

전력선 통신 채널 내 잡음에 대한 단 구간 분석 및 모델링

최원호, 박종연, 정광현
강원대학교 IT특성화학부 전기전자전공

A Modeling and Analysis of the Noise in the Power Line Communication Channel

Chong yeon Park, Wonho Choi, Kwang hyun Jung
Dep. electrical and electronic engineering , Kangwon National Univ.

Abstract - 전력선 채널 내의 잡음은 주로 전력선에 연결되어 있는 전기기기에 의하여 발생한다. 전기기기의 종류 및 구조에 따라 기기들이 발생하는 잡음이 매우 다양하기 때문에 전력선 통신을 위해서는 이러한 잡음의 특성을 분석하는 일이 중요하다. 기존의 전력선 채널에 대한 잡음분석은 주로 주파수 축에서 이루어 졌으나 몇몇 연구에 의하여 기기에 의하여 발생하는 잡음은 주로 시간에 따라 주기적인 성격을 지닌다는 사실이 밝혀져 왔다. 본 논문은 여러 잡음 중 전원 주파수와 동기를 이루는 잡음을 시간과 주파수 두 가지 측면에서 통계적 특성을 추출함으로써 특성을 분석하였고 이를 통하여 개선된 잡음 모델방법을 제시하였다.

표현이 가능하지만 주파수 영역에서는 그 형태가 조금 상이하다. 왜냐하면 모델링 된 잡음은 백색잡음의 형태를 띠고 있기 때문이다. 그러므로 본 논문에서는 이렇게 만들어진 주기적 잡음이 가지는 주파수 분포가 시간에 따라 어떠한 분포를 가지는지를 분석하였으며 이를 통하여 잡음을 주파수 영역에서도 실제와 근접하도록 하는 모델링 방법을 제안하였다. 또한 잡음에 가장 방해로 적게 받는 송신시점과 그 시점에서 피해야 하는 주파수를 분석하였다. 이러한 정보는 단일 캐리어의 저속통신에서는 최적의 송신시간과 주파수를 선택하는데 활용될 수 있으며 현재 각 광망고 있는 다중 캐리어 변조방식을 적용할 때 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

1. 서 론

전력선통신에 대한 관심증가로 인하여 전력선 채널의 잡음을 모델링 하는 방법에 대한 연구가 꾸준히 이루어지고 있다. 현재까지 밝혀진 바에 의하면 대부분의 잡음은 전력선에 연결된 부하로부터 발생된다고 알려져 있으며 많은 연구가 FFT를 이용한 주파수 영역에서의 관찰로서 이루어지고 있다.[1] 그러나 만약 주기적으로 특정 구간동안에 특정대역의 잡음이 집중되어 분포하고 있다면 FFT는 측정구간 내에서 잡음의 주파수 분포만을 나타내기 때문에 이러한 정보를 적절히 나타내지 못한다. 전력선 채널에는 이러한 잡음의 발생 가능성이 크다. 이는 신호의 전송시점에 따라 통신시스템의 에러율에 차이를 보일 수 있음을 의미하기 때문에 주파수 영역과 시간 영역에서의 관찰이 동시에 이루어져야 한다. 본 논문은 전력선의 잡음을 주파수 영역과 시간영역에서 동시에 관찰하였고 이 결과로 부하와 관련지어진 개선된 잡음의 모델링 방법을 제안하였다.

2. 본 론

2.1 전력선 채널의 시간영역에서의 잡음

주파수 영역에서의 해석이 아닌 시간 영역에서의 잡음 특성을 [2][3]에서 소개하고 있다. 이에 의하면 시간영역에서 관찰된 전력선 잡음의 PDF를 아래의 (1)식과 같이 가정한다.

$$P(N(iT_s)) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2(iT_s)}} \exp\left(-\frac{N^2(iT_s)}{2\sigma^2(iT_s)}\right) \dots\dots(1)$$

또한, 아래의 세 가지 노이즈의 합성으로 표현한다.

