

http://dx.doi.org/10.7236/IIBC.2015.15.6.225

IIBC 2015-6-31

스마트 그리드를 위한 샘플 값들의 트래픽 발생 방안

Traffic Generation Method of Sampled Values for Smart Grid

황성호*, 박경원**, 박정도***, 송한춘****, 박제도*****

Sung-Ho Hwang*, Kyung-Won Park**, Jeong-Do Park***,
Han-Chun Song****, Jae-Do Park*****

요약 본 논문에서는 네트워크 시뮬레이터 ns-3의 에뮬레이션 기능과 실제 통신장비를 결합하여, IEC 61850 SV(Sampled Values) 트래픽을 발생시키는 방안을 제시한다. SV 트래픽 발생과 수신은 네트워크 시뮬레이터 ns-3의 에뮬레이션 기능을 이용하고, 통신망은 실제 통신장비인 스위치들을 사용한다. 그리고 Wireshark를 이용하여 발생한 SV 트래픽 프레임들을 분석하였고, SV 트래픽 프레임들이 정확히 발생되는 것을 확인하였다. 본 논문에서 제안한 SV 트래픽 발생 방안은 실제 변전소 환경하에서 다양한 SV 트래픽들을 발생시킬 때 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

Abstract This study presents a method for generating IEC 61850 Sampled Values(SV) traffic by combining the emulation function of network simulator ns-3 with the actual communication equipment. For the SV traffic generation and reception, the emulation function of the network simulator ns-3 is used, while as a communication network, the actual communication equipment, switches are used. In addition, the SV traffic frames generated are analyzed, using Wireshark, and it is confirmed that the SV traffic frames are generated accurately. The method for the SV traffic generation proposed in the present study will be very useful when various SV traffics are generated under the environment of an actual substation.

Key Words : IEC 61850, Sampled Values, Smart Grid, Emulation

I. 서론

컴퓨터 내에서만 수행되는 시뮬레이션 결과는 실제 장비를 활용한 실험 결과와 차이가 발생할 수 있다. 그러나 실제 장비들로만 실험한다면, 다양한 실험하기 위해 많은 비용과 공간이 필요하다. 본 논문에서는 실제 통신 장비와 네트워크 시뮬레이터 ns-3의 에뮬레이션을 결합한 IEC 61850 SV(Sampled Values) 트래픽 발생 방안을 제시한다.

IEC 61850 SV 트래픽 발생과 이를 수신하는 부분은

ns-3의 에뮬레이션^{[1][2]} 기능을 이용하였다. 그리고 통신망은 실제 통신장비인 스위치를 사용하여 구성하였다. 그리고 SV 트래픽 발생을 확인하기 위하여 Wireshark를 사용하여 검증하였다.

II. 관련 연구

Power Utility Automation을 위한 IEC 61850 표준안은 총 12개 부분으로 구성된다. IEC 61850 part 9-2^{[3][4]}는

*정회원, 강원대학교 전자정보통신공학부(교신저자)

**정회원, LS산전 전력연구소

***정회원, 위덕대학교 에너지전기공학부

****정회원, 서일대학교 정보통신학과

*****정회원, 콜로라도 주립대 전기공학과

접수일자: 2015년 10월 26일, 수정완료: 2015년 11월 26일

게재확정일자: 2015년 12월 11일

Received: 26 October, 2015 / Revised: 26 November, 2015 /

Accepted: 11 December, 2015

*Corresponding Author: shhwang@kangwon.ac.kr

Division of Electronics, Communication & Information Engineering, Kangwon National University, Korea

다양한 형태와 크기의 SV(Sampled Values)를 이더넷 상에 디자인하고 맵핑하는 것을 다루고 있다. SV들은 Protection Relay를 위해 시간에 민감한 전류와 전압 같은 값들을 전달하기 위해 사용된다. SV는 변전소의 제어와 보호하는데 사용되고, 시간에 민감하다^{[5][6][7]}.

본 논문의 SV 트래픽 발생의 모델은 IEC 61850 표준의 part 9-2를 기본으로 한다.

