

EtherCAT 과 TSN –

산업용 이더넷 시스템 아키텍처 모범 사례

저자

Dr. Karl Weber, EtherCAT Technology Group

개요

이더넷과 결합된 IEEE 802.1Q 표준이 사무용 네트워크에 적합한 반면, EtherCAT 은 필드 버스 기술 영역에서 지배적인 솔루션이다. 새롭게 등장한 Time Sensitive Networking (TSN) 표준은 IEEE 802 네트워크에서 실시간 기능을 제공한다. 머신 수준에서 EtherCAT 을 사용하고 스위치와 머신을 상호 연결하면 최첨단 산업용 이더넷 네트워크 구조가 구현된다. 그러나 일부 복잡한 시스템에서는 여전히 향상된 내부 통신 인프라가 필요하다. EtherCAT 세그먼트를 TSN 네트워크에 통합하면 EtherCAT 슬레이브를 변경하지 않고 두 기술의 이점을 결합 할 수 있다. 적용은 마스터 측에서 간단하게 업그레이드하고 EtherCAT 세그먼트를 연결하는 스위치 측면에서 적절한 확장을 요구한다.

목차

I. 목적.....	2
II . EtherCAT 과 TSN –산업용 이더넷 시스템 아키텍처 모범 사례.....	3
1. TSN 이해	3
TSN 작업그룹.....	3
TSN 표준.....	3
2. IEEE 802 네트워크와 결합된 EtherCAT	5
작동원리	7
3. EtherCAT 과 TSN: 완벽한 조화	8



I. 목적

TSN (Time Sensitive Networking)은 작업 그룹이 설립 된 이후 엔지니어링 업계에서 잘 알려진 약어이다. TSN 작업 그룹의 헌장은 IEEE 802 네트워크를 통해 결정론적 서비스를 제공하는 것이다. TSN 은 산업 시설에서 사무실 건물에 이르기까지 다양한 애플리케이션에 사용할 수 있는 기술이다. 초기 TSN 설계는 수많은 엔드 스테이션이 있는 시스템에서 대량의 데이터를 포함한 오디오 / 비디오 (A / V) 스트리밍에 사용하기 위한 것이었다. TSN 은 새로운 스트리밍 개념의 도입을 통해 IEEE802 최적의 네트워킹 모델을 확장했다. 이 개념은 스트림의 실시간 기능을 개선하는 기능 집합을 지원한다.



II . EtherCAT 과 TSN –산업용 이더넷 시스템 아키텍처 모범 사례

1. TSN 이해

TSN 작업그룹

TSN 작업 그룹은 브리지 된 네트워크를 담당하는 IEEE 802.1 작업 그룹의 일부이다. 브리징은 표준 활동에서 사용되는 용어이지만 더 일반적인 용어는 스위칭이다. TSN 은 정체로 인한 손실 없이 IEEE 802 네트워크에서 트래픽의 일부에 대한 프레임 전송 대기 시간을 개선시킨다.

이는 스위칭 세계의 변화를 의미한다. 그러나 이더넷 네트워크의 기본 단점은 변경되지 않는다. 예를 들어, 엔드 노드 당 데이터 양이 적을 때 효율성이 떨어지는 것은 물론 유연하지만 시간이 오래 걸리고 복잡한 전달 절차가 필요하다.

TSN 에서 브리지를 통한 종단 스테이션 간의 통신은 "streams"에 의해 수행된다. IEEE 802.1 표준은 스트림 발신자에 대해 "talker"라는 용어를 사용하고, 스트림 수신자에 대해서는 "Listener"를 사용한다. 스트림은 "talker"에서 하나 이상의 "Listener"으로의 단 방향의 데이터 흐름이다. 스트림은 IEEE 802.1 네트워크에서 동작하기 위해 스트림 식별을 필요로 한다. 목적지 MAC 주소와 이더넷 프레임의 VLAN 식별은 이러한 목적으로 사용될 수 있다.

