

전력선 통신 채널의 시뮬레이터 개발

박종연 정동열
강원대학교 전기공학과

DEVELOPMENT OF SIMULATOR FOR POWER LINE COMMUNICATION CHANNEL

Chong-Yeun Park Dong-Youl Jung

Department of Electrical and Electronic Engineering, Kangwon National University

Abstract - We have developed the power line simulator which is one of the basic tools for the research of the power line communication and the control system. In the developed simulators, we have considered the transfer characteristics of the power line, various noise characteristics, and signal attenuation characteristics.

전력선을 이용한 통신중 비교적 노이즈가 약하고 신호의 감쇠도 적은 주파수 영역이다.

2.2 전력선 특성을 위한 측정

2.2.1 전달함수의 측정

전달함수의 측정은 그림1과 같이 HPF로 연결하여 Network Analyzer로 하였고, 부하의 변동을 고려하기 위하여 여러 가정기기별로 전달함수를 측정하였다. 부하의 종류를 TV, 냉장고, 진공청소기, 비디오, 전자레인지이고, 전력선에 각 부하가 연결 되어 있을 때 전달함수를 측정하였다. 또한 통신하는 장소에 따라서 전달함수가 변하기 때문에 장소 별로도 측정을 하였다. 그림2는 전달함수를 Network Analyzer로 측정 한 결과증나를 나타내고 있다.

1. 서 론

현대사회에서 가정자동화 시스템은 매우 중요한 기술 중의 하나로 발전되어 왔고 놀라운 속도로 발전되고 있다^(1, 2). 가정 자동화 시스템은 가정내에서 정보의 교환과 가정기기의 제어를 통해 시간과 사람의 수고를 덜어 주고 있다. 전력을 공급하기 위하여 설치하는 전력선을 정보의 전송로로도 이용할 경우 전송로에 중복 투자를 할 필요 없이 설치 공사도 간단히 할 수 있기 때문에 기존 건물에 설치할 경우 뿐만 아니라 신축 건물에 설치 시에도 여러 가지 장점이 많다.^(3, 4)

이러한 전력선을 통신 채널로 활용할 경우 잡음 때문 에 발생하는^(5, 7) 통신 장애요인을 분석하여 실제의 전력선과 동일한 시뮬레이터(simulator)를 개발하는 것은 전력선 통신 시스템 개발을 효과적으로 하는데 필수 불가결한 절차이다.^(8, 9)

본 논문에서는 규정된 주파수 대역에서 어느 특정한 주파수를 설정, 그 주파수로 통신하였을 경우, 그 신호의 감쇠와 신호의 평균전력 및 노이즈의 평균전력을 이용 전력선 채널의 채널용량 그리고, ASK, FSK, PSK로 통신할 경우 생기는 오차(Error)를 구현하도록 시뮬레이터(simulator)를 구성하였다. 신호의 평균 전력 및 노이즈의 평균전력은 일반가정의 전력선을 대상으로 측정, 계산하였다. 또한 전력선에 연결된 부하(load)의 종류와 개수에 따라서 전력선의 특성을 시뮬레이터(simulator)로 구현하였다.



그림1. 전달함수 측정 개략도

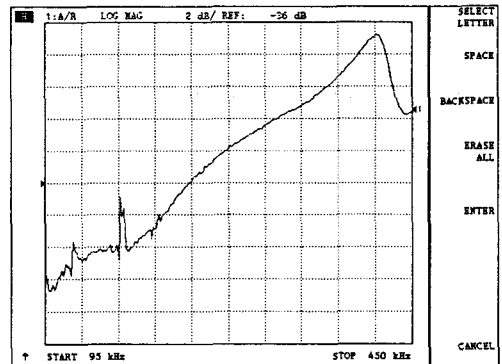


그림2. 전달함수 측정 결과

2 전력선의 특성

2.1 전력선의 특성

전력선은 각종 전기기기와 가전제품 및 사무기기로부터 발생되는 잡음들이 직접유입되며, 또한 부하가 전력선에 연결되는 시간과 공간에 따라 전송 특성이 상당히 다른 특성을 가진다. 따라서 전력선의 잡음특성들을 조사하여 전송특성을 고려해야한다. 가정내 전력선에 존재하는 잡음은 주로 전력선에 연결되어 있는 기기가 발생한 잡음 전압에 의한 것이다. 가정에서 사용하는 기기에 대한 전력선 상의 잡음특성은 100kHz 이하에서는 평균 0.1uV의 잡음레벨을 갖고, 100kHz 이상에서는 평균 10nV의 잡음레벨을 갖는 것으로 나타났으며, 이 대역에서 측정된 잡음은 비교적 낮은 레벨을 갖는 것으로 나타났다.

