷雾



目录Contents

一

确定性业务承载技术

二

业界研究和进展

三

方案建议

未来网络中，业务将更加繁多，传统的工业控制网络、物联网监控系统、自动驾驶汽车、远程医疗手术系统等将汇聚到未来的一体网络中，这些业务的特点：**高可靠、低时延、确定性保证**。确定性业务给目前IP网络带来极大挑战。

● 确定性业务：

对网络传输的质量有确定界限要求的业务称为确定性业务。传输质量的衡量可以是时延、丢包率、时延抖动及可靠性等指标。

哪些支撑技术？

- 边缘MEC？
- 网络切片？
- FLEXE硬管道？
- TSN技术？
- DetNet？

未来网络？



5G URLLC 性能要求

场景	端到端时延ms	抖动	通讯服务可用性%	可靠性%	用户体验数据速率/(Mbits/s)
离散自动化-运动控制	1	1 us	99.9999	99.9999	1 - 10
离散自动化	10	100 us	99.99	99.99	10
过程自动化-远程控制	50	20 ms	99.9999	99.9999	1 - 100
过程自动化-监测	50	20 ms	99.9	99.9	1
配电-中压	25	25 ms	99.9	99.9	10
配电-高压	5	1 ms	99.9999	99.9999	10
智能交通系统	10	20 ms	99.9999	99.9999	10
触觉交互	0.5	待定	99.999	99.999	低
远程控制	5	待定	99.999	99.999	从低到10

- 上表是3GPP给出的5G URLLC业务 的性能指标要求。高可靠、低时延、确定性保证是必须支持的

工业控制



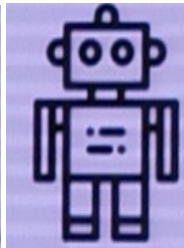
车联网



远程手术



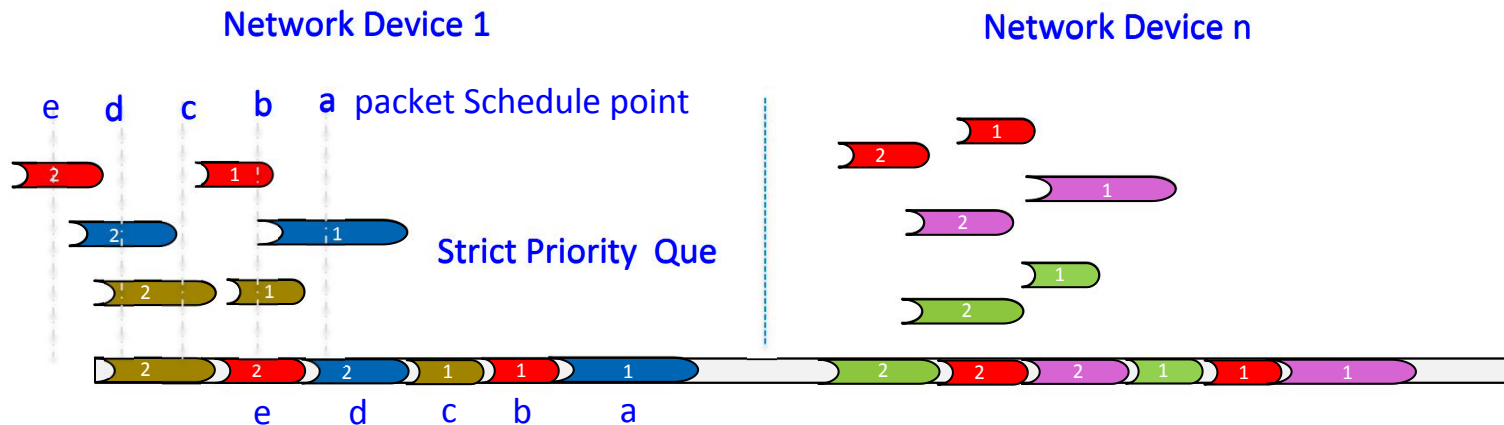
机器人



- 工业控制、车联网、远程医疗、机器人等上述场景均是需要同步控制信令端到端的精确传送。
- 确定性时延、确定性时延抖动、确定性可靠传送是上述场景中多个控制系统协作的基础，如机械手臂的联动、工业设备的同步加工、远程手术的人机互动等等。
- 确定性时延的指标需要根据业务需求确定，比如最典型目标要求： $1\text{ms} \pm 1\mu\text{s}$

“尽力而为”的IP网络不能带来确定性的业务保证

内部公开▲



- 队列转发时延的不确定性（因为高优先级并不能抢占正在发送的低优先级帧）
- 时延不确定性在多个节点存在累加效应
- 流量工程只能保证业务的均值带宽

总结：转发机制和RSVP-TE流量工程技术只能提供有限的业务保证，不能提供确定性的业务保证

不同网络层次上确定性业务承载的技术

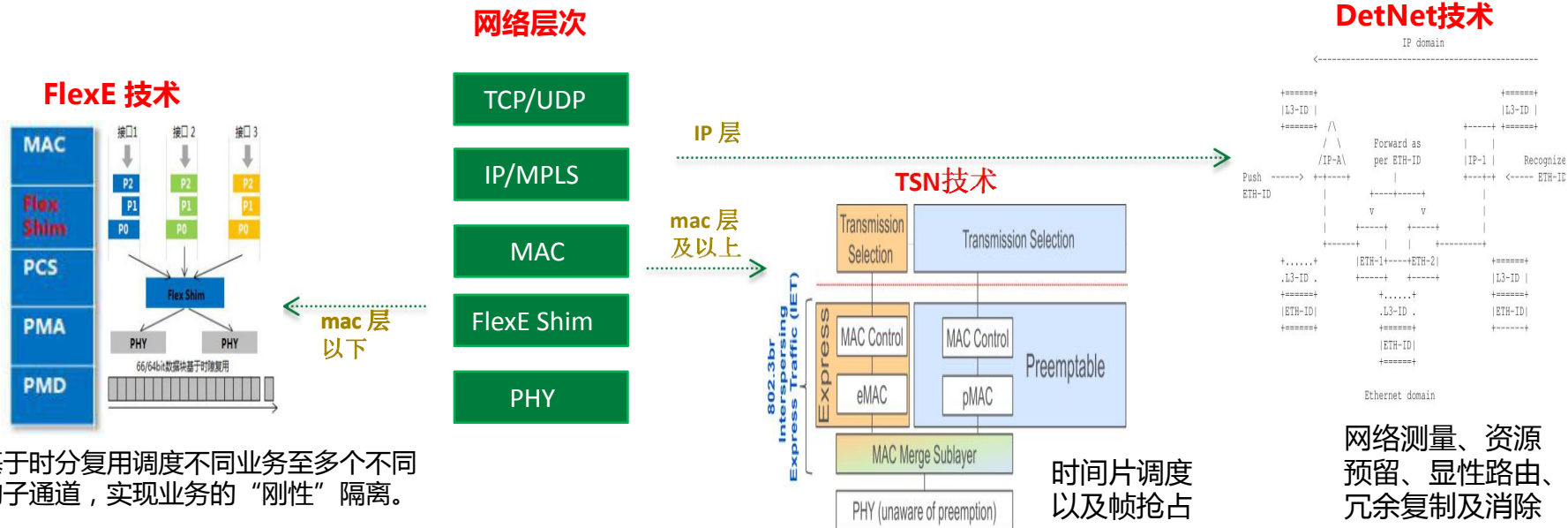
内部公开 ▲

IP本质是统计复用+存储转发，尽管有Qos、VPN技术的辅助，但是不能彻底解决丢包和时延不确定性的问题，在IP网中划分出时隙提供硬管道是确保低时延的关键。不同网络层次上有不同的解决方案。