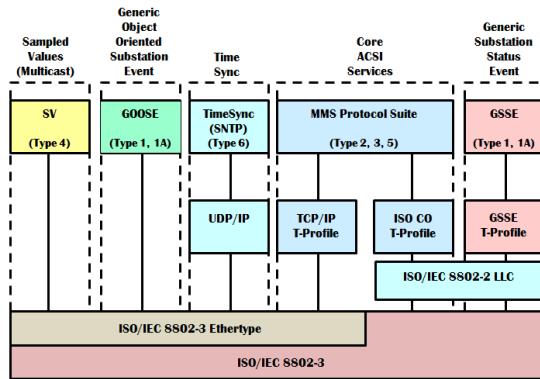


그림 1. 기능과 프로파일의 개요
Fig. 1. Overview of functionality and profiles

Jakub W. Konka et al.^[8]은 ns-3를 사용하여 SV 트래픽을 발생시켰지만, 순수하게 컴퓨터 내에서만 동작하는 시뮬레이션을 수행하였다. 컴퓨터내에서만 동작하는 SV 트래픽을 발생시켰고, Wireshark^[9]을 이용하여 검증하였다. Ns-3 에뮬레이션 기능을 사용하지 않았고, 실제 통신 장비 연동도 이루어지지 않았으며, 다른 컴퓨터에서의 SV 트래픽 수신도 하지 않았다.

본 논문에서는 ns-3 에뮬레이션을 이용하여 SV 트래픽들을 발생시키고, 발생된 트래픽은 실제 통신장비인 스위치들을 통해 전달되고, 수신측에서는 ns-3 에뮬레이션 기능을 이용하여 SV 트래픽을 수신 및 분석한다.

그림 2는 SV 이더넷 프레임의 각 필드 이름과 기능을 나타낸다. 송신 MAC address와 수신 MAC address 각각 6바이트씩 사용하고, VLAN(Virtual Local Area Network) TPID(Tag Protocol ID)는 0x8100이다.

TCI(Tag Control Information)은 Priority, CFI(Canonical Format Indicator)와 VLAN ID로 구성되며, Priority의 디폴트 값은 4, CFI는 0, VLAN ID는 0x000이다. Ethertype은 SV 프로토콜 ID로서 0x88BA를 사용한다. APPID(Application ID)는 디폴트 값으로

0x4000을 사용한다. APDU(Application Protocol Data Unit)의 길이가 m 바이트이고, SV-specific 헤더가 8바이트이면, Length 필드의 값은 m+8이다. 예약 필드는 Reserved 1와 Reserved 2로 두개가 있고, Reserved 1은 테스트용 디바이스에서 발생된 프레임일 경우 디폴트 값은 0x8000이고, Reserved 2의 디폴트 값은 0x0000이다.

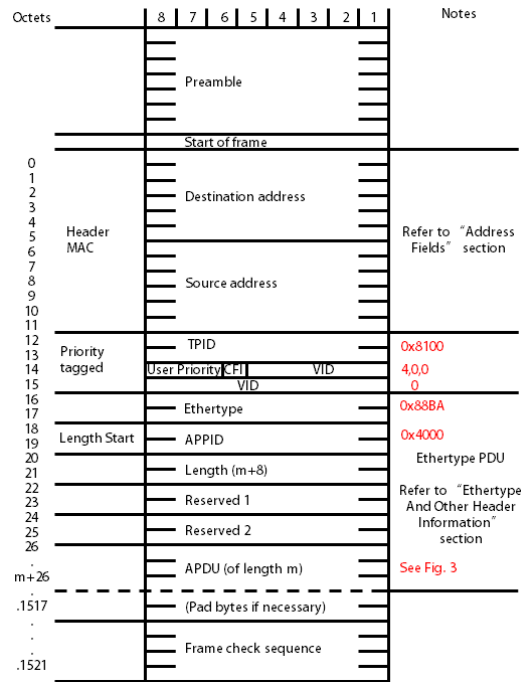


그림 2. SV 이더넷 프레임 정의
Fig. 2. Definition of SV Ethernet Frame

이더넷 프레임 필드 중에 APDU는 그림 3과 같다. ASN.1(Abstract Syntax Noation One)의 기본 코딩 룰에 따라 태그(Tag)+길이(Length)+값(Values) 순으로 인코딩된다. ASN.1 태그와 길이는 각각 1바이트(8 bits)씩 할당되고, 값은 여러 바이트로 할당될 수 있다.

