

中关村工业互联网产业联盟 团体标准

Zhongguancun industrial Internet Industry
Alliance
Group standard

时间敏感网络设备时间同步的技术要求

Technical Requirement for TSN Technology Devices Time
Synchronization

2021-07-01 发布

2021-07-01 实施

中关村工业互联网产业联盟 发布

目 次

_Toc73368222

前言	1
引言	2
1 术语与定义	3
1.1 定义	3
1.2 IEEE802 术语	4
2 工业自动化中的 TSN	5
2.1 互操作性	6
2.2 TSN 域	7
2.3 同步	11

前 言

本标准分为2个部分：

- 术语与定义
- 工业自动化中的TSN

本标准起草单位：北京东土科技股份有限公司、北京物芯科技有限责任公司、北京星网锐捷网络技术有限公司

本标准主要起草人：黄易、邵枝晖、姚辉

本标准为首次发布。

引 言

本标准描述了用于工业自动化的用例，这些用例应该在IEC/IEEE 60802联合标准项目中涵盖，以此来指定用于工业自动化的TSN（时间敏感网络）行规（TSN-IA）。

时间敏感网络设备时间同步的技术要求

1 术语与定义

1.1 定义

重构：

系统结构的、或者设备级内容的任何内部修改，包括任何类型的升级。参见 IEC61158 - 类型 10，动态重构；PI/PNO 提供的文档：高可用性指南。

（过程）扰动：

过程/机器的任何失灵或停顿，紧随其后的是生产损失或者是不可接受的生产质量的降级。参见：IEC61158 - 失效。参见：ODVA 非计划宕机。PI/PNO 提供的文档：诊断指导原则。

工厂（单元）/机器的运行状态：

工厂（单元）/机器的功能和生产的正常状态。

工厂（单元）/机器的维护状态：

有计划的挂起或部分挂起工厂（单元）/机器的功能的正常状态。

工厂（单元）/机器的停止状态：

工厂（单元）/机器的完全非生产模式。

趋同网络概念：

所有的局域网设备（有线的或无线的）能够通过公共基础设施交换数据，并具有定义的 QoS 参数。

设备：

终端工作站，桥接终端工作站，桥，访问点。

DCS：

分布式控制系统。

传输选择算法：

用于通信选择的一组算法，包括严格的优先级，基于信用的整形器与增强传输选择。

抢占：

可被抢占的帧的传输挂起以允许在可被抢占帧传输恢复之前允许一个或多个快速帧被传输。

调度通信的增强:

桥或终端工作站支持允许相对已知的时间尺度从每个队列被调度的传输增强。

时间敏感流:

从单个源工作站到一个或多个目标工作站的通信流,该通信对于实时传送敏感,实际上要求传输延时有界。

TSN 域:

一些公共管理的工业自动化设备;一组设备,它们的端口连接单独的使用 TSN 标准传输时间敏感流的局域网,该标准包括传输选择算法,抢占,时间同步,调度通信的增强,并且它们共享公共的管理机制。将这些设备成组化是管理的决定。

统一时间域:

用来同步统一时间的 gPTP 域。

工作时钟域:

用来同步工作时钟的 gPTP 域。

等时同步域:

具有公共设置等时同步周期实时通信类型的公共工作时钟域的工作站。

周期实时域:

具有公共设置周期实时通信类型的工作站,即使在不同的工作时钟域或者同步到本地时间尺度的。

网络周期:

包括安全边界的传输时间与包括安全边界的应用时间;对于一个 TSN 域值是特定的并且指定属于该 TSN 域的网络接口的重复行为。

绿地:

用于本标准的上下文:绿地指的是 TSN-IA 行规一致性设备,而不考虑是“旧”或“新”。

棕地:

用于本标准的上下文:棕地指的是与 TSN-IA 行规不一致的设备,而不考虑是“旧”或“新”。

流转发:

沿着流路径包括跨 TSN 域边界的流数据转发。

1.2 IEEE802 术语

优先级再生:

见 IEEE 802.1Q-2018 的 6.9.4 节,再生优先级。

入口速率限制：

见 IEEE 802.1Q-2018 的 8.6.5 节，流量分类与计量。

2 工业自动化中的 TSN

“信息-物理系统 (Cyber-Physical System, CPS)” 一词还没有一个公认的定义。Edward A. Lee [1] 在一份报告中将 CPS 描述如下：“信息物理系统 (CPS) 是计算与物理过程的集成。嵌入式计算机和网络通信对物理过程进行监控和控制，通常物理过程通过反馈回路影响计算，反之亦然。”