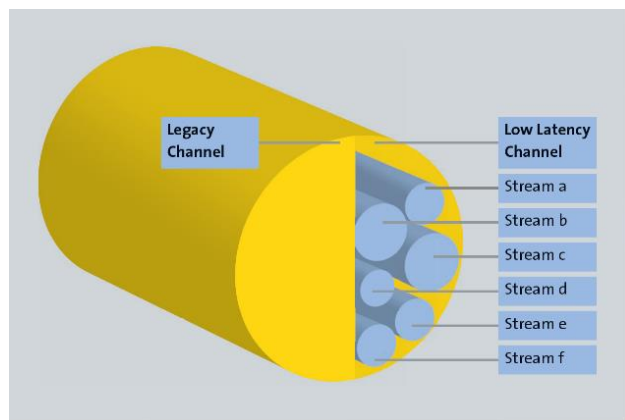


Figure 1. Streams are reserved communication channels within an Ethernet channel`

TSN 표준

TSN 작업 그룹은 향상된 산업용 이더넷 솔루션과 관련된 몇 가지 표준화 프로젝트를 시작했다. 이 프로젝트에는 다음이 포함된다. :

- **향상된 동기화 동작 (IEEE 802.1AS-REV)**

IEEE 802.1AS 의 이전 버전은 이미 IEEE 1588 표준을 기반으로 하는 분산 클럭의 타이밍을 위한 동기화 프로토콜을 지정했다. 이것은 표준 이더넷 환경으로의 통합을 촉진했지만 결국 다른 1588 이더넷 프로파일과의 호환성을 상실하였다. 새로운 버전은 1 단계 투명한 클럭의 수용된 기능을 통합 할 것이다. 현재 개선을 위한 주요 영역은 오류에 대한 대응이다. 새로운 버전은 엔드 스테이션의 다른 시간 도메인을 처리 할 수 있다.



- **프레임 선점 (IEEE 802.1Qbu)**

시간이 중요한 결정적 메시지를 전송하는 주요 문제는 동일한 네트워크 세그먼트에서의 레거시 트래픽인데, 개별 프레임은 1500 바이트를 초과할 수 있다. 프레임 인터럽트 메커니즘은 긴 프레임 (이더넷 프로젝트 P802.3br 의 IEEE 작업 그룹 내에서 지정됨)으로 인한 지연을 줄인다. 궁극적으로, 이 메커니즘은 새로운 네트워크 구성 요소뿐만 아니라 엔드 스테이션의 새로운 이더넷 MAC 또는 네트워크 인터페이스 컨트롤러 (NIC)도 필요하다. 선점 지원에 이더넷 변경이 필요하기 때문이다.

- **예약된 트래픽의 향상된 기능 (IEEE 802.1Qbv and IEEE 802.1Qch)**

전송 작업의 시간 제어는 TSN 에서 중요한 역할을 한다. 물리적인 도로와 마찬가지로 정보 고속도로에서 교통 혼잡이 발생할 수 있으며, 우선 순위가 높은 실시간 데이터 및 선점이 있더라도 전송 시간에는 약간의 차이가 있을 수 있다. 시간에 민감한 스트림이 주기적으로 전송되기 때문에, 주기 통신이 시작되기 직전에 중요하지 않은 데이터를 차단하여 방해 받지 않는 통신을 수행 할 수 있다. 사이클 스케줄링 (IEEE 802.1Qch)은 각 주기 동안 시간이 중요한 메시지만 인접한 장치에 전달한다. 케이스 케이딩 단계가 낮은 경우에 유리하다. 또한 구현 중에 구성을 필요로 하지 않는다.

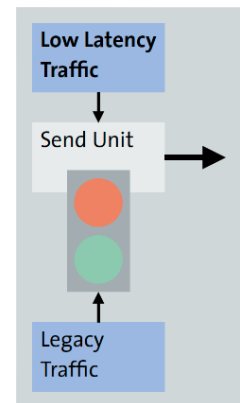


Figure 2. Blocking legacy traffic avoids interference with low latency traffic

- **완벽한 이중화 (IEEE 802.1CB)**

국제 표준은 끊임 없는 이중화를 위해 HSR (High-Availability Seamless Redundancy) 또는 PRP (Parallel Redundancy Protocol)와 같은 이미 지정된 프로토콜을 제공하지만 여전히 이중화를 위해 설계된 스테이션간 완벽한 데이터 교환이 필요하다. IEEE 802 네트워크의 끊임 없는 이중화는 개별 중요 데이터 스트림에만 적용된다. 따라서 관리 오버 헤드를 줄일 수 있다.

