

옥내 전력선 채널 분석

홍덕표, 이진목, 김수철, 최재호, 홍현문*

충북대학교 대학원 전기공학과, *통일부 남북경제협력국 남북경협2팀

Channel Analysis of inside PLC

Ducpyo Hong, Jinmok Lee, Soocheol Kim, Jaeho Choi, Hyun-Mun Hong*

School of Electrical and Computer Engineering in Chungbuk National University

*Ministry Inter-Korean Economic Cooperation Bureau, Inter-Korean Economic Cooperation 2 Team

ABSTRACT

Power line communication: PLC which easy to install at anywhere near outlet for electric machine.

PLC uses transmission line for voltage of which is 60 Hz. Signals don't affect to electric machine in PLC because they are very small voltage. One of the important thing is the processes of adding signal to power line and extracting the signal from power line, the other is to choose the strong modulation method which sends signals long distance without losing in PLC channel. but PLC channel have very high and variable noise and attenuation and then it is very hard to transmit optimally between the transmitter and the receiver. After all, impedance and noise problems of PLC channel must be overcome. Noises of 2 kinds which are AWGN and impulse noise and attenuation are created. To overcome the noise. Recently, Multi-carrier Modulation: MCM methods like as OFDM and DMT which are divide the channel into many sub-channel have been studied. those are powerful communication methods in PLC. In this paper, PLC channels made up of 3 numbers of noise and attenuation are simulated for getting BER by Matlab simulink.

1. 서론

최근 홈 오토메이션, 원격검침 및 인터넷 망으로 전력선 통신에 대한 관심이 증가하고 있다. 이러한 전력선 통신은 망 포설비용이 낮고 설치가 용이한 이유 때문에 유비쿼터스를 실현하는 통신매체로 주목받고 있다. 그러나 전력선 통신에서 사용하는 일반 전력선은 통신을 위한 선로가 아니기 때문에 임펄스 잡음, 화이트 잡음 및 선로임피던스에 의한 감쇠 같은 극복해야 할 문제들을 가지고 있다. 이러한 문제들을 극복하기 위해서 Discrete Multi-Tone: DMT와 Orthogonal Frequency Division Multiplexing: OFDM과 같은 다중반송변조방식의 통신방법에 대한 연구가 진행되어왔다.

본 논문에서는 전력선 채널을 감쇠, 화이트 잡음과 임펄스 잡음으로 모델링하여 다중반송변조방식인 DMT 방식과 OFDM 방식을 Matlab을 이용하여 오류율을 분석하였다.

2. 전력선 채널특성

전력선의 채널은 크게 감쇠와 잡음의 두 가지 특성으로 표현할 수 있다. 전력선의 감쇠는 전력선을 전송선로를 고려하여 전력원에서부터 목적지까지 전파 전달을 동등하게 간주할 경우 길이가 l 인 선로는 채널의 크기와 위상특성으로 설명할 수 있으며 전달 함수는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$H(f) = \frac{V(x=l)}{V(x=0)} = e^{-\gamma \cdot l} = e^{-\alpha(f) \cdot l} e^{-j\beta(f) \cdot l} \quad (1)$$

전파상수 $\gamma = \alpha + j\beta$ 에서 실수부인 $\alpha(f)$ 는 손실에 의한 감쇠의 크기이며 $\beta(f)$ 는 위상을 나타낸다.

잡음은 주로 배전선에 연결되어 있는 전기 기기가 발생한 단자전압에 의한 것으로, 백색잡음 및 임펄스 잡음 등으로 나눌 수 있는데 백색잡음은 전기드릴의 모터와 같은 전원 주파수와 관계없이 동작하는 부하에 의해서 발생되며 전력스펙트럼밀도가 배전선 반송신호 부근에서 평탄한 특성을 갖는 잡음을 말한다.

임펄스 잡음은 선로의 근처에 위치한 사무용 전기기기 또는 가정용 가전기기의 단락시나 선로의 사고시에 발생하며 불규칙하게 발생한다. 배경잡음은 주파수가 증가할수록 크기가 감소하고 단파 무선신호와 협대역 간섭의 영향을 함께 포함하여 나타난다. 측정된 잡음 스펙트럼에는 간섭에 있어서 다른 부분들의 파라미터들로 명시된다. 이것은 각 단파 무선 대역 내 간섭의 평균크기로 이루어지고 각 협대역 간섭의 크기는 물론 각 측정에서 다수의 협대역 영향으로 이루어진다.