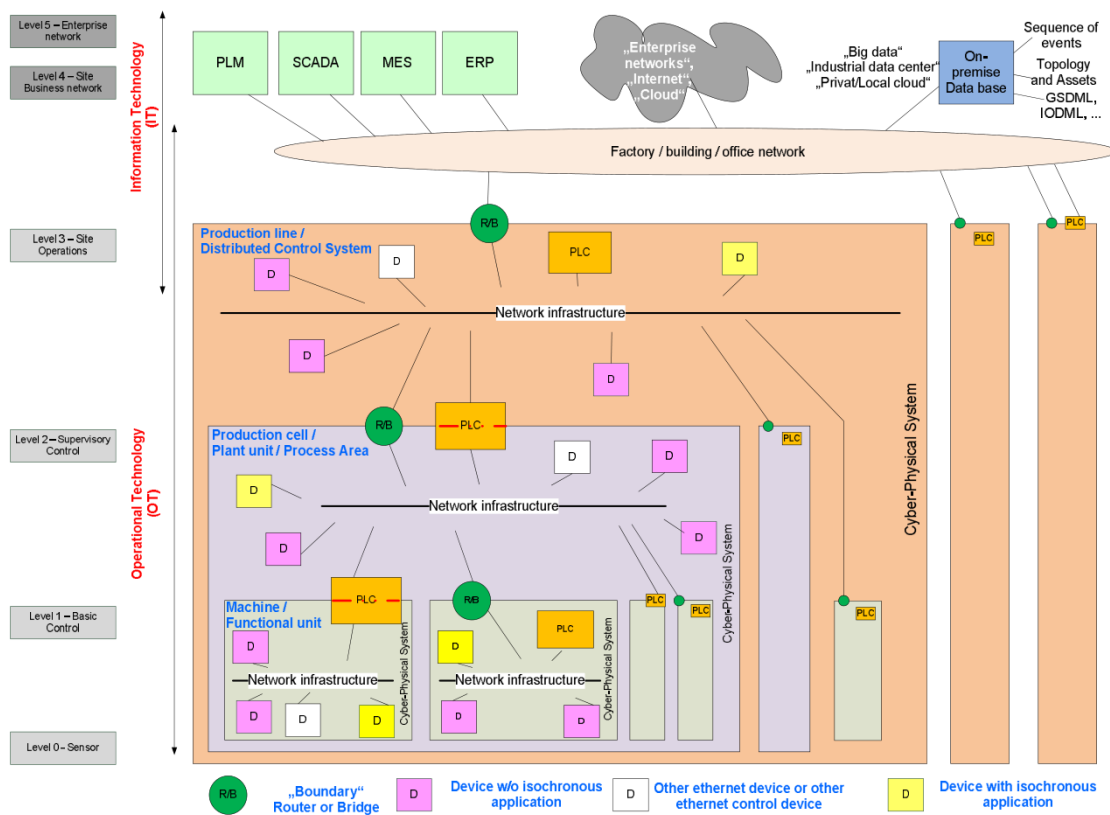


图 1 — 工业自动化的层次结构

信息物理系统是“智能工厂”和工业 4.0 的基石，IEEE 802 LAN 技术提供了操作技术控制层通过趋同网络连接到时间关键型工业应用的机制（例如 TSN 功能）。

具有 TSN 功能的 IEEE 802 LAN 可以被用于工业自动化：

- 信息物理系统 (CPS) 内部的实时通信
- 信息物理系统之间的实时通信

一个信息物理系统 (CPS) 包括：

- 控制设备（通常为 1 台 PLC）
- I/O 设备（传感器，执行器）
- 驱动器
- 人机界面（HMI）
- 上层接口：
 - ◇ PLC(作为网关)
 - ◇ 路由器
 - ◇ 网桥
- 其他以太网设备：
 - ◇ 服务器或任何其他计算机，可以是实体机或虚拟机
 - ◇ 诊断设备
 - ◇ 网络连接设备