FlexE： mac层以下技术，实现业务的管道隔离，不解决同一管道内的流量抢占问题。

TSN： mac层及以上技术，基于流方式按照时间片进行流的刚性调度，可以解决同一管道内不同流传输的“瞬时”冲突，保证确定性业务流的实时传送

DetNet：借鉴TSN的二层流的确定性传输技术，扩展到IP层，重点解决IP层的确定性业务传送。

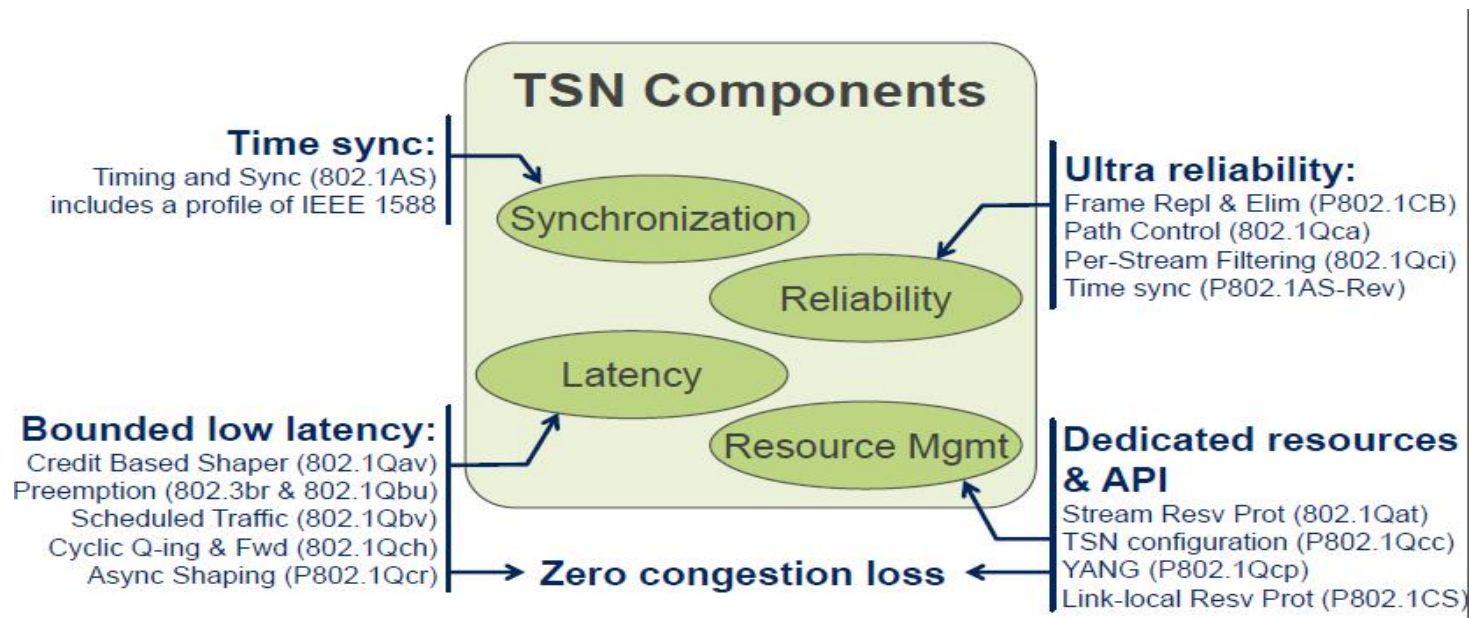


基于时分复用调度不同业务至多个不同的子通道，实现业务的“刚性”隔离。

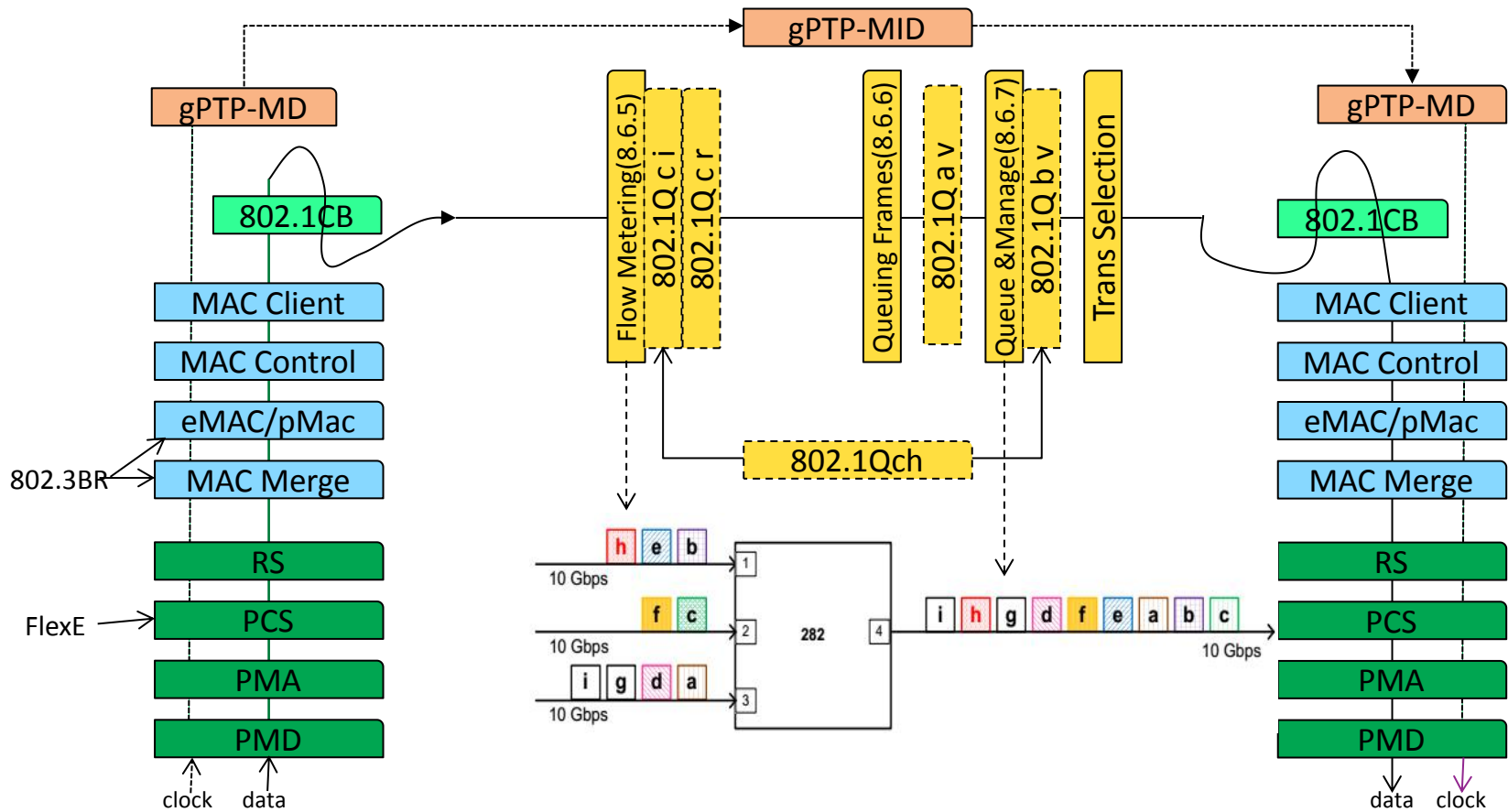
时间敏感网络TSN (Time-Sensitive Networking) 是对IEEE 802.1以太网的扩展，是由IEEE 8023.1的时间敏感网络任务组在现有以太标准的基础上开发的一套兼容性扩展标准。

TSN任务组是2012年由原来的AVB工作组重新命名而来。原来的AVB 成立于2005年，目的是制定一套适用于实时音视频的传输的新的以太网架构传输协议集，是为了解决原来标准以太网传输中存在的时序性、低延时和流量整形问题，同时又保持100%向后兼容传统以太网。

TSN任务组的成立，则将原AVB任务组的需求范围扩大，制定的TSN标准不单单满足实时音视频的需求，还满足其他如工业控制、汽车控制等业务流量传输对时间敏感要求的领域，并向5G承载延伸，它是二层以太网网络中提供确定性业务保证的关键技术。



时间敏感网络TSN 技术体系包含了四个组件的内容，这四个技术组件分别是时间同步、高可靠性、确定的低时延、资源管理。而四个组件则有一系列的标准协议进行支撑



1. 全网时间同步

All network devices and hosts can synchronize their internal clocks to an accuracy between **1 μ s and 10 ns**. Synchronization is accomplished using some variant of the IEEE 1588 Precision Time Protocol

2. 终端和网络的约定

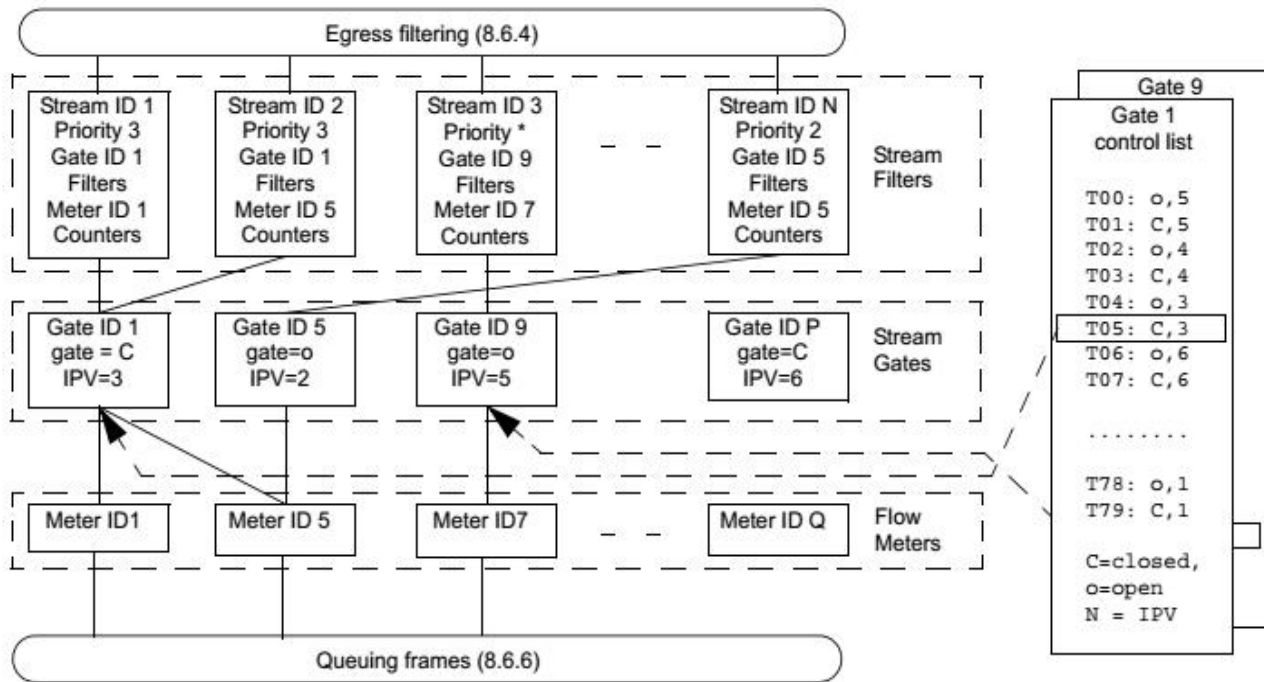
Every TSN flow is the subject of a contract arranged between the transmitter of the flow and the network. This enables TSN networks to provide:

