

**UWB 전송 기술을 이용한 전력선 통신에 관한 연구.**

유지현, 박경섭  
울산대학교

**The Study On A Power-Line Communication Using A UWB Technique.**

Ji-Hun Yu, Kyung-Sup Park  
University Of Ulsan

**Abstract** - Power-Line Communication (PLC)는 전력선을 채널로 이용한 통신 방법으로 별도의 전송선 설치 없이 통신이 가능한 기술을 말한다. 그러기에 오래전부터 연구가 진행되어 왔으며 최근에도 여전히 고속 전력선 통신에 관한 연구가 진행 중에 있다. 이에 본 논문에서는 이런 고속 전송을 위해 최근 연구가 활발한 고속 Ultra Wide Band (UWB) 전송기술을 전력선 통신에 적용하여 시뮬레이션한 후 결과를 통해 적용가능성을 확인한다.

**1. 서 론**

1930년대부터 제안되고 지금까지 활발히 연구 중인 전력선 통신은 현재 모든 가구에 전력선이 보급되어 있어 현존하는 인프라 중 가장 광범위한 네트워크를 구성하고 있다. 그러기에 별도의 망 확충을 필요로 하지 않고 실내의 모든 곳에서 이용 가능하다는 경제적인 장점과 기존의 인터넷 서비스의 사각 지대를 없앨 수 있는 last-mile solution으로 기대를 받고 있다. 하지만 전력선은 전력 전달을 목적으로 설계되었기 때문에, 상당한 잡음과 감쇄, 왜곡이 나타날 뿐만 아니라 채널 특성상 선로와 부하에 따라 변화가 심하다는 단점이 있어 통신 매체로써는 큰 각광을 받지 못하고 있다[1]. 또한 그런 부하들에 의한 잡음과 채널상의 잡음은 일반적인 백색 잡음도 있고 시간의 변화에 따라 랜덤하게 발생하는 임펄스성 잡음이 있는데 이런 잡음들은 크거나 분포 또한 일정하지 않다[3][5].

Ultra Wide Band (UWB) 전송기술은 1950년대부터 연구 개발되기 시작했고 그동안 법적 근거 미비와 기존의 시스템과의 공존 문제로 인해 응용 분야에만 국한되어 있었다. 하지만 초 광대역을 점유하면서도 저 전력의 초고속 데이터 전송이 가능하다는 독특한 UWB만의 특성과 기존의 carrier frequency를 사용하는 시스템과 달리 연속적인 정현파가 아닌 단속적인 펄스를 이용하기에 구조 및 크기, 비용에 있어서 큰 장점을 가진다[2].

이런 고속 데이터 전송이 가능한 UWB 전송기술을 이용해 전력선 통신에 적용하여 시뮬레이션한 후 결과를 통해 적용가능성을 확인하고자 한다.

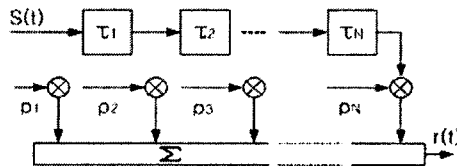
**2. 본 론**

**2.1 전력선 채널**

전력선 채널 모델링에 있어서는 물리적인 파라미터들에 대한 세부적인 정보가 필요하다. 이에 본 논문은 전력선에서의 감쇄 및 길이에 대한 주파수에 종속적인 특성들을 바탕으로 실제 환경에서 많은 실험으로 얻어진 Echo model을 이용한다. 이 모델은 완전하지는 않지만 실제 유용성은 증명되었다[3][4][5]. 또한 채널의 잡음은 주로 전력선에 연결된 부하들에 의해 야기되는데, 일반적인 백색 잡음과 임펄스성 잡음으로 분류하고 적용한다[6].

**2.1.1 전력선 채널 모델링**

그림 1은 채널 모델링을 위한 기본적인 구조를 보이고 있다.



〈그림 1〉 Echo Model의 기본적인 구조

본 논문에서 사용할 전력선 채널 모델은 Philipps와 Zimmermann에 의해서 제안되었다[6][7]. 전력선 채널 모델은 식(1)과 같다.

$$H(f) = \sum_{i=1}^N g_i e^{-(a_i + a_i f^d) d_i} e^{-j2\pi f \frac{d_i}{v_p}} \quad (1)$$

전력선의 모델에 대한 여러 파라미터들은 채널 전달함수의 실제 측정으로부터 얻어졌으며 본 논문의 시뮬레이션에 이 전달함수의 임펄스응답을 이용하였다.

