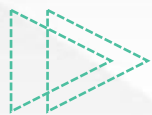




# TSN在工业网络通信中的应用探析

吴少勇

之江实验室



之江实验室

之江实验室



ZHEJIANG LAB

# 一体 + 两核 + 多点



之江实验室



ZHEJIANG LAB



中电海康



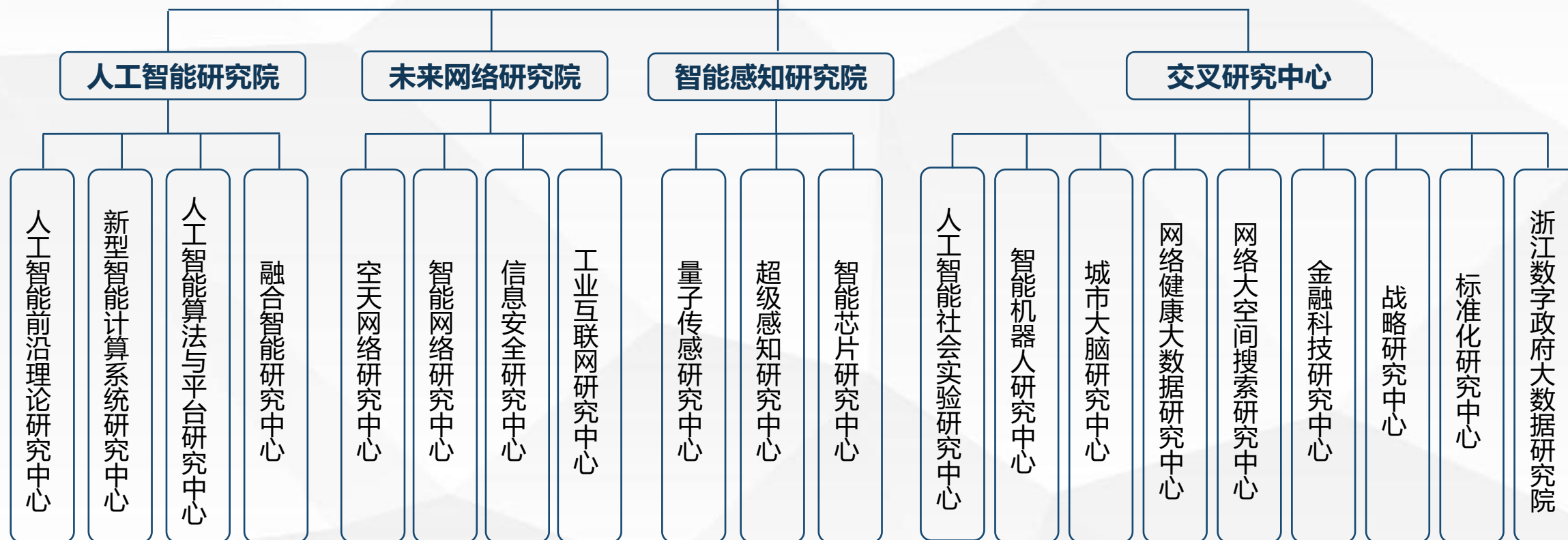
H3C



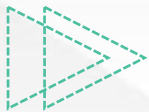
安恒信息



## 之江实验室



主攻方向：**人工智能**和**网络信息**两大领域  
**智能感知、智能计算、智能网络**和**智能系统**四大方向



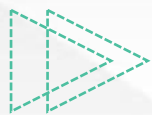
# 目录

之江实验室



ZHEJIANG LAB

- **工业以太网发展现状**
- **TSN的主要对比优势**
- **TSN在工业网络的应用探析**



# 当前工厂内网络的“两层三级”架构

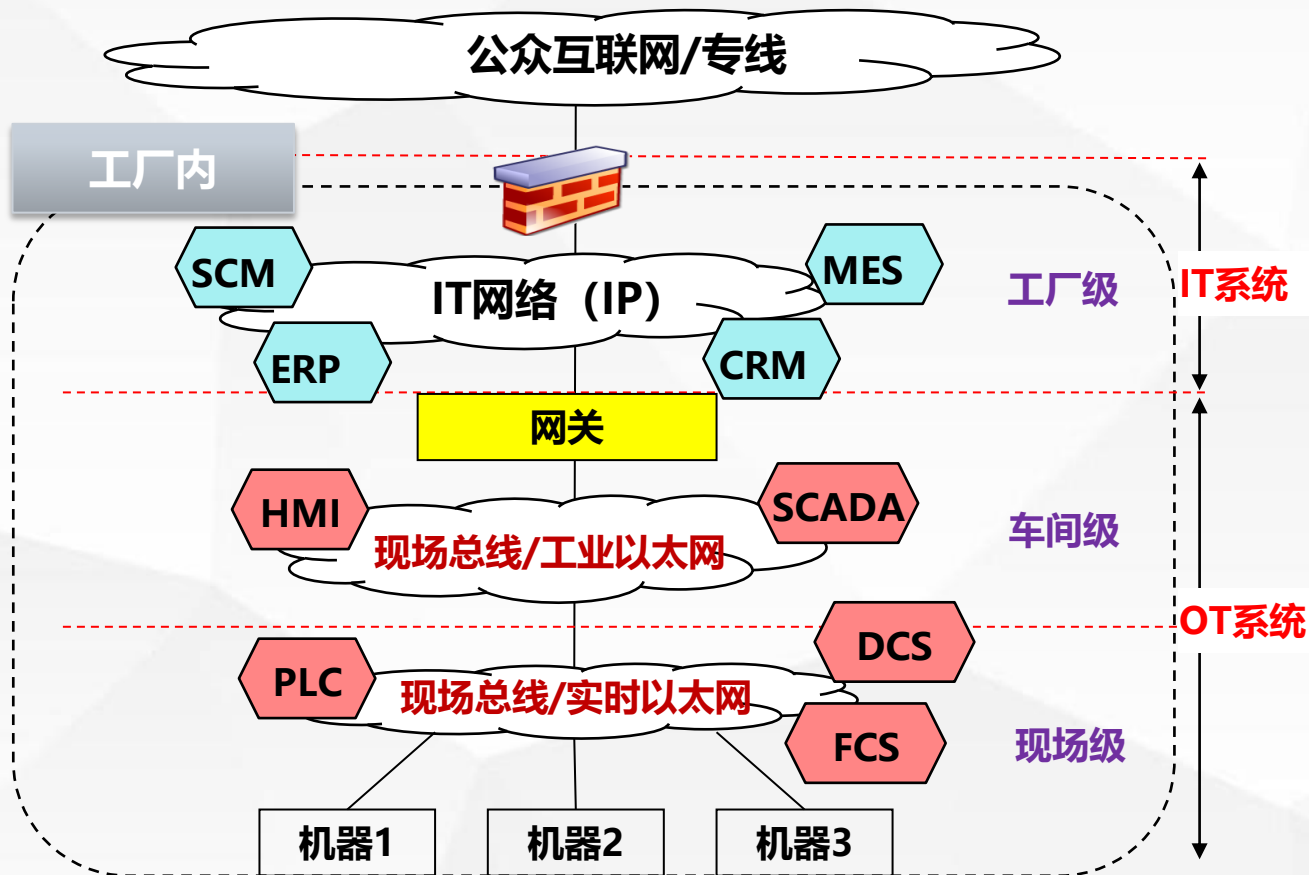


## □ 两层:

- ◆ 工厂IT网络: 办公、生产、过程管理等, TCP/IP技术
- ◆ 工厂OT网络: 连接生产现场控制器、传感器等, 工业以太网/总线技术

## □ 三级:

- ◆ 工厂级: 标准以太网, 高带宽低实时
