

스마트그리드 서비스를 위한 절대시간동기 절차 연구

김용선, 장갑석, 고영조
미래이동통신연구본부, 통신미디어연구소, 한국전자통신연구원

{doori, kschang, koyj}@etri.re.kr

A Study on Procedure of Absolute Time Synchronization for Smart Grid Service

Yongsun Kim, Kapseok Chang, and Youngjo Ko
Electronics and Telecommunications Research Institute

요약

본 논문에서는 스마트그리드 환경에서 기존 유선을 통해 전송되는 전력 측정 데이터 통신의 문제점과 이를 개선하기 위해 셀룰러 무선망의 도입을 제안한다. 또한, 기존 4G 및 5G 무선망으로는 현재의 스마트그리드 요구사항인 PMU(Phasor Measurement Unit) 간 $\pm 0.5 \mu\text{s}$ 절대동기 시간오차를 만족시키기 어렵기 때문에 이를 충족시킬 수 있도록 절대시간 동기 획득 절차와 개선된 Timing Advanced 방법을 제안한다.

I. 서 론

최근 정부에 의해 대규모 그린뉴딜 정책이 발표되었고, 그중 에너지 절감과 안정적인 전력 공급을 위한 스마트그리드가 중요한 역할을 담당할 것으로 예측된다. 스마트그리드는 기존 전력망에 IT 기술을 접목하여, 에너지 효율을 최적화하는 차세대 전력망을 일컫는다. 그동안 스마트그리드를 위한 표준화는 주로 각 가정의 미터기를 무선화하여 검침원 없이도 주기적으로 전력 사용정보를 전달하는 통신 규격에 관한 것이었다. 이는 기존의 Zigbee, NORA, NB-IoT 와 같은 규격을 그대로 사용해도 문제가 발생하지 않는다. 하지만, 스마트그리드의 전력 측정 데이터를 신뢰성 있게 주기적으로 전달해야하는 PMU 와 PDC (Power Data Center) 간 통신은 동기 정확도가 $\pm 0.5 \mu\text{s}$ 이내로 유지되어야 한다. 본 논문에서는 스마트그리드 환경에서 PMU 와 PDC 간 연결의 무선화 필요성과 무선화 시 신뢰성과 요구사항을 만족시킬 수 있는 방법을 제안하고자 한다.

II. 스마트그리드와 절대시간 동기

스마트그리드의 여러 요소 중 PMU 는 전압과 전류의 크기 및 위상, 주파수 변화율 등 전력 관련 정보를 실시간으로 측정하다. 그리고 위성신호(GPS)를 이용하여 측정 시간을 $1 \mu\text{s}$ 단위로 시각동기화하여 나타낸다. PDC 는 각 지역제어센터(Regional Control Center, RCC)에 설치되어 있고 전국의 발전소 및 변전소에 설치된 PMU 로부터 전력 데이터를 수집하여 중앙제어센터 (Global Control Center, GCC)에 보낸다. GCC 는 여러 개의 PDC 로부터 전력 데이터를 수신하여 데이터 처리 및 이벤트를 발생시킴으로써 관리자가 적절한 조치를 취할 수 있도록 한다. 그럼 1 은 PMU 데이터 전달 경로를 보여준다. GCC 의 DSM (Digital Shared Memory)은 다수의 PDC 로부터 수집한 데이터를 분배 및 저장, DFS (Distributed File System)는 PMU 별 데이터를 파일 기반으로

저장 관리, 이벤트서버는 PMU 데이터 및 이벤트의 수집 및 관리, HCI (Human Computer interface)는 PMU 데이터 실시간 감시 결과 제공, 알고리즘서버는 실시간으로 구동되어 PMU 데이터 기반 알고리즘에 따라 이벤트를 발생시키는 역할을 수행한다[1]. PMU 와 PDC 간의 통신은 유선으로 연결되어 있고 PMU 간의 절대동기 시간오차는 $\pm 0.5 \mu\text{s}$ 이내의 오차를 요구한다[2]. PMU 장치는 최대 분당 60 번 측정데이터를 PDC 로 전송하며 PMU 간의 절대동기 시간오차 요구사항을 만족시키기 위해 GPS 모듈을 장착하고 있다. 그러나 PMU 장치는 변전소마다 설치되어야 하고 상시적인 장비이므로 실내에서 동작해야 한다. 또한, GPS 를 실내에서 사용하기 위해서는 별도의 GPS 안테나 설치 작업이 필요하므로 설치에 제약 및 이동에 제약이 있다. 또한, PMU 가 설치되는 변전소 등이 유선 인터넷 연결이 쉽지 않은 산, 오지 등에 위치할 경우 광케이블 설치 비용이 상당하다. 특히 면적이 넓고 인구밀도가 낮은 해외 지역에서 많은 수요가 있을 것으로 판단된다. 그리고 PMU 장치의 기존 유선 통신을 무선으로 대체가 필요하지만, 다른 데이터의 보안 및 신뢰성이 매우 중요하므로 Zigbee, NoRa, WiFi 등 비면허 대역을 이용한 무선 통신은 적합하지 않다.