**2.1.2 전력선 채널 노이즈**

전력선의 잡음은 일반적인 통신매체에 적용되는 AWGN 환경과는 다른 잡음환경을 가진다. 주로 전력선에 연결되어진 부하들에서 발생하는 잡음에 의해 주파수 선택적으로 발생하여 그 분포도 일정하지 않아 AWGN의 적용을 부적합하게 만든다. 전력선에 존재하는 잡음은 기본적으로 1)유색배경 잡음, 2)협대역 잡음, 3)주기적인 임펄스 잡음(비동기), 4)주기적인 임펄스성 잡음(동기), 5)비동기적인 임펄스 잡음으로 나눌 수 있다[7][8].

1)~3)의 잡음은 시간에 대하여 비교적 안정한 특성을 가지며 크기는 배경 잡음으로 요약되어지며, 4)~5)와 같은 임펄스성 잡음의 경우는 짧은 시간(수 ns에서 수 ms)에 변화하는 특성을 가지고 있으며 데이터 전송 시 이러한 잡음에 의해 error가 발생하게 된다.

임펄스성 잡음은 시변 특성을 나타내기 위해 크기 및 발생 시간, 임펄스 폭을 식(8)과 같은 형태로 랜덤하게 적용한다[3].

$$n_{i \text{ impulse train}}(t) = \sum_{i=1}^N A_i \text{imp}\left(\frac{t - t_{arr,i}}{t_{w,i}}\right) \quad (8)$$

여기서  $A_i$ 는 임펄스 크기,  $t_w$ 는 임펄스 폭,  $t_{arr}$ 는 임펄스 발생시간을 나타낸다. 이 3가지 변수를 랜덤하게 하여 임펄스성 잡음을 만든다. 이런 임펄스성 잡음은 발생빈도 및 크기, 폭이 시변적이고 장소에 따라 다르지만 반복적 실험에 의해 통계적 분석을 한 결과 임펄스 잡음들의 크기는  $\max\{A_i\} = \pm 0.4 \text{ 1V}$ 를 가진다는 것을 보여준다[3].

**2.2 UWB 전송기술**

UWB 전송기술은 연속적인 정현파를 사용하는 기존의 통신시스템과는 달리 초단시간 펄스의 사용으로 인해 초광대역을 점유하면서도 단속적으로 데이터를 전송할 수 있는 독특한 특성을 갖는 기술이다[2]. 이런 초광대역 폭을 사용가능한 이유는 수ns의 펄스를 이용함으로써 그 펄스는 주파수 영역에서는  $1/ns$  인 수Ghz의 대역폭을 가지기 때문이다.

UWB 전송기술의 장점은 1)높은 채널 용량과 채널 용량의 증감 조정, 2)고속 전송 속도, 3)매우 작은 전송되는 전력으로 인한 낮은 간섭, 4)보안가능, 5)RF/IF Mixer를 사용하지 않으므로 하드웨어구성이 간단함이 있다. 그러나 펄스의 정확한 시간 생성을 위해 시간적으로 동기화하는 정교화가 필요하고 대역폭에 맞는 필터 설계가 어렵다[9]. UWB 전송기술은 송신단에서는 bit data에 따른 펄스를 생성하고 펄스 모델레이션하여 전송하고 채널에 통과한 후 수신단에서는 correlator 수신기를 이용하여 bit data를 확인한다.

또한 전송 펄스에 있어서 많은 펄스 형태들이 있는데 그중 rayleigh monopulse, gaussian monopulse 등이 대표적이며 모델레이션에 있어서는 Pulse Position Modulation, Pulse Amplitude Modulation, On-Off Keying, Bi-phase Modulation 등이 있다[9].

그러나 전력선통신에서는 채널의 용량 때문에 UWB의 수ns의 펄스가 아닌 수μs의 펄스를 이용한다. 명확히 구분하자면 본 논문은 UWB 기술을 응용한 임펄스 라디오 기술을 이용한다. 그러므로 본 논문에서는 펄스의 폭을 μs로 하여 수Mhz의 대역폭을 사용하는 펄스를 전력선에 적용한다.

**2.2.1 송신단**

송신단에서는 보내는 펄스를 rayleigh monopulse로 하여 식(9)와 같은 형태를 가지며 모델레이션을 위하여 송신한다[10].

$$p(t) = A \frac{t}{\sigma} e^{-\left(\frac{t}{\sigma}\right)^2} \quad (9)$$

여기서  $A$ 는 펄스의 크기를 나타내는 상수이고,  $\sigma$ 는 펄스의 폭을 결정하는 파라미터이다. 펄스  $p(t)$ 에 대한 주파수영역의 표현은 다음과 같이 식(10)과 같다.