- ◆ 车间级: 工业以太网为主, 兼顾实时性和高带宽, 协议种类较多
- ◆ 现场级: 总线为主, 低带宽高实时, 种类繁多



All: 工业互联网体系架构白皮书



## 部分典型工业网络通信指标要求

之江实验室



ZHEJIANG LAB

场景	端到端时延	抖动	可靠性	用户数据速率	有效载荷大小	连接密度
触觉反馈交互	0.5ms	TBC	99.999%	低	小	低
离散自动化-运动控制	1ms	1 $\mu$ s	99.9999%	1 Mbps-10 Mbps	小	100,000/km <sup>2</sup>
高压配电	5ms	1ms	99.9999%	10 Mbps	小到大	1,000/km <sup>2</sup>
智能交通系统	10ms	2ms	99.9999%	10 Mbps	小	1,000/km <sup>2</sup>
远程控制	5ms	TBC	99.999%	小于10Mbps	小到大	低
离散自动化	10ms	1ms	99.99%	10 Mbps	小到大	100,000/km <sup>2</sup>
中压配电	25ms	25ms	99.9%	10 Mbps	小到大	1,000/km <sup>2</sup>
过程自动化远程控制	50ms	20ms	99.9999%	1 Mbps-100 Mbps	小到大	1,000/km <sup>2</sup>
过程自动化监控	50ms	20ms	99.9%	1 Mbps	小	10,000/km <sup>2</sup>