- Bounded latency and zero congestion loss
- Ultra-reliable packet delivery.
- Flexibility. New contracts can be made and old ones ended

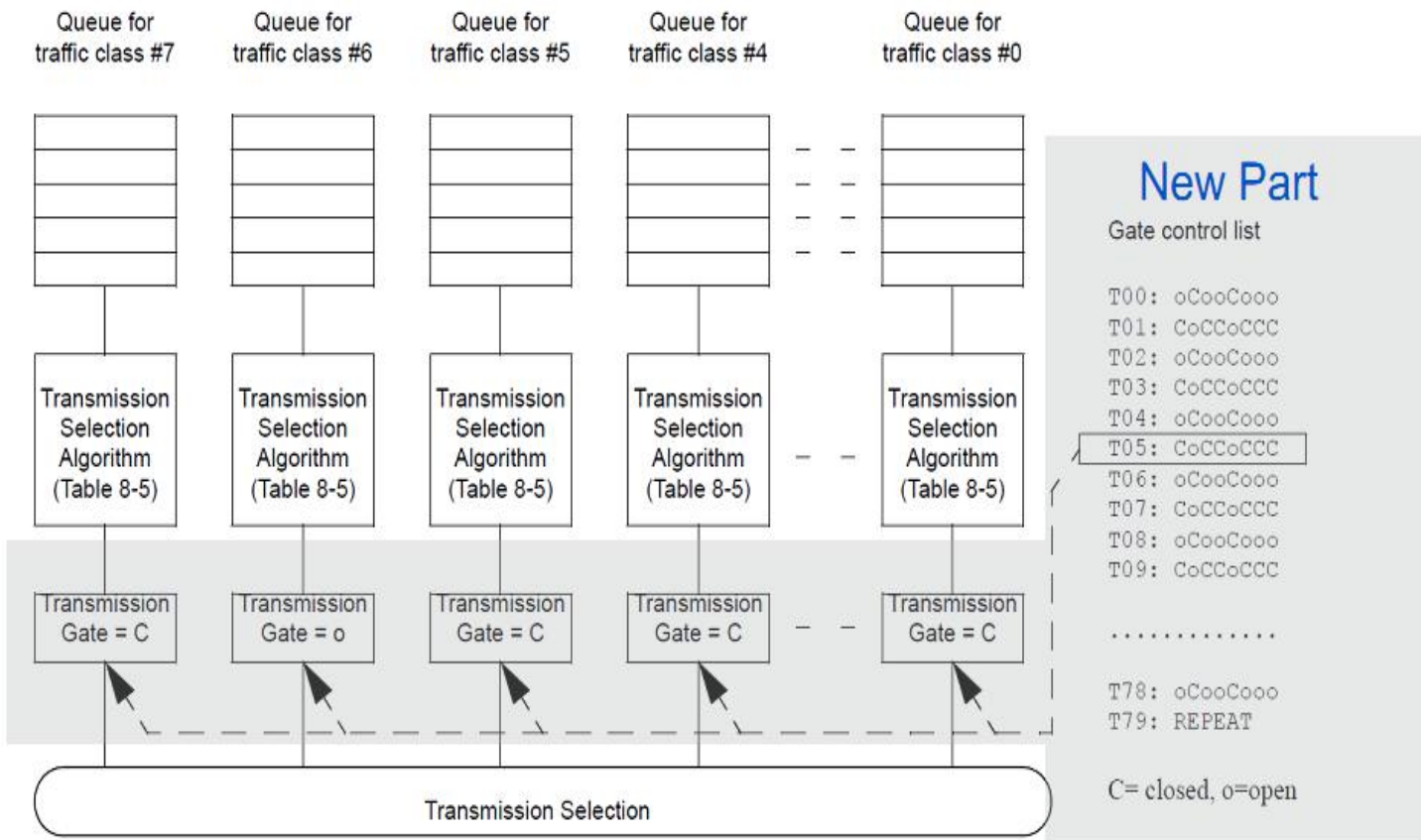
3. 与尽力而为服务的共存

such as the bandwidth of a particular link, TSN traffic can be paced so that the customary best-effort Quality of Service practices such as priority scheduling, weighted fair queuing, random early discard, etc., still function in their usual manner,

- **Do what the packet says to do at the time the packet says to do it**



- 1、增加了三种基于流的实例表：filter、gate、meter
- 2、对于流：可以识别、可以过滤（如基于报长度）、定时通过（基于gate状态）、指定进入队列



1: 增加了一种基于时间的业务调度方式，它保证每个队列一个确定的时间间隔进行报文发送，每个队列的时间间隔都可以进行配置

2: 为了控制门控制列表，需要下面三个状态机的处理

a) The Cycle Timer state machine: 负责list

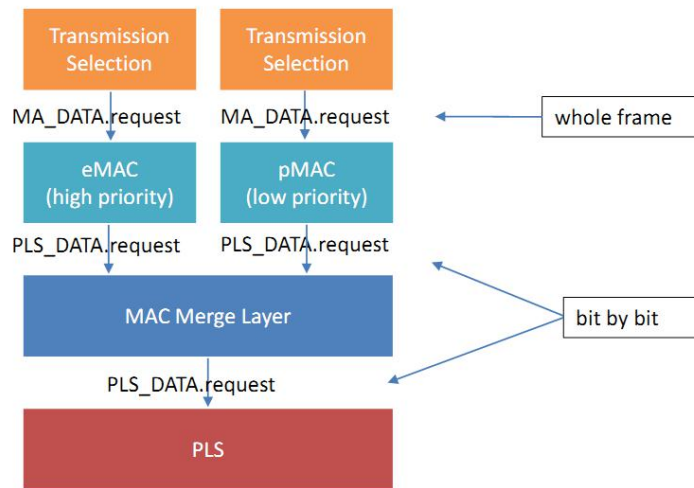
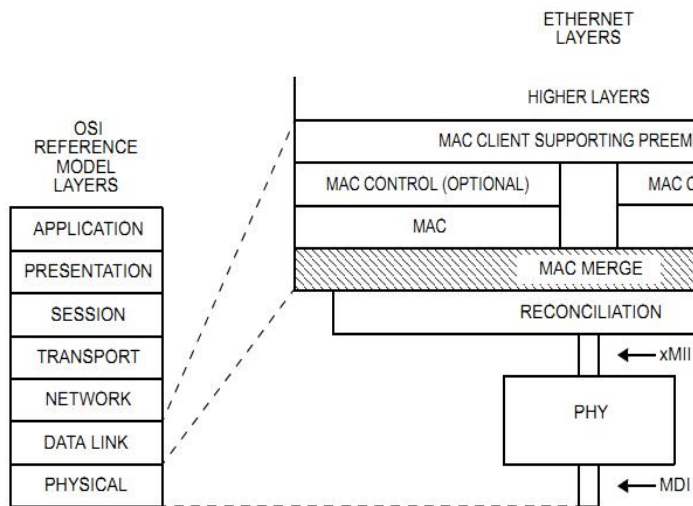
execute的初始化以及参数检查

b) The List Execute state machine: 负责 gate的状态改变

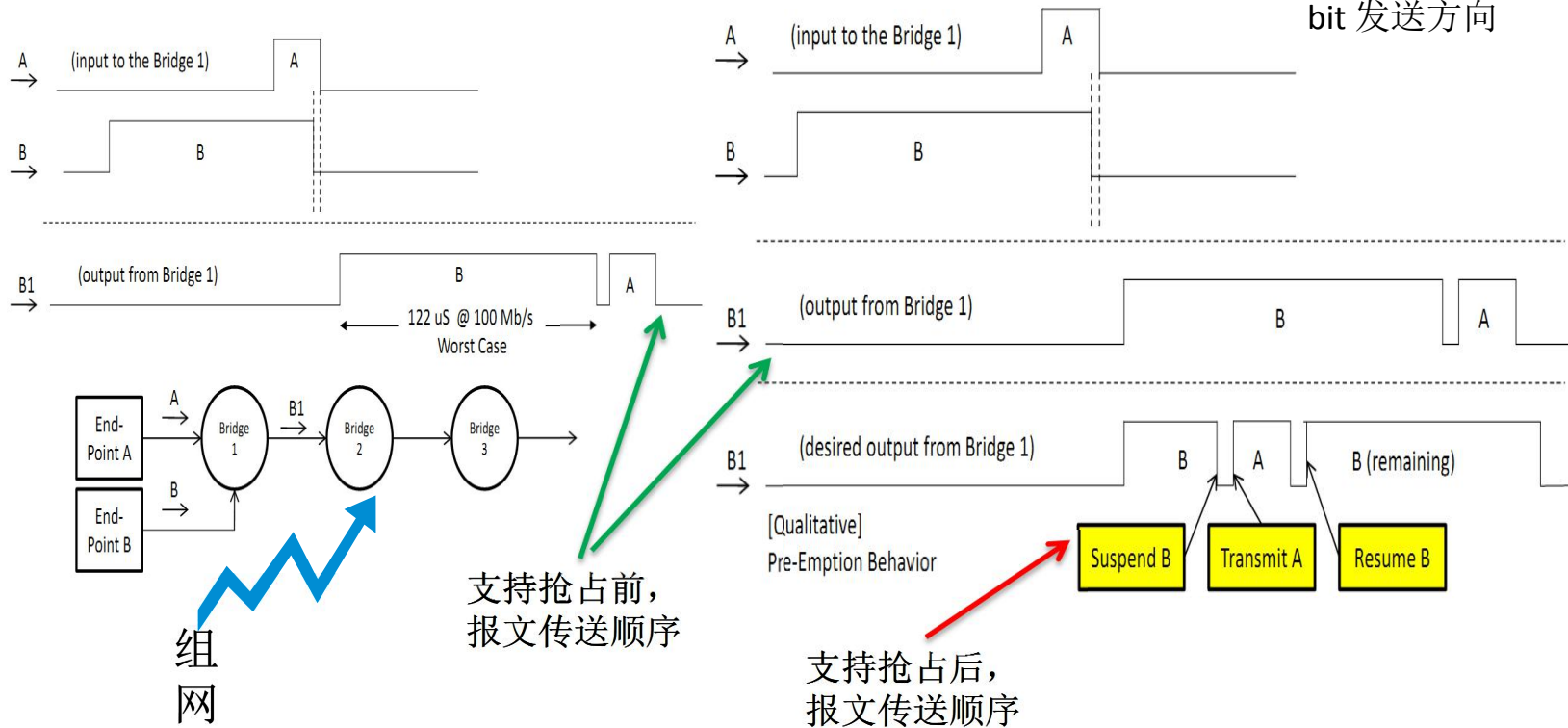
c) The List Config state machine: 管理参数变更

