전력선 통신 채널의 잡음 특성에 관한 연구

최승지, 유정훈*, 오휘명, 이재조, 이원태, 김관호
한국전기연구원, 경희대학교*

A Study on Noise Characteristics of Powerline Communication Channel

Seung-Ji Choi, Jung-Hun Yu*, Hui-Myoung Oh, Jae-Jo Lee, Won-Tae Lee, Kwan-Ho Kim
KERI(Korea Electrotechnology Research Institute), KyungHee University*

Abstract - 전력선 통신 채널(powerline communication channel)은 원래 전력을 전송하기 위한 선로로서 무선 채널 및 그 밖의 다른 통신 채널들과 같이 부가적 가우시안 잡음 환경 등의 표준 모델로 잘 표현되지 않는 특성이 있다. 그리고 1MHz-30MHz 대역에서의 전력선 채널의 잡음은 배경잡음, 연속 신호(continuous wave) 협대역 및 광대역 잡음, 그리고 임펄스 잡음으로 분류될 수 있으며, 특히 고속 데이터 전송 시스템에서는 임펄스 잡음에 의한 영향이 큰 것으로 알려져 있다. 본 논문에서는 아파트형 주거지에서 실측한 주파수 영역 및 시간 영역의 잡음 데이터를 제시하고, 이러한 데이터를 바탕으로 연속 신호 잡음을 포함한 배경잡음과 임펄스 잡음의 모델 및 통계적 특성을 제시한다.

1. 서 론

전력선 통신 기술은 흔히 "Last-Mile Solutions"이나 "Ubiquitousness"와 같은 용어와 함께 사용되고 있다. 이처럼 그 응용은 전기 제품의 제어, 가전기기, 컴퓨터 기기 및 오디오/비디오 기기간의 통신을 이용한 홈 네트워크, 전력량 원격 검침 및 인텔리전트 전력 부가서비스, 그리고 중/고압 선로를 이용한 장거리 데이터 전송에 이르기까지 다양하다.

반면 전력선 통신 채널은 고유의 잡음, 선로에서의 감쇠, 다중경로의 영향 등으로 통신 장애를 예측하기가 쉽지 않다. 장애 요소들 중에서 잡음은 배경잡음, 연속 신호 협대역 및 광대역 잡음, 임펄스 잡음 등으로 나뉘며, 특히 고속 통신 기술에서는 임펄스 잡음의 영향이 모뎀의 성능에 큰 영향을 준다고 알려져 있다[3].

본 논문에서는 아파트형 주거지에서 1MHz-30MHz 대역의 전력선 채널의 잡음을 스펙트럼 아날라이저와 디지털 오실로스코프를 이용하여 주파수 영역 및 시간 영역에서 각각 측정하여 이를 바탕으로 모델링 및 통계적 분석을 행하였다. 또한 가전기기가 발생하는 순수 잡음의 특성을 확인하기 위하여 9kHz-30MHz 주파수 범위의 LISN(line impedance stabilization network)을 이용하여 주파수 영역에서 잡음을 관찰하였다. 본 논문은 다음과 같이 기술된다. 2장의 1절에서는 주파수 영역에서 측정한 잡음 데이터를 제시하고, 배경잡음으로 모델링을 행한다. 2절에서는 시간 영역에서 측정한 임펄스 잡음 데이터를 제시하고 통계적 성질을 제시한다. 그리고 3절에서는 가전기기에서 발생하는 잡음을 주파수 영역에 대하여 기술한다. 마지막 3장에서는 요약 및 결론을 기술한다.

2. 본 론

2.1 전력선 채널의 배경잡음

일반적으로 채널용량(channel capacity)의 한계에 영향을 주는 배경잡음의 크기는 전력선 채널에서 고주파 대역(1MHz-30MHz)에 대하여 주파수가 증가함에 따라 지수함수로 감소하는 특성이 있는 것으로 알려져 있다[1],[2],[4]. 본 논문에서는 실제 주거 환경인 아파트형 주택(한국전기연구원 사원아파트)에서 잡음 데이터를 획득하였으며, 이를 바탕으로 잡음의 분석 및 모델링을 행하였다.

2.1.1 배경잡음 측정 방법 및 결과

아파트형 주택에서의 잡음 특성을 확인하기 위해 전기연구원 사원 아파트(5층형 2개동)의 7세대 29개의 콘센트에서 데이터를 획득하였다. 1MHz-30MHz 대역의 통과특성을 갖는 대역 통과 필터를 이용하여 스펙트럼 아날라이저로 데이터를 획득하였다. 스펙트럼 아날라이저는 1MHz-30MHz의 주파수 스팬, 9kHz 분해능 대역폭(-6dB 대역폭), 816.1ms 스윕시간으로 설정하였다. 스펙트럼 아날라이저로 획득된 데이터는 GPIB 인터페이스를 이용하여 PC에 1초 간격으로 저장된다. 한 콘센트에서의 측정은 약 1-2분씩(즉, 60-120 acquisitions) 이루어 졌다. 아래의 그림 1은 이러한 측정을 위한 구성도이다.