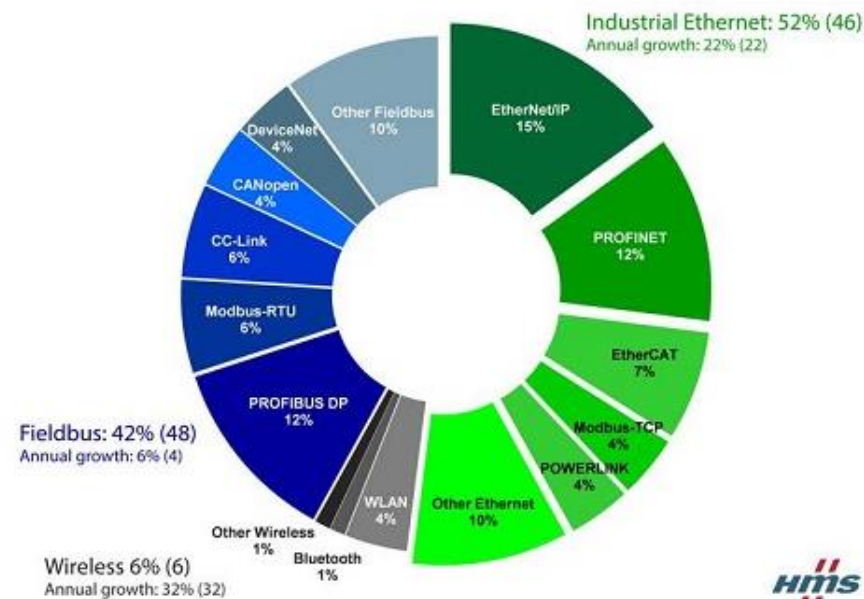
# 工业以太网发展现状

之江实验室

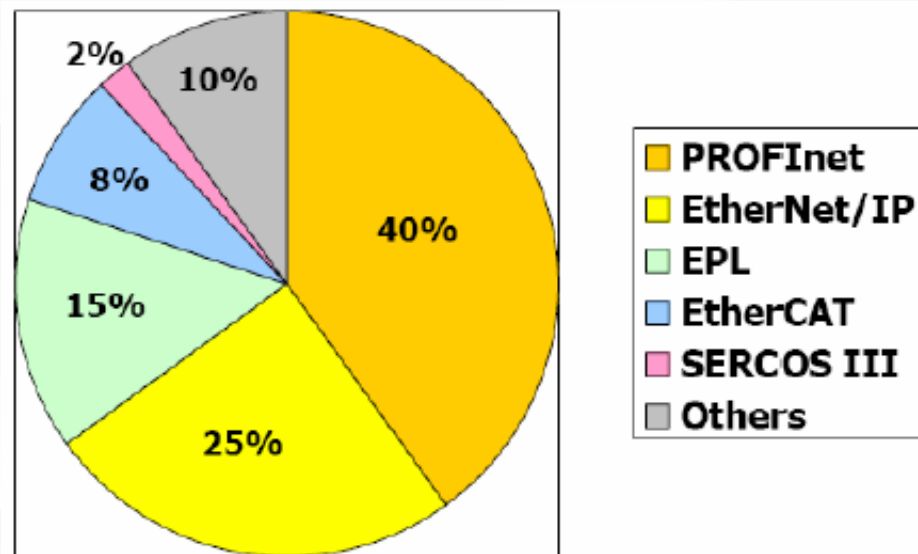


ZHEJIANG LAB

- 以太网协议栈：包含IEEE802.3 规范和TCP/IP协议组应用层，“尽力而为”的通信
- 工业以太网：对标准以太网实时性、可靠性增强，适用工业自动化环境，专用协议繁多
- 从2017年，在工厂自动化领域的工业以太网（52%）首次超过传统现场总线（48%）