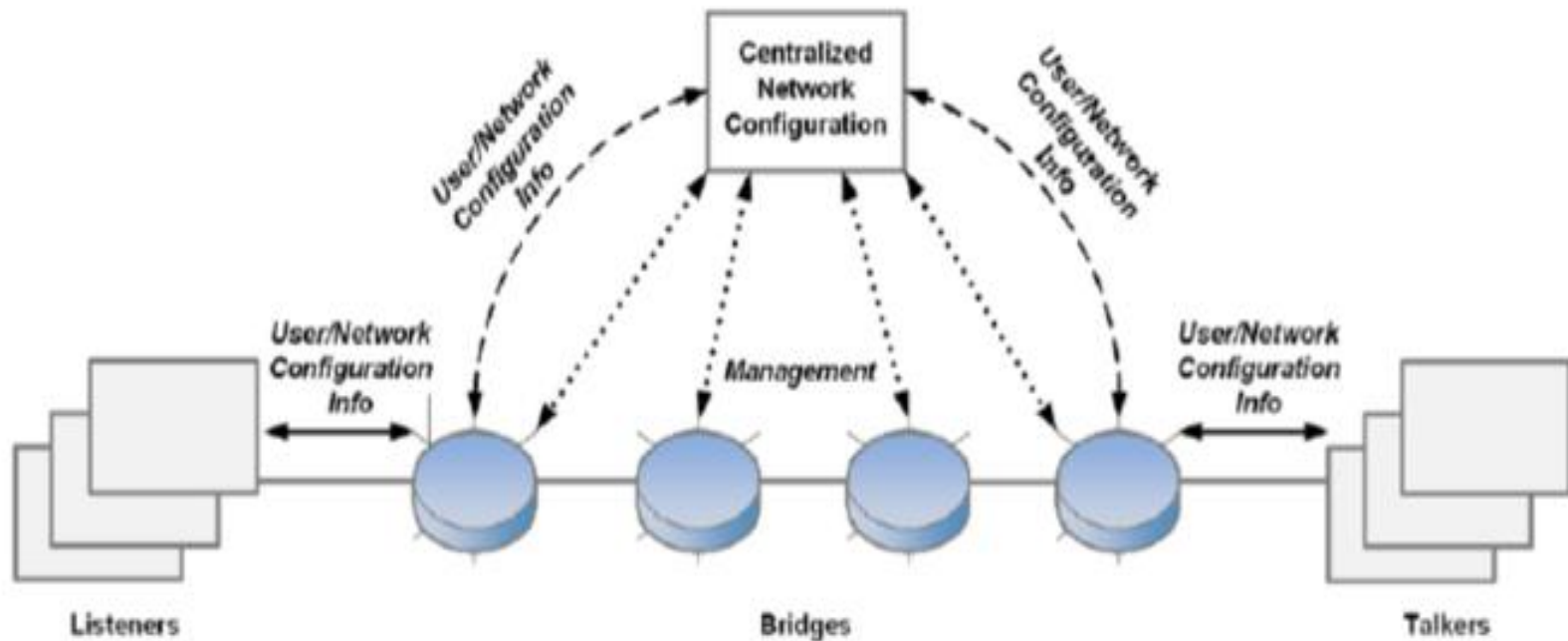
3: 每个端口都有一个门控的状态机实例

Specification and Management Parameters for Interspersing Express Traffic--零散的紧急业务规范及管理参数
BR对mac层的改变，新加入了mac Merge层。



802.3BR需要达到如下图的目的--帧的抢占。





有3种配置模式： 分散模式、混合模式和集中模式。图中描述的是混合模式。

DetNet在三层网络建立确定性数据通道，为上层应用提供有确定界限的时延、丢包率、抖动及可靠性等网络质量保障。其涉及到的关键技术包括：

拥塞保护

- 节点进行带宽和缓存资源预留，同时在输出端口调节数据速率不超过设定的DetNet客户速率，以避免下一节点缓存资源超限；

显性路由

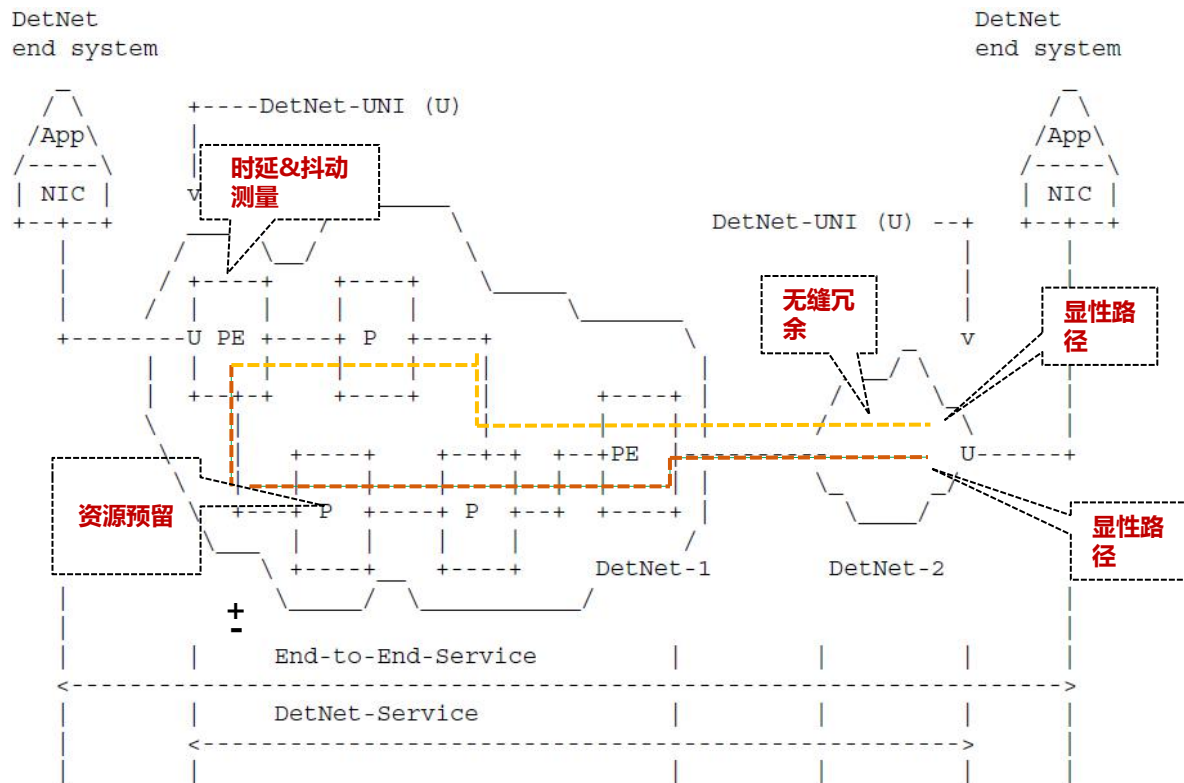
- DetNet通过确定数据流的承载临时或者永久路由，避免网络中任何一个拓扑变动进而路径变化带来的丢包以及时延抖动；