2.1 互操作性

互操作性可以在不同的层次上实现。图 2 和图 3 显示了需要覆盖的三个区域：

- 网络配置（根据 IEEE 定义的管理对象）
- 流配置和建立
- 应用配置

三个区域间是相互影响的（如图 2 所示）。

应用配置不被期望成为行规的一部分，但其他两个区域是行规的一部分。

TSN-IA 行规做出的选择涵盖了 IEEE 802 定义的第 2 层和用来配置第 2 层的选定协议。

应用也使用上层，但是这些超出了行规的范围。

流建立是由应用初始化的，用于允许应用之间的数据交换。应用请求资源，通过网络配置、流配置和建立来得以实现。

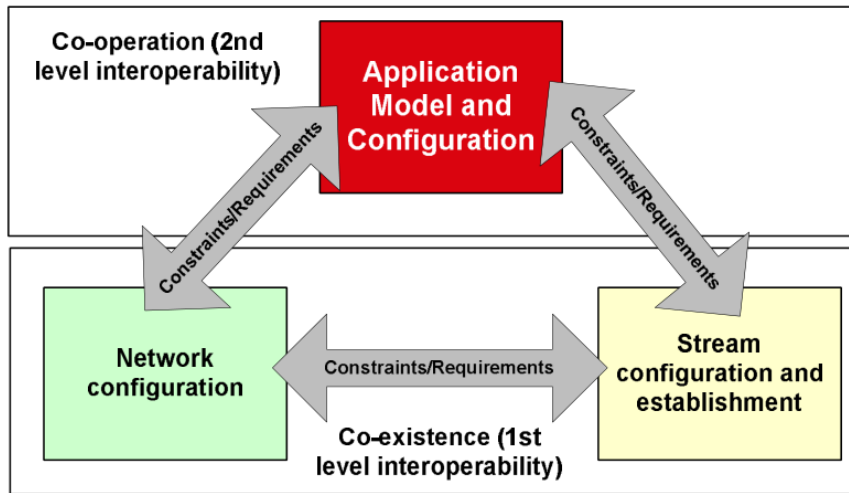


图 2 — 互操作原理

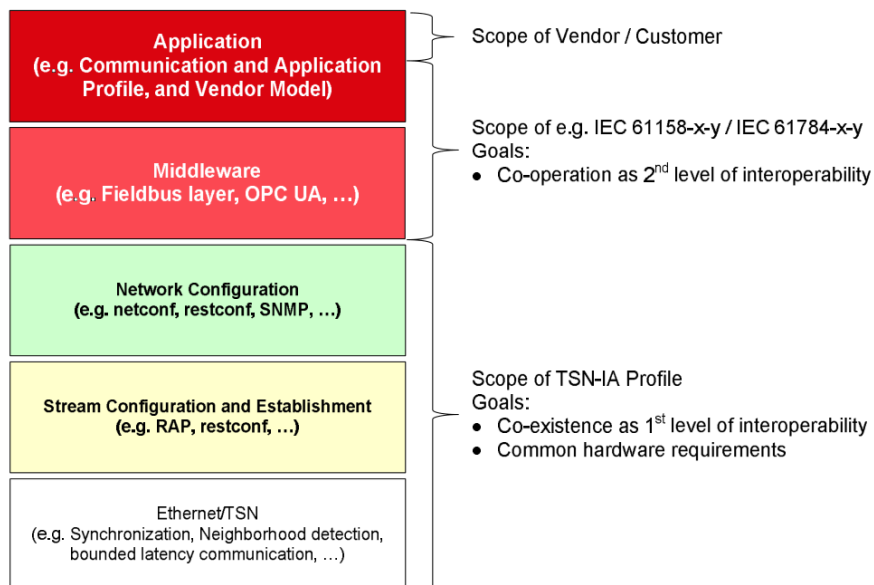


图 3 — 工作范围

2.2 TSN 域

2.2.1 通用

TSN 域被定义为一定数量的通常可被管理的工业自动化设备；成组这些设备是管理的决定。

TSN 域特性：

- 一个或多个 TSN 域可以存在于单个第 2 层广播域中
- 一个 TSN 域可以不被多个第 2 层广播域共享

- 多个 TSN 域可以共享一个公共的统一时间域
- 两个相邻的 TSN 域可以实现相同的请求，但保持分离
- 多个 TSN 域通常在一个网桥中实现（参见 2.2.2.2）
- 多个 TSN 域通常在一台路由器上实现（参见 2.2.2.3）
- 多个 TSN 域通常在一个网关中实现（参见 2.2.2.4）