2017：工业以太网和现场总线市场占比



主要实时以太网市场占比



# 实现工业以太网的主要方法



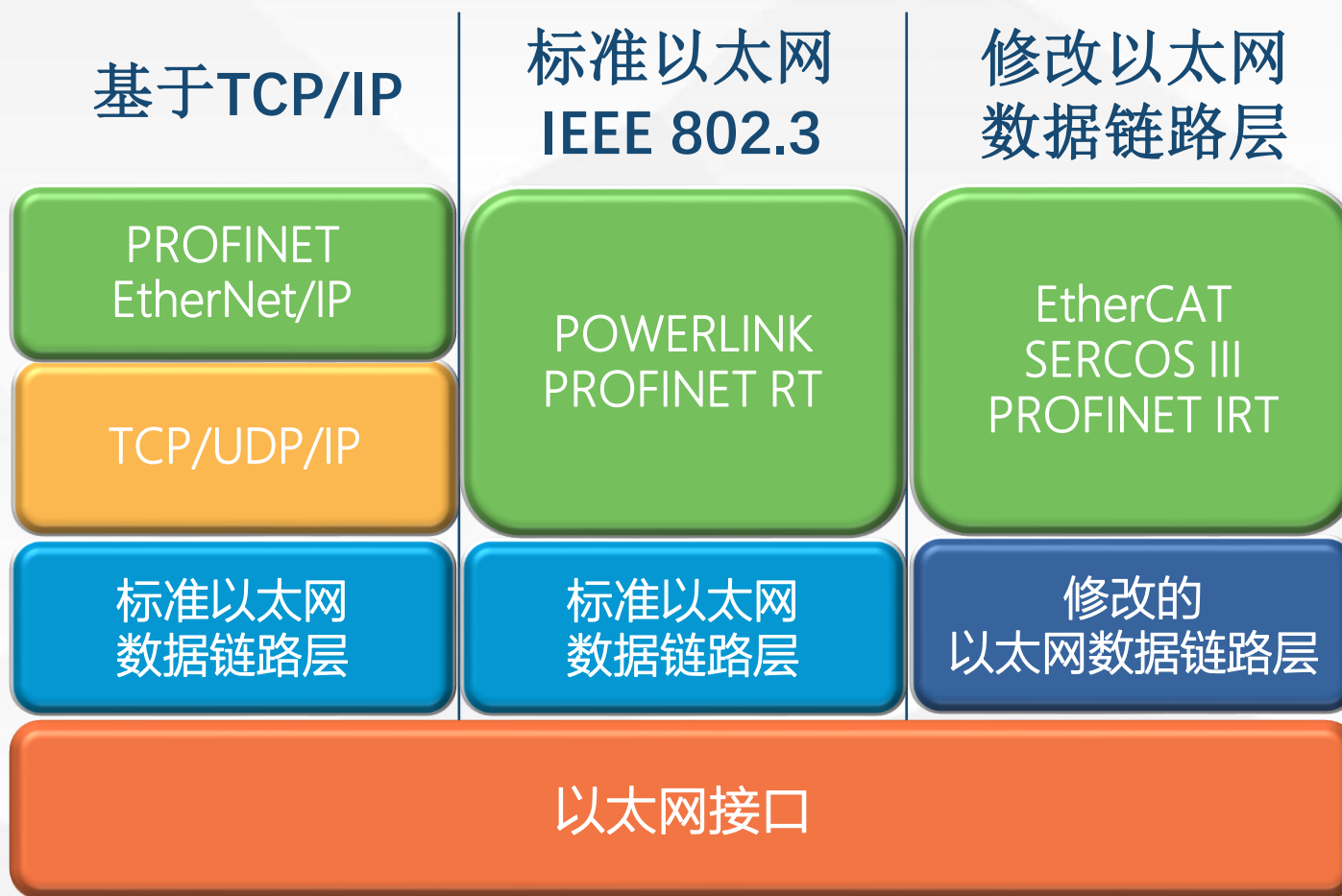
## □ 基于标准以太网进行优化：

### 主要有三类方法：

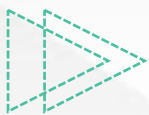
- ◆ 基于TCP/IP协议栈
- ◆ 基于标准以太网
- ◆ 修改以太网

## □ 时钟同步：主站控制时隙、CIP Sync

## □ 特定拓扑：EtherCAT 和 SERCOS III采用环拓扑







# 主要工业以太网的对比

之江实验室



ZHEJIANG LAB

评估项	POWERLINK	PROFINET IRT	SERCOS III	EtherCAT	Ethernet/IP CIP
传输速率	100Mbps-Gbps/10Gbps	100Mbps-Gbps	100Mbps	100Mbps	100Mbps-Gbps
传输距离	100m	100m	40m	100m	100m
抖动	$< < 1\mu s$	$1\mu s$	$1\mu s$	$1\mu s$	$1\mu s$
循环时间	$100\mu s(\text{min})$	$1\text{ms}(\text{min})$	$25\mu s(\text{min})$	$125\mu s(\text{max})$	$100\mu s$
同步方式	IEEE 1588	IEEE 1588		分布时钟	IEEE 1588
推广组织	EPSG	PNO	IGS	ETG	ODVA
始创公司	B&R	SIEMENS	Rexroth	Beckhoff	Rockwell AB
主要领域	I/O、运动控制、安全	现场总线、运动控制	运动控制	I/O、运动控制、安全	I/O、运动控制、安全
是否需要特殊硬件	无特殊硬件需求	ASIC	FPGA/ASIC	从站ASIC	ASIC
开放性	开源技术	需授权	需授权	需授权	需授权