- ① cyclic continuous noise - cyclostationary Gaussian
- ② cyclic impulsive noise - cyclostationary Gaussian
- ③ time-invariant continuous noise - stationary Gaussian

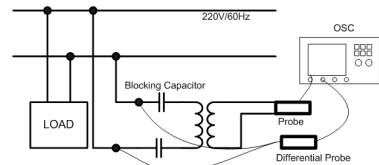
여기서 time-invariant continuous noise는 cyclic continuous noise 나 cyclic impulsive noise보다 작은 크기로 나타나며 나머지 두 가지 잡음이 주로 전력선 잡음의 특징을 나타내는 잡음이라고 볼 수 있다. 이 잡음들이 Cyclostationary Gaussian process라는 가정을 통하여 식(2)과 같이 잡음의 분산 주기성을 표현하였다. 잡음의 평균은 0으로 가정한다.[3] 식(2)에서 K는 잡음에 따라 다르지만 주로 3이면 잡음을 표현하는데 충분하다. 즉, 잡음의 모델링은 각각의 k에 대한 A와 θ 그리고 n의 총 9개의 계수를 구함으로써 이루어질 수 있다.

$$\sigma^2(t) = \sum_{k=0}^{K-1} A_k |\sin(2\pi f_{AC}t + \theta_k)|^{n_k} \dots\dots(2)$$

이렇게 모델링된 전력선의 잡음은 시간 영역에서는 만족할 만한 특성

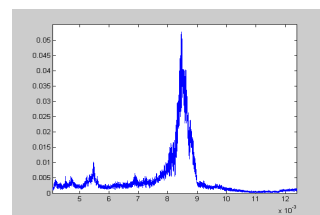
2.2 전력선 채널 잡음의 모델링

전력선의 잡음이 전력선의 주 전압(220V/60Hz) 및 부하에 의한 전류흐름과 관련이 깊다고 판단하였기 때문에 그림 1의 구조로 전력선의 메인 전압과 함께 채널 내의 잡음을 측정하였다. 측정 시 샘플링 주파수는 2MHz, 샘플의 개수는 총 100002개이다.



〈그림 1〉 실험 구성도

그림1의 부하를 연결하지 않고서 측정된 잡음은 그림2와 같은 형태를 지니고 있었다. 이러한 잡음의 시간에 따른 분산을 메인전압의 반주기동안 살펴본 그림은 그림 2와 같으며 이를 통하여 구한 모델 식 (2)에서의 계수 추정 결과는 표1과 같다.