전력선 통신에서 전력선로의 배경잡음의 전력 스펙트럼밀도 함수는 다음 식 (2)과 같이 나타낼 수 있다^[1].

$$N(f) = 10^{(K-3.95 \times 10^{-5} \times f)} \quad (2)$$

$$H(t) = A_p \cdot \exp(-f_0 \cdot t/4) \cdot \sin(2\pi f_0 \cdot t) \cdot \text{rect}(t/T_p) \quad (3)$$

$$\left(\begin{array}{l} \text{단, } \text{rect}(t/T_p) = 1 \quad (0 \leq t \leq T_p) \\ \text{rect}(t/T_p) = 0 \quad (\text{other}) \end{array} \right)$$

3. 통신 방식

3.1 OFDM

OFDM 전송 방식은 송신하려는 데이터를 병렬화 한 후 이를 다수의 직교 부 반송파를 사용해서 전송하는 방식이며 전력

선 채널 환경에서는 주파수 선택성 페이딩으로 인하여 BER 성능이 현저하게 감소된다.

일반적으로 저역통과 OFDM 신호를 식 (4)와 같이 변조된 부반송파의 병렬 전송신호로 나타낼 수 있다[3]. $x(t)$ 는 OFDM 신호를 나타내며, $C_{n,k}$ 는 n 번째 심볼에서 k 번째 부반송파에 실리는 실제 정보신호이며, $\Psi_{n,k}(k)$ 는 기본 신호의 요소이며 식(5)와 같다. $g_k(k)$ 는 식 (6)과 같다[3,4].

$$x(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{k=0}^{N-1} C_{n,k} \Psi_{n,k}(k) \quad (4)$$

$$\Psi_{n,k}(k) = g_k(t - nT_s) \quad (5)$$

$$g_k(t) = \begin{cases} e^{j2\pi f_k t} & 0 \leq t < T_s \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

(단, $f_k = f_0 + \frac{k}{T_s}$, $k=0,1,\dots,N-1$)

이때 입력신호 $C_{n,k}$ 의 심볼주기는 T_s 가 된다. 그리고 N 은 OFDM 부반송파의 개수이며, f_k 는 k 번째 부반송파 주파수이고, f_0 는 k 개의 부반송파 중 가장 낮은 대역의 부반송파 주파수를 나타낸다.

전력선 채널환경에서의 OFDM 시스템의 블록도를 그림1에서 나타내고 있다. 전력선의 주파수 선택적 특성으로 인해서 데이터 전송의 상태들은 각 부채널에서 차이가 난다. 이러한 이유로 인해서 변조 기법들 또한 다르게 사용되었다. 낮은 감쇠와 신호 방해를 갖는 부채널에서 16-QAM를 사용하는 것이 BPSK 변조를 적용한 경우보다 좋은 결과를 얻을 수 있다[2,3].

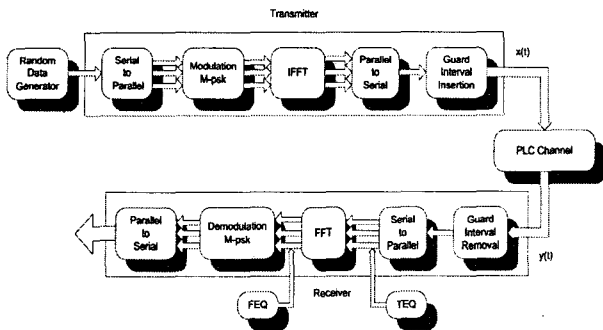


그림 1 OFDM 블록 다이어그램
Fig. 1 Block-diagram of OFDM system

3.2 DMT

DMT 전송 방식은 OFDM 전송방식과 유사하며, OFDM 신호를 주 반송파에 실어서 보내지 않고 기저 대역의 신호 형태로 전송하는 전송방식이다. 기저 대역의 신호를 구성하기 위해서는 주파수 영역에서 음의 주파수 영역의 신호가 양의 주파수 영역의 신호의 켈레 복소수로 구성되어야 하며, 이를 구성하기 위해서는 OFDM 부반송파 개수의 2배의 입력을 갖는 IFFT장치가 필요하다. 그리고 일반 무선망의 OFDM 방식에서는 주로 사용하지 않는 등화기를 사용함으로써 채널길이가 긴 곳에서도 사용이 편리한 장점이 있다.

DMT 방식의 모델에서 입력 비트열은 M-ary 심볼로 변환되어 다음과 같이 IFFT에 의해 변조된다.