savPdu 필드는 APDU 시작을 나타내며, noASDU 필드는 ASDU 번호를 표시하며, Sequence of ASDU 필드는 ASDU의 시작을 나타낸다. svID 필드는 SV 프레임의 이름을 나타내며, 16진수 0x80인 ASN.1 태그를 의미하고, 메모리에서 1바이트를 차지한다. L은 길이를 의미하며, svID 필드의 길이는 10 바이트에서 34 바이트 사이의 값을 가질 수 있다. smpCnt 필드는 샘플 번호이며, confRef 필드는 구성 번호이다. smpSync 필드는 동기에

관련된 정보를 전송하고, sequence of Data 필드는 전압과 전류의 샘플 값들을 포함한다.

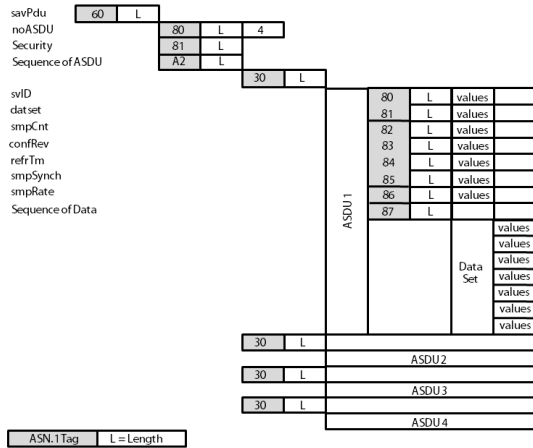


그림 3. SV 이더넷 프레임에서의 APDU 정의
 Fig. 3. Definition of APDU in SV Ethernet Frame

III. Sampled Values 트래픽 시나리오

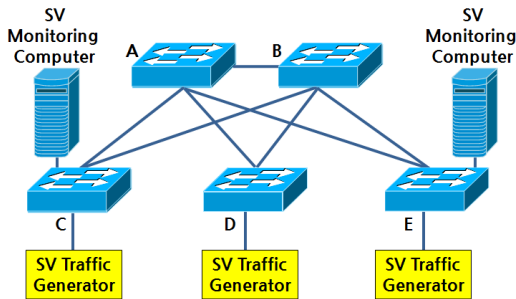


그림 4. 통신망 구성
 Fig. 4. Communication Network Architecture

SV 트래픽 발생을 위한 통신망 구성도는 그림 4와 같다. VLAN(Virtual Local Area Network)을 사용하고, 이중 중복 트리 토폴로지로 구성하였다. 트래픽 루프(Traffic Loop)를 방지하기 위해 STP(Spanning Tree Protocol)를 사용하였다. SV 트래픽 발생기(Traffic Generator)에서 발생한 프레임은 스위치를 통해 SV Monitoring Computer에서 수신한다.

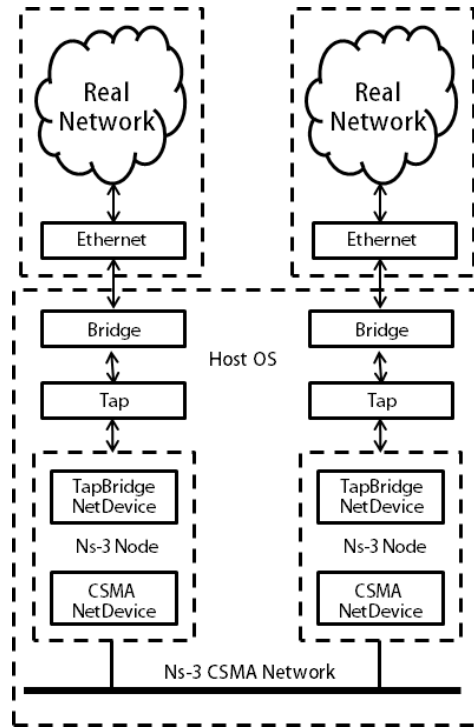


그림 5. SV 트래픽 발생기 ns-3 에뮬레이션 구성도
 Fig. 5. Block diagram of ns-3 emulation for SV Traffic Generator