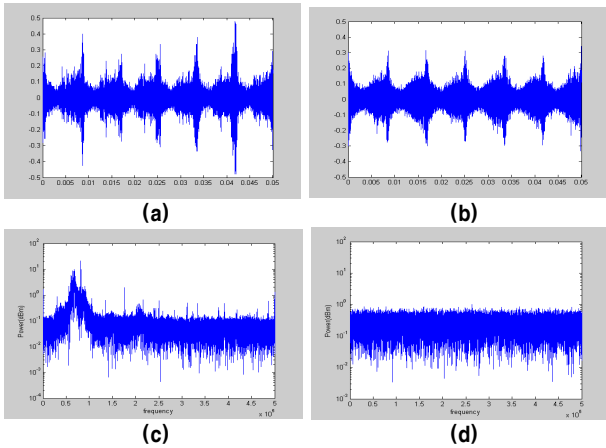
〈그림 2〉 전력선 잡음에 대한 시간에 따른 분산의 평균 예

〈표 1〉 잡음모델 분산 식의 계수

l	A_l	θ_l	n_l
0	0.0123	-	0
1	0.03112	2	1.8
2	0.0516	-35	1200

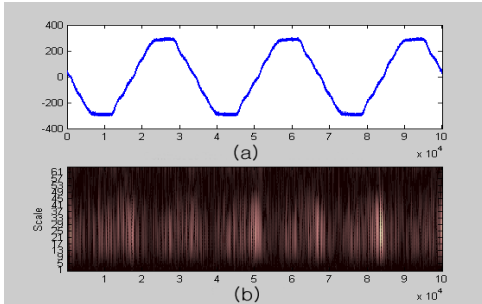
2.3 모델링된 잡음과 실제잡음과의 비교

그림 3에서 표 2를 통하여 모델링 한 잡음을 시간영역에서의 주파수영역에서의 실측된 잡음과 각각 비교하였다. 시간 영역에서 관찰한 실측된 잡음인 그림 3(a) 과 모델링 된 잡음인 그림 3(b)은 거의 비슷한 형태를 지니고 있다. 그러나 주파수 영역에서의 실측된 잡음인 그림 3(c)와 모델링된 잡음 그림 3(d)는 매우 다른 형태를 가지는데 이는 모델링 된 잡음이 실제와 다르게 주파수에 대하여 균일한 확률을 가진다고 가정하였기 때문이다.



〈그림 3〉 전력선 채널의 잡음 (a)측정된 잡음-시간 (b)모델링 된 잡음-시간 (c)측정된 잡음-주파수 (d) 모델링 된 잡음-주파수

실측된 잡음의 Power spectral density(PSD)인 그림 3(c)을 살펴보면 특정 대역에 잡음 에너지가 집중되어 있는 점을 발견할 수 있다. 즉, 기존의 잡음 모델로는 실제 잡음과 차이를 나타낸다. 또한 특정 주파수의 노이즈들이 발생하는 시점도 기존의 분석으로는 나타나지 않는 특성이 있다. 이를 알아보기 위하여 220V/60Hz의 메인 전압의 한 주기 간 Wavelet 변환을 통한 시간-스케일 분석을 하였으며 결과가 그림 4이다.



〈그림 4〉 전력선 잡음의 시간에 따른 주파수 분포

그림 4(a)는 전력선 채널의 주 전압(220V/60Hz)이며 시간축의 시작은 주 전압의 영전위 교차 지점과 일치한다. 그림 4(b)는 잡음의 주파수별 전력 분포를 시간에 따라 그린 그림이며 색이 밝을수록 크기가 커다는 것을 의미한다. 그림 3에서도 관찰할 수 있듯이 전력선에서는 주 전압의 영전위 근처에서 임펄스 성 잡음이 발생한다. 그림 4(b)에서도 주 전압의 영전위 부근에 약60~100kHz의 잡음이 집중되어 있음을 볼 수 있다. 또한 가장 잡음이 적은 구간은 메인 전압의 영전위 교차 시점 직후부터 Peak 부근까지임을 확인할 수 있다. 앞의 두 가지 사실 즉, 전력선의 잡음은 백색잡음의 형태가 아니며 메인전압에 동기화 되어 특정 구간에서만 발생한다는 점은 기존과 다르게 시간에 따른 주파수 선택적 특성을 모델에 추가하여야 함을 의미한다.

〈표 2〉 잡음형태에 따른 발생원

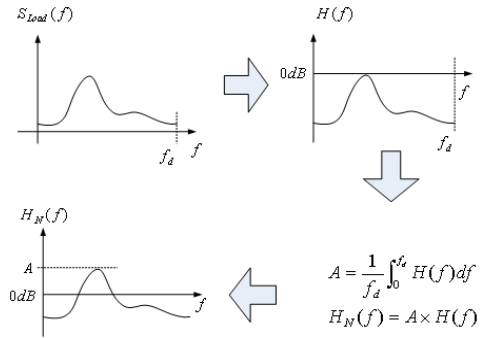
잡음형태	대표적 발생원	특징
A	Switching Devices (SCR, Power Supply)	전원 고조파 성분의 라인 스펙트럼
B	Universal Motor (Electrical Drill, etc.)	White Noise
C	램프 등의 인버터 기기	특정 주파수 대역에 잡음이 집중됨
D	Television Receiver	선 스펙트럼을 보임.