- **스트림 예약 개선 (IEEE 802.1Qcc)**

스트림 예약 프로토콜은 IEEE 802.1 (MSRP)에서 정의되었지만, 스케줄 된 트래픽에 대해서는 제한이 있다. IEEE 802.1Qcc 는 기존 예약 프로토콜의 확장으로 계획되었다. 그러나 기존 예약 프로토콜을 확장하는 것만으로 TSN 의 모든 확장 요구 사항을 충족하는 것이 가능하지는 않다는 것이 확실해졌다. 일정 수준의 성과를 달성하기 위해 초안 표준에서 다른 접근법이 제안된다. 이는 모든 경우에 최적화 된 성능을 제공하지는 않지만 보다 유연한 시스템을 허용하는 분산 모델에서 비롯되고, 더 최적화 된 시스템을 위해 런타임시 스트림 구성의 변경을 제한 할 수 있는 스트림의 중앙 집중식 구성으로 인해 상당히 높은 구성 노력이 필요하게 된다.

- **스트림 단위 필터링 및 정책 지정 (IEEE 802.1Qci)**

전문가들이 논의한 추가적인 측면은 제대로 작동하지 않는 노드의 영향을 제한하는 방법이다. 이를 위해 노드의 수신 측(입구)은 스트림 단위로 링크 트래픽을 모니터링 해야 한다. 사용된 대역 폭이 임계 값을 초과하면, 예를 들어, 프레임의 연기 또는 삭제를 위해 특정 작업이 수행된다.



- 산업 자동화용 TSN 프로파일 (Joint WG IEC/IEEE 60802)

이 산업 자동화 프로파일은 산업 자동화 네트워크를 구축하기 위해 브리지, 엔드 스테이션 및 LAN 을 위한 기능, 옵션, 구성, 기본값, 프로토콜 및 절차를 선택한다.

2. IEEE 802 네트워크와 결합된 EtherCAT

TSN 은 EtherCAT 과 같은 최적화 된 이더넷 필드 버스와 비교하는 것은 적절하지 않다. 왜냐하면 TSN 은 최선의 스위칭 기술의 원리에 대한 추가 기능이기 때문입니다. TSN 을 사용하면 IT 트래픽과 프로세스 데이터 교환을 중간 성능의 요구 사항과 결합 할 수 있다. 그러나 제어 시스템의 높은 대역폭 요구와 확장성은 EtherCAT 세그먼트와 함께

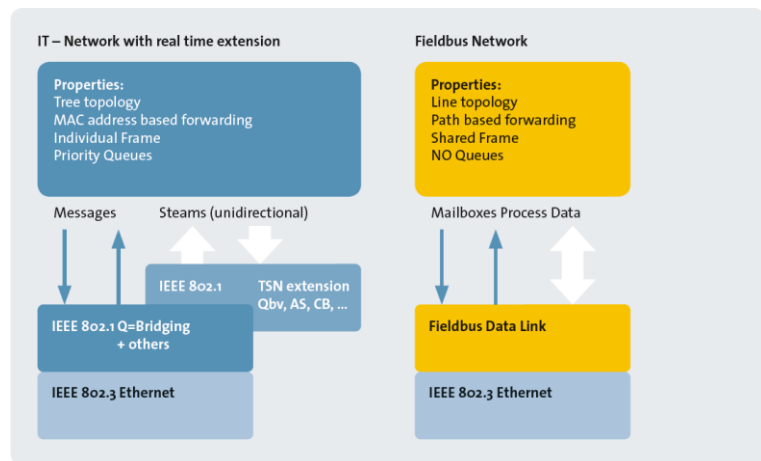


Figure 3. IT and fieldbus networks have quite a few different properties

복잡한 시스템에서 백본 기술로 TSN 을 사용할 수 있다.

I/O 레벨에서의 EtherCAT 과 TSN 의 구조와 성능은 전형적인 스위치 환경과는 상당히 다르다. 주 요소는 장치당 크기가 작은 실시간 데이터, 장치의 데이터 체인 연결 및 단일 마스터 제어 장치와 여러 개의 저가 필드 장치를 특정하는 슬레이브의 마스터-슬레이브 통신이다. 마스터와 슬레이브 세그먼트 사이에 네트워크 인프라를 추가하면, 물리적으로 분리된 네트워크가 논리적으로 분리 된 네트워크로 변환된다. 이는 더 높은 수준의 유연성을 가능하게 할 뿐만 아니라, 예측 가능한 프레임 손실 속도뿐만 아니라 보장된 지연을 유지한다.



