

저압 맥내망에 대한 저비트율 전력선 모델 적용을 위한 채널특성 분석 기법에 관한 연구

안 남 호, 김 중 윤, 장 태 규
중앙대학교 전자전기공학부

A Study on the channel characteristics of the household AC power line used for the low bit rate communication home network

N. H. Ahn, C. Y. Kim, T. G. Chang
School of Electrical Engineering Chung-Ang University
E-mail : anh2000@jupiter.cie.cau.ac.kr

Abstract

본 논문에서는 저압 맥내망에 대한 저비트율 전력선 모델 적용을 위한 채널특성 분석을 위해서 34평형 단위세대 아파트를 기초로 한 Distributed circuit 을 해석하였고 가정용 부하를 등가 임피던스와 잡음 소스로 모델링 하여 전력선 통신 채널 특성을 고찰하였다.

홈 오토메이션을 위한 전력선 채널은 비교적 간단한 H/W로 충분한 전송률을 가지며 초기 설치비용이 저렴하기 때문에 가격대비 성능 면에서 홈 제어망으로써 적합한 채널이라 할 수 있다.

I. 서론

전력선 통신(PLC : Power Line Communication)은 전력을 전달하기 위한 상용의 전력선에 고주파 통신신호를 60Hz 전력신호에 커플링해서 정보를 전송하는 통신 시스템으로 통신을 위한 새로운 채널을 확보해야 하는 비용을 절감할 수 있으며 주변의 많은 콘센트를 통해서 보다 쉽게 정보를 얻을 수 있기 때문에 차세대 통신 시스템으로써 관심이 고조되고 있다.

전력선 통신망은 본래의 전력선이 에너지를 전송하기 위한 선로였기 때문에 기존의 통신 채널에 비해 열악한 요소들을 많이 가지고 있다. 다양한 형태의 잡음과 통신신호의 왜곡 및 감쇠, 불규칙한 임피던스등이 시간과 응용형태에 따라 변화하기 때문에 신뢰성 있는 통신 시스템을 구성하는 데에는 많은 어려움이 있다. 이러한 열악한 환경을 극복하고 신뢰성 있는 통신시스템 구축을 위해서는 다양한 통신 환경을 반영해줄 수 있는 채널 모델에 기초한 시뮬레이션이 필수적이라 할

수 있겠다.

이에 본 논문에서는 저압 맥내 망에서의 저비트율 전력선 통신을 위해서 34평형 단위세대 아파트의 전력선 망을 기준으로 100-400kHz 주파수 대역에서의 채널 모델링 기법과 잡음 분석 기법을 제시하였고 시뮬레이션을 통하여 이를 확인하였다.

II. 맥내 전력선 통신 채널 모델링

2.1 맥내 전력선로 모델링

맥내 전력선로망은 일반적으로 맥내 인입선에서 여러 개의 간선으로 분리되고, 각 간선들은 다수의 브리지들로 구성되는 트리구조로 이루어져 있다. 다음 그림 1 에서는 본 논문에서 적용한 34평형 단위세대 아파트를 기초로 한 맥내 전력선망의 단면도를 나타내었다.

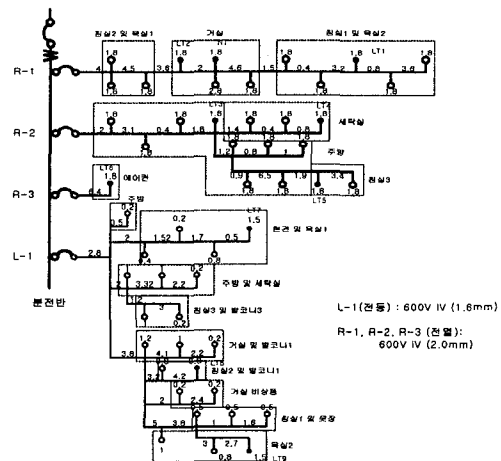


그림 1 맥내 전력선망(34 평형 단위세대 아파트 기준)

택내 전력선망은 그림 1 과 같이 단상 2선식으로 분전반에서 차단기를 거쳐 3개의 전열선과 전등선으로 나뉘고, 각각은 다수의 브리지를 포함하는 브리지 탭 환경의 트리 구조로 이루어져 있다. 표 1 에 적용한 전력선망의 선로 특성을 나타내었다.