抖动消减

- DetNet采用亚毫秒级的节点间时间同步机制，加上借鉴TSN的刚性转发技术来消减时延抖动；

分组复制与消除

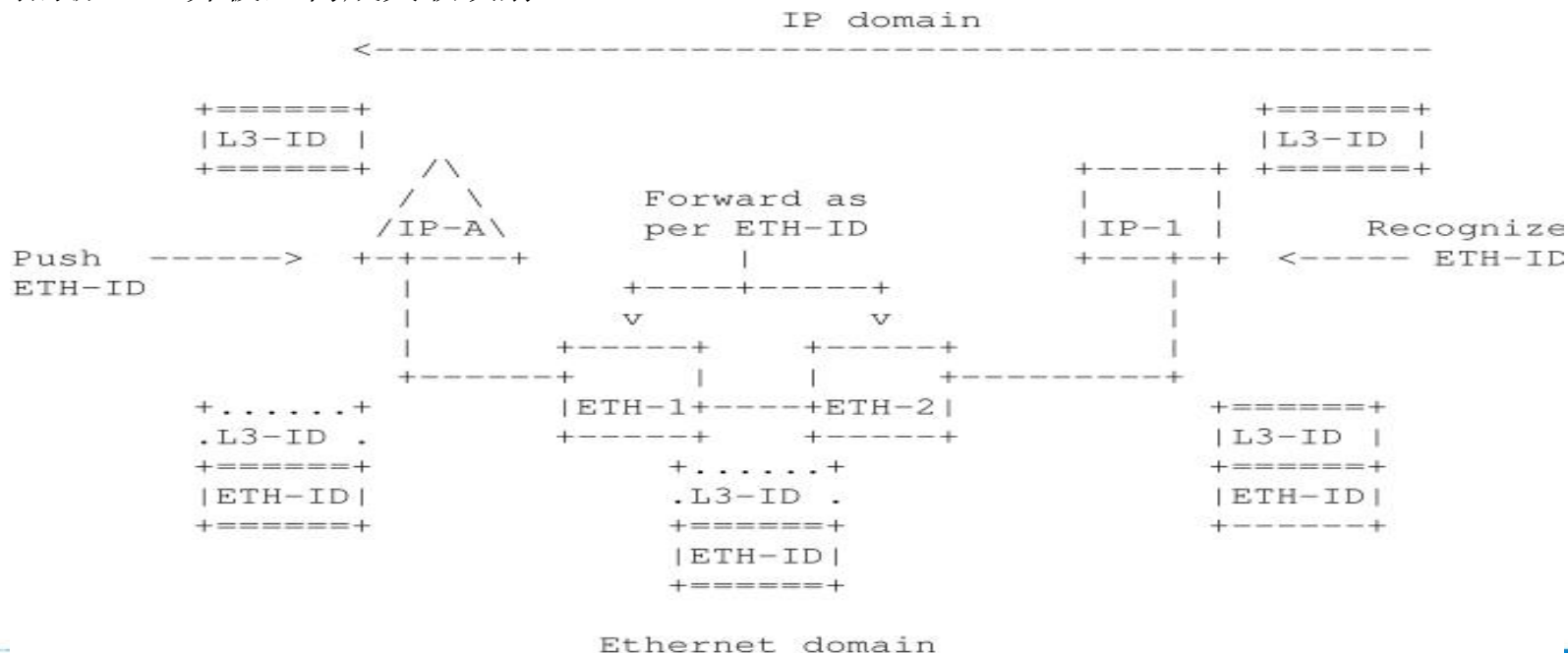
- 对单路径传输可能因路径上的链路、节点等故障导致的丢包及时延，通过分组复制将数据流向多种路径散发，同时在流接收节点，根据流ID及序列号进行冗余帧的消除。



- DetNet借鉴TSN二层网络技术的机制和架构, 提供L3网络上端到端的确定性服务的技术方案
- DetNet通过在L3重用TSN的算法机制, 或者通过L3-L2接口调用L2 TSN功能, 实现确定性网络功能。
- DetNet域提供所有的确定性网络转发服务, 终端应用可支持也可不支持DetNet业务模型, UNI完成DetNet相关的数据封装, 如ID, Sequence封装。

DetNet流在不同网络层次或者技术体系之间传输的过程中，下层网络需要准确识别上层网络标识的DetNet数据流，同样，在对应的逆过程中，上层网络需要识别下层网络对数据流的标识。

鉴于主要的数据转发机制为IP，MPLS，以太桥三种，因此在应用数据包中增减三种不同的流ID，并彼此构成关联映射。

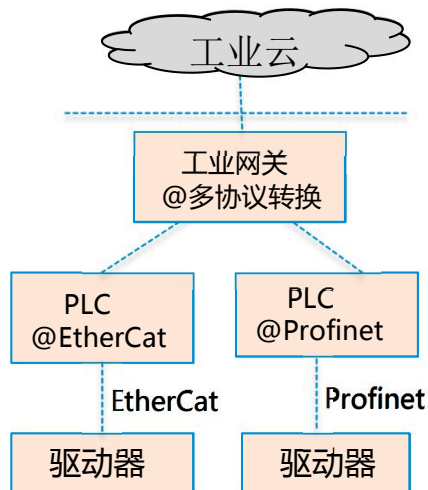


在多厂商设备的网络环境下，一个系统中的延迟变动将会导致另一个系统的缓存相应变化，从而增加每跳延迟。因此，基于标准排队及传输选择算法的集中控制器，会计算每个节点对端到端时延的影响以及对缓存的需求。

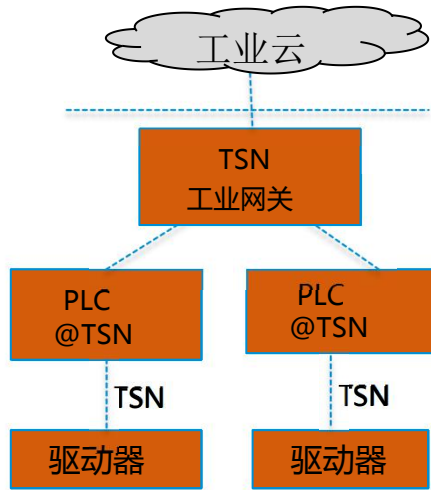
IEEE 802.1定义了一组流排队、整形、编排算法，使得每个传输节点得以计算一组值，去协调整合端到端的路由资源预留。这些算法同样适用三层路由及交换节点，这些关键技术包括：

- 基于信用机制的整形算法；
- 轮动时间表控制的时间门限队列，在所有节点间保持同步；
- 同步双重缓存算法；
- 更高时延要求数据包的抢先传输权算法。

TSN标准已经相当成熟，已有厂家推出支持TSN特性的交换芯片和支持部分特性的TSN交换机。TSN将很大可能在工业互联网的IT/OT 的融合网络中首先得到规模应用。



各工业以太垂直封闭，无法适应设备和应用发展



全TSN组成工业IT/OT网络，各厂家互联互通，适合设备和应用的不断发展

DetNet，IEEE 在2015年开始成立工作组，目前进展还处于场景、需求、架构的前期阶段，离提供L3/L2融合的确定性服务的标准和方案还有一定距离

目录Contents

一

确定性业务承载技术

二

业界研究和进展

三

方案建议

Testbed and Reference Architectures

- Testbeds to evaluate "full stack" and provide feedback to members and liaison organizations
- Application specific architectures to aid in market adoption
- Outbound marketing to create awareness



Application Layers

- Define data models for end-device communication
- Integration of TSN communications and configuration models into application tools
- Application flow for end-node configuration
- Conformance for data models and end node configuration



TSN Transport Interoperability and Conformance

- Define network services needed by market
- Fill gaps in standards to provide interoperable network configuration services
- Conformance of transport and network services
- Establish certification services



Network standards

- Define standard features to provide data plane and configuration plane providing TSN capabilities
- Assure proper operations and backwards compatibility with IT and OT



各大公司开展研究与评估

- Cisco : 拥有两个工业平台ETTF和Jasper。Cisco IOS Version 15.2(5)E2 及以后版本已经支持TSN. 4000 系列交换机支持 TSN特性, 在2017年参与了IIC的测试床, 3650、3850系列交换机2018.5通过AVNU的认证
- 爱立信: 在2017年再ietf和ieee会议上演示了其TSN原型系统
- 信通院: 2018年12月组织了国内的互通测试

芯片公司/测试仪厂商相继推出相关芯片/产品

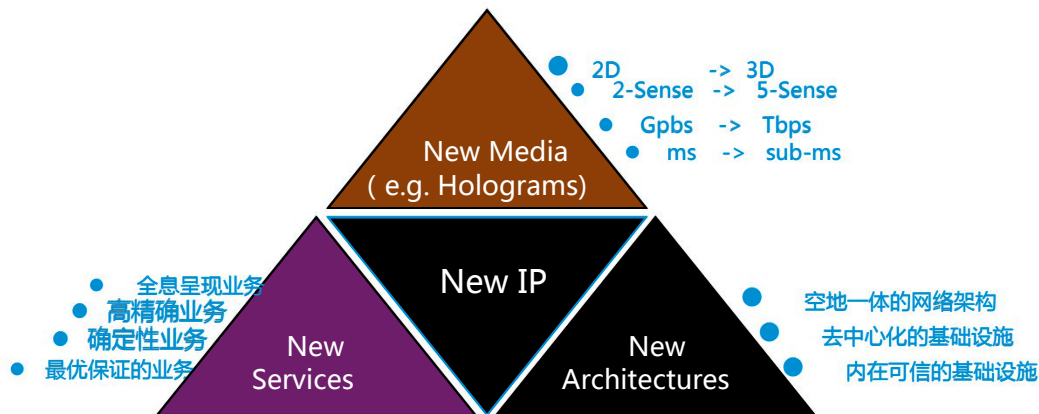
- Broadcom : 在2017 已经提供支持TSN的芯片
- NXP : 已经可以提供TSN工业开发平台
- Keysight/spirent: 均已提供TSN测试套件

