

AMI 시스템과 전기차 충전시스템 간의 간섭 억제 기법

박주현*, 서종관**, 박창운**, 이재조**, 김진영*

Interference suppression method of between AMI system and EV charging system

Ju Hyun Park*, Jong Kwan Seo**, Jae Jo Lee**, Jin Young Kim*

요 약

본 논문에서는 AMI시스템과 전기차 충전시스템 간의 발생하는 간섭을 억제하는 기법을 제안하고 분석하였다. 한전에서 진행하고 있는 AMI 시스템에 사용되는 PLC 기술인 IEC12139-1와 전기자동차 충전 시스템에 사용되는 HomePlug GP, 두 통신기술 모두 2-30Mhz 주파수 대역을 사용하는 고속 PLC 기술이다. 두 방식이 같은 주파수 대역을 사용하면서 서로의 시스템에 간섭이 발생되게 된다. 본 논문에서는 Walsh code를 이용한 채널 분리를 통하여 간섭을 억제 시키는 방식을 실험하였다. 본 논문의 실험 결과는 스마트 그리드에서 사용하는 다양한 전력선 통신기술에 적용될 수 있다.

Key Words : Power line communication, electric vehicle, AMI, Smart Grid

ABSTRACT

In this paper, we proposed Interference suppression method of between AMI system and EV charging system. IEC12139-1 and HomePlug GreenPhy are using 2-30Mhz frequency band in power line communication. Both method while using the same frequency band, interference occurs in the system of each other. In this paper, we experiment a way to suppress the interference through the channel separation using a Walsh code.

I. 서 론

최근 차세대 전력망으로 일컬어지는 스마트 그리드(Smart Grid)가 전 세계의 관심사업으로 빠르게 발전하고 있다. 스마트 그리드란 말 그대로 지능형 전력망을 의미하며, 기존의 전력망에 정보통신기술을 접목하여 에너지 네트워크와 통신 네트워크를 결합한 것으로 전력공급자와 전력소비자가 실시간으로 전기사용에 관련된 정보를 주고받음으로써 에너지 사용을 최적화할 수 있는 차세대 전력망이다. 이를 위해 스마트 그리드에는 전체 전력시스템을 완벽히 감시, 진단 및 제어할 수 있는 능력이 필수적이다.

지능형 검침 인프라, 즉 AMI(Advanced Metering Infrastructure)는 전기, 가스, 수도와 같은 여러 가지 유틸리티 자원의 사용과 관련된 데이터를 평가하기 위하여 사용되는 시스템의 집합체로서, 스마트 그리드에서는 스마트미터(smart meter)를 기반으로 전력공급자와 전력소비자 사이에 양방향 정보교환을 통해 부하 제어 및 수요응답(demand

response)을 가능케 하여 시스템 상의 첨두 요구(peak demand)를 감소시키고, 에너지 소비와 비용 감소를 유도하기 위한 동적 과금을 가능하게 한다.

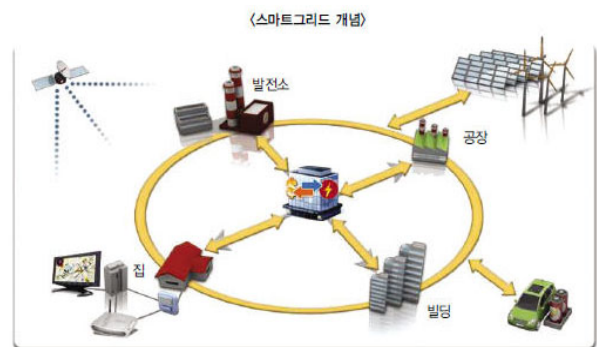


그림 1. 스마트그리드 개념

전력선통신(PLC, Power Line Communication)은 기존에 사용하고 있는 전력선과 통신기술을 접목하여 보내고자 하

* 본 연구는 한국 전기연구원의 스마트 홈을 위한 에너지 그리드 반응 시스템 기술개발 사업의 연구결과로 수행되었음" (10041779)

*광운대학교 전자융합공학과 유비쿼터스 시스템 연구실 (juhyun@kw.ac.kr, jinyung@kw.ac.kr) **한국 전기연구원

접수일자 : 2014년 2월 3일, 수정완료일자 : 2014년 3월 5일, 최종게재확정일자 : 2014년 3월 6일

는 정보를 전송하는 통신방식으로 2000년대 초반부터 부각되어 기술개발이 본격적으로 추진되었다. 전력선을 통신매체로 이용하는 전력선통신의 원천적인 특성상 양방향 원격 검침과 같이 전력선상에 연결되는 기기 간의 통신이 매우 유리하여 우리나라 및 외국에서도 양방향 원격검침 분야에 활발히 적용되고 있다.