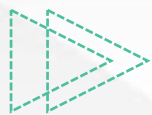
# 目录

之江实验室



ZHEJIANG LAB

- 工业以太网发展现状
- **TSN的主要对比优势**
- TSN在工业网络的应用探析



# TSN：时间敏感网络——标准以太网的实时能力



□ TSN是IEEE 802.1工作组下的一个任务组，  
由AVB工作组重命名而来

□ TSN包括多个独立的标准

□ TSN在OSI参考模型中属于第二层

□ TSN网络特性：

- ◆ 高精度时间同步
- ◆ 低时延、低抖动
- ◆ 高可靠性
- ◆ 标准配置接口
- ◆ 兼容性：多种应用共享同一网络

7、应用层  
6、表示层  
5、会话层

应用协议

4、传输层

UDP

TCP

3、网络层

IP

2、数据链路层

IEEE 802.1

IEEE 802.1 TSN

当前

未来

1、物理层

e.g. 100Mbit/s - 1 Gbit/s



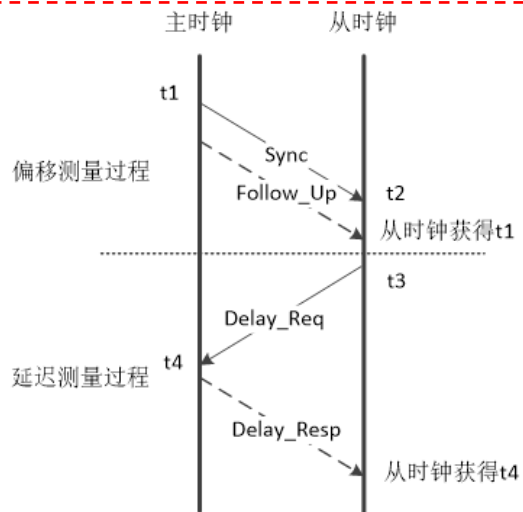
# TSN的关键技术

之江实验室

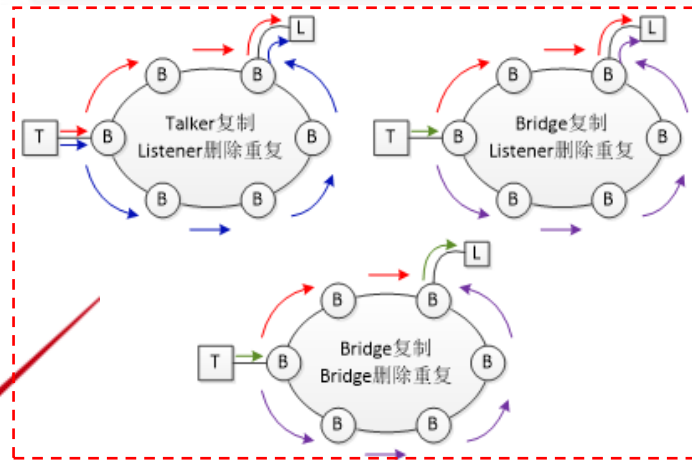


ZHEJIANG LAB

## 时间同步



## 高可靠性



### TSN Components

Synchronization

Reliability

Latency

Resource Mgmt

#### Time sync:

Timing and Sync (802.1AS)  
includes a profile of IEEE 1588

#### Ultra reliability:

Frame Repl & Elim (802.1CB)  
Path Control (802.1Qca)  
Per-Stream Filtering (802.1Qci)  
Time sync (P802.1AS-Rev)