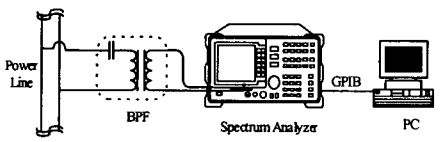


그림 1. 배경잡음을 측정하기 위한 구성도.

아래 그림 2는 측정 결과 중 한 콘센트에서 95번 획득된 전력 스펙트럼 밀도(power spectral density:PSD) 데이터를 최대치, 최저치, 평균치 및 근사치, 평균치+표준편차의 순서로 나타낸 것이다. 평균치의 근사화(approximation)는 4차 보간 다항식을 사용하였다.

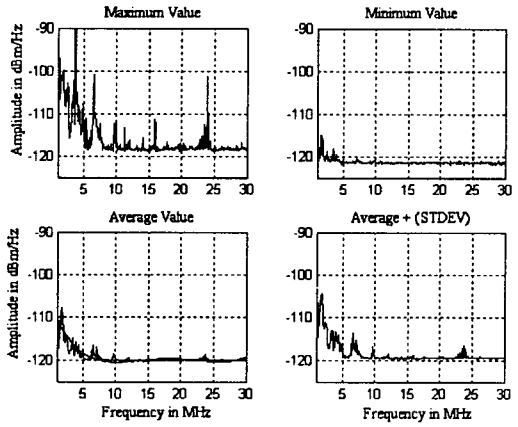


그림 2. 한 콘센트에서 95번 획득한 데이터에 대한 최대치, 최저치, 평균치 및 근사치, 평균치+표준편차.

위의 그림으로부터 10MHz이하 대역에서 주파수의 지수함수로 감소하는 것을 확인할 수 있는데, 이는 획득한 데이터들의 일반적 형태이다.

그리고 본 논문에 사용되는 전력 스펙트럼 밀도의 단위는 dBm/Hz 로서 아래의 식 (1a), (1b)와 같이 유도할 수 있다.

$$dBm = dBuV - 90 - 10\log(R), \quad (1a)$$

$$dBm/Hz = dBm/RBW - 10\log(RBW). \quad (1b)$$

여기서 R과 RBW(resolution bandwidth)는 각각 스펙트럼 아날라이저의 입력 임피던스와 분해능 대역폭이다.

2.1.2 배경잡음 모델

배경잡음의 모델링 방법은 다음과 같다. 각 콘센트에서 얻은 잡음 데이터에 대하여 29개의 평균값을 구하고 이를 4차 다항식으로 근사화 한 후, 근사화 된 값들에 대한 평균(middle case), 최대(worst case), 최저(best case) 값을 찾아 다시 직선 보간을 행하였다. 최종으로 1차 다항식으로 근사화된 결과에 아래의 식 (2)와 같이 가우시안 랜덤 변수와 합한 것으로 모델링 하였다.

$$f_{BN} = a \times f + b + R_G(m, s)[dBm/Hz]. \quad (2)$$

여기서 a, b는 주파수에 대한 1차 다항식의 계수이며, f는 MHz단위의 주파수이고, R_G는 평균값 m과 표준편차 s를 갖는 가우시안 랜덤 변수이다.

이와 같은 모델링 방법은 다소 대략적인 모델링으로서 임펄스 잡음을 제외한 연속 신호 협대역 및 광대역 잡음을 포함할 수 있다. 아래의 표 1에 식 (2)의 a, b, $R_G(m,s)$의 값을 3가지 경우에 대하여 제시하였다.

표 1. 배경잡음 모델의 파라미터.

	a	b	$R_G(m,s)$
Worst	-0.33	-101.5	(0,4)
Middle	-0.13	-116.14	(0,2)
Best	0.004	-121.5	(0,1)

아래의 그림 3은 위의 모델링 결과에 의해 만들어진 잡음 신호를 나타낸 것이다. 모델링 결과는 Chi-Square Test를 이용하여 실측 데이터들과의 유사성을 확인하였다.

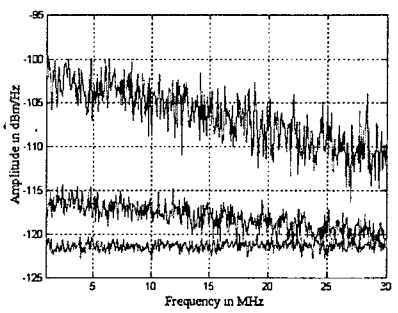


그림 3. 모델링한 결과에 의한 파형.

