

IEC61850 프로세서 레벨에서의 시간 동기화에 관한 연구

김관수, 원딘낫, 이흥희
울산대학교 전기전자정보시스템 공학부

A Study on Clock Synchronization at IEC61850 Process Level

Gwan-Su Kim, Dinh Nhat Nguyen, Hong-Hee Lee
School of Electrical Engineering, University of Ulsan

ABSTRACT

현재 변전소 자동화의 국제표준으로 대두되고 있는 IEC61850은 스테이션 버스뿐만 아니라 프로세서 버스까지도 표준화된 통신 기술을 채용하였고, 자동화에 필요한 모델을 제시하고 있다. 본 연구에서는 IEC61850 프로세서 레벨에서 정밀한 시간동기화를 구현하기 위해 필요한 동기화 기술을 고찰하였다. 이와 더불어 전통적인 시간동기화 프로토콜인 NTP 및 최근 새롭게 개발된 시간동기화 프로토콜인 IEEE1588 프로토콜을 분석하고 실제로 이더넷 기반의 IEC61850 프로세서 레벨에서의 시간 동기화를 수행하였다.

측정된 아날로그 값의 동기화 샘플링을 위해 수 μ s의 정밀도가 필요하다. 표준 이더넷 컨트롤러에서는 약 100 μ s의 클럭 정밀도를 수행할 수 있다. 그러나, 프로세서 레벨에서 아날로그 샘플링 값에 대한 동기화는 약 5 μ s 정도의 정확도를 필요로 한다. 실시간 이더넷 영역에서 IEEE1588 프로토콜이 새로운 대안이 될 수 있으며, 이더넷 상에서 직접적으로 동기화를 수행한다.^[1] 시간 동기화를 위한 LAN환경에서의 IEEE1588 프로토콜은 휴렛 팩커드(에질런트)에 의해 개발되었다. 간단히 설명하면, IEEE1588 프로토콜은 한 노드에서 시간 동기화 메시지를 전송하고 이어서 이전 시간 메시지의 정밀한 시간을 포함하고 있는 또 다른 시간 동기화 메시지를 전송한다.

1. 서론

최근 송배전 시스템 분야에서 종래의 인간 개입을 최소화하기 위해 통합화, 자동화 및 원격 감시화가 추진되고 있으며 이는 기존의 전기 장비들을 통신 기능을 갖는 마이크로프로세서 기반의 IED(Intelligent Electronic Device)로 대체함으로써 가능해졌다. 단일 표준화 작업이 이루어지기 전 IED 메이커들은 IEC-870-5-110등과 같은 다양한 프로토콜을 제공하였다. 하지만 시스템 공급업체간 통신 프로토콜이 표준화 되지 않아 변전소 자동화 설비를 교체할 때마다 전력회사는 큰 곤란을 겪어왔다. 즉, 서로 다른 통신기술의 적용에 따른 장비 간 호환성 결여로 말미암아 높은 비용을 감수할 수밖에 없는 현실이었다. 이에 따라 통신 프로토콜 표준화 필요성이 강하게 제기되었고, 1990년대 표준화 작업을 시작하여 최근 변전소 자동화용 단일 세계 표준인 IEC61850을 UCA2.0과 유럽의 경험을 기반으로 IEC 주관 아래 개발하였다. 이러한 세계 기술 동향을 반영해 우리나라에서도 IEC61850 기반의 중합변전소 자동화 시스템의 구축이 필요하고, 이에 통해 SCADA+보호계전 시스템의 기능(감시, 제어, 계측, 보호)을 IED에 구현함으로써, 전력운영정보를 IED내에 저장하고 상위 시스템으로 전송할 수 있게 된다.

변전소 내의 많은 전력기들은 정확한 정보전달을 위해 클럭 동기화를 필요로 하고 있다. 그림 1과 같은 IEC61850 통신 서비스들을 수행하기 위해서는 동기화가 필수적이다. 일반적으로 변전소 자동화 시스템에서의 시간 정밀도는 하위 계층으로 갈수록 높은 정밀도를 요구한다. 스테이션 레벨에서의 정밀도는 작업자에게 동작 시간을 알려주기 위한 수백 ms 정도이고, 배이 레벨에서의 시간 정밀도는 이벤트의 타임 스탬핑을 위해 1 ms의 정밀도를 요구한다. 프로세서 레벨의 머징유닛에서는

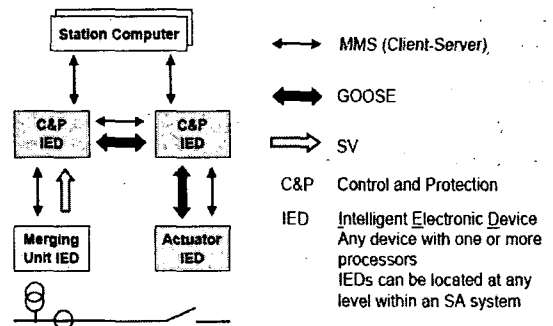


그림 1 IEC61850 통신 서비스 종류
Fig. 1 Main types of IEC61850 communication service

본 논문에서는 기본적인 시간 동기화 프로토콜을 살펴보고 IEC61850 프로세서 레벨에 적합한 IEEE1588 시간 동기화 프로토콜을 사용하여 실제 이더넷 기반의 실험 장치를 구성하고 시간 동기화를 수행하였다.