한편, 한국전력공사에서 시행하는 AMI 시스템에서는 국제표준 IEC12139-1을 사용하는 고속 전력선 통신을 통신 방식으로 채택하여 AMI 산업을 진행하고 있는데, 전기자동차 충전 시스템과 연결되는 경우에 전기자동차 충전기 국제표준인 타입1 콤보(type1 combo) 충전 방식에 사용되는 고속 PLC인 홈 플러그 그린파이(HPGP, home plug greenPHY)와 상호 신호 간섭이 발생하는 문제가 있다.

본 논문에서는 IEC12139-1 신호와 HPGP신호를 Walsh Code를 사용한 채널 분리를 통해 간섭 억제 성능을 분석하고 모의실험 하였다.

II. 본 문

1. 전력선 통신

전력선통신 기술의 분류는 주파수 대역에 따라 나누어진다. 이용주파수 혹은 전송속도에 따라, 협대역(Narrowband)과 광대역(Broadband)으로 분류할 수 있으며, 협대역은 저속통신 응용분야인 저속 빌딩자동화, Home Automation 분야에 주로 이용되었다. 최근 OFDM 기술을 적용하여 성능을 개선하고 양방향 검침(AMI) 분야에 도입되고 있어 자동차 통신시스템에서 사용 될 수 있다.

협대역 전력선통신은 9kHz ~ 450kHz 대역을 사용하여 수 kbps급 통신 속도를 실현하며 제어 신호 및 인턴폰(음성) 등의 저속 서비스를 제공하는 기술이며, 광대역 전력선통신은 1.7MHz ~ 30MHz 대역을 사용하여 수 Mbps에서 수백 Mbps급의 통신 속도를 가능하게 하며 음성, 데이터, 멀티미디어 신호의 전송 서비스를 제공하는 기술이다.

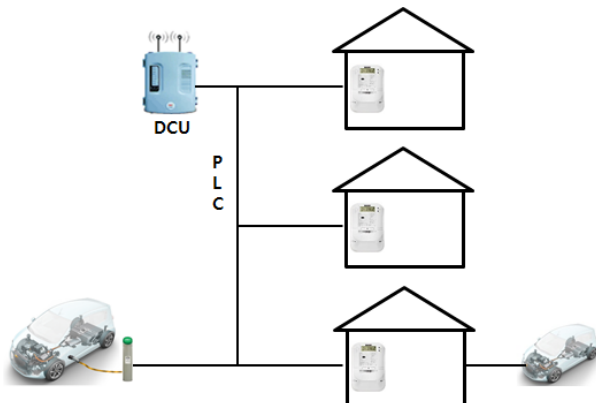


그림 2. 시스템 모델

그림 2는 AMI시스템과 전기자동차 충전시스템의 PLC연결을 나타낸다.

2. 채널 모델

그림 3은 본 논문에서 고려한 PLC 채널 모델을 나타낸다. 데이터 스트림은 변조기에서 변조된 후, Walsh 변조를 통해 채널의 직교성을 가지고, IFFT를 통해 각 부반송파에 실어진 뒤 모두 더해진다. CP(cyclic prefix) insertion에서 CP가 OFDM 변조 신호에 삽입 된 후, 디지털-아날로그 변환기(DAC, Digital-to-Analog Converter)를 통해 전력선으로 전송된다. 수신된 신호는 아날로그-디지털 변환기(ADC, Analog-to-Digital Converter)에서 디지털 신호로 변환된 뒤, Equalizer에서 noise를 제거한 뒤, CP removal에서 CP를 제거하게 된다. CP가 제거된 수신 신호는 FFT와 복호기를 통하여 원 신호로 복원된다. 복원된 신호는 Walsh 복호를 통해 원하는 채널의 신호만 Data stream으로 복원하게 된다.