2.1.2 전력선 통신을 위한 주파수 대역

유럽에서는 전력선으로 통신 가능한 주파수 범위를 3kHz ~ 148.5kHz로 하고 그 범위를 5단계로 구별하여 사용할 수 있는 권한과 규정을 설정하였다.

우리나라에서는 이와 같은 규정이 없으나 미국이나 유럽의 규약을 바탕으로 법제화 될 전망이다. 본 논문에서 유럽과 미국의 규정을 근거로 하여 95kHz ~ 450kHz 영역을 통신 주파수 영역으로 사용하였다. 유럽과 미국의 규정에 의하면 이 주파수 영역에서는 소비자가 임의로 사용할 수 있는 주파수 범위로서 다중 통신이 가능하며,

2.2.2 잡음의 측정

잡음의 측정은 Oscilloscope로 하였는데 전달함수의 측정과 마찬가지로 가정기기별로 잡음을 측정하였으며 측정방법은 그림3과 같다.

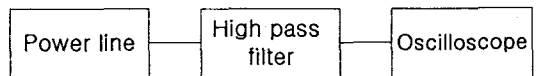


그림3. 측정방법의 개략도

3 Simulator의 구성

3.1 simulator의 구조

이 simulator의 목적을 수행하는 방법 즉, 통신가능여부를 판별하는 방법이 있어야 하는데 이것은 simulator의 구조를 파악함으로써 쉽게 이해 될 수 있다. simulator의 구조는 그림4에서 나타내었다.

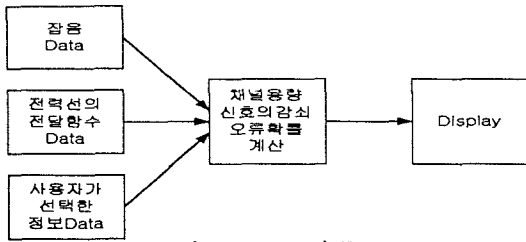


그림4. simulator의 구조

이 simulator는 사용자가 정보 data를 입력하면 입력 data에 맞는 채널용량, 신호의 감쇠, 오류확률등을 Display하는 기능을 가지고 있다.

3.2 데이터의 측정

data는 ascii 코드로 저장되어 컴퓨터에 이를 활용할 시 이 data의 확장자명은 txt로 되어있어 워드프로세서로도 쉽게 data를 획득할 수 있다. 또한 matlab에서는 이 data를 바로 프로그램에 첨가 시킬수 있도록 되어있어 더욱 편리하게 이용할 수 있다. Network Analyzer로 얻은 data를 그림5에서 나타내었다. 이 data는 주파수 1.8kHz마다 샘플된 것으로 95kHz에서 450kHz사이에서 약 200개 정도로 획득되어진다. 다음은 Oscilloscope로 측정된 잡음의 경우인데 Oscilloscope는 한 번 sample할 때 얻는 data의 개수는 5001개 정도이지만, 본 연구에서 필요한 data는 주파수 domain에서의 data이기 때문에 Oscilloscope로 얻은 data를 직접 사용하지 못하고 주파수에 대한 data로 다시 바꾸어야 한다.

```

-3.984575E+01 -3.480741E+01 -3.973518E+01 -3.758030E+01
-4.165634E+01 -3.801324E+01 -3.931977E+01 -3.933002E+01
-3.917683E+01 -3.994315E+01 -3.863630E+01 -4.140942E+01
-3.933306E+01 -4.062881E+01 -3.942527E+01 -3.922336E+01
-4.015105E+01 -3.995283E+01 -3.952055E+01 -3.962600E+01
-3.957920E+01 -3.948985E+01 -3.915255E+01 -3.921339E+01
-3.898674E+01 -3.902758E+01 -3.893769E+01 -3.883198E+01
-3.887379E+01 -3.879351E+01 -3.855609E+01 -3.835675E+01
-3.848617E+01 -3.822046E+01 -3.849333E+01 -3.822393E+01
-3.819423E+01 -3.784713E+01 -3.820826E+01 -3.781674E+01
-3.792300E+01 -3.773173E+01 -3.774267E+01 -3.778199E+01
-3.769069E+01 -3.753029E+01 -3.742440E+01 -3.710795E+01
-3.772709E+01 -3.732408E+01 -3.751872E+01 -3.733688E+01