SV는 ns-3 에뮬레이션 기능을 사용하여 발생시킨다. 그림 5는 SV 트래픽 발생을 위한 ns-3 에뮬레이션 구성을 나타낸다.

ns-3내의 CSMA NetDevice는 Tap을 통해 리눅스 Bridge와 연결하여, 실제 네트워크인 이더넷(Ethernet)과 연결된다. TapBridge NetDevice는 리눅스 Tap 디바이스와 ns-3 CSMA NetDevice 사이에서 연결하는 기능을 수행한다.

Tap 디바이스는 실제 다른 네트워크 디바이스들처럼 리눅스 Bridge에 연결되어 동작한다. 연결이 필요한 리눅스 Tap 디바이스의 수 만큼 TapBridge NetDevice들을 생성한다. 리눅스 Bridge는 리눅스 Tap과 다른 이더넷 디바이스들을 연결시킨다. 이러한 Tap과 브리지를 통해 ns-3 에뮬레이터와 실제 통신망 사이에서 프레임을 주고 받을 수 있다.

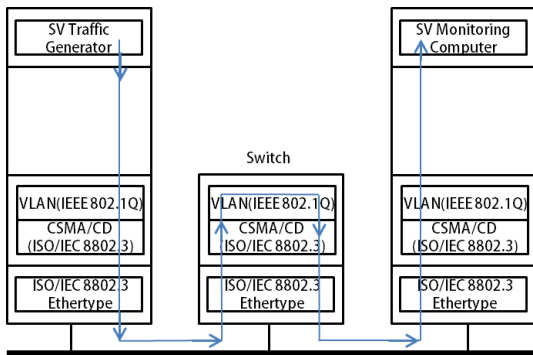


그림 6. SV 트래픽 발생 프로토콜 스택
Fig. 6. Protocol Stack for SV Traffic Generation

그림 6은 SV 트래픽 발생을 위한 전체 프로토콜 스택을 보여준다. SV 트래픽 발생기에서 IEC 61850 part 9-2 프레임 전송하면, VLAN(IEEE 802.1Q) 스위치를 사용한다. SV Monitoring Computer에서 스위치를 거쳐 들어온 SV 프레임을 수신한다.

IV. 실험 및 결과



그림 7. 실험실 하드웨어 구성
Fig. 7. The Hardware Configuration in the Lab.

SV 트래픽 발생 방안의 타당성을 입증하기 위해서, 그림 7과 같은 실험실 하드웨어를 구성하였다.

SV 트래픽 발생은 ns-3의 에뮬레이션 기능을 사용하여 발생시킨다. 발생된 SV 트래픽들은 스위치에 통해 SV monitoring computer로 전달된다. SV monitoring computer에서는 Wireshark를 이용하여 발생된 SV 프레임 분석하였고, SV 트래픽 발생이 정확히 되었는지 검증하였다.

실험은 3개의 노트북을 사용하여 SV 트래픽 들을 발생시켰다. 스위치는 Cisco사의 Catalyst 2950 스위치를 사용하였고, 링크의 전송 속도는 100Mbps이다.

수신은 PC 서버 두 대를 사용하여 SV monitoring을 수행하였다.

본 논문에서 발생하는 SV 프레임은 VLAN 태그, Ethernet II 헤더와 SV 헤더를 포함하여 126바이트로 발생시킨다. SV APDU는 96바이트인 1개의 ASDU를 포함한다. 또한 SV ASDU는 64바이트 길이의 8개 Sampled Value들을 포함한다. svID 필드의 길이를 10바이트로 설정하였고, 식별할 수 있는 값을 "SV_TGEN_01"과 같이 설정하였다.