표 1. 택내 전력선망의 선로 구성

	꺾기	최장직선 선로 [m]	총 길이 [m]	Avg. Characteristic Impedance	Avg. Propagation constant
R1	IV 2mm	30	50.8	80 - j5.4	0.0005 + j0.009
R2	IV 2mm	22.2	50	80 - j5.4	0.0005 + j0.009
R3	IV 2mm	8.2	8.2	80 - j5.4	0.0005 + j0.009
L1	IV 1.6mm	22.6	75.44	80 - j5.4	0.0005 + j0.009
계			184.44		

표 1에서와 같이 브리지까지 포함한 총 선로의 길이는 100k- 400kHz 신호 파장의 25% 에 해당된다. 따라서 Distributed circuit을 통한 신호 특성 해석이 가능하며, 선로의 특성 임피던스 및 전파 상수는 단위 거리당 선로정수를 통하여 근사적으로 얻을 수 있다.[2]

2.2 부하 모델링

택내에서 사용되는 가정용 부하는 통신 신호 주파수 대역의 등가 임피던스와 잡음 소스로 모델링할 수 있다. 가정용 부하는 브리지 탭의 종단 임피던스를 형성하여 임피던스, 신호 왜곡, 잡음 등의 주요한 소스가 된다. 다음 표 2 에 적용한 부하 모델을 나타내었다.[3]

표 2. 가정용 부하의 등가 임피던스 모델[3]

Apparatus	Impedance model
Refrigerator	
Incandescent lamp	
Foot warmer	
TV monitor #1	
TV monitor #2	
Circuit breaker (On)	

2.3 브리지 탭 환경의 전력선 통신망 모델링

택내 전력선 채널은 가정용 부하에 의한 브리지 탭 환경의 감쇠 채널로써 전달행렬(ABCD Matrix) 이 용한 Distributed circuit 해석이 가능하다.[2] 다음 식 (2-1) 은 선로 특성에 의한 전달행렬을 나타내었다.

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cosh(\gamma d) & Z_0 \cdot \sinh(\gamma d) \\ 1/Z_0 \cdot \sinh(\gamma d) & \cosh(\gamma d) \end{bmatrix} \quad (2-1)$$

where, $Z_0 = \sqrt{\frac{R+j\omega L}{G+j\omega C}}$
 $\gamma = \sqrt{(R+j\omega L) \cdot (G+j\omega C)}$

다수의 브리지 탭들은 각 탭이 위치하는 지점에서의 등가의 임피던스로 모델링할 수 있으며, 종단 임피던스와 브리지 선로특성에 각 브리지 탭의 특성이 결정된다. 다음 식 (2-2)에서 브리지 탭에 대한 등가의 임피던스 $Z_{T,B}$ 를 나타내었다.

$$Z_{T,B} = Z_{0,B} \cdot \frac{Z_{L,B} + Z_{0,B} \cdot \tanh(\gamma d_B)}{Z_{0,B} + Z_{L,B} \cdot \tanh(\gamma d_B)} \quad (2-2)$$

브리지 탭을 등가 임피던스로 해석하면 전체 전달행렬은 다음 식 (2-3) 과 같이 얻을 수 있다.

$$\begin{bmatrix} A_i & B_i \\ C_i & D_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & Z_i \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_1 & B_1 \\ C_1 & D_1 \end{bmatrix} \dots \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1/Z_{T,B} & 1 \end{bmatrix} \dots \begin{bmatrix} A_2 & B_2 \\ C_2 & D_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1/Z_L & 1 \end{bmatrix} \quad (2-3)$$