```

그림5. 전달함수의 data

4 Simulator의 형태

입력 data로 data 전송률, 부하 종류, ASK 통신 [신호의 크기 (S_{amp1}), 주파수 (S_{freq1})], FSK 통신 [신호의 크기 (S_{amp2}), 주파수 (S_{freq2} , S_{freq3})], PSK 통신 [신호의 크기 (S_{amp3}), 주파수 (S_{freq4}), 위상각 (S_{θ})]으로 설정하였다. 이 들 입력 data를 변수로 인식하고 신호의 감쇠, 채널용량, 오류확률등에 대한 유도결과를 이용하여 결과치로 나타내었다.

4.1 신호의 감쇠

신호의 감쇠는 통신하고자 하는 신호의 크기와 주파수가 변수로 정해진다. 그리고 이미 측정되어진 전력선의 전달함수를 이용하여 신호의 감쇠를 구할 수 있다. 여기서 얻어진 감쇠된 신호의 크기가 의미하는 것은 특정 주파수와 특정 크기의 신호가 전력선을 통과하면 전력선의 전달함수에 의해서 신호에 변화를 준다는 것이다.

4.2 채널용량

채널용량은 샤논의 채널용량이론을 도입하여 전개하였다. 샤논의 채널용량이론에 따르면 채널용량을 다음 수식과 같다.

$$C = W \log_2(1 + \frac{S}{N})$$

C : 채널용량
W : bandwidth
S : 신호의 평균전력
N : 잡음의 평균전력

S는 수신된 신호의 평균전력이므로 다음과 같이 표현할 수있다. $s(t)$ 는 전송신호이고 $h(t)$ 는 전력선의 입력스응답이다.

$$S = \overline{R(t)^2}$$

$$R(t) = s(t) * h(t)$$

$$\overline{R(t)^2} = \lim_{T \rightarrow \infty} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} |s(t) * h(t)|^2 dt = \int_{-\infty}^{\infty} S_s(f) |H(f)|^2 df$$

전송신호의 일반적인 형태는 $s(t) = A \cos 2\pi f_0 t$ 이므로 수신된 신호의 평균전력은

$$\overline{R(t)^2} = \int_{-\infty}^{\infty} [(\frac{A}{2})^2 \delta(f-f_0) + (\frac{A}{2})^2 \delta(f+f_0)] |H(f)|^2 df = (\frac{A}{2})^2 |H(f_0)|^2 \quad (1)$$

이 된다. 채널용량은 어떤 방법의 통신을 하고 있는가에 따라서도 그 값이 달라진다. ASK, PSK, FSK 통신시 채널용량 C_{ASK} , C_{PSK} , C_{FSK} 는 다음과 같다.

$$C_{ASK} = 2R_b \log_2(1 + \frac{A^2 |H(f_0)|^2}{8N_0 R_b}) \quad \dots \quad (2)$$

$$C_{PSK} = 2R_b \log_2(1 + \frac{A^2 |H(f_0)|^2}{4N_0 R_b}) \quad \dots \quad (3)$$

$$C_{FSK} = (2R_b + \Delta f) \log_2(1 + \frac{A^2(|H(f_0)|^2 + |H(f_1)|^2)}{4N_0(2R_b + \Delta f)}) \quad \dots \quad (4)$$

채널용량은 신호의 크기와 주파수에 대해서 일반적인 형태를 그래프화 한것과 SNR에 대해 일반적인 형태를 그래프화 한 것 두형태로 나타내었다. 특히 SNR로 표현한 그래프에는 입력 data인 data 전송률, 신호의 크기, 주파수(사용자가 선택)로 통신 가능 여부의 판별을 표시하도록 simulator에 반영되었다.

4.3 오류확률

4.3.1 ASK통신시 오류확률

ASK 동기 검파의 경우 오류확률 PE_{ASK} 는 다음과 같은 수식으로 표현이 된다.

$$PE_{ASK} = (\frac{1}{2}) \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{E_b}{4N_0}} \quad \dots \quad (5)$$

본 연구에서 얻는 데이터는 비트당에너지 (E_b)가 아니라 수신평균전력의 크기이므로 오류확률의 형태는 다음과 같다.

$$PE_{ASK} = (\frac{1}{2}) \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{A^2 |H(f_0)|^2 T}{8N_0}} \quad \dots \quad (6)$$