2.2 전력선 채널의 임펄스 잡음

임펄스 잡음은 사용자의 필요에 의한 부하의 ON/OFF 및 동작 모드 전환, 전력전자 제품에서 주로 발생하는 돌입 전류(inrush current) 등에 의해 발생한다. 임펄스 잡음의 지속시간은 수 백 us로서 고속 전력선 통신 시스템에서 데이터 프레임 전체에 영향을 줄 수 있다.

임펄스 잡음이 데이터 전송에 미치는 영향은 임펄스의 에너지 E_{imp} 및 평균 전력 P_{imp} 로 평가할 수 있으며, 임펄스의 지속시간 t_w, 도착시간 t_{arr}, 그리고 형상에 의해 결정되는 이 값들은 아래의 식 (3a), (3b)와 같이 구할 수 있다[3].

$$E_{imp} = \int_{t_{arr}}^{t_{arr}+t_w} n_{imp}(t)^2 dt, \quad (3a)$$

$$P_{imp} = \frac{1}{t_w}\int_{t_{arr}}^{t_{arr}+t_w} n_{imp}(t)^2 dt. \quad (3b)$$

2.2.1 임펄스 잡음의 측정 방법 및 결과

임펄스 잡음을 얻기 위한 측정은 아파트형 주거지의 한 콘센트에서 저녁 9시부터 아침 8시까지의 시간 범위로 3일간 행해졌다. 측정을 위한 구성은 그림 1과 동일하며, 스펙트럼 아날라이저 대신 디지털 오실로스코프를 사용한다. 디지털 오실로스코프는 8bits 분해능을 가지며, 50MSPS(mega-samples per second), 100kbytes acquisition memory(200us의 포착 시간)로 설정되었다. 임펄스 잡음만을 얻기 위해 트리거(0.6VDC) 모드로 설정되었으며, 디지털 오실로 스코프에 포착(또는 트리거)된 데이터는 GPIB 인터페이스를 통해 PC로 전송된다. 아래의 그림 4에 실측한 임펄스 잡음의 샘플을 예로 나타내었다.

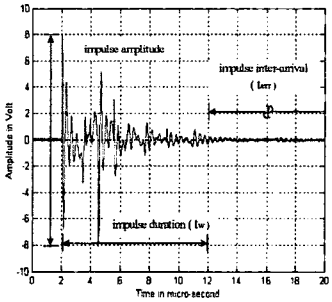


그림 4. 측정된 임펄스 잡음의 형태.

2.2.2 임펄스 잡음의 통계적 특성

임펄스 잡음의 통계적 특성은 0.6VDC 트리거 레벨에 포착된 363개의 잡음을 바탕으로 아래의 그림 5, 6, 7과 같이 크기, 지속시간, 그리고 도착시간의 분포로 나타내었다.

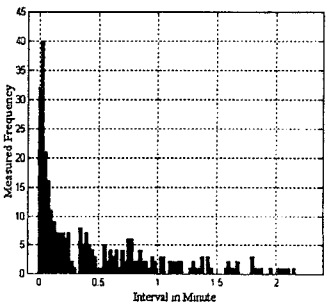


그림 5. 임펄스 잡음의 도착시간 분포.

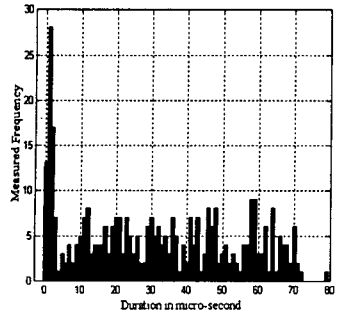


그림 6. 임펄스 잡음의 지속시간 분포.

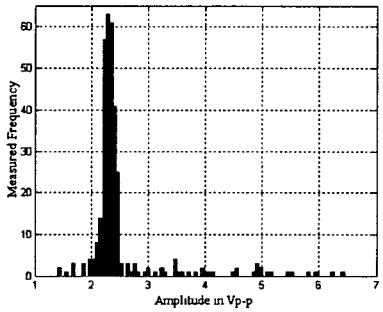


그림 7. 임펄스 잡음의 크기 분포.

위의 그림에서와 같이 임펄스 전체의 50%이상이 10s 이내에 발생하였으며, 지속시간은 3us이하에 집중되고 그 이후는 균일한 수준으로 나타났다. 발생 잡음의 크기는 약 2-2.5V에 집중되어 있는 것을 알 수 있다.