典型的机器/功能单元（见图 1）被当作单独的 TSN 域。生产单元和生产线也可以设置为 TSN 域。设备可以并行地成为多个 TSN 域的成员。

图 4 显示了在公共广播域和公共统一时间域内的两个示例 TSN 域。TSN 域 1 是一个纯周期实时域，而 TSN 域 2 另外还包括了三个重叠的等时同步域。

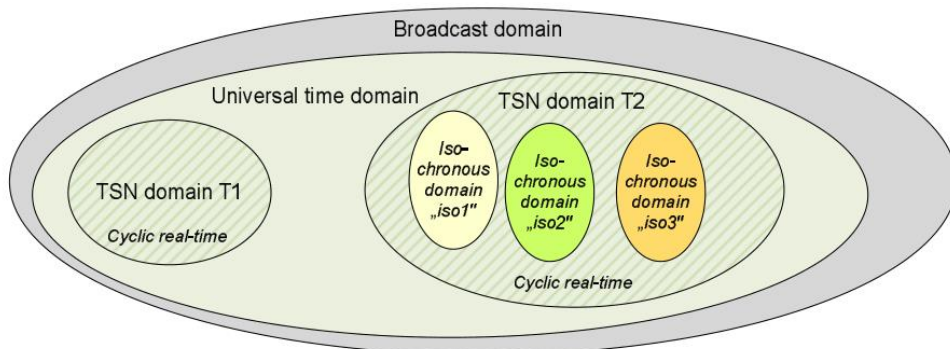


图 4 — 不同类型的域

TSN 域之间的互联在 2.2.2 和 2.6.1 中进行描述。

2.2.2 TSN 域的互联

2.2.2.1 通用

TSN 域可以通过以下方式进行连接：

- 桥接（2 层）
- 路由（3 层）
- 应用网关（7 层）

无线接入点或 5G 基站也可以用来连接 TSN 域。

2.2.2.2 桥接（2 层）

当一个网桥是多个 TSN 域的成员时，一个网桥端口只能是一个 TSN 域的成员。

图 5 给出了一个包含两个网桥的例子，每个网桥分别是两个 TSN 域的成员。网桥 B1 在 TSN 域生产单元 1 和 TSN 域机器 1 之间提供端口和连接，网桥 B2 为生产线 1 和生产单元 1 提供端口和连接。

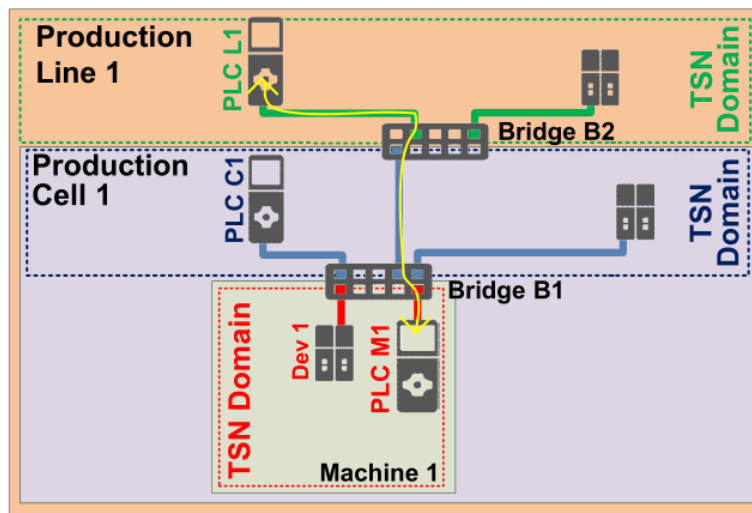


图 5 — 由网桥连接的三个 TSN 域

为了支持多个 TSN 域之间的连接（例如，PLC L1 与 PLC M1），需要指定一种在多 TSN 域上预留时间敏感流的方法，包括：

- 找到通信伙伴
- 标识参与的 TSN 域
- 标识独立于配置模型（集中式，混合式，全分布式）的参与的管理实体
- 确保所需要的资源
- 如果需要，参数化 TSN 域连接点以此来允许流转发

2.2.2.3 路由（3 层）

与路由器一起，可以构建内部联网和互联网。然而，在本规范中，只涉及内部联网用例。

当路由器是多个 TSN 域的成员时，一个路由器的接口/端口只能是一个 TSN 域的成员。图 6 给出了一个包含两台路由器的示例，每台路由器都分别是两个 TSN 域的成员。路由器 R1 在 TSN 域生产单元 1 和 TSN 域机器 1 中提供端口和连接，路由器 R2 为生产线 1 和生产单元 1 提供端口和连接。