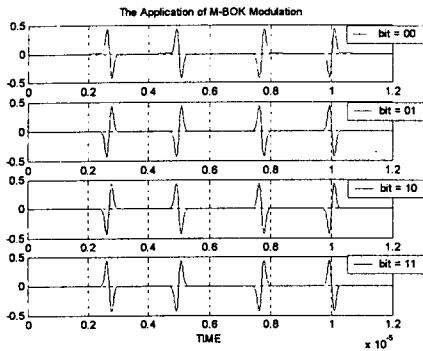
$$P(f) = j\sqrt{2\pi} 2\pi\sigma f e^{-\frac{(2\pi\sigma f)^2}{2}} \quad (10)$$

또한 식(11)과 같은 특징을 가진다.

$$\int_{-\infty}^{\infty} p(t) dt = P(f=0) = 0 \quad (11)$$

본 논문에서는 펄스폭을 약 1μs, peak to peak 크기를 약 1V 정도로 모델링하였으며 Xtrempectrum사에서 제안한 BPSK 및 QPSK를 기반으로 하는 M-BOK 방법을 응용하여 모델레이션 하였다[11]. 2bit data에 대한 4

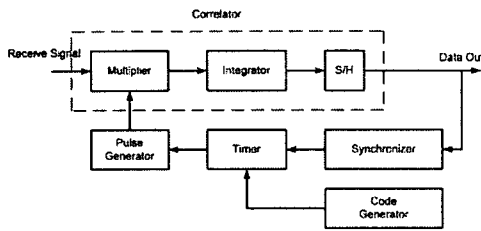
개의 펄스 조합으로 데이터 심벌수 M=4에 대하여 전송한다. 그림 2는 심벌 각각에 따른 모뮬레이션 된 송신 펄스 신호들을 보여준다.



〈그림 2〉 송신 펄스 신호

### 2.2.2 수신단

송신된 펄스 신호는 그림 4처럼 전력선 채널을 통과하고 채널상의 잡음이 더해져 그림 3의 수신단으로 들어오게 된다.

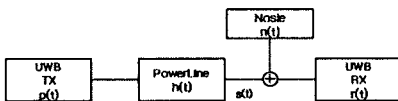


〈그림 3〉 수신기

수신기에서는 M=4 로 송신한 bit decision을 위해 synchronizer와 timer에 의해 동기화시키고 code 및 pulse generator에서 생성한 송신한 신호와 같은 신호를 수신한 신호와 곱하고 적분한다. 그런 후 sample and holder를 통해 수신 data bit를 결정한다[11][12].

### 2.3 시뮬레이션

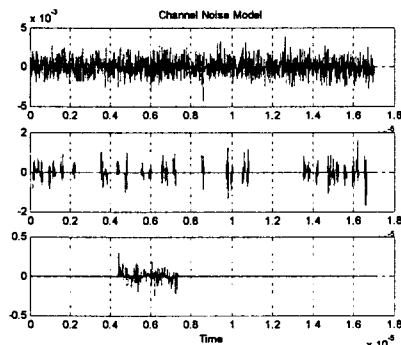
지금까지의 전력선 채널, 잡음, UWB 송신단, 수신단을 설명하였다. 그림 4는 단일 UWB 전송기술을 전력선통신에 적용하여 시뮬레이션을 위한 블록도이다.



〈그림 4〉 블록 다이어그램

본 논문의 시뮬레이션에 적용한 송신 신호는 펄스폭을 약 1μs, peak to peak 크기를 약 1V 정도로 하고 임펄스 잡음 모델은 max{A<sub>i</sub>} = ±0.4~1V로 하고 폭 및 발생시간은 랜덤하게 하였다. 길게는 수 μs 짧게는 ns의 폭을 가지는 잡음을 사용하였다. 또한 배경잡음으로 여러 부하들 중 평균 하나의 부하에 의한 것으로 PSD는 약-110~-140dBV<sup>2</sup>/Hz 값을 가지는 것을 사용하였다.

그림 5는 본 논문에 적용한 잡음 중 랜덤적으로 선택된 것을 보이고 있다. x축은 시간, y축은 V를 나타내며 figure에서 1) 배경잡음 2) 랜덤한 폭, 발생시간을 가지는 임펄스성 잡음 3) 4)랜덤한 수 μs의 폭을 가지는 임펄스성 잡음을 나타낸다[3].