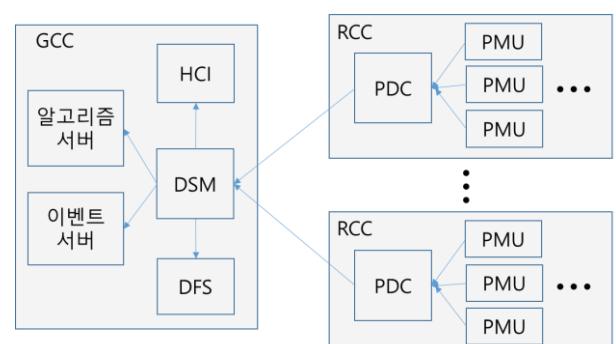


그림 1 PMU 측정 데이터 전달 경로

따라서, $\pm 0.5 \mu\text{s}$ 의 절대동기 시간오차를 달성하면서 데이터의 신뢰성을 보장할 수 있는 셀룰러 통신 도입이 필수적이라고 할 수 있다. 본 논문에서 제안하는 절대시간동기 기술을 통해 상기 절대동기 시간오차 달성이 가능하고 GPS를 대체할 수 있어 신규 설치 및 유지보수 비용을 크게 절감할 수 있다.

III. 절대시간 동기화 절차

스마트그리드 무선망의 경우 시스템 연결 상태에서도 항상 동기오차를 유지하는 것이 중요하다. 이를 위해 다음과 같은 ATS (Absolute Time Synchronization) 절차를 제안한다. 스마트그리드의 경우 셀 반경을 2.5km로 가정한다[3]. 이 경우 최대 전파지연시간은 $8.3 \mu\text{s}$ 이고 왕복지연으로는 $16.6 \mu\text{s}$ 이다. 따라서 스마트그리드에서 $\pm 0.5 \mu\text{s}$ 오차를 유지하는 ATS 절차는 필수적이다. 다음은 시스템 연결 상태에서의 ATS 절차를 보여준다.

- ① PMU는 PDC로부터 전송되는 동기신호를 이용해 순방향 동기 refining을 수행한다.
- ② PMU는 시스템 제어정보를 받아 ATS cycle의 시작 clock에 대한 국제적으로 공인된 UTC (Coordinated Universal Time) 시간 정보를 refining을 위해 획득하여 저장한다.
- ③ 지속적으로, 상기의 파일럿 및 동기 신호를 이용해 순방향 동기 refining을 수행한다. 이 때, time drift로부터의 ATS 시간의 오차를 최소화하기 위해 순방향 동기 refining 시 추정된 추가
- ④ STO (Sample Time Offset) $\Delta\tilde{\tau}_x$ 를 역방향 송신 사이클 시간과 ATS 사이클 시간에 하기와 같이 반영한다.
- ⑤ PMU가 파일럿을 전송하면 PDC는 이를 받아 그림 3에 도시되어 있는 propagation delay τ_x 를 다시 refined하게 획득한다.
- ⑥ PDC는 획득된 τ_x 가 반영된 TA (Time Adjustment)를 해당 디바이스로 전송한다. 이 때, TA command를 매 TTI (Transmission Time Interval) 슬롯마다 전송되는 제어 물리채널에 실어 보낸다.