3GPP上出现针对TSN的专题研讨

- 2018 SA WG2: LS on TSN integration in the 5G System
- QoS Negotiation between 3GPP and TSN networks for KI# 3.1
- Integration of the 5G System in a TSN network

确定性业务承载是目前网络技术研究的热点之一

内部公开 ▲

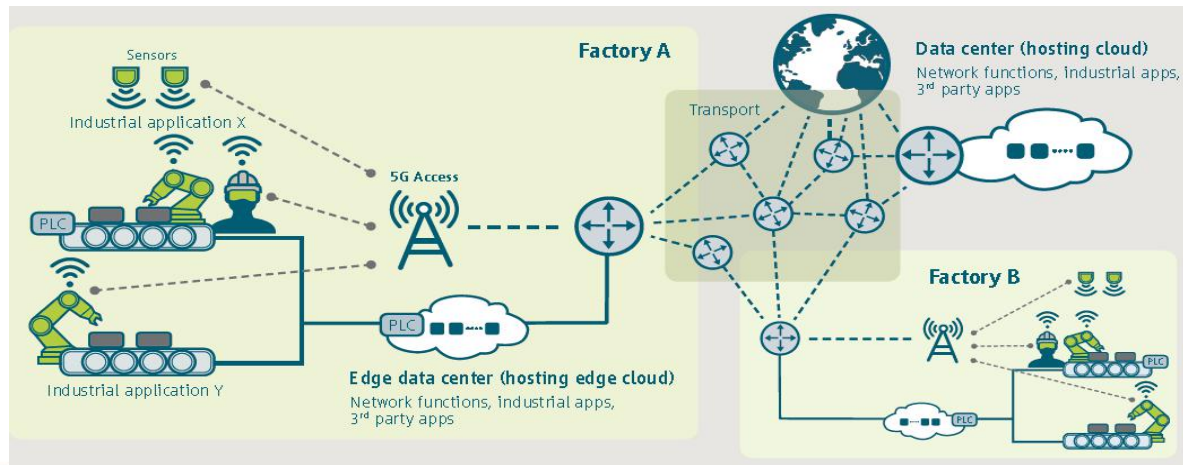


2018年7月在日内成立的ITU-T的FG Network 2030，在发布的“Internet 2030 Towards a New Internet for the Year 2030 and Beyond”中明确将确定性业务作为一个研究点。

网络5.0 超越基础连接能力	服务能力超越	无差别接入 → 有差别接入	<ul style="list-style-type: none">匹配终端能力与场景需求，提供差异接入能力网络层内生的安全设计，安全属性多级可控网络层差异化QoS能力，提供安全策略，收费策略，资源占用策略等原生差异能力提供必要的一体化存储和计算能力
	传输能力超越	不确定传输 → 确定性传输	<ul style="list-style-type: none">时延精准可控，全网确定性传输能力全栈路由，提升转发功能性、效率性和可编程性
	网络形态超越	中心化+树形 + 去中心化+网状 一网一层 → 一网两层	<ul style="list-style-type: none">互信机制设计，突破单根多层现状。中心/去中心化能力共融Underlay/Overlay分工协同，提供包含计算、存储、传输、管理等定制化能力
	管控能力超越	人工管控 → 智能组网+极简人工	<ul style="list-style-type: none">智能辅助的管控，简化用户接口和操作精准、高效的带内带外信令，支撑复杂算法

2018年6月在北京成立了网络5.0产业和技术创新联盟，聚集近期应用场景：5G承载、ICT融合、垂直行业，发布的第一版“网络分代技术报告”也明确提到了网络的确定性传输能力

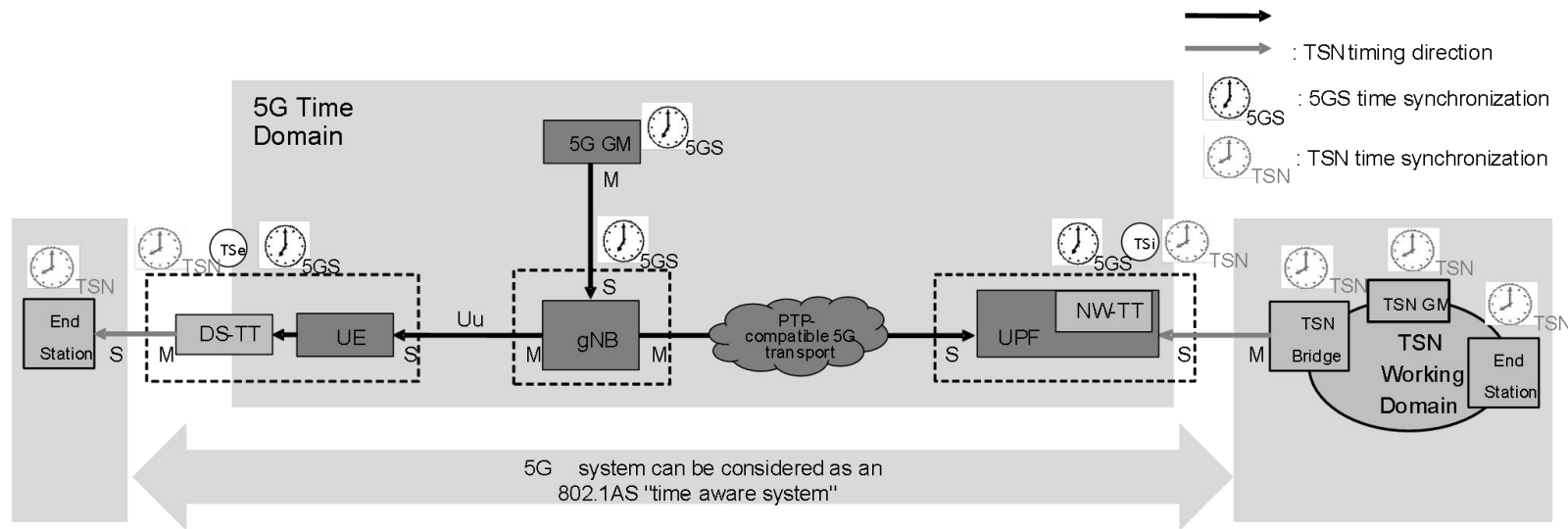
5G Alliance for Connected Industries and Automation (5G-ACIA)



2018年4月 5G产业自动化联盟”（5G ACIA）在德国电气和电子制造商协会（ZVEI）的基础上正式成立，该联盟旨在推动5G在工业生产领域的落地，确保5G从运用之初即具备相应产业能力。

3GPP：确定性业务承载和5G结合的架构

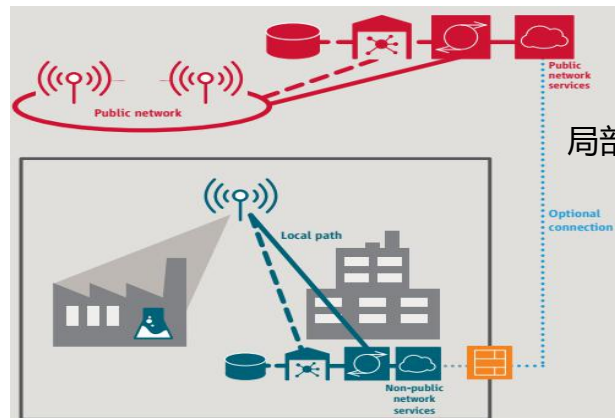
内部公开▲



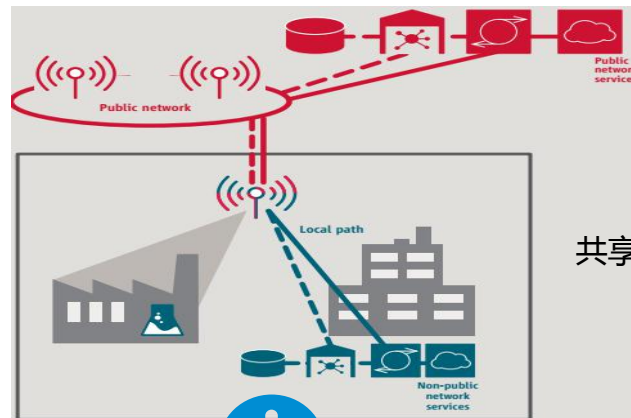
■ 3GPP的TS 23.501 V16.2.0,提出的支持TSN业务场景

5G网络在自动化行业演进策略

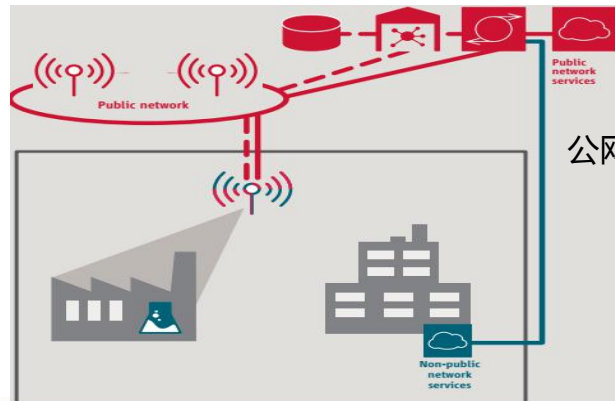
内部公开▲



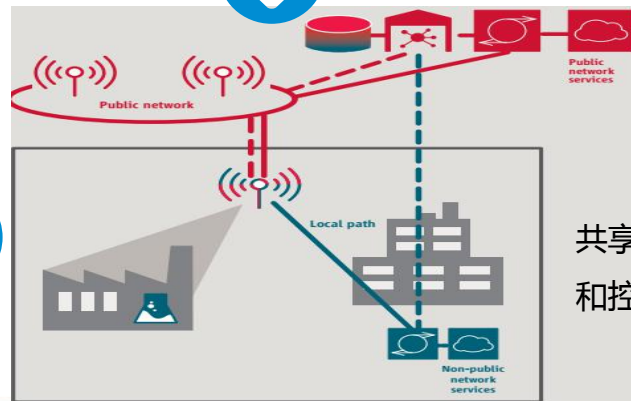
局部部署



共享RAN



公网部署



共享RAN
和控制面

演
进
步
骤

- DetNet工作组：

- DetNet工作组于2015年11月正式成立，主要目标是为层2桥和层3路由网络提供确定性服务，QoS要求包括低时延，低丢包率，降低抖动和高可靠性。同时与IEEE802.1TSN工作组合作，定义包括2层和3层网络的通用架构。目前输出工作组草案包括：
 - DetNet架构，用例，安全等
 - DetNet数据平面方案，包括IP和MPLS两种
 - 数据流信息模型，Yang模型等