2.4 전력선 채널 잡음 모델의 개선

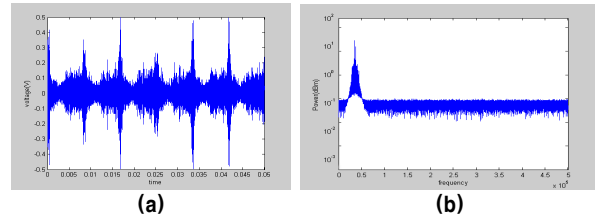
앞서 구해진 전력선 채널 잡음 $n(t)$ 의 주파수 분포는 균일하다. 잡음의 랜덤성은 선형시스템을 거처도 변화되지 않으므로 $n(t)$ 을 특정 주파수 성분들이 강조된 잡음 필터 $H_N(f)$ 에 통과시킴으로서 실제 잡음과 매우 유사한 개선된 잡음 $n'(t)$ 의 모델을 만들어 낼 수 있다.

전력선의 배경잡음 즉, 백색잡음에 비하여 상대적으로 크기가 큰 잡음은 부하에 의하여 발생함이 기존 연구[4][5]에 의하여 밝혀져 있으므로 부하가 발생시키는 주파수 스펙트럼 $S_{Load}(f)$ 으로서 아래의 그림 5와 같은 방법으로 잡음 필터의 전달함수 $H_N(f)$ 을 구할 수 있다. 가정에서 발생하는 주요한 잡음의 발생원으로는 표 2와 같이 직/교류 겸용 모터

(Universal motors), 밝기 조절기(Light Dimmer), 전원 공급기(Power Supply), 텔레비전 수신기(Television Receivers) 등이 있으며 특히, 조명 밝기 조절기에 의한 잡음은 Universal Motor에 의한 잡음보다 통신에 더욱 악영향을 미치는 특성이 있다.[4] 각각의 부하에 따른 잡음 스펙트럼을 규정화하여 $H_N(f)$ 를 만들면 보다 더 정확한 잡음 모델을 구현할 수 있다. 이에 근거하여 개선된 잡음의 모델은 그림 6에 나타내었다.



〈그림 5〉 잡음 필터의 전달함수 모델링



〈그림 6〉 개선된 잡음 모델 (a) 시간영역 (b) 주파수영역

3. 결 론

전력선 채널 잡음은 메인 전압과 동기를 이루며 특정 구간에 특정 대역의 잡음이 집중되어 있는 특징을 보인다. 통신의 에러율을 낮추는 가장 단순한 방법은 부하가 발생하는 잡음 주파수 대역을 피해 영전위 교차점부터 피크전위까지의 구간에서만 통신을 하는 것이다.

본 논문에서 제시한 개선된 잡음은 시간영역에서뿐만 아니라 주파수 영역에서도 잡음의 특징이 잘 묘사된다. 그러므로 이 잡음으로 전력선 통신 시스템 시뮬레이션에 적용한다면 보다 더 근접한 모의결과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1] H. Meng, Y.L. Guan, S. Chen, "Modeling and Analysis of Noise Effect on Broadband Power-Line Communications", IEEE journal on selected areas in communications, Vol.24, No.7, JULY 2006
- [2] Osamu OHNO, Masaaki Katayama, Takaya Yamazato, Akira OGAWA, "A Simple Model of Cyclostationary Powerline Noise for Communication Systems", International Symposium on Power Line Communication, pp.115-122, 1998
- [3] Masaaki Katayama, Takaya Yamazato, Hiraku Okada, "A Mathematical Model of Noise in Narrowband Power line Communication Systems", IEEE journal on selected areas in communications, Vol.24, No.7, JULY 2006
- [4] Roger M. Vines, H. Joel Trussell, Louis J. Gale, J. Ben O'Neal, JR., "Noise on Residential Power Distribution Circuits", IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, Vol. EMC-26, No.4, November, 1984.
- [5] Masaaki Tanaka, "High Frequency Noise Power Spectrum, Impedance and Transmission Loss of Power Line in Japan on Intra-building Power Line Communications", IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 34, No.2, May, 1998.