#### Bounded low latency:

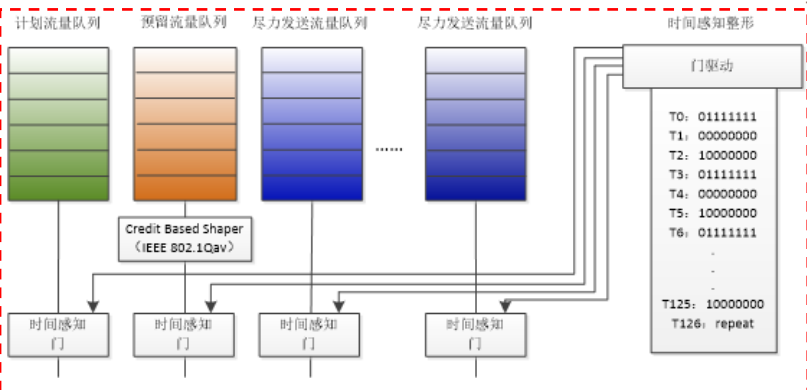
Credit Based Shaper (802.1Qav)  
Preemption (802.3br & 802.1Qbu)  
Scheduled Traffic (802.1Qbv)  
Cyclic Q-ing & Fwd (802.1Qch)  
Async Shaping (P802.1Qcr)

#### Dedicated resources & API

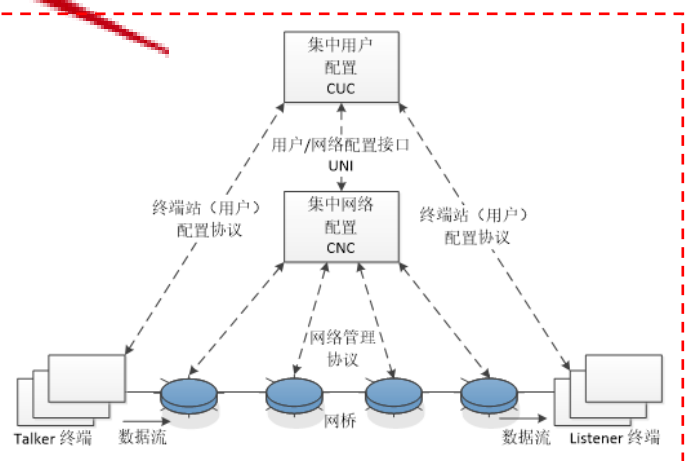
Stream Resv Prot (802.1Qat)  
TSN configuration (P802.1Qcc)  
YANG (P802.1Qcp, etc.)  
Link-local Resv Prot (P802.1CS)

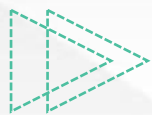
Zero congestion loss

## 低时延抖动



## 资源管理





# TSN的标准和联盟生态

之江实验室



ZHEJIANG LAB

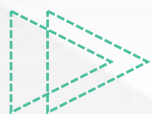
- IEEE 802: TSN技术标准, 9个标准已正式发布, 18个标准正在制定 (2019.09)
- IEC和IEEE联合组: 旨在定义工业自动化领域的TSN配置和应用标准(IEC/IEEE 60802)
- IIC: TSN测试床, B&R、Rexroth、Schneider、GE、TTTech、KUKA、Cisco等均参与了TSN的互操作测试
- Avnu: 推动创建可互操作TSN生态系统、认证和使用开放标准
- CCSA: 制订工业互联网网络互联的关键技术、设备及组网等, 超过8个标准立项
- AII: 时间敏感网络(TSN)产业发展报告——网络设备互通测试报告 (2019.03)



中国通信标准化协会  
China Communications Standards Association



工业互联网产业联盟  
Alliance of Industrial Internet



# TSN的产业界生态

之江实验室



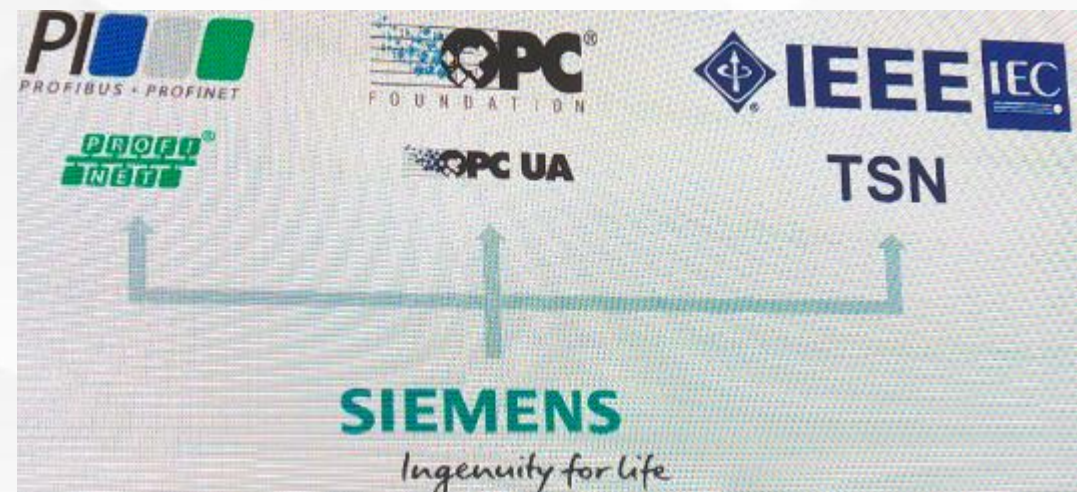
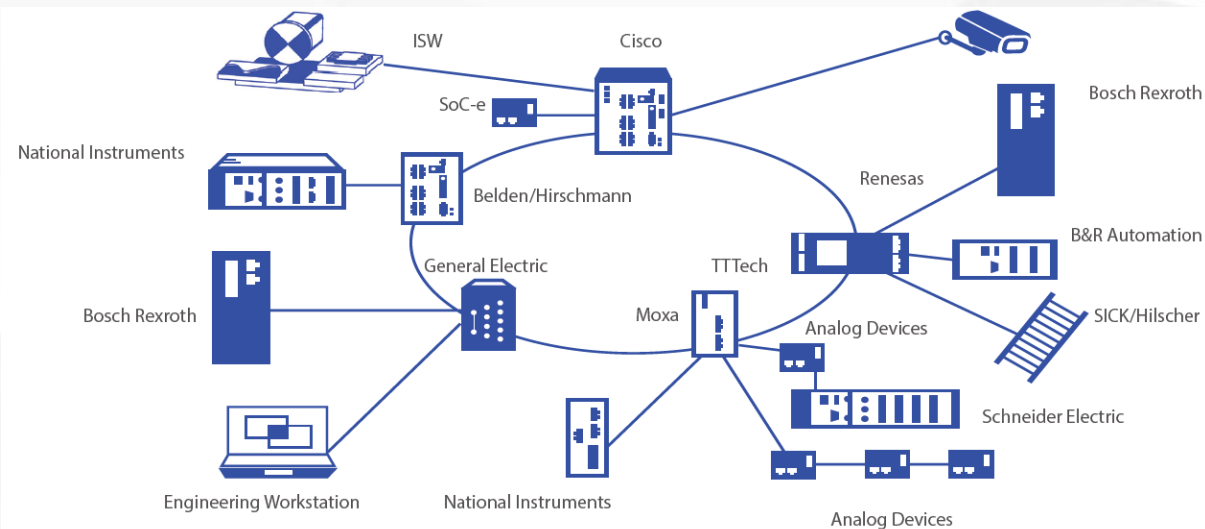
ZHEJIANG LAB