- DetNet工作组下一步计划：

- DetNet架构已稳定，进入IESG流程，目前重点工作在数据平面封装方案，将按照IP/MPLS/TSN等不同组合方式拆成7篇，信息模型和配置Yang草案等也随之更新，总体进展较慢。后续将逐渐在QoS、OAM及控制平面方面进行技术方案的讨论。
- 最新一次会议草案更新18篇，无RFC，有1篇新增工作组草案，3篇新增个人提案。

- DetNet工作组相对稳定草案：应用场景、架构及数据面封装草案：
 - draft-ietf-detnet-use-cases-19（进入RFC流程）
 - draft-ietf-detnet-architecture-09（进入RFC流程）
 - draft-ietf-detnet-dp-sol-mpls-01（#104 相对稳定）
 - draft-ietf-detnet-dp-sol-ip-01（#104相对稳定）
- 信息模型，Yang相关，重点如下：
 - draft-ietf-detnet-flow-information-model-02
 - draft-ietf-detnet-yang-00（新增工作组草案）
- 个人提案，重点如下：
 - draft-mirsky-detnet-oam-02 (ZTE)
 - draft-xiong-detnet-qos-policy-00（新增个人草案ZTE）
 - draft-xiong-detnet-qos-yang-00（新增个人草案ZTE）
 - draft-chen-detnet-sr-based-bounded-latency-00（新增个人草案）
 - draft-chen-detnet-loss-delay-01（新增个人草案）
 - draft-finn-detnet-bounded-latency-02
 - draft-qiang-detnet-large-scale-detnet-02

- draft-mirsky-detnet-oam-02 (ZTE)
 - <https://datatracker.ietf.org/doc/draft-mirsky-detnet-oam/>
- draft-xiong-detnet-qos-policy-00 (ZTE)
 - <https://datatracker.ietf.org/doc/draft-xiong-detnet-qos-policy/>
- draft-xiong-detnet-qos-yang-00 (ZTE)
 - <https://datatracker.ietf.org/doc/draft-xiong-detnet-qos-yang/>
- draft-huang-detnet-single-path-pref-01 (ZTE)
 - <https://datatracker.ietf.org/doc/draft-huang-detnet-single-path-pref/>

国内AII（工业互联网产业联盟）对TSN比较看重，在国家课题-科技部2019年工业互联网专项对TSN交换机资助2个项目，每个项目最高资助金额有3000万。交换机指标要求如下：

现场级和车间级两种场景的交换机：现场级支持4端口以上100/1000M以太接口、整机吞吐量大于8Gbps；车间级支持8口以上100/1000M以太接口、整机吞吐量大于16Gbps；64字节的确定性业务流转发时延最低小于100um，时延抖动正负5um；支持时间同步协议如802.1AS，时间同步精度不低于微秒级别；支持802.1Qbu的上行流量监管、流分类以及基于优先级的抢占机制，队列调度精度不低于1ms，门控精度不低于1ms；支持802.1Qbv的下行流量调度，调度精度不低于1ms，门控精度不低于1ms；现场级时间敏感网络交换机单端口的上下行队列不少于4条，车间级时间敏感网络交换机单端口的上下行队列不少于8条

在工业领域，时间敏感网络作为下一代的工控网络演进方向内已经基本形成共识。目前时间敏感网络协议族已经基本完备，技术趋于成熟，主流设厂商纷进入产品或者方案研发阶段，新通院在2018年底对相关厂家的TSN交换机进行了互通测试。不过从测试报告看，功能仅支持802.1Qbv时间敏感调度和时间同步，其他的如帧抢占、入口管控等功能还都没有支持

目录Contents

一

确定性业务承载技术

二

业界研究和进展

三

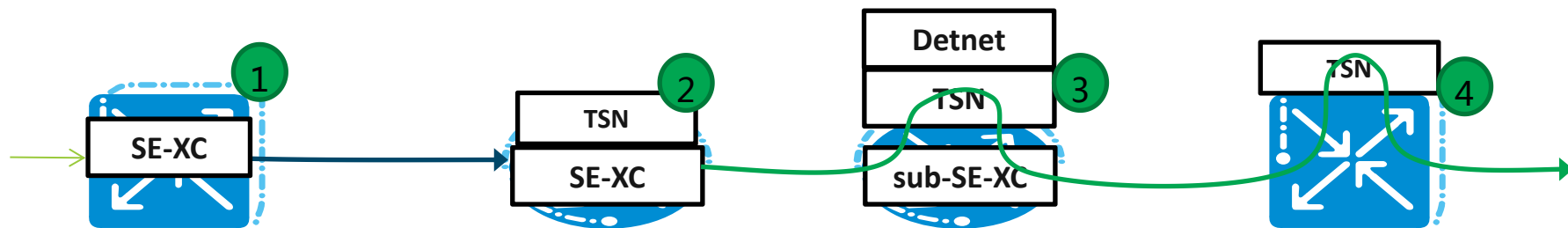
方案建议

01 普通分组+SCL 5G颗粒方案

03 小时隙颗粒 (<5G)

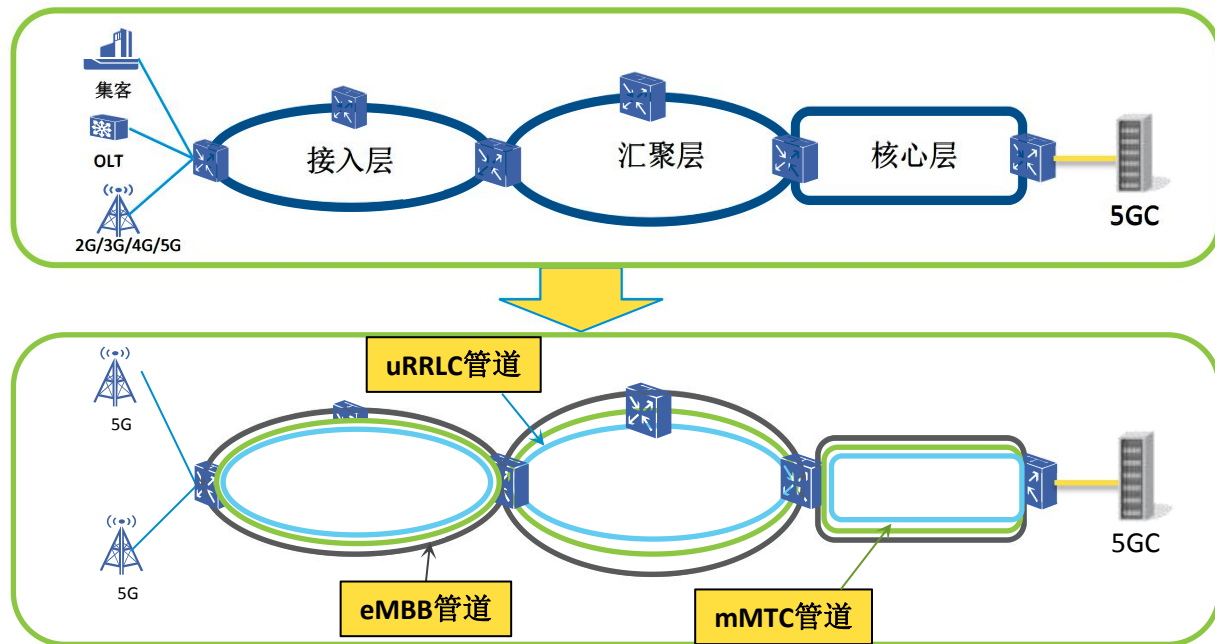
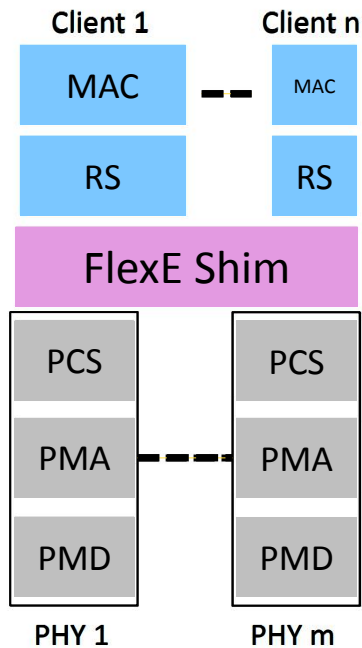
02 确定性分组+SCL 5G 颗粒方案