2.3 가전기기의 잡음

본 절에서는 특정 가전기기에서 발생하는 잡음의 특성을 살펴본다. 전력선 모뎀이 연결되는 콘센트에 가전기기가 연결되어 있는 경우 모뎀은 옆의 가전기기에서 발생하는 잡음의 영향을 가장 크게 받게 되므로 가전기기의 순수 잡음 데이터는 다양한 잡음 시나리오를 만들기 위해 필요하게 된다. 아래의 그림 8은 가전기기의 잡음을 측정하기 위한 구성도이다.

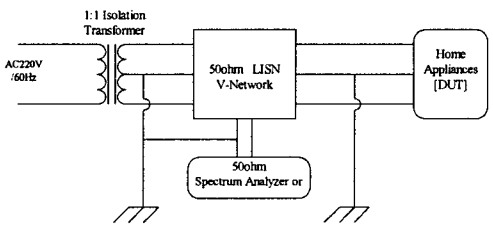
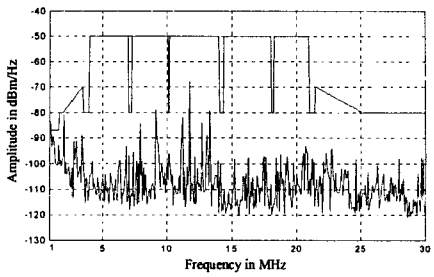


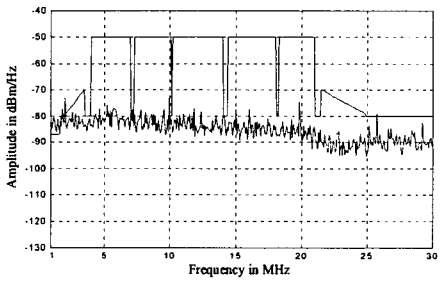
그림 8. 가전기기의 잡음을 측정하기 위한 구성도.

위의 그림 8과 같이 가전기기에서 전원선을 바라본 임피던스를 50ohm으로 만들어주며, 또한 전원선으로부터 유입되는 잡음을 차단해주는 LISN 및 국내 전원선 구조가 단상 2선식인 것으로 인해 LISN 연결시 누설전류에 의해 계전기가 동작하는 것을 방지하기 위해 1:1 절연변압기를 사용하였다. 그리고 전기적 사고방지 및 기준(그라운드) 전위를 만들어 주기 위해 2m×2m의 그라운드 판(ground plane)을 사용하였다. 스펙트럼 아날라이저의 설정은 앞의 1절의 경우와 동일하다.

그림 9는 측정한 가전기기 중 전자레인지와 믹서기가 발생하는 잡음의 스펙트럼을 홈플러그 1.0에 제시된 송신 신호 마스크 레벨과 함께 나타낸 것이다. 그림에 나타낸바와 같이 전자레인지는 많은 배경잡음 및 임펄스 잡음을 발생시키고, 믹서기는 광대역 연속 신호 잡음을 발생시키는 것을 확인할 수 있다.



(a)



(b)

그림 9. 가전기기에 의한 잡음. (a) 전자레인지가 발생하는 잡음, (b) 믹서기가 발생하는 잡음.

3. 결 론

본 논문에서는 1MHz-30MHz 대역의 전력선 채널의 잡음을 연속 신호 협대역 잡음과 광대역 잡음을 포함한 배경잡음과 임펄스 잡음으로 모델링 및 통계적 분석을 행하였다. 배경잡음은 주파수에 관한 1차 다항식과 가우시안 랜덤 변수의 합으로 모델링 하였으며, 임펄스 잡음은 임펄스의 크기, 도착시간, 그리고 지속시간에 관한 분포로 분석하였다. 그리고 가전기기의 순수 잡음 LISN을 이용하여 주파수 영역에서 확인하였다. 이러한 결과들을 바탕으로 향후 다양한 주거지 환경에서의 데이터 수집으로 더욱 신뢰성 있는 채널 정보를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

[참 고 문 헌]

[1] T. Esmailian, "Characteristics of in-building power lines at high frequencies and their channel capacity," *Proc. of International Symposium on Power-Line Communications and Its Applications(ISPLC2000)*, Limerick, Ireland, pp.52-59, April 2000.

[2] H. Philipps, "Development of a statistical model for powerline communication channels," *Proc. of International Symposium on Power-Line Communications and Its Applications(ISPLC2000)*, Limerick, Ireland, pp.153-160, April 2000.

[3] M. Zimmerman and K. Dostert, "Analysis and modeling of impulsive noise in broad-band powerline communications," *IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility*, vol. 44, no. 1, pp.249-258, Feb. 2002.

[4] H. Philipps, "Performance measurements of powerline channels at high frequencies," *Proc. of International Symposium on Power-Line Communications and Its Applications(ISPLC1998)*, Soka University, Japan, pp.229-237, March 1998.