2. 시간 동기화 프로토콜

2.1 시간 동기화

만일 모든 노드들이 정확하고 동일한 로컬시간을 가지고 동작에 대한 스케줄을 알고 있다면, 동기화는 심지어 동기화 프레임의 전송 없이도 독립적으로 일어날 수 있다. 그러나, 측정된 값을 샘플링 하여 상위 제어기로 보내는 머징유닛과 같은 노드들은 상위 제어기와의 시간 동기화가 반드시 필요하다.

시간 동기화에서 요구되는 시간 정밀도는 다음과 같이 5가지 클래스로 분류할 수 있다. P1 클래스(1ms), P2 클래스(0.1ms),

P3 클래스($\pm 25\mu s$), P4 클래스($\pm 4\mu s$), P5 클래스($\pm 1\mu s$)로 분류할 수 있다.

2.2 NTP(Network Time Protocol)

가장 일반적인 시간 동기화 방법은 Mill과 IETF(Internet Engineering Task Force)그룹에 의해 개발된 NTP(Network Time Protocol)이다. 이 프로토콜의 하나인 SNTP(Simple Network Time Protocol)는 NTP와 호환되며, NTP 알고리즘의 모든 기능을 구현하지 않으며 로컬 제어 시스템 네트워크상에서 간단한 동기화 오브젝트에 초점이 맞추어져 있다. NTP 프로토콜은 IP 네트워크상에 연결된 2개의 컴퓨터 사이에 각 장비별로 동일한 시각을 갖게 하고, 서로의 시각을 교환할 수 있는 프로토콜이다. IP 네트워크에 연결된 클라이언트 장비들은 자체 타이머에 의해 공급받는 자체 시간(클럭)으로 인해 서로 간 시간 동기화가 다르다. 따라서 인터넷상에 위치한 다른 클럭 소스를 참조하여 정확한 자체 시간을 보장 한다. NTP는 클럭 시간을 1/1000초 이하까지 동기화시키기 위해 협정세계시(UTC)를 사용한다. 협정세계시는 무선이나 위성 시스템 등, 여러 가지 방법으로 얻어진다. GPS나 정부기관 등과 같은 특수한 수신자들은 보다 높은 수준의 서비스를 이용하는 것이 가능하지만, 모든 컴퓨터에 수신기를 장착하는 것은 비경제적이며 현실성이 없다. 그 대신에 시간 서버로 지정된 컴퓨터에만 수신기를 장착하고, 이 서버들과 네트워크로 연결된 다른 컴퓨터들의 클럭 시간은 NTP와 같은 프로토콜을 사용하여 동기화하는 것이다.

그림 2는 NTP 프로토콜의 통신 네트워크 구조 및 동기화를 나타낸 것이다.^[2]

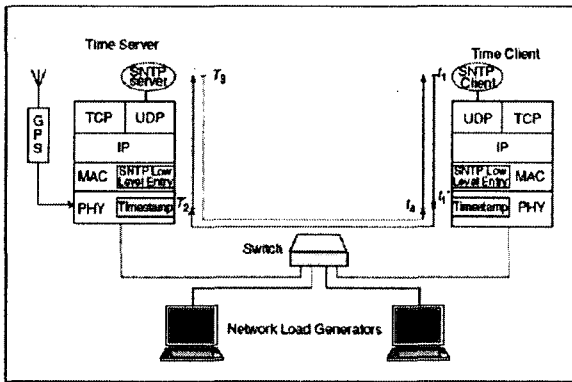


그림 2 NTP 통신 서비스 구조 및 동기화
Fig. 2 Structure and Synchronization of NTP communication service

NTP 프로토콜의 동기화 과정은 다음과 같다. 우선 협정 세계시로부터 떨어져 있는 수준을 계층번호로 나타내는데, 0번 계층은 전용 수신기 또는 위성 위치추적 시스템으로부터 수신된 실제 시간인 무선 클럭을, 1번 계층은 이 무선 클럭과 직접 연결되어 있는 컴퓨터의 클럭을, 2번 계층은 1번 계층으로부터 시간을 받은 컴퓨터 등으로, 원천 협정세계시로부터 멀수록 계층 번호가 커진다. NTP 클라이언트는 시간 서버에 정확한 현재 시간을 교환할 것을 요구한다. 이 교환의 결과를 통해, 클라이언트는 서버의 시간과의 차이를 이용하여 링크 지연시간을 계산할 수 있으며, 자신의 클럭을 서버에 있는 클럭과 일치하도록 조정할 수 있다. 하나의 규칙으로서, 처음 클럭을 맞추기

위해서는 5~10분 동안 모두 6번의 시간 교환이 요구된다. 일단 시간 동기화가 끝나면, 클라이언트는 매 10분마다 메시지 교환을 통해 클럭을 수정한다.