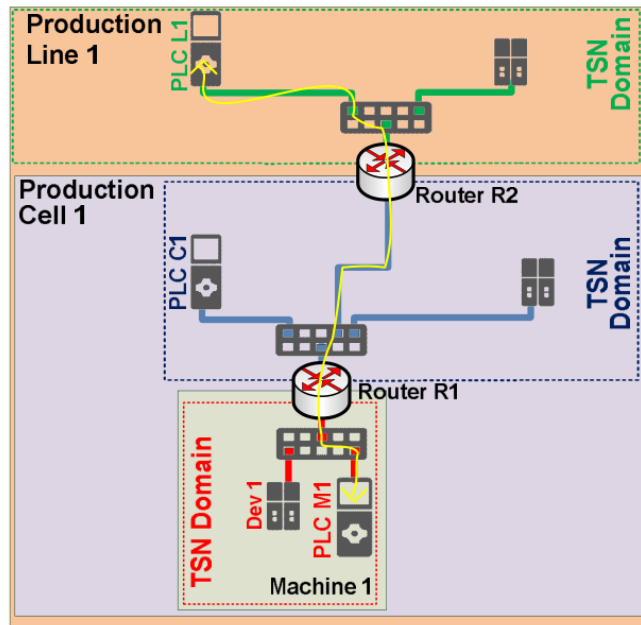


图 6 — 由路由连接的三个 TSN 域

为了支持多个 TSN 域之间的连接（例如，PLC L1 与 PLC M1），需要指定一种在多 TSN 域上预留时间敏感流的方法，包括：

- 找到通信的伙伴
- 标识参与的 TSN 域
- 标识独立于配置模式（集中式，混合式，完全分布式）的参与的管理实体
- 确保所需要的资源
- 如果需要，参数化 TSN 域连接点以此来允许流转发

2.2.2.4 应用网关（7 层）

当一个应用网关是多个 TSN 域的成员时，一个网关的接口/端口只能是一个 TSN 域的成员。

图 7 给出了一个包含两个应用网关的例子：

- 网关 CM1 是 TSN 域生产单元 1 和机器 1 的成员
- 网关 CF1 是 TSN 域生产单元 1 和现场总线 1 的成员

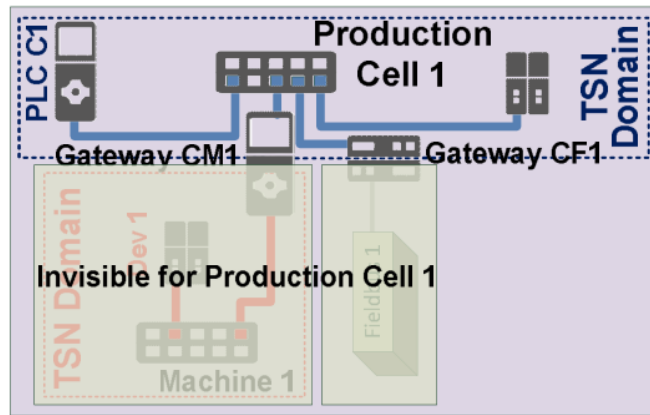


图 7 — 由网关连接的两个 TSN 域与接入的现场总线

应用层网关不提供不同 TSN 域设备之间的直接访问，而是作为 TSN 域出口和入口通信的终端。

可以在应用层网关中实现控制和数据的专用转换应用以访问相邻的 TSN 域，从而实现 TSN 域互连。这种转换可能涉及数据和控制的缓冲、收集与重排。因此，应用层网关将 TSN 域解耦，以至于相邻 TSN 域的内部结构和配置是分别不可见的。

应用层网关还将用于基于非以太网或以太网的现场总线连接到 TSN 域（请参见图 7 中的网关 CF1，另请参见用例 11：现场总线网关）。

2.3 同步

2.3.1 通用

工业自动化系统必须要同时包括统一时间（挂钟）和工作时钟的同步。

用于统一时间同步的冗余可以通过“冷备份”来解决。当前的做法尚不支持为统一时间同步提供“热备份”功能 – 但可以根据应用程序要求选择是否支持。

工作时钟同步的冗余可以根据应用要求使用“冷备份”或“热备份”来解决。当前的做法是支持“热备份”用于工作时钟同步。

有关冗余切换场景的更多详细信息，请参见：

<http://www.ieee802.org/1/files/public/docs2018/60802-SteindlTimelinessUseCases-0718-v01.pdf>.