〈그림 5〉 시뮬레이션에 부가한 잡음

그리고 송신단 및 수신단에서는 s(t)와 r(t)가 동기화 되었다와 라인커플러의 임피던스매칭에 의한 최대전력 전달을 가정한 상태로 송신신호가 채널을 통과한 후 잡음들을 더해 수신단으로 들어간다. 수신단에서는 수신된 신호들과 M=4로 송신한 p<sub>i</sub>(t)신호들을 식(12)와 같이 correlator를 통해 decision value를 구한다.

$$decision\ value = \max \left\{ \int_0^T r(t) \times p_i(t) dt \right\} \Rightarrow decision\ bit \quad (12)$$

p<sub>i</sub>(t) 각각의 decision value들 중에 가장 큰 값의 i를 선택해서 그에 상응하는 송신 때 정해놓은 bit로 판별하였다.

data bit 수를 늘려가며 각 data bit수마다 반복적 실행( trial : 100 )을 통해 시뮬레이션 결과를 표 1에서 보여주고 있다.

Data bit #	error bit #		error %	
	max	average	max	average
10 <sup>3</sup>	0	0	0	0
10 <sup>4</sup>	0	0	0	0
10 <sup>5</sup>	0	0	0	0

〈표 1〉 Data bit #에 따른 error bit # 및 error %

### 3. 결 론

현재 전력선 통신에 있어서 임펄스성 잡음은 기존의 carrier를 사용하는 통신시스템방식에서 에러를 유발시키는 중요한 요소이다.

이에 본 논문은 기존의 방식이 아닌 UWB 전송기술을 전력선 통신에 적용하였다. 시뮬레이션에 이용한 전력선 채널 모델은 감쇄 및 길이에 대한 주파수에 종속적인 특성들을 바탕으로 실제 환경에서 많은 실험으로 얻어진 Echo model을 이용하였으며 UWB 전송기술을 이용한 송, 수신단 시스템을 이용하고 임의의 크기, 폭, 발생시간을 가지는 임펄스성 잡음 및 배경잡음을 부가하여 data bit 수와 반복적 실행으로 시뮬레이션 하였다. 비록 동적인 전력선 통신 채널, 동기화를 가정하고 여러 부하들에 의한 조합적인 랜덤한 잡음을 고려하지 않았지만 전력선 통신에 UWB 전송기술을 적용함으로써 UWB 전송 시스템의 고유 특성을 이용하면서 전력선 통신의 여러 유발 요소인 임펄스성 잡음에 강인함을 시뮬레이션 결과를 통해 확인할 수 있었다.

### [참 고 문 헌]

- [1] PLC 포럼, <http://www.plc.or.kr>
- [2] <http://www.ieee802.org/15/pub/TG3a.html>
- [3] M. Zimmermann and K. Dostert "An analysis and Modeling of Impulsive Noise in Broad-Band Power-line Communications", IEEE Trans. On Electromagn.Compat, vol. 44, pp249-257, Feb. 2000
- [4] Gotz, M. and Dostert, K " A universal high Speed Powerline channel emulation system", Broadband Communications, 2002. Access, Transmission, networking. 2002 International Zurich Seminar on 19-21 Feb.2002.
- [5] Dostert,K "Powerlines as high speed data transmissions channels - modeling the physical limits", Proceeding of the 5<sup>th</sup> IEEE ISSSTA'98", Vol 2/3, pp585-689
- [6] Zimmermann, M and K. Dostert " A multipath model for the powerline channel" Communications, IEEE Trans Vol 50, Issue 4, pp553-559 April 2002
- [7] Philipps, H, "Performance measurements of powerline channels at high frequencies", Proceedings of the 1998 International Symposium on Power-LineCommunications and its Applications ( ISPLCA '98), Tokyo, Japan, pp229-237, March 1998
- [8] Canete,F.J., Diez,L, Cortes,J.A, Entrambasaguas,J.T "Broadband modelling of indoor power-line channels", Consumer Electronics, IEEE Trans Vol 48, Issue 1, pp175-183, Feb. 2002
- [9] 양석철, 오종욱, 신요안 "UWB 무선통신 기술", 텔레콤, 대한전자공학회 제 19권 제 2호 pp84-93, Dec 2003.
- [10] M. Z. Win and R. A. Scholtz, "Impulse radio : How it works" IEEE Commun. Lett, Vol 2, no.2, pp 36-38, Feb. 1998
- [11] <http://www.xtreamspectrum.com>
- [12] Win, M.Z.; Scholtz, R.A. "Ultra-wide bandwidth time-hopping spread-spectrum impulse radio for wireless multiple-access communications" Communications, IEEE Transactions on Vol 48, Issue 4, pp679-689 April 2000