송수신간의 전달함수 및 채널 임피던스는 식 (2-3)을 이용하여 다음 식 (2-4), (2-5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$H = \frac{V_{in}}{V_L} \approx \frac{1}{A_i} \quad (2-4)$$

$$Z_{in} = \frac{A_i}{C_i} - Z_s \quad (2-5)$$

2.4 택내 전력선 통신 채널에서의 잡음 모델링

전력선 통신 채널의 잡음은 주로 가정용 부하에 의해 발생하며 기존의 통신 채널에 비해 비교적 큰 잡음 전력을 가지며 다양한 종류가 있다. 저압 택내 전력선망에서 발생하는 잡음은 다음과 같이 크게 4가지 형태로 분류할 수 있다. [1,3,5]

i) 전력 주파수에 동기된 주기를 가지는 잡음

전력 주파수의 기본 주파수, 고조파와 동기를 이루어서 생성되는 주기적 잡음으로 덤머, 형광등, 에어컨 등의 스위칭 장치에서 발생하며 다음 식 (2-6) 와 같은 시변 분산을 가지는 주기적 가우스 잡음신호로 모델링할 수 있다.

저압 배내망에 대한 저비트율 전력선 모델 적용을 위한 채널특성 분석 기법에 관한 연구

$$\sigma^2(t) = A \cdot |\sin(2\pi f_A t)|^n$$

where, $\sigma^2(t)$: instantaneous variance (2-6)

n : the concentration of the noise power

ii) 광대역 잡음

전력선 통신망에서의 광대역 배경 잡음으로 가우시안 잡음으로 모델링할 수 있다.

iii) 전기 스위치의 On/Off 의한 임펄스성 잡음

전자 제품의 스위치 On/Off 하는 과정에서 발생하는 하나의 펄스를 갖는 잡음 형태로 식 (2-7) 과 같이 모델링할 수 있다.

$$n(t) = A \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot t) \cdot e^{-\frac{1}{\tau}t} \quad (2-7)$$

iv) 전력 주파수에 비동기인 주기를 가지는 잡음

전자 제품이 작동하는 동안 전력 주파수와는 무관하게 발생하는 주기적인 잡음으로 TV, 모니터 등에서 발생하며 식 (2-8) 과 같이 나타낼 수 있다.

$$v(t) = A \cdot \cos(2\pi \cdot f \cdot t + \theta) + \text{harmonics} \quad (2-8)$$

다음 그림 2 에는 4가지 형태의 잡음을 나타내었다.

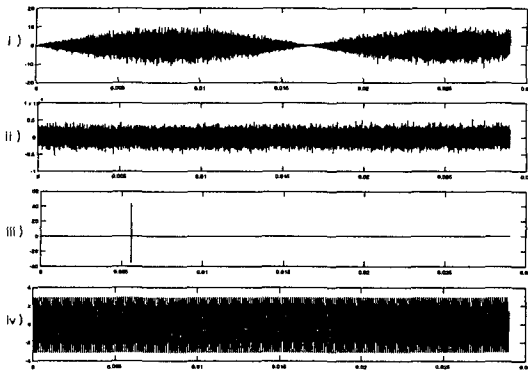


그림 2 전력선 채널 잡음

III 시뮬레이션 및 고찰

3.1 시뮬레이션 환경

배내 전력선 통신 채널 특성을 분석하기 위해서 CEBus규약을 기초로 100-400kHz 대역에서 샘플링 주파수는 3.6MHz로 적용하고, 주파수 간격은 440Hz로 적용하였으며 부하는 랜덤하게 각 nodes에 연결하였다. 전력선 모델은 그림 1에서 전열간선 R-1에 송신기(NT)가 있고, 수신기(LT)는 전열선 및 전등선에 각각 2-3 개를 위치하고 입력임피던스는 각각 $Z_{in} = 80\Omega$,