2.3.2 统一时间同步

统一时间用于工厂范围内对准的事件和动作（例如，“事件序列”）。分配的时标为 TAI，如有必要，可以将其转换为本地日期和时间。图 8 显示了时间同步的原理结构，其目标是建立一个全球范围内对

准的时间的时标。因此，通常将卫星用作时间源。

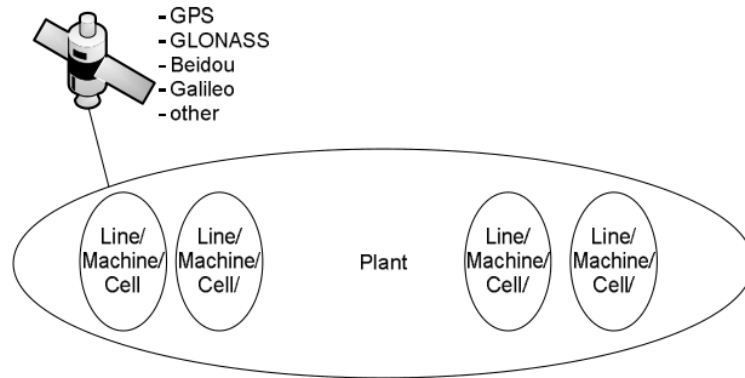


图 8 — 工厂范围的时间同步

注：“全球时间”或“挂钟”常常被用作“统一时间”的同义词。

2.3.3 工作时钟同步

工作时钟用于在生产线、生产单元或机器范围内对准动作。指定的时标是任意的。机器人、运动控制、数控和任何种类的定时/等时同步同步应用都依赖于这个时标，以确保必须精确地交织动作。图 9 显示了工作时钟同步的主要结构，目标是建立一个生产线/生产单元/机器范围的对准时标。因此，通常使用 PLC、运动控制器或数控系统作为工作时钟源。

如果多个 PLC、运动控制器或数控系统需要共享一个工作时钟时标 (例如，用于调度通信)，则应使用一个全时活动站作为工作时钟源，也被称为主时钟。

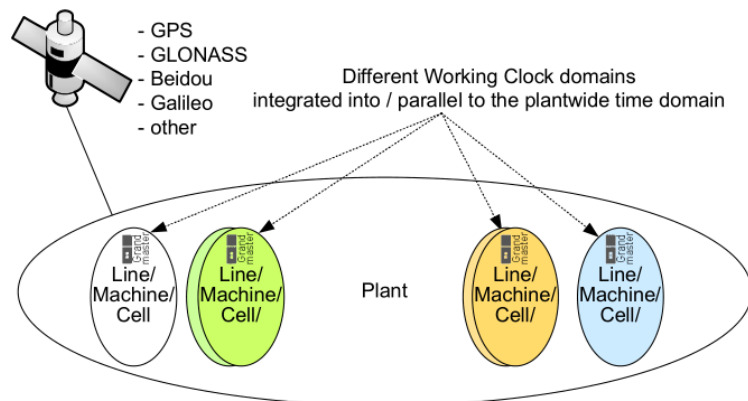


图 9 — 产线/单元/机器范围的工作时钟同步与通用时间域的重叠

工作时钟域可以备份以支持同步的零失效备援时间。

高精度工作时钟同步是实现低延迟控制回路的先决条件（见 2.4.2）。

要求：

- 高精度的工作时钟同步
- 与主时钟时间的最大偏差范围为 100 ns 至 1 μ s
- 支持冗余同步主时钟和域
- 在冗余工作时钟域的情况下，失效备援时间为零

使用的 802.1 机制：

- IEEE 802.1AS-Rev

2.3.4 用例 01：事件序列

事件序列（SOE）是一种在一个公共数据库（图 1 中的内置数据库）中记录整个工厂内的时间戳事件的机制。

应用定义事件，如数字输入信号值的变化。附加数据可以与事件一起提供，例如，统一时间同步状态和主时钟、工作时钟域和值……

SOE 支持在多个事件发生后对失常进行根本原因分析，因此 SOE 可用作诊断机制，以最小化工厂停机时间。

全厂范围内精确同步时间（见图 8）是有效 SOE 应用的先决条件。

SOE 支持可能甚至是被法规要求的，例如：发电应用。

要求：

- 全厂范围的高精度统一时间同步
- 与主时钟时间的最大偏差范围为 1 μ s 至 100 μ s
- 可选的支持冗余同步主时钟和域
- 在冗余统一时间域的情况下，失效备援时间为非零

使用的 802.1 机制：

- IEEE 802.1AS-Rev