식 (7)에서 X_k 는 i 번째 심볼주기에 k 번째 부 채널로 전송되는 데이터 심볼을 나타내며 N_G 는 보호구간에 사용된 Cyclic Prefix (CP)의 샘플수를 나타낸다. T_s 를 실제 유효데이터가 전송되는 시간이라 하고, T_G 를 보호구간의 길이라 하면 DMT 심볼주기 T_{sym} 은 $T_s + T_G$ 가 되며 인접 부 반송파간의 간격은 k/T_s 가 된다. 식 (7)의 X_k 는 변조 신호가 실수가 되기 위해서 식 (8)과 같은 관계를 갖는다.

$$x_n = \sum_{k=0}^{N-1} X_k e^{j2\pi kn/N}, \quad -N_G \leq n \leq N-1 \quad (7)$$

$$X_k = X_{N-k}^*, \quad 1 \leq k \leq N-1 \quad (8)$$

식 (9)에서 데이터 심볼 X_k 는 각 부채널의 전송용량을 최대한 사용하도록 비트가 할당되고 이것이 해당 심볼로 변환된 것이다. 각 부채널에 할당된 비트는 변조기에 의해 심볼로 변환된다. 변조된 신호는 D/A 변환기를 통해 아날로그 신호로 변환되어 채널로 전송되며 수신단에서 수신 신호를 수신단의 샘플링 주파수로 샘플링 한 후 보호구간을 제거하고 FFT를 사용해 신호를 복조한다.

$$Y_m = X_m H_m + N_m, \quad 0 \leq m \leq N-1 \quad (9)$$

m 번째 부 채널에서의 복조신호는 i 번째 심볼 주기에 m 번째 부 채널로 전송된 X_m 와 m 번째 부 채널에서의 채널의 주파수 응답 H_m 의 곱으로 표현되어 각 부 채널에서 단일탐 주파수영역 등화기 또는 시간영역 등화기를 사용하여 채널왜곡을 보상할 수 있다. PLC 채널은 좋지 않은 환경을 가지고 있지만 비교적 짧은 시간 동안에 채널의 변화는 크지 않다. 채널의 정보를 최적으로 사용하기 위하여 평균 SNR 보다 높은 부반송파에 대해서는 전송 효율이 좋은 변조방식을 사용함으로써 전송 효율을 높이는 Adaptive Bit Loading (ABL) 방법이 제안되었다[4].

$$C = \int_{BW} \log_2(1 + S(f)[H(f)]^2/N(f)) df \quad (10)$$

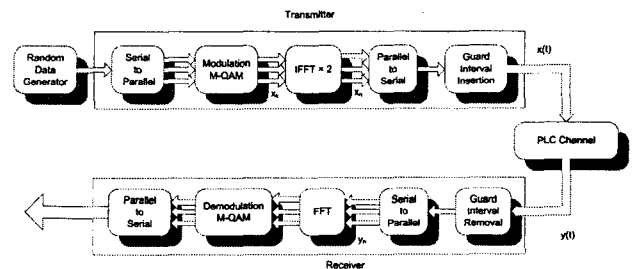


그림 2 DMT 블록 다이어그램
Fig. 2 Block diagram of DMT system

추정된 채널의 이득에 따라 특정 단계별로 전송될 비트가 할당된다. 알고리즘은 다변조 방식을 취하기 때문에 변복조기 구성시 다소 복잡하고 또한 송신단에서 비트 할당을 위한 많은 정보를 송신단에 보내주어야 하지만 좋은 BER 성능을 얻을

수 있다. 비트 할당 방법으로써 최적의 비트 할당을 위하여 Water-filling 알고리즘이 대표적으로 사용된다. Water-filling 알고리즘은 채널 상황이 좋은 부반송파에 많은 정보를 할당시키고 채널 상황이 좋지 않은 부반송파에서는 적은 양의 정보를 할당시킴으로써 채널에 가질 수 있는 채널용량의 양 만큼을 보내는 방법이다. 사용가능한 대역에 대한 채널용량은 식 (10)과 같다. $H(f)$ 와 $N(f)$ 는 채널의 전달특성과 잡음전력스펙트럼을 나타낸다. 따라서 Water-filling 알고리즘을 이용하여 C가 최대가 되는 $S(f)$ 를 구하여 비트 할당을 위한 정보를 얻어낼 수가 있다.

4. 시뮬레이션

OFDM 방식과 DMT 방식의 오류율을 실험하기 위해서 각각의 시스템을 그림 3과 그림 4와 같이 매틀랩의 시뮬링크로 구성하였다. 이 시스템의 파라미터는 표1과 같다. 두 방식을 같은 조건에서 오류율을 비교하기 위해서 사용주파수 밴드를 500 kHz까지 사용했으며 부반송파도 256개로 설계하였으며 변조 조건도 일치시키기 위하여 16QAM을 사용하였다. 이때의 전력선 채널은 일반적인 배경잡음, 임펄스 잡음과 전력선 임피던스^[5]에 의한 감쇠효과를 나타내는 필터로 구성하였다.