2.3 IEEE1588(PTP: Precision Time Protocol)

정밀 시간 프로토콜인 IEEE1588은 TCP/IP 스택에 기반을 두고 있으며, UDP 통신방식으로 동기화를 수행한다. 이 프로토콜의 시간 정밀도는 이론적으로 나노 세컨드 단위까지 동기화 시키는 방법을 정의하고 있고, LAN 이나 멀티캐스트 네트워크 구조를 가진다.

그림 3은 IEEE1588 PTP 프로토콜에 대한 통신 사양을 나타낸다.

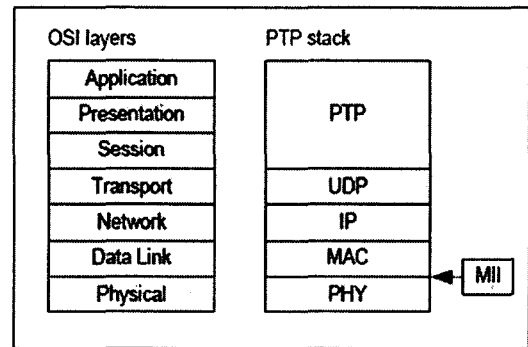


그림 3 IEEE1588 PTP 통신 사양
Fig. 3 Communication Specification of IEEE1588 PTP

위 그림 3과 같이 IEEE1588 프로토콜은 기존의 UDP/IP 프로토콜의 상위 계층인 5~7 계층에서 동작한다.

2.3.1 메시지 와 프레임 포맷

IEEE1588 동기화 메시지는 Sync, Follow_Up, Delay_Req, Delay_Resp와 같은 4가지 타입으로 이루어진다. 프로세서 레벨에서의 시간 동기화를 위해 다음의 4가지 IEEE1588 PTP 메시지를 사용한다.^[3]

- 1) Sync: 추정된 시간 정보를 전송
- 2) Follow_Up: 정밀한 시간정보를 전송
- 3) Delay_Req: 전송된 시간 정보를 측정하고 기록
- 4) Delay_Resp: 보정 시간을 계산

다음 그림 4는 UDP/IP 프레임 상에 시간 동기화 메시자인 PTP 메시지를 맵핑한 프레임 구조를 나타낸다.

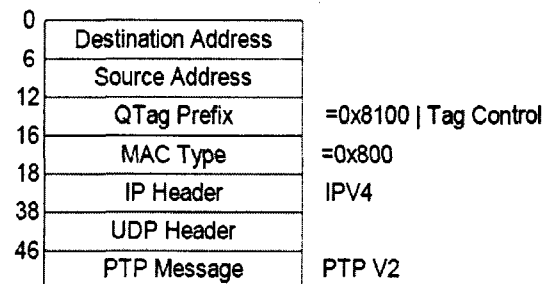


그림 4 UDP/IP 프레임 상에 IEEE1588 PTP 맵핑
Fig. 4 IEEE1588 PTP Mapping Over UDP/IP Frame

2.4 IEC61850 프로세서 레벨에서의 시간 동기화

IEC61850 프로세서 레벨은 가장 높은 시간 정밀도를 요구한다. 이러한 시간 정밀도를 맞추기 위한 방법 중 가장 확실한 방법으로는 GPS 수신기를 시간 동기화가 필요한 모든 노드에 외부 버스로 연결하는 방법이 있다. 그러나, 이 방법은 비용 등의 문제가 발생하기 때문에 이러한 문제를 해결하기 위한 방법으로 프로세서 레벨에서 가장 적합한 시간 동기화 프로토콜인 IEEE1588을 사용하여 시간 동기화를 수행할 수 있다.

IEEE1588 프로토콜을 사용한 IEC61850 프로세서 레벨에서의 시간 동기화 과정은 다음과 같이 이루어진다.

첫 단계로 마스터 노드로부터 슬레이브 노드로 Sync 메시지를 전송한다. 이 메시지에는 추정된 시간 정보를 가지고 있다. 이후에 바로 정확한 시간 정보를 가지고 있는 Follow_Up 메시지를 슬레이브 노드로 전송한다. 슬레이브 노드는 오프셋과 정확한 클럭을 계산한다. 시간 동기화 메시지 전송에 관한 과정은 그림 5와 같이 나타낼 수 있다.