T : 비트지속시간

f_0 : 통신 신호의 주파수

A : 통신 신호의 크기

4.3.2 FSK 통신시 오류확률

FSK 동기검파의 경우 f_1, f_2 를 통신신호의 주파수라고 할 때 오류확률은 다음과 같은 수식으로 표현이 된다.

$$PE_{FSK} = (\frac{1}{2}) \operatorname{erfc} \sqrt{(1-\rho) \frac{E_b}{2N_0}} \quad \dots \quad (7)$$

$$\rho = \frac{\sin 2\pi(f_1 + f_2)T + \sin 2\pi(f_1 - f_2)T}{2\pi(f_1 + f_2)T + 2\pi(f_1 - f_2)T}$$

데이터는 비트당에너지 (E_b)가 아니라 수신평균전력의 크기이므로 오류확률의 형태는 다음과 같다.

$$PE_{FSK} = (\frac{1}{2}) \operatorname{erfc} \sqrt{(1-\rho) (\frac{A^2(|H(f_0)|^2 + |H(f_1)|^2) T}{8N_0})} \quad \dots \quad (8)$$

4.3.3 PSK 통신시 오류확률

PSK 동기검파의 경우 변조지수를 m_f 라고하면 오류확률은 다음과 같은 수식으로 표현이 된다.

$$PE_{PSK} = (\frac{1}{2}) \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{E_b}{N_0} (1-m_f)^2} \quad (m_f = \cos \Delta \theta) \quad \dots \quad (9)$$

ASK의 경우와 마찬가지로 본 논문에서 얻은 데이터는 비트당에너지 (E_b)가 아니라 수신평균전력의 크기이므로 오류확률의 형태는 다음과 같다.

$$PE_{PSK} = (\frac{1}{2}) \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{E_b}{N_0} (1-m_f)^2} = (\frac{1}{2}) \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{A^2 |H(f_0)|^2 T}{2N_0} (1-m_f)^2} \quad (10)$$

오류확률에 대한 식(6), 식(8) 및 식(10)을 simulator에 반영하였다.

5. Simulator의 실행 예

실제 프로그램을 제작 후 simulation을 해본 결과 처음 matlab 창에서 프로그램을 실행시키면 그림6과 같은 새로운 버튼 창이 나타난다.

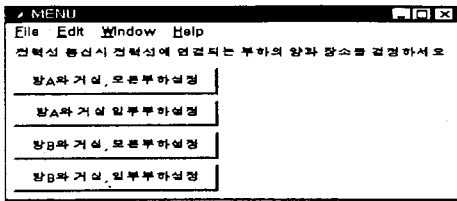


그림6. 장소 및 부하결정을 위한 버튼 창

여기서 사용자가 원하는 장소와 부하를 선택하면 다음에 바로 그림7과 같은 창이 나타난다.

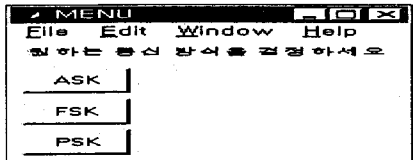


그림7. 통신 방식 결정을 위한 버튼 창

사용자는 원하는 통신방식을 선택한다. 이 실험에서 처럼 ASK를 선택하면 그림8과 같은 요구사항이 나온다.

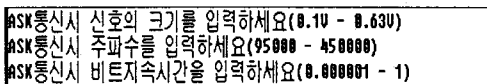


그림8. 정보 data의 입력을 위한 창

각 항에 맞게 data를 입력하면 그림9의 (a) - (c)와 같은 오류확률을 도시해 주게 된다. 그 다음에 채널 용량과 신호의 감쇠를 도시할 것인지 물어보게 된다. 이 창은 그림10에서 나타내었다.

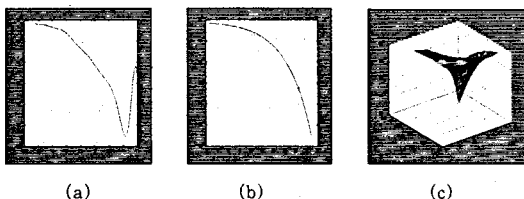


그림9. 오류확률의 도시

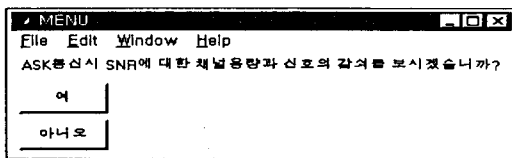
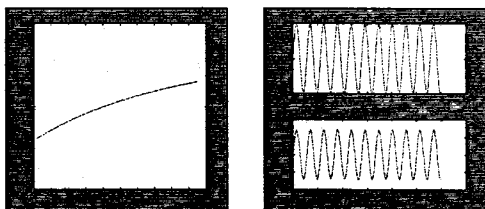


그림10. 채널용량과 신호의 감쇠를 요구하는 버튼 창

여기서 '예'를 선택하면 그림11와 같이 채널용량과 신호의 감쇠도가 보여진다.