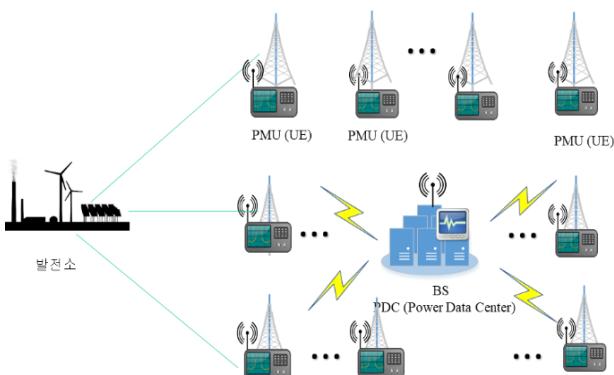


그림 2 스마트 그리드 무선망 구성

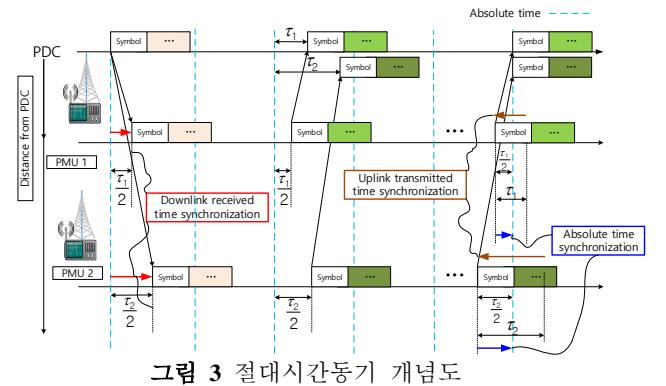


그림 3 절대시간동기 개념도

이와 함께 본 논문에서는 Timing Advanced Granularity를 조정하여 현재의 6 비트 길이를 9 비트로 늘리는 것을 제안한다. 6 비트의 경우 64 스텝까지 표현이 가능하여 $-32 \sim +32 \text{ Tc}$ 를 나타낼 수 있는데 Tc를 $0.5 \mu\text{s}$ 로 가정 시 최대 $-16 \mu\text{s}$ 에서 $16 \mu\text{s}$ 를 보정할 수 있다. 하지만, 이 경우 PMU 간 동기오차 허용을 $\pm 0.5 \mu\text{s}$ 이내로 가정하더라도 왕복 지연이 최대 $16.6 \mu\text{s}$ 까지 될 수 있어 요구사항을 만족시킬 수 없다. 따라서 Tc를 $0.1 \mu\text{s}$ 로 줄이고 왕복 지연 $16.6 \mu\text{s}$ 이상을 표현하기 위해서는 9 비트의 길이가 필요하다. 9 비트 길이는 512 스텝을 표현할 수 있어 $-256 \sim +256 \text{ Tc}$, 즉 $-25.6 \sim +25.6 \mu\text{s}$ 를 $0.1 \mu\text{s}$ 정확도로 표현할 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 스마트그리드에서 측정데이터 전송을 담당하는 PMU와 정보 수집을 담당하는 PDC 간 유선연결을 무선화하고 PMU의 GPS 동기를 무선망으로 대체하는 방법을 제안하였다. 또한, PMU 간 $\pm 0.5 \mu\text{s}$ 절대동기 시간오차를 준수하기 위해 ATS 절차와 TA의 비트 수를 늘려 해결하는 방법을 제안하였다. 향후에는 이러한 환경의 모의실험을 통해 실제 $\pm 0.5 \mu\text{s}$ 동기오차를 만족시키기 위한 ATS 절차를 검증할 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2020년도 정부(과학기술정보통신부)의 지원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2019-0-00002, [전문연구실] 초정밀 서비스 실현을 위한 On-Time-On-Rate 무선액세스 및 광에지 클라우드 네트워킹 핵심기술 개발)

참고 문헌

- [1] 조준희, 최미화, 이명우, 김상태, 우덕재, “PMU Data 검증시스템을 포함한 WAMAC 시스템 설계에 관한 연구,” 정보처리학회논문지, 컴퓨터 및 통신시스템 제 1 권 제 3 호, 2012.
- [2] IEEE Standard for Synchrophasor Data Transfer for Power Systems, IEEE Std C37.118.2-2011.
- [3] A. Mahmood, M. Ashraf, M. Gidlund, J. Torsner “Over-the-Air Time Synchronization for URLLC: Requirements, Challenges and Possible Enablers,” ISWCS, 2018.