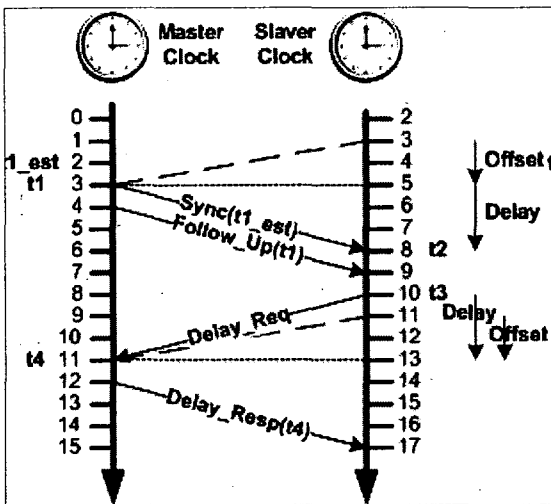


그림 5 시간 동기화 메시지 교환
Fig. 5 Synchronization Message Exchange

마스터 노드와 슬레이브 노드의 시간 오차 정보를 보상하기 위해 필요한 시간정보와 계산식은 다음과 같다.

$$t_{ms} = t_2 - t_1$$

$$t_{sm} = t_4 - t_3$$

$$\text{평균 전파 시간} = \frac{t_{ms} + t_{sm}}{2}$$

$$\text{슬레이브 오프셋} = t_2 - t_1 - \text{평균 전파 시간}$$

슬레이브 노드에서는 슬레이브 오프셋 값을 사용하여 슬레이브의 시간을 마스터 노드와 같게 보정한다.

3. 실험 및 검토

IEC61850 프로세서 레벨에서의 시간 동기화 실험은 다음과 같은 실험 장치를 구성하여 수행하였다. 하드웨어 사양으로는 메인 컨트롤러로 TI의 DSP와 Wiznet의 W3150A 이더넷 컨트롤러를 사용한 DSP보드를 슬레이브 노드로 구성하고, 마스터 노드로는 펜티엄 컴퓨터를 사용하였다.

그림 6에 실험 구성도를 나타내었다.

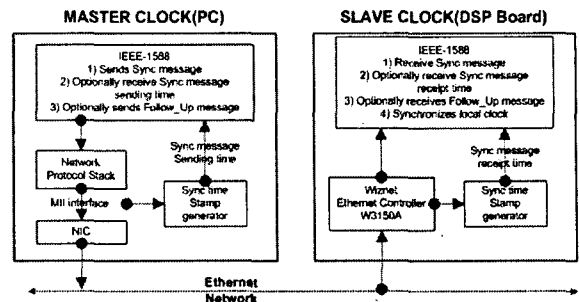


그림 6 IEEE1588 시간 동기화 실험 구성도
Fig. 6 IEEE1588 PTP Synchronization Block Diagram

타임 스탬핑은 인터럽트 서비스 루틴에서 이더넷 인터럽트 요청 신호를 사용하여 소프트웨어적으로 처리하였다.

IEEE1588 PTP 시간 동기화 프로토콜 코드 부분은 UDP/IP 프레임에 구성하고, 이 프레임 상에 PTP 동기화 메시지 4개를 각각 구성하여 전송실험을 수행 하였다. 그 결과 IEEE1588 프로토콜을 사용하여 IEC61850 프로세서 레벨에 적합한 5 μs 정도의 시간 동기화를 이루었다.

4. 결론

시간 동기화는 측정된 값을 샘플링 하여 전송하는 장치와 상위 장치 간에 이루어지는 것으로, 실시간 이더넷 구현이 필요한 자동화 시스템에서 여러 가지 시간 동기화 프로토콜을 사용하여 동기화를 수행하다. 본 논문에서는 기본적인 시간 동기화 프로토콜을 살펴보고 IEC61850 프로세서 레벨에 적합한 정밀한 시간 동기화 방법으로 IEEE1588 프로토콜을 사용한 방법을 제시하였다. 또한, IEEE1588 시간동기화 프로토콜을 사용하여 실제 이더넷 기반의 실험 장치를 구성하고 시간 동기화를 수행하였다. 향후 타임 스탬핑을 하는 하드웨어적인 부분이 추가 된다면 더 정밀한 시간 동기화를 이룰 수 있을 것이다.

이 논문은 산업자원부 지정 울산대학교 네트워크 기반 자동화연구센터의 지원에 의한 것입니다.

참고 문헌

- [1] F. ENGLER, T.L. KERN, "IEC61850 based digital communication as interface to the primary equipment", CIGRE 2004.
- [2] S. Johannessen, "Time Synchronization in a Local Area Network", IEEE Control Systems M, 2004.
- [3] "IEEE 1588 - Precision clock synchronization protocol for networked measurement and control systems", International Standard, IEC, IEEE.