주로 PLC 채널 모델은 M. Zimmermann과 K.Dostert가 제안한 한 개의 주전력선과 barnch 전력선으로 이루어진 다중 경로 모델을 사용하며 채널 주파수 응답은 다음 수식과 같이 나타낼 수 있다.

$$H(f) = \sum_{i=1}^N g_i \cdot e^{-(a_0 + a_1 f^k) d_i} \cdot e^{-j2\pi f(d_i/v_p)} \quad (1)$$

여기서, g_i 는 weighting factor이고, $e^{-(a_0 + a_1 f^k) d_i}$ 는 감쇄 부분, $e^{-j2\pi f(d_i/v_p)}$ 는 지연 부분을 나타낸다.

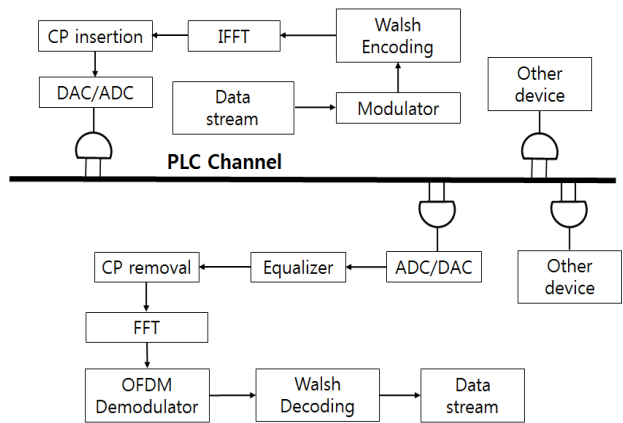


그림 3. 채널 모델

3. 노이즈 모델

PLC 시스템에서 노이즈는 5가지로 분류되고 colored background noise, narrow-band noise, synchronous periodic impulsive noise, asynchronous periodic impulsive noise, asynchronous aperiodic impulsive noise 가 있다.

colored background noise, narrow-band noise, 그리고 synchronous periodic impulsive noise는 수 초에서 수 분,

혹은 여러 시간 동안 변화 없는 특성을 가지는 background noise로 요약할 수 있다. 하지만 asynchronous periodic impulsive noise, asynchronous aperiodic impulsive noise는 전원 공급이나 시스템 네트워크에서 on/off에 의한 과도전류 (switching transients) 때문에 발생하게 되며 microsecond 에서 millisecond 동안 빠르게 변화한다. 따라서 이와 같은 임펄스 노이즈 모델 확립은 반드시 필요하다.

임펄스 노이즈 모델을 수립하기 위해 Middleton Class A 노이즈 모델을 고려하였다. 전체 노이즈는 두 가지 독립 요소로 이루어진다고 가정한다.

$$n(t) = n_G(t) + n_I(t) \quad (2)$$

첫 번째 항, $n_G(t)$ 는 stationary background Gaussian 노이즈 요소이고, 두 번째 항, $n_I(t)$ 는 임펄스 노이즈 요소이다. 관찰되는 시점에서 독립적인 임펄스 노이즈의 도착 시간은 Poisson process를 따르며, 노이즈 파형들이 그 시간 안에 중복 될 경우, 비일관적(noncoherently)으로 더해진다고 가정한다. 이러한 가정 하에 노이즈 모델의 확률 밀도 함수 (PDF, probability density function)은 다음과 같이 주어진다.

$$f_z(z) = \sum_{m=0}^{\infty} \frac{a_m}{2\pi\sigma_m^2} \exp\left(-\frac{z^2}{2\sigma_m^2}\right), \quad (3)$$

$$a_m = e^{-A} \frac{A^m}{m!}, \quad (4)$$

여기서, m 은 임펄스 노이즈의 발생 횟수를 나타내고, A 는 임펄스 노이즈의 평균 발생율과 일반적인 임펄스의 평균 지속시간의 곱으로써, 임펄스 인덱스라 부른다.

식 (3)에서, σ_m^2 는 다음과 같이 정의된다.

$$\sigma_m^2 = (\sigma_g^2 + \sigma_i^2) \frac{m/A + \Gamma}{\Gamma} \quad (5)$$

파라미터 σ_g^2 과 σ_i^2 는 각각 background 노이즈와 임펄스 노이즈의 파워를 표시한다. Γ 는 background 노이즈 대 임펄스 노이즈 비 (background-to-impulsive ratio, $\Gamma = \sigma_g^2/\sigma_i^2$)를 나타낸다.