□ 交换机：Cisco、华为、MOXA、NI、控创.....

□ FPGA：Intel、Xilinx.....

□ 交换芯片：Broadcom、Marvell.....

□ 仪表：Spirent、Keysight(Ixia).....







# TSN的主要优势



- 标准以太网速率、
- 全双工通信
- >Gbps/10Gbps

高带宽

- 采用商业成熟芯片
- 降低成本

成本低

TSN

低时延抖动

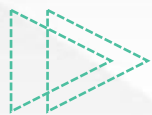
- 时间同步精度 $<1\mu\text{s}$
- 单节点时延 $<50\mu\text{s}$
- 抖动正负 $<5\mu\text{s}$

互操作性

- 标准化以太网组件提高易用性
- 标准YANG模型

高可靠性

- 时间同步冗余
- 帧复制传送和消除
- 路径冗余



# TSN的应用前景

之江实验室



ZHEJIANG LAB

## 专业音频领域

最大限度的提供高实时性和低延时的音视频传输保证音频和视频之间的同步，避免发生视频帧丢失、音频不同步的情况。

## 汽车控制领域

系统采用低延时且具有实时传输机制的TSN进行统一管理，降低网络功能的成本及复杂性。

# TSN

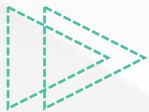
## 工业互联网

支持IT和OT融合，对工业设备进行实时监控和实时反馈，增加网络的兼容性，能够有效的改善互联效率。

## 5G领域

采用TSN技术能够有效的降低承载网络上的缓存时延，保证5G URLLC网络的低延时可靠性。





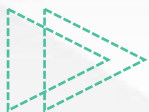
# 目 录

之江实验室



ZHEJIANG LAB

- 工业以太网发展现状
- TSN的主要对比优势
- TSN在工业网络的应用探析

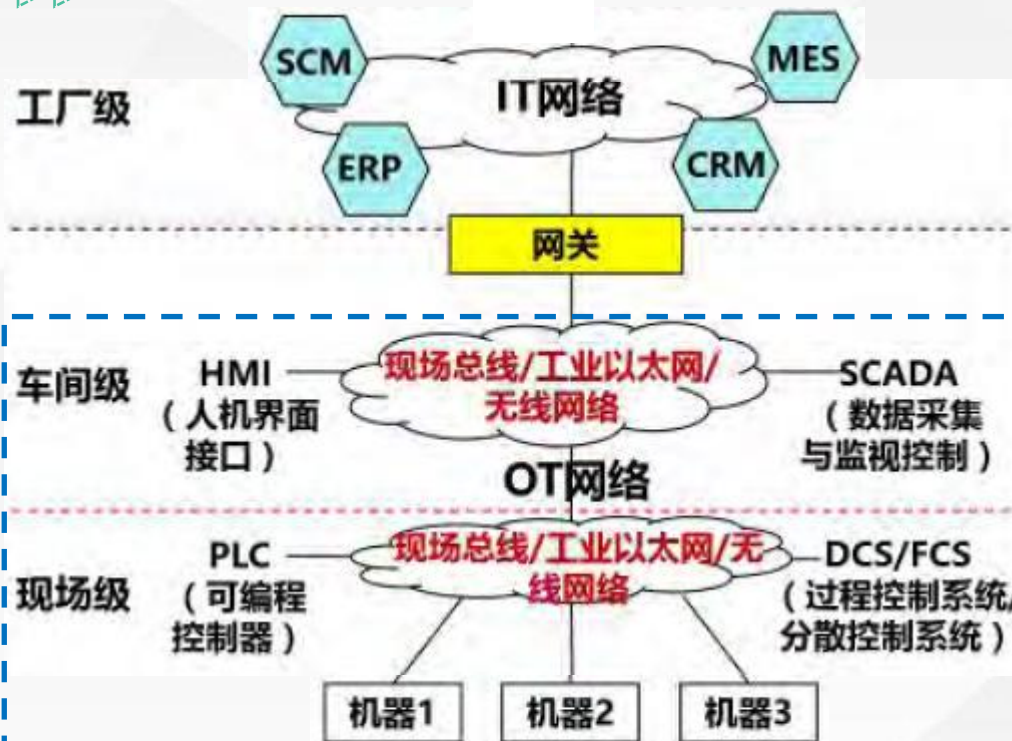


# 工厂内OT网络的扁平化

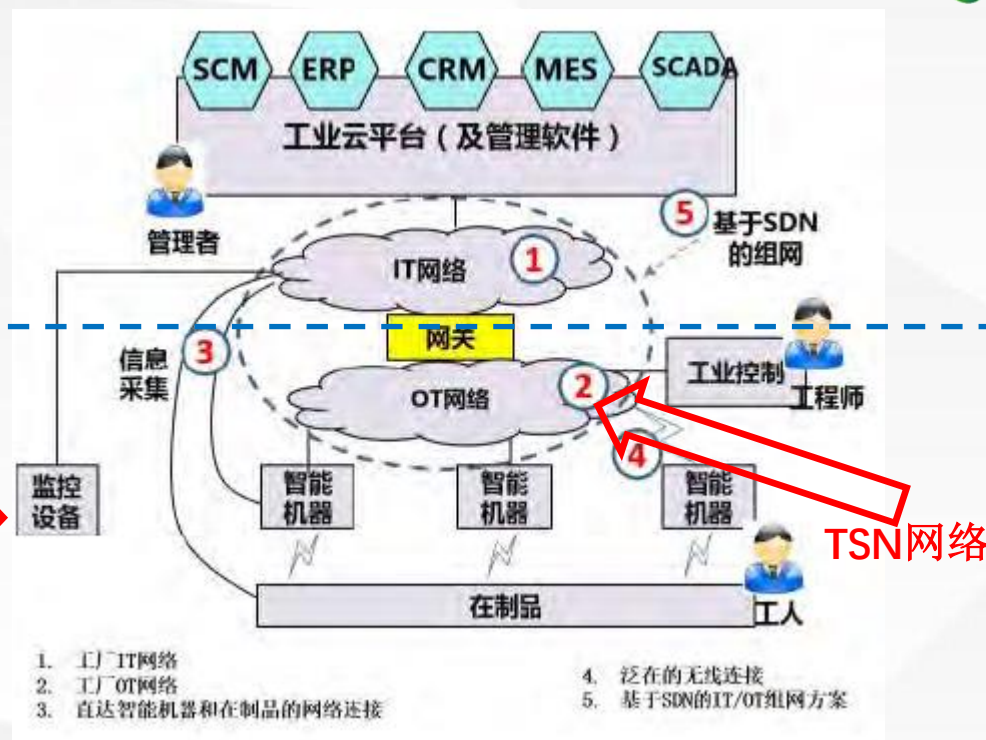
之江实验室



ZHEJIANG LAB

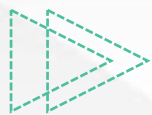


工厂网络连接现状



工厂内部网络目标架构

- 为适应智能制造，工厂内网呈现扁平化、IP化和灵活组网的发展趋势
- OT系统逐渐打破车间级、现场级分层次组网模式，智能机器之间将逐渐实现直接的横向互联
- 工业以太网逐步代替现场总线，TSN有助于实现“e网到底”
- 技术趋势：PROFINET(v2.4)@TSN、POWERLINK@TSN、EtherCAT@TSN.....

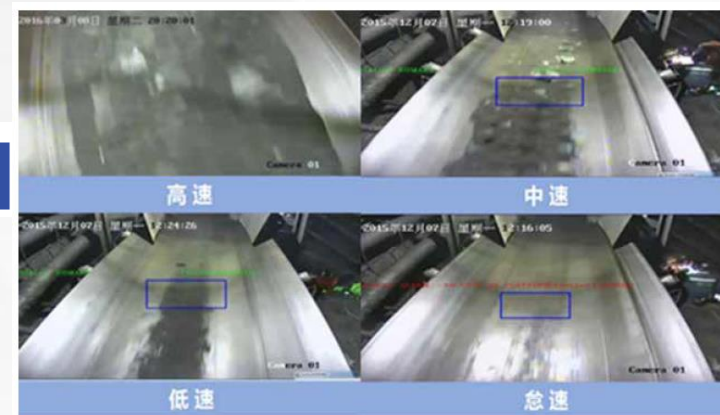


# 控制信息和过程数据共网传输

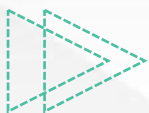
之江实验室



ZHEJIANG LAB



- 传统工业网络依附于控制系统，实现控制闭环信息传输，控制网和数据网分离
- 视频监控采集和控制系统要求融合，如矿山监控系统
- **TSN实现高实时控制流和高带宽视频过程流的共网传输**
- 典型应用：视觉图像分析、生产大数据采集、异常监测告警.....