표 1 OFDM 파라미터

Table 1 Spec. of OFDM system

Parameter	OFDM	DMT
Frequency band	500 kHz	500 kHz
Number of subcarriers	256	256
IFFT Point	256	512
Modulation schemes	16 QAM	16 QAM

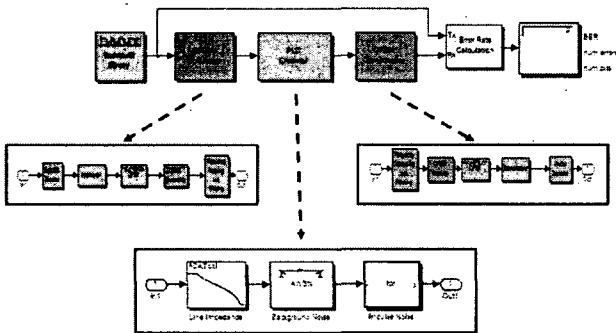


그림 3 OFDM 시뮬링크 블록도

Fig. 3 Simulink block diagram of OFDM

매틀랩을 통한 시뮬레이션 결과를 그림 5에서 보여주고 있다. 비트에 대한 에러 비율 (Bit to Error Ratio: BER)이 10^{-4} 을 만족하는 신호에 대한 잡음 비율 (Signal to Noise Ratio: SNR)을 비교하면 OFDM은 17dB의 SNR이 필요하지만 DMT는 10 dB의 SNR이 필요하다. 그러므로 DMT가 10^{-4} 의 BER을 만족하는 경우에 약 7 dB의 SNR 개선 효과가 있다.

5. 결론

매틀랩을 통한 시뮬레이션 결과를 그림 5에서 보여주고 있다. 비트에 대한 에러 비율 (Bit to Error Ratio: BER)이 10^{-4}

을 만족하는 신호에 대한 잡음 비율 (Signal to Noise Ratio: SNR)을 비교하면 OFDM은 17dB의 SNR이 필요하지만 DMT는 10 dB의 SNR이 필요하다. 그러므로 DMT가 10^{-4} 의 BER을 만족하는 경우에 약 7 dB의 SNR 개선 효과가 있다.

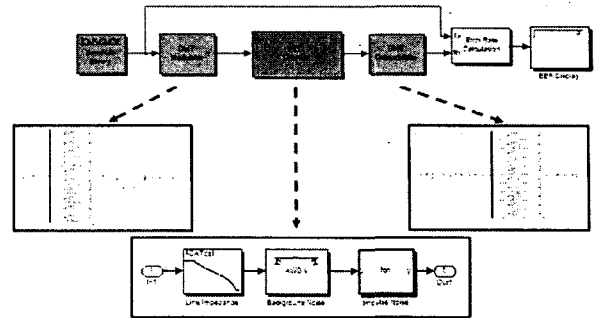


그림 4 DMT 시뮬링크 블록도

Fig. 4 Simulink block diagram of DMT

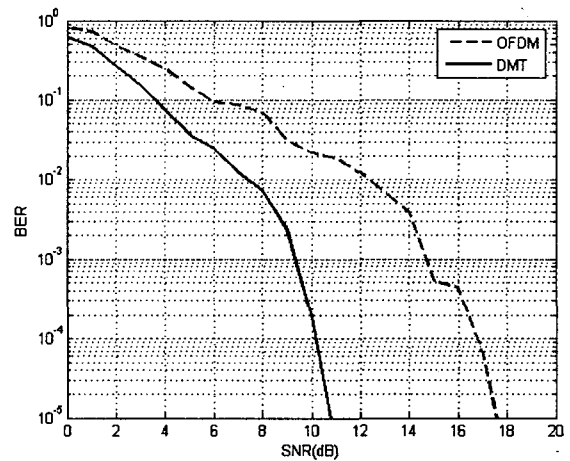


그림 5 전력선 통신채널에서의 오류율

Fig. 5 BER of PLC channel

참고 문헌

- [1] O. G. Hooijen and A. J. H. Vinck, "On the Channel Capacity of European style Residential Power Circuit," *Proc. of ISPLCA '98*, pp. 31-44, March 1998.
- [2] M. Daito, S. Moriyama, and S. Nakahara, "Experimental and Simulation Results on an OFDM modem for TV broadcasters," *SMPTE Journal*, vol. 105, no 1, pp. 39-45, January 1996.
- [3] C. Hensen, "Data Transmission Application via Low Voltage Power Lines OFDM Technique," *IEEE Transactions on power Delivery*, vol. 9, no. 2, pp. 210-214, April 1998.
- [4] O. G. Hooijen and A. J. H. Vinck, "On the Channel Capacity of European style Residential Power Circuit," *Proc. of ISPLCA '98*, pp. 31-44, March 1998.
- [5] 홍덕표, 최재호, "전력선 통신 시스템 설계를 위한 주택배선의 선로특성 분석," *한국조명·설비학회지*, vol. 19, no. 3, pp. 99-104, May 2005.