EtherCAT 과 TSN - 산업용 이더넷 시스템 아키텍처 모범 사례

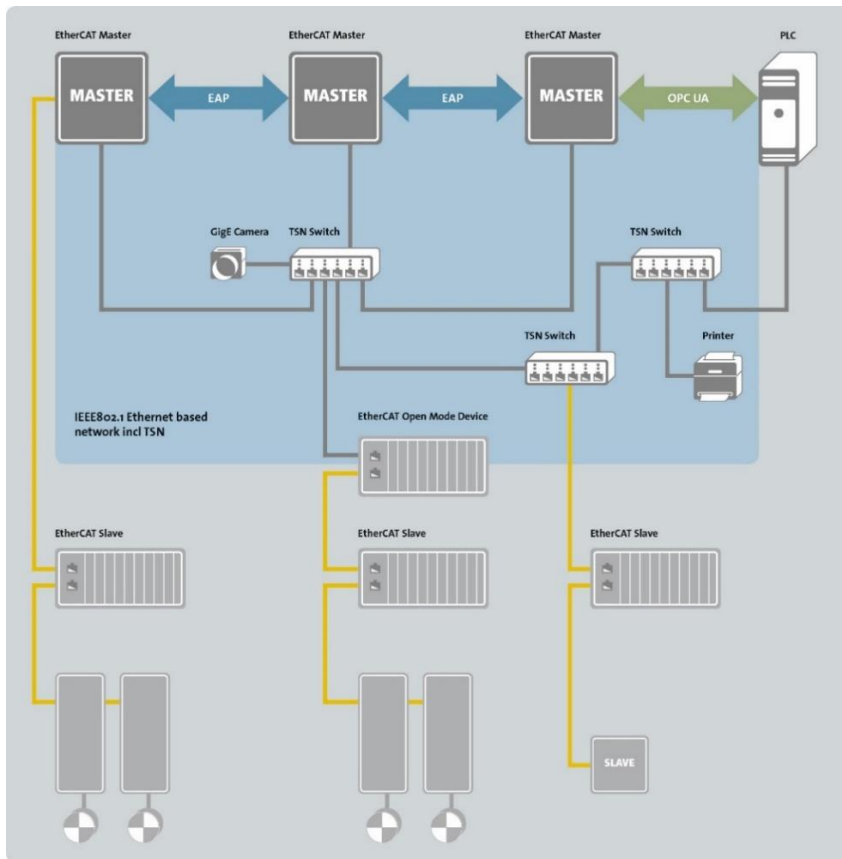


Figure 4. TSN enables the isolation of EtherCAT communication in a network



작동원리

EtherCAT-TSN 통합 접근 방식은 두 기술을 혼합하지는 않지만 두 기술을 모두 사용하고 각자의 이점을 활용할 수 있는 원활한 적응을 정의한다. EtherCAT 은 “talker”와 “listener” 사이에 일대일 관계가 있는 TSN 의 스트림 개념을 사용한다. 마스터와 EtherCAT 세그먼트 사이에 최소한 두 개의 스트림이

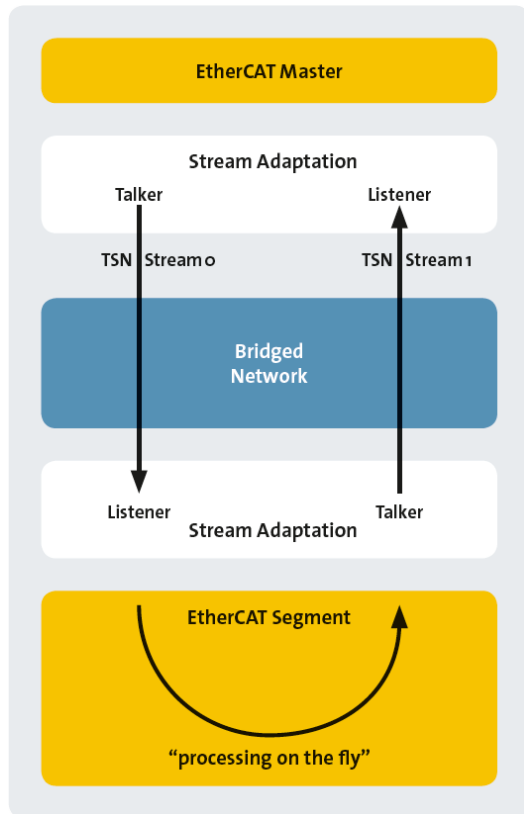


Figure 5. Stream adaptation and TSN provides a virtual Ethernet channel

설정되어 프로세스 데이터와 다른 중요한 정보 (마스터에서 슬레이브 세그먼트로 또는 그 반대로)를 교환한다. 서비스 데이터를 전송하기 위해 EtherCAT 슬레이브에서 또 다른 한 쌍의 스트림을 제어 목적으로 사용할 수 있다. 이러한 종류의 통신에는 서로 다른 트래픽 특성이 있을 수 있으며, 낮은 우선 순위 클래스에 배치 될 수 있다. 상태 모니터링을 위한 데이터 수집과 같은 더 많은 통신 요구 사항은 또 다른 스트림 쌍을 사용할 수 있다.