$Z_{out} = 1\Omega$ 으로 적용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 채널의 감쇠는 다음 식 (3-1) 과 같이 적용하였다.[4]

$$A_{ave} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N A_i$$

$$\sigma_A = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [A_i[dB] - A_{ave}[dB]]^2} \quad (3-1)$$

where, $A_i = |H(jf_i)|^2, i=1 \dots N$

채널의 rms delay spread는 다음 식 (3-2) 과 같이 적용하였다.[4]

$$\bar{t}_d = \frac{\sum_i t_i \cdot p(t)}{\sum_i p(t)}$$

$$\sigma_d = \sqrt{\frac{\sum_i (t_i - \bar{t}_d)^2 \cdot p(t)}{\sum_i p(t)}} \quad (3-2)$$

$$p(t) = h^2(t) \quad (\text{iFT of } H(jf))$$

3.2 시뮬레이션 결과

배내 전력선로와 부하를 Distributed circuit으로 해석하여 얻은 채널 전달특성을 다음 그림 3 에 나타내었다.

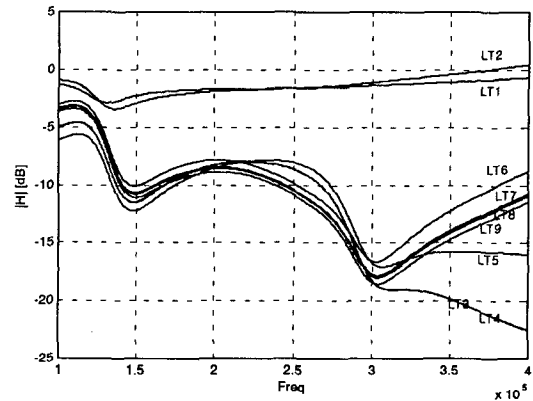


그림 3. 수신기 위치별 전력선 채널 전달 특성

배내 전력선 채널은 그림 3과 같이 송수신기 위치에 따라 다양한 특성을 나타낸다. LT1, LT2 는 송신기와 같은 R-1 전열선에 위치하여 신호 전파 경로가 비교적 짧고 차단기와 같은 직렬 임피던스가 없는 경우로서 브리지 탭에 의한 반사의 영향이 적은 양호한 채널을 보이는 반면, LT3, LT4, LT5 는 R-2 전열선에 위치하여 차단기와 같은 직렬 임피던스의 영향을 직접적으로 받고 또한 전열선의 다양한 부하와 브리지 탭에 의한 반사의 영향으로 신호의 왜곡이 발생할 수 있다. 전등간선(L-1)에 위치한 LT6, LT7, LT8, LT9 는 전파 경로가 상대적으로 길지만 브리지 탭 형

태로 R-2 전열간선의 다양한 부하의 영향을 받게 되어 R-2 간선의 수신기와 비슷한 왜곡이 생기고 각각은 전동간선의 부하 종류가 한정적이기 때문에 서로 비슷한 왜곡 현상을 겪는 것을 확인하였다.

차단기와 같은 직렬 임피던스를 겪지 않는 경우에는 그림 4 와 같이 120kHz 이상에서는 3.2[dB] 가량의 감쇠 개선 효과가 나타나는 것을 확인할 수 있다.

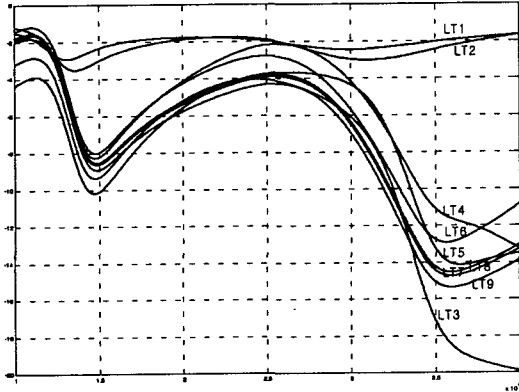


그림 4. 차단기 모델을 적용하지 않은 경우 전력선 채널 특성

각 수신기 위치에 따른 rms delay spread 및 감쇠 현상을 다음 표 3 에 나타내었다.