4. MMSE algorithm

노이즈를 줄이기 위한 MMSE 알고리즘은 다음과 같다.

$$W_{MMSE} = \operatorname{arg\,min}_\epsilon \left\| W_{MMSE}^H r - s \right\|_F^2 \quad (6)$$

여기서 $\| \cdot \|_F$ 는 Frobenious norm이다.

직교 성질을 이용하여 다음과 같이 놓고,

$$\epsilon \left\{ (W_{MMSE}^H r - s)^H \right\} = 0_{n_r, n_r} \quad (7)$$

식 (6)과 (7)로부터 최종 복호 행렬을 구하면 다음과 같다.

$$W_{MMSE} = (H^H H + \sigma_z^2 I)^{-1} H^H \quad (8)$$

여기 σ_z^2 는 noise variance를 나타낸다.

MMSE 알고리즘은 SNR에 따른 복호 행렬을 사용하여 간섭을 제거하며, 잡음 성분이 증폭되는 것을 방지 할 수 있다.

5. Walsh code:

두 신호는 직교해야되기 때문에 직교성을 가지는 walsh code가 확산코드로 사용되게 된다. Walsh code는 서로 다른 코드에 대해서는 직교성이 성립되고, 자기 코드간의 상관을 취했을 경우에는 코드 길이에 해당되는 값이 나오는 코드이다. Walsh code를 사용한 방식에서 상호 간섭의 제거를 위해선 완벽한 동기가 필요하다.

Walsh code sequences는 Hadamard 행렬에서 얻을 수 있다. Hadamard 행렬 H_n 은 영 행렬에서 시작하여 순차적으로 Hadamard 변환을 적용함으로써 생성된다.

Hadamard 변환은 다음과 같이 정의된다.

$$H_n = [0] \quad (9)$$

$$H_{2n} = \begin{bmatrix} H_n & H_n \\ H_n & H_n \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$H_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

Ⅲ. 모의실험

표 1. EV 파라미터

Parameter	Value
Spectrum	2MHz to 30 MHz
Modulation method	OFDM
Subcarrier number	1,155
Subcarrier Spacing	24.414 kHz
Supported subcarrier modulation formats	QPSK
Channel model	PLC channel model

표 2. AMI 파라미터

Parameter	Value
Spectrum	2MHz to 30 MHz
Modulation method	OFDM
Subcarrier number	1,024
Subcarrier Spacing	97.656 kHz
Supported subcarrier modulation formats	DBPSK
Channel model	PLC channel model

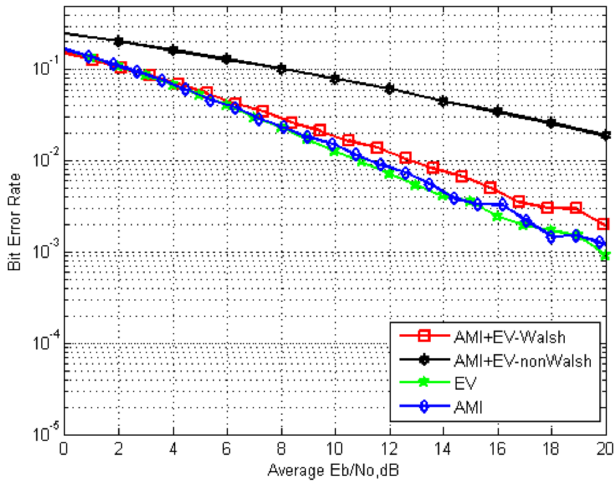


그림 4. BER 비교

본 장에서는 II장에서 언급한 채널조건하에 제안한 시스템 모델을 모의실험을 실시하여, 비트 오류 확률(BER, Bit Error Rate) 성능을 비교 한다.

표 1은 전기자동차 충전시스템에서 사용하는 HPGP 방식의 실험 파라미터이며, 표 2는 지능형 검침 인프라에서 사용하는 IEC 12139-1 실험 파라미터이다.