EtherCAT-TSN 프로파일은 TSN 스트림을 사용하여 브리지 된 네트워크 내에서 전체 EtherCAT 프레임 전송하는 방법을 설명한다. 브리지의 구성 및 기타 브리지 관련 서비스 기능은 TSN 컨텍스트에서 지정된대로 사용할 수 있다. 마스터에 가상 EtherCAT 채널이 있으면 관련 EtherCAT 슬레이브 세그먼트의 전용 식별자, 전송 간격과 오프셋 및 데이터 양이

필요하다. 이것들은 마스터 측에서 스트림을 보내기 위해 정의된 매개 변수이다. 슬레이브 세그먼트의 최대 지연은 스케줄을 완료한다.

시스템 구조와 관련하여, EtherCAT 세그먼트의 식별은 IEEE802.1 네트워크에서 논리적으로 분리된 영역 내에서 머신 또는 머신 그룹 내에서 고유하다. 세그먼트 내 또는 세그먼트 옆에 있는 EtherCAT 장치를 사용하여 식별할 12 비트 값을 설정 할 수 있다. EtherCAT 세그먼트에 연결하는 스위치 포트에서 식별할 수 있다. IEEE802 컨텍스트에서 세그먼트 식별자로 VLAN 식별을 사용하는 것이 좋다.



EtherCAT 과 TSN - 산업용 이더넷 시스템 아키텍처 모범 사례

스트림 적용은 식별 정보를 사용하여 TSN 에 필요한 고유한 스트림 대상 주소를 설정한다. 이 주소 지정은 EtherCAT 관련 식별자와 결합된 세그먼트 및 스트림 선택기의 식별에서 파생된다. 매핑 원칙은 간단하다. EtherCAT 필드는 TSN 에 의해 변경되지 않으며 TSN 필드는 EtherCAT 처리에 사용되지 않는다.

IEEE802.1 네트워크의 고정된 간격으로 EtherCAT 슬레이브 세그먼트로 프레임이 전송하여 동기화된 작업이 가능하다. 최악의 지연 시간은 EtherCAT 세그먼트로의 전송 시간을 결정한다. TSN 은 EtherCAT 슬레이브에 대한 특별한 추가 노력 없이 여러 세그먼트에 걸쳐 동기식 작업을 분산할 수 있도록 한다. 동기 운영의 품질은 TSN 클럭(IEEE802.1AS)에 따라 달라진다. 네트워크의 높은 정밀도를 유지하기 위해 EtherCAT 마스터와 첫번째 슬레이브 사이의 100ns 범위에서 정확한 타이밍을 제공하는 브리지를 사용하는 것이 좋다.

TSN positioning

TSN 은 애플리케이션 계층을 제공하지 않으며, 현장 수준에서

EtherCAT 디바이스 프로토콜에 도전하지 않는다.

TSN 은 EtherCAT Automation Protocol(EAP), OPC UA Publisher/Subscriber 등 기존 솔루션과 향후 솔루션에 진입할 것이다.

3. EtherCAT 과 TSN: 완벽한 조화

TSN 에서 EtherCAT 세그먼트를 구조 요소로 추가하면 슬레이브 그룹에 대한 공유 프레임을 사용하고, 시스템의 내부 구성을 사용하여 백본의 복잡성을 줄일 수 있다. TSN 은 원하지 않는 트래픽으로부터 EtherCAT 세그먼트를 보호하면서 결합된 EtherCAT-TSN 시스템의 효율성을 높인다. EtherCAT 과 TSN 을 결합하면 다양한 자동화 작업을 완벽하게 제어하면서 자동화 셀 수준에서 유연성을 향상시킬 수 있다.

결론적으로, EtherCAT 는 두 기술을 근본적으로 바꾸지 않고도 TSN 과 완벽하게 통합된다.