SV 트래픽 발생기의 MAC 주소는 00:00:00:00:00:01, 00:00:00:00:00:02, 00:00:00:00:00:03으로 할당하였다. SV monitoring computer의 MAC 주소는 00:00:00:00:00:04와 00:00:00:00:00:05를 사용하였다.

그림 8은 SV 프레임을 Wireshark로 분석한 결과를 보여준다. SV 헤더, VLAN 태그, 이더넷 II 헤더와 프레임 길이 126바이트를 보여준다.

APPID는 0x4000, Reserv1은 0x8000, Reserv2는 0x0000이고, 길이 필드는 SV 헤더 길이를 포함한 실제 SV APDU 길이 126 바이트를 보여준다. 1개의 SV ASDU를 보여주고, svID는 "SV_TGEN_01"을 보여준다.

V. 결론

본 논문에서는 IEC 61850에서 사용될 수 있는 SV 트래픽 발생 방안을 제시하였고, 제안한 방안을 실험실 모델로 구성하여 타당성을 검증하였다. 통신망은 실제 스위치를 사용하였고, SV 트래픽 발생은 ns-3 에뮬레이션 기능을 이용하여 발생시켰다. 발생한 SV 프레임들은 Wireshark를 이용하여 발생한 프레임들을 분석하였고, SV 프레임들이 정확히 발생하는 것을 확인하였다. 본 논문에서 제안한 SV 트래픽 발생 방안은 실제 변전소 환경 하에서도 다양한 트래픽 발생을 시킬 때 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

```

▶ Frame 20602: 126 bytes on wire (1008 bits), 126 bytes captured (1008 bits) on interface 0
▶ Ethernet II, Src: 00:00:00_00:00:01 (00:00:00:00:00:01), Dst: 00:00:00_00:00:04 (00:00:00:00:00:04)
  ▶ Destination: 00:00:00_00:00:04 (00:00:00:00:00:04)
  ▶ Source: 00:00:00_00:00:01 (00:00:00:00:00:01)
    Type: 802.1Q Virtual LAN (0x8100)
  ▶ 802.1Q Virtual LAN, PRI: 4, CFI: 0, ID: 0
    100. .... = Priority: Controlled Load (4)
    ...0 .... = CFI: Canonical (0)
    ... 0000 0000 0000 = ID: 0
    Type: IEC 61850/SV (Sampled Value Transmission (0x88ba))
  ▶ IEC61850 Sampled Values
    APPID: 0x4000
    Length: 108
    Reserved 1: 0x8000 (32768)
    Reserved 2: 0x0000 (0)
  ▶ savPdu
    noASDU: 1
  ▶ seqASDU: 1 item
    ▶ ASDU
      svID: SV_TGEN_01
      smpCnt: 3803
      confRef: 1
      smpSynch: local (1)
      seqData: 0000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000...
0000 00 00 00 00 00 04 00 00 00 00 00 01 81 00 80 00 .....
0010 88 ba 40 00 00 6c 80 00 00 00 60 62 80 01 01 a2 ..@.l. .`b...
0020 5d 30 5b 80 0a 53 56 5f 54 47 45 4e 5f 30 31 82 ]0[.SV_TGEN_01.
0030 02 0e db 83 04 00 00 00 01 85 01 01 87 40 00 00 .....@..
0040 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 .....
0050 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 .....
0060 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 .....
0070 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 .....
    
```

그림 8. SV 헤더와 SV APDU
 Fig. 8. SV Header and SV APDU

References

[1] Ns-3 Open-Source Network Simulator, version 3.23. [Online]. Available: <http://www.nsnam.org>. [Accessed: October. 15, 2015].

[2] The ns-3 development team, “The tap bridge model,” https://www.nsnam.org/docs/release/3.10/doxygen/group___tap_bridge_model.html, September 2015.

[3] International Electrotechnical Commission, “IEC 61850-9-2: Communication networks and systems for power utility automation - Part 9-2: Specific Communication Service Mapping (SCSM) - Sampled values over ISO/IEC 8802-3,” 1st ed. IEC, 2004.