04 类TSN方案



方案一：普通分组+SCL 5G颗粒方案

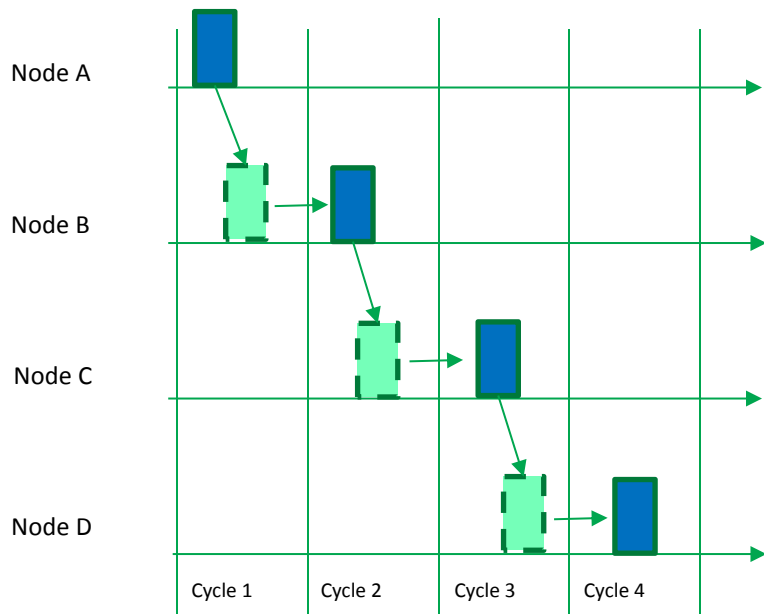
ZTE



基于SPN的网络切片：

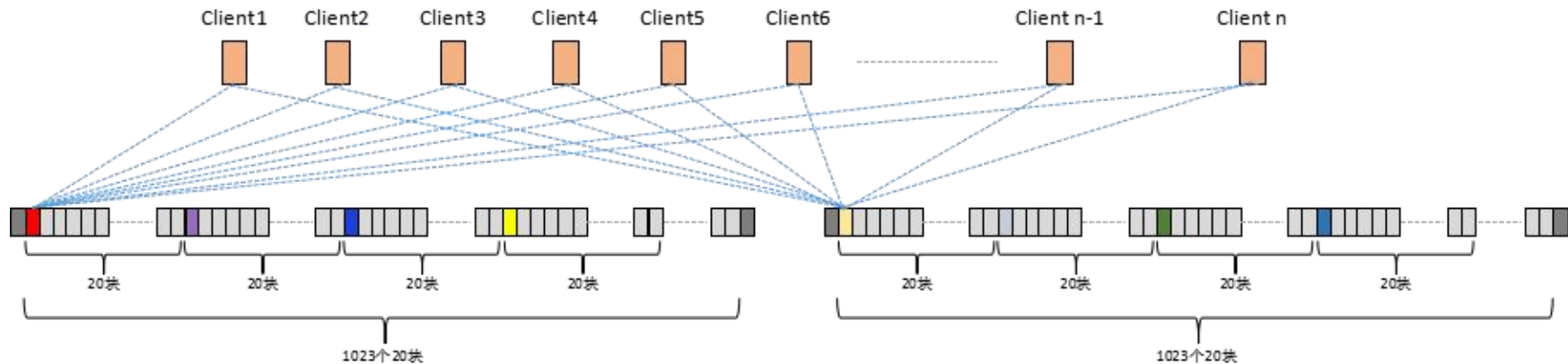
- ◆ 在MTN接口上，创建不同Client接口；
- ◆ 在拓扑图上，网络中MTN接口就变成了多个切片管道，并且每个管道可以配置其承载的业务类型属性；
- ◆ 在业务创建时，通过指定业务的相关属性，网管/控制器自动把业务的路径建立到对应的切片管道上，实现不同类型业务在不同管道上隔离承载；

- CQF: Cyclic Queuing and Forwarding (802.1Qch)
 - The sending time of an interface is divided into a series of equal time intervals with the duration of T , each time interval is called a "cycle";
 - CQF assumes that a packet is transmitted from an upstream node in a cycle and the packet must be received at the downstream node in the same cycle, and it must be transmitted out in the next cycle to the next hop downstream node.
 - The critical traffic is transmitted and queued for transmission along a path in a cyclic manner;
 - With above: $E2E\ Jitter \leq 2T$, $E2E\ Delay \leq (N+1) * T$, where N is the hops of the path.
 - Suitable for small networks, where link delay is trivial, and processing delay and jitter is small. Otherwise, more bandwidth has to be reserved as a guard band for each cycle, and the effective bandwidth for critical services will be greatly reduced.



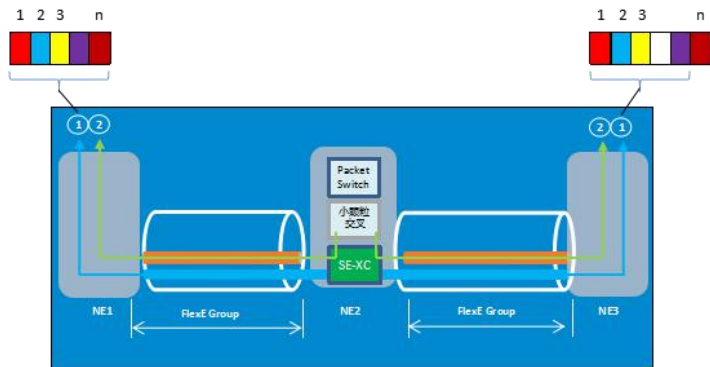
35	36	37	38	39	40	41
SE	Granularity			Sub-Calendar ID		

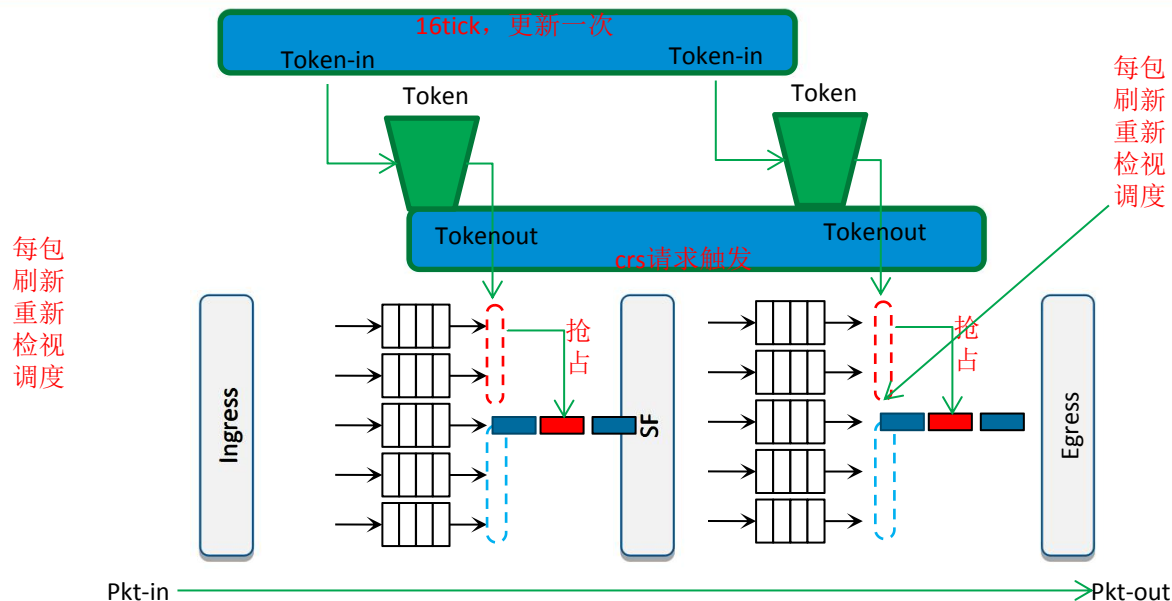
方案三：小时隙颗粒--FlexE小颗粒扩展瓶颈



Client数量、时隙数量、PHY成员数量之间存在 n^2 的对应关系，芯片实现需要较大的交叉矩阵，因此小颗粒时隙扩展存在Client数量难以扩大的瓶颈

5G SE-XC功能与小颗粒时隙SE-XC功能会存在冲突





改进方法:

- 1、队列分组，分为小颗粒业务和其他业务
- 2、小颗粒业务优先级比其他业务处于绝对的优先，在重新检视时，有小颗粒业务发送请求，立即处理小颗粒业务，小颗粒业务发送完毕，才处理别的业务。
- 3、启用抢占功能，小颗粒业务到达，可以立即抢占正在发送的其他业务

优点:

- 1、实现简单
- 2、理论上，不需要额外的时间同步就可以取得较好的效果
- 3、组内的调度，虽然可能存在一定的抖动，但是这种抖动可以认为比较小，且可以通过一定手段减轻

类别	方案一 普通分组 +5G时隙	方案二 确定性分组+5G 时隙	方案三 <5G时隙	方案四 类TSN
时延	高	中	低	中
抖动	大	较低	PE：大 SE-XC：低	中
带宽灵活性	高	高	低	高
PE节点复杂性	简单	较复杂	复杂	简单
P节点复杂性	简单	较复杂	复杂	简单
业务数量	高	高	低	中
标准成熟度	高	中	低	高

谢谢！

5G 先锋