표 3. 수신기 위치별 rms delay spread 및 감쇠

Rx. position	rms delay spread (μ s)	avg atten. (dB)	std atten. (dB)	Min atten. (dB)	Max atten. (dB)	W/O CB	
						avg. atten.	std. atten.
LT1	1.97	1.56	5.04	0.66	2.88	2.09	0.32
LT2	0.74	1.40	0.93	+0.47	3.41	2.32	0.54
LT3	1.75	12.92	5.65	4.6	22.45	8.58	5.50
LT4	1.74	12.93	5.65	4.6	22.45	5.94	3.60
LT5	1.84	11.62	3.74	5.61	17.09	7.36	3.68
LT6	1.77	10.08	3.39	2.73	16.66	6.39	3.65
LT7	1.91	11.03	3.71	3.1	17.85	7.38	3.40
LT8	1.91	11.17	3.74	3.19	18.04	7.52	4.04
LT9	1.89	11.57	3.85	3.39	18.57	7.94	4.15
Avg.	1.72	9.36	3.57	3.15	15.49	6.17	3.21

전력선 채널은 100 - 400 kHz 대역에서 평균 9.36 [dB] 가량의 감쇠를 가지며, rms delay spread는 1.72 μ sec 로써 잡음이 없는 환경에서 고성능의 equalizer

를 사용하지 않는 경우의 전송률은 대략 290kb/s($\approx 1/(2 \text{ delay spread})$) 이다. 이러한 감쇠 및 전송률은 저속의 대내 제어망을 위한 채널로써 충분하며, 가격 대비 성능면에서 다른 채널에 비해 우수하다 할 수 있겠다. 위의 시뮬레이션 결과는 한정된 선로모델과 부하 모델을 통해 얻은 결과이지만 전력선 모델을 설계하는 과정의 1차적인 기초자료가 될 수 있으리라 판단된다.

IV. 결론

본 논문에서는 저압 대내망에 대한 저비트율 전력선 모델 적용을 위해서 34평형 단위세대 아파트를 대상으로 Distributed circuit 및 가정용 부하를 등가 임피던스와 잡음 소스로 모델링하여 채널 특성 분석을 수행하였다.

대내 전력선 채널은 가정용 부하에 의한 브리지 탭 환경의 감쇠 채널로써 거리에 의한 감쇠보다 신호 전파 경로상의 브리지 탭 특성에 의해 신호 감쇠 및 왜곡이 발생함을 확인하였다. 또한 대내 차단기의 영향으로 3.2[dB]의 감쇠가 발생하고, 평균 9.36 [dB]의 감쇠를 보이며 1.72 μ sec 의 delay spread를 확인하였다.

전력선 통신은 대내 제어망을 위한 채널로써 비교적 간단한 H/W로 충분한 전송률을 제공하며, 초기 설비 비용이 저렴하기 때문에 다른 통신 채널에 비해 가격 대비 성능면에서 우수하다 할 수 있겠다.

참고문헌

- [1] HC Ferrerira, HM Grove, O Hooijen, and AJ. Han Vinck, "Power Line Communications: An Overview", IEEE AFRICON 4th , Volume: 2, 1996, Page(s): 558 -563 vol.2
- [2] Bostoan, T. Van de Wiel, O., "Modelling the low-voltage power distribution network in the frequency band from 0.5 MHz to 30 MHz for broadband powerline communications (PLC)", Broadband Communications, 2000. Proceedings. 2000 International Zurich Seminar on , 2000, Page(s): 171 -178
- [3] Marubayashi, G., Tachikawa, S., "Spread spectrum transmission on residential power line", Spread Spectrum Techniques and Applications Proceedings, 1996., IEEE 4th International Symposium on, Volume: 3, 1996 Page(s): 1082 -1086 vol.3
- [4] Liu, D., Flint, E., Gaucher, B., Kwark, Y., "Wide band AC power line characterization", Consumer Electronics, IEEE Transactions on, Volume: 45 Issue: 4, Nov. 1999, Page(s): 1087 -1097
- [5] Niwa, H., Katayama, M., Yamazato, T.; Ogawa, A.; Isaka, N., "A spread-spectrum system with dual processing gains designed for cyclic noise in power line communications", Spread Spectrum Techniques and Applications Proceedings, 1996., IEEE 4th International Symposium on , Volume: 2 , 1996, Page(s): 816 -820 vol.2