[4] International Electrotechnical Commission, “IEC 61850-9-2: Communication networks and systems for power utility automation - Part 9-2: Specific Communication Service Mapping (SCSM) - Sampled values over ISO/IEC 8802-3,” 2nd ed. Draft for public comment. IEC, 2009.

[5] Sunny Ro, et al 4, “Development of a Smart Grid Monitoring System with Anti-Islanding Function for Electric Vehicle Charging”, Journal of the Institute of Internet, Broadcasting and Communication, vol. 12, no. 5, pp. 31-37, 2012. 10. DOI: <http://dx.doi.org/10.7236/IJWIT.2012.12.5.31>

[6] Kee-Min Kim, et al 4, “Wireless Sensor Network based Remote Power Monitoring System for Anti Islanding application in Smart-Grid”, Journal of the Institute of Internet, Broadcasting and Communication, vol. 10, no. 4, pp. 57-62, 2010. 8.

[7] Sami S. et al 3, “Performance analysis of Centralized, Distributed and Hybrid Demand Load Control architecture for Smart power Grid” The journal of the Korea Academia-Industrial

cooperation Society, Smart Computing Review, vol. 2, no. 5, pp. 370-378, 2012. 10. DOI: <http://dx.doi.org/10.6029/smarter.2012.05.007>

[8] Jakub W. Konka, et al 3, "Traffic Generation of IEC 61850 Sampled Values", Smart Grid Modeling and Simulation(SGSM), pp. 43-48, 2011. 10. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/SGMS.2011.6089025>

[9] Wireshark Network Protocol Analyzer, version 1.4.0. [Online]. Available: <http://www.wireshark.org>. [Accessed: Aug. 30, 2010].

박 정 도(정회원)



- 1992년 2월 : 연세대학교 전기공학과 공학사
- 1994년 2월 : 연세대학교 대학원 전기공학과 공학석사
- 2000년 8월 : 연세대학교 대학원 전기컴퓨터공학과 공학박사
- 2001년 3월 ~ 현재 : 위덕대학교 에너지전기공학부 부교수

<주관심분야 : 전력수요예측, 발전계획, 경제급전 등 EMS(Energy Management System) 관련분야, 스마트그리드, 마이크로그리드>

저자 소개

황 성 호(정회원)



- 1991년 2월 : 성균관대학교 전자공학과 공학사
- 1993년 2월 : 성균관대학교 대학원 전자공학과 공학석사
- 1996년 8월 : 성균관대학교 대학원 전자공학과 공학박사
- 1997년 9월 ~ 현재 : 강원대학교 공학대학 전자정보통신공학부 정보통신공학전공 교수

<주관심분야 : 컴퓨터 네트워크, 스마트 그리드, WSN>

송 한 춘(정회원)



- 1990년 : 성균관대학교 전자공학과 공학사
- 1994년 : 연세대학교 전자공학전공 공학석사
- 1998년 : 성균관대학교 통신공학전공 공학박사
- 1998년 ~ 현재 : 서일대학교 정보통신학과 교수

<주관심분야 : 정보통신 네트워크>

박 경 원(정회원)



- 1996년 2월 : 한양대학교 전기공학과 공학사
- 1999년 2월 : 한양대학교 대학원 전기공학과 공학석사
- 2001년 8월 ~ 현재 : LS산전 전력연구소

<주관심분야 : 전력계통, 보호 IED>

박 제 도(정회원)



- 1992년 2월 : 한양대학교 전기공학과 공학사
- 1994년 8월 : 한양대학교 대학원 전기공학과 공학석사
- 2007년 5월 : 펜실바니아 주립대 전기공학과 공학박사
- 2009년 9월 ~ 현재 : 콜로라도 주립대 전기공학과 조교수

<주관심분야 : 직류 전력시스템 제어 및 보호, 에너지 저장 및 에너지 수확장치>

※ 2014년도 강원대학교 학술연구조성비로 연구하였음
(This study is supported by Kangwon National University)