그림 4에서는 전기자동차 충전장치와 지능형 검침 인프라 각각의 BER 성능과 두 시스템이 같이 사용 됐을 경우의 BER, Walsh Code를 사용하여 두 채널을 분리 하였을 때의 BER 성능을 비교하고 있다. Walsh Code를 사용하지 않았을 경우 시스템을 사용 할 수 없을 정도로 채널환경이 나빠지는 것을 확인 할 수 있다. Walsh code를 사용하였을 경우 두 시스템을 각각 사용하였을 때보다는 BER성능이 저하되었지만 시스템을 사용할 수 있는 BER성능을 보여주는 것을 확인할 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 스마트그리드에서 사용되는 전력선 통신과 노이즈 특성을 알아보고 지능형 원격 검침 인프라에서 사용되는 IEC 12139-1 과 전기자동차 충전에 사용되는 HPGP PLC 간의 간섭을 없애기 위한 방법으로 Walsh code를 사용한 모의실험을 통하여 BER 성능을 알아보았다. 모의실험을 통하여 Walsh code를 사용함으로써 BER 성능이 개선되는 것을 확인 할 수 있었다.

향후 논문에서는 전력선 통신에서의 간섭 제거를 위한 등화기법을 사용하여 채널성능을 향상시키기 위한 연구를 할 계획이다.

참고 문헌

- [1] S. Käbisch, A. Schmitt, M. Winter, and J. Heuer, "Interconnections and Communications of Electric Vehicles and Smart Grids," 2010 First IEEE International Conference on Smart Grid Communications, pp. 161-166, 2010.
- [2] B.Sivaneasan, E.Gunawan, P.L.So, "Modeling and Performance Analysis of Automatic Meter-Reading Systems Using PLC Under Impulsive Noise Interference," IEEE Trans.Power Delivery, vol. 25, issue 3, pp.1465-1475,2010.
- [3] Jing Lin, Marcel Nassr, Brian L.Evans, "Impulsive Noise Mitigation in Powerline Communications Using Sparse Bayesian Learning," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 31,issue 7, pp1172-1183,July,2013.
- [4] S. S. Raghavan, O. C. Onar, and A. Khaligh, "Power electronic interfaces for future plug-in transportation systems," IEEE Power Electronics Society Newsletter, vol. 24, no. 3, pp. 23-26, July 2010.
- [5] M. S. Yousuf and M. El-Shafei. "Power line communications: an overview - part I," in Proc.4th Int' Conf. Innovations in Information Technology 2007, pp.218-222, Nov. 2007.

저자

박 주 현(JuHyun Park)



- 2013년 8월 : 광운대학교 전파공학과 학사졸업
- 2013년 9월~현재 : 광운대학교 전파공학과 석사과정

<관심분야> : 디지털 통신, 스마트그리드, 전력선통신

<e-mail> : juhyun@kw.ac.kr

서 종 관(JongKwan Seo)



- 2007년 : 인하대학교 정보통신공학과 학사졸업
- 2012년~현재 : 광운대학교 전파공학과 석사과정
- 2009년~현재 : 한국전기연구원 연구원

<관심분야> : 전력선통신, 스마트그리드, SEP 2.0 / OpenADR 2.0, 전기자동차

<e-mail> : yanuse723@naver.com

박 창 운(Chang-un Park)



- 2008년 : 고려대학교 전자및정보공학과 학사졸업
- 2010년 : 고려대학교 전자정보공학과 공학석사

<관심분야> : 스마트그리드, 전력선통신, 전기자동차

<e-mail> : pcuzone@keri.re.kr

이 재 조(JaeJo Lee)



- 1992년 2월 : 경희대학교 전자공학과 공학석사
- 2005년 2월 : 경희대학교 전자공학과 공학 박사
- 1992년~현재 : 한국전기연구원 수석 연구원

<관심분야> : PLC, 홈 네트워킹 , 네트워크 관리시스템

<e-mail> : jjlee@keri.re.kr

김 진 영(Jinyoung Kim)



- 1998년 2월 : 서울대 전자공학과 (공학 박사)
- 2000년 : 미국Princeton University, Research Associate.
- 2001년 : SK텔레콤 네트워크 연구원 책임연구원

· 2009년 : 미국 MIT 공대 Visiting Scientist

· 2001년~현재 : 광운대학교 전자융합공학과 교수

<관심분야> : 디지털 통신, 신호처리, 채널 부호화

<e-mail> : jinyoung@kw.ac.kr