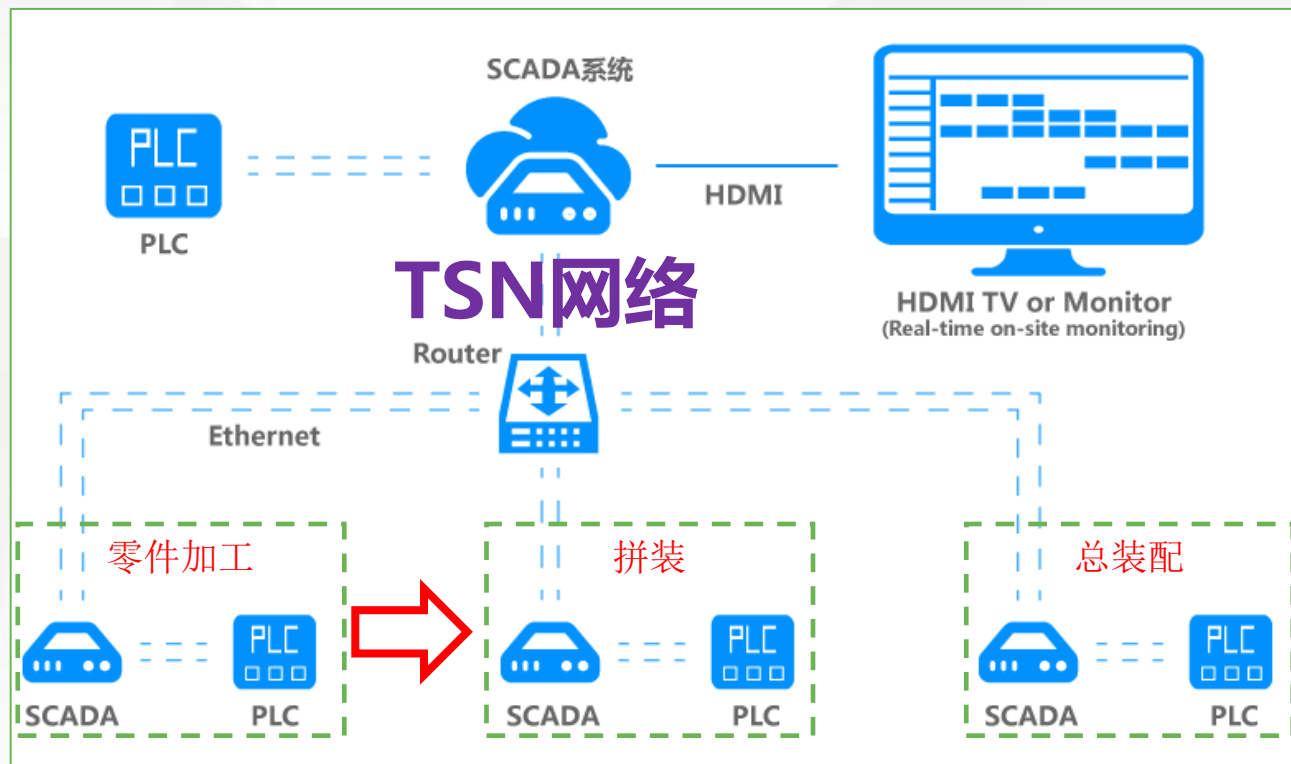


# 高实时调度和自动化生产系统

之江实验室



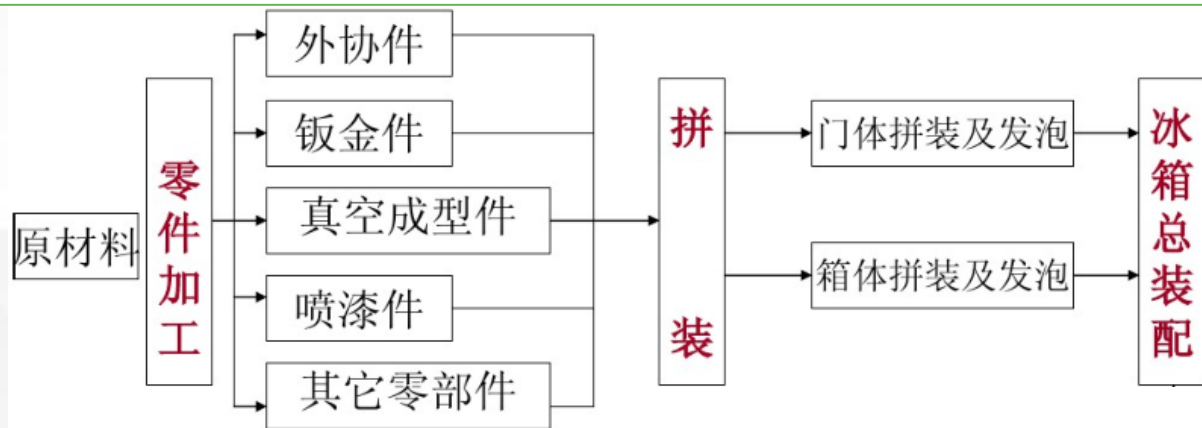
ZHEJIANG LAB



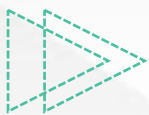
□ 旧生产线改造，如冰箱的零件加工、拼装、总装配生产等在不同车间，需要同步协同

□ TSN网络支持PLC、SCADA、实时数据库等通信，提供全厂网间高精度时间同步、高可靠性

□ 生产提效：例如原来12-18秒/台，每快1秒提效>6%







# 之江实验室的时间敏感网络项目布局

之江实验室



ZHEJIANG LAB

- **工业互联网系统体系框架**：利用态势感知的智能分析能力，“云、网、端”协同联动，构建高实时、高安全平台体系。
- **项目布局**：**TSN交换机**、**TSN网关**、**TSN PLC**、新一代工业控制系统信息安全大型科学装置（含**TSN网络系统**）



# TSN在工业网络通信中的应用探析

谢谢!

之江实验室



ZHEJIANG LAB