(a) 채널용량 (b) 신호의 감쇠
그림11. 채널용량과 신호의 감쇠를 도시화

모든 과정이 끝나면 프로그램을 종료하게 된다.

6. 결 론

본 연구에서는 특정장소의 전력선의 특성을 matlab을 사용하여 simulator를 구현하였다. 아파트 한 채에서 Network Analyzer로는 전력선의 전달함수를 측정하고 Oscilloscope로 전력선에 유입되는 잡음을 측정해서 이 측정된 data를 토대로 simulator를 구현하였다. 이 simulator는 특정 주파수로 통신 할 때 생기는 신호의 감쇠와 채널의 용량을 표현할 수 있고, ASK, PSK, FSK 통신시 발생하는 오차 확률을 표현하는 기능을 가지고 있다. 본 연구의 simulator를 이용하여 첫째, 전력선으로 통신을 할 경우 주파수 설정시 신호의 감쇠를 최소로 하는 주파수를 선택하기가 용이하게 되어 있고, 둘째, 채널용량으로 통신이 가능한 data 전송률과 주파수대역을 알 수 있으며, 사용자가 직접 선택한 data 전송률과 설정된 주파수의 타당성을 판단할 수 있고, 셋째, 통신방법을 선택할 때 같은 주파수와 같은 data를이라도 ASK, PSK, FSK의 경우에 따라 오류확률이 가장 적은 통신 방법을 선택할 수 있어 system구현에 많은 효과를 기대할 수 있다. 향후 연구과제로는 가정 뿐만 아니라 빌딩 및 공장에서 data를 획득하여 simulator의 기능을 폭 넓게 하고 오류확률을 줄일 수 있는 통신방식을 연구하여 좀더 일반적인 simulator로 발전하는 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] BEN O'NEAL, JR, "The Residential Power Circuit as a Communication Medium" IEEE Transaction on consumer Electronics, vol.CE-28, no.3, pp.161-168, 1984
- [2] S. Ramseier, and etc "A Novel Method of Measuring the Characteristics of the Power Channel for High Spread Communications", IEEE Proceeding, pp.238-246, int. symp. on PLC, March 24-26, 1998
- [3] MORGAN H.L, CHAN, and ROBERT W.DON-ALDSON, "Attenuation of Communication Signals on Residential and Commercial Intrabuilding Power-Distribution Circuits" IEEE Transaction on Electromagnetic Compatibility, vol.EMC-28, no.4, pp.161-168,1984.
- [4] M. Tanaka "High Frequency Noise Power Spectrum, Impedance and Transmission Loss of Power Line in Japan on Intrabuilding Power Line Communication" IEEE Trans. On Consumer Electronics, Vol. 34, No 2, May 1988, pp. 321-326
- [5] ROGER M. VINES, H. JOEL TRUSSEL, LOUIS J.GATE, and J. BEN O'NEAL, JR, "Noise on Residential Power Distribution Circuits" IEEE Transaction on Electromagnetic Compatibility, vol.EMC-26, no.4, pp.161-168,1984.
- [6] O. ohno, and etc "A Modeling of the Noise for Power line Communication Systems", IEICE technical report, DSP97-61, SST97-21, CS97-46, pp.7-12 (1997-07)
- [7] Morgan H. L. Chan, Rober W.Donaldson: "Amplitude, Width, and Interarrival Distributions for Noise Impulses on Intrabuilding Power Line Communication Networks", IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, vol.31, no.3, pp.320-323, Aug. 1989.
- [8] Olaf G. Hooijen "A Channel Model for the Low Voltage Power-Line Channel : Measurement and Simulation Results," Proceedings of the 1997 International Symposium on Power Line Communications and its Applications (ISPLCA '97), Essen, Germany, April 1997, pp. 51-56
- [9] O. ohno, and etc "A Simple Model of Cyclostationary Power-Line Noise for Communication System" IEEE proceeding, pp115-122, int symp. on PLC March 24-26, 1998