
광대역 전력선통신을 위한 채널모델링과 고속데이터 전송특성분석

이 영 철*

Analysis of Channel Modeling and High Speed Data Transmission Channels for Broadband Power-Line Communication

Rhee Young Chul*

본 연구는 2006학년도 경남대학교 학술진흥연구비에 의하여 이루어졌음.

요 약

본 논문에서는 복잡한 다중경로를 갖는 가정 전력선에 대한 채널 모델을 분석적 방법으로 전달함수를 분석하였다. 전력선의 배경잡음을 고려한 채널 모델 전달함수를 OFDM 시스템에 적용하였으며, QPSK 및 16-QAM 변조신호에 대한 BER 관계를 분석하였다. 광대역 전력선 통신시스템에 대한 OFDM 변조의 이득 관계를 제시함으로써 OFDM을 적용한 특성 파라미터를 예측할 수 있다.

ABSTRACT

In this paper, an analytic transfer channel modeling function by impulse signal propagation effects in indoor power-line network are analysed. The modeled channel parameters of power line channel including background noise is applied to the OFDM system and we analysis BER for QPSK and 16-QAM modulation signals with simulation. By the representation of gain for OFDM modulation, we can estimate the characteristic parameters of OFDM in Broadband power line communication.

키워드

전력선통신, 채널모델링, PLC, OFDM, BER

I. 서 론

정보통신 기술에 따라, 홈 네트워크에 적용되는 기술은 고도화된 소비자의 다양한 요구의 충족과 각종 디지털 정보기기의 스마트 홈에 적용시키기 위한 연구가 진행되어 왔으며[1,2] 최근에는 고속 데이터 전송에 의한 멀티미디어기능을 포함한 정보 기술들이 활발하게 연

구 개발되고 있다[3].

이러한 고속 데이터 전송을 포함한 홈 네트워크 구축의 솔루션으로 현재 검토되고 있는 기술은 전력선 통신)과 광 통신이 있으며 무선통신방식으로는 블루투스, WPAN, 저속 및 고속 UWB 방식 등이 이용되고 있다[4,5]. 이러한 방식 중 전력선통신은 가정 내의 각종 가전 기기들에게 전기를 공급하는 전력선을 통신 매체로 사

용하기 때문에 신규 통신선로의 설치 없이 홈 네트워크를 구축할 수 있으므로 전력선 통신시스템은 확장성이 우수한 특징이 있다. 한편 전력선 통신은 디지털 변조의 적용으로 다중반송신호(multi-carrier signal)를 전송시키기 위한 광대역 전력선통신(broad-band power-line communication)으로 발전되었다[6]. 220볼트 전압을 사용하는 가정 내의 전력선은 각종 전자 및 전력기에 전력을 공급하기 위하여 설치된 전기 선로이지만, 전력선을 통신 매체로도 사용할 때 전기선에 연결되어 있는 전력부하의 구성 망 형태에 따라 시간적, 공간적으로 매우 다양하게 전력선 임피던스의 변화에 따른 손실 등이 통신에서 문제점으로 예상된다[7,8,9]. 이와 같은 홈 네트워크를 구성하는 디지털 가전기기의 성능향상에 적용하는 통신 속도를 유지하는 광대역 전력선 통신 채널의 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 허가 주파수인 30MHz까지 실제 기존의 아파트 전력선에 임펄스 신호를 인가시켜 측정 데이터를 비교 분석하고 분석적 방법에 의하여 가용 주파수 대역에 대한 전력선 채널 전달함수를 분석하고 분포잡음을 고려하여 채널 모델함수를 구하고자 한다. 수식적으로 구한 채널모델함수에 대하여 OFDM의 변조신호에 따른 BER 관계를 분석함으로써 향후 지능형 홈에 적용되는 광대역 전력선 통신에 OFDM 모델의 적용가능성과 응용관계를 나타내고자 한다.

II. 광대역 전력선 채널 전달함수 분석

일반 가정에서 사용하고 있는 전력선은 220V의 전압을 60Hz의 주파수로 전송하는 선로이다. 전력선을 전송채널로 이용하기 위하여 전력선에 대한 등가회로는 2선식 전송선로에 대한 등가회로에서 입사되는 전압파와 전류파로 나타낼 수 있으며, 전파 전달함수에 의한 특성 임피던스와 전송 파라미터를 각각 다음과 같다 [10].

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} \quad (1)$$

$$R = \sqrt{\frac{\pi\mu_0}{kr^2}} f, \quad L = \mu_0\mu_r \frac{a}{r}$$

$$C = \epsilon_0\epsilon_r \frac{r}{a}, \quad G = 2\pi f C \tan\delta \quad (2)$$

일반적인 무 부하상태에서 전력선 선로방정식으로부터 R, L, G 및 C를 쉽게 구할 수 있으나 가정에서는 전력선에 각종 전자기기의 연결에 의해서 형성되는 부하 임피던스는 전자기기의 동작유무에 따라 임피던스가 가변되며 이로 인하여 임피던스 부정합이 발생되어 전송신호의 반사, 감쇄 및 잡음 등이 나타난다. 가정 전력선 연결 단자는 각각 다른 특성 임피던스를 가지는 여러 케이블들이 연결되어 있을 때 신호전달은 송신과 수신 사이에 직접적으로 연결된 단일 선로뿐만 아니라 반사 신호들도 고려해야 하며 이러한 전력선 경로는 주파수 선택적 페이딩을 가지는 신호전달 현상이 발생하며 전력선의 신호감쇠를 일으킨다. 이와 같은 전력선 채널에 대한 해석은 이미 오래전에 분석되어 왔으며 다중경로에 대한 전달함수는 다음 식으로 주어진다[11,12].

$$H(f) = \sum_{i=1}^N g_i \cdot e^{-(a_0 + a_1 f^k)l_i} e^{-j2\pi f(l_i/v_p)} \quad (3)$$

위식에서 g_i 는 선로의 가중값(weight)이며 $\exp[-(a_0 + a_1 f^k)l_i]$ 는 거리 l_i 에 대한 감쇄함수이고 $\exp[-j2\pi f(l_i/v_p)]$ 는 다중경로에 대한 위상관계를 나타낸다. 이식에 의하여 전력선 채널의 복잡한 주파수 모델을 구하기 위하여 다중경로에 따라 채널 전달함수의 파라미터 값은 전력선 채널 측정값과 비교하여 최적값을 구할 수 있다[13].

한편 주거용 전력 선로에서는 발생하는 잡음은 다중 경로에 의한 선로 임피던스 변화 및 채널모델을 고려하여 주요 잡음 원인인 배경 잡음을 고려할 수 있다[14]. 전력선을 고속 전력선 통신시스템의 채널로 분석하기 위하여, 전력선의 주파수 특성분석, 주파수에 따른 신호감쇄 및 잡음 특성 등에 대한 측정값과의 비교분석으로 전력선 채널 모델 전달함수를 예측할 수 있으므로 본 논문에서는 임펄스 신호를 전송시키고 원하는 가정 내의 아웃렛에서 전송된 임펄스 신호를 수신하여 송수신점 간의 전력선 채널의 주파수특성과 감쇄특성을 가지고 전달함수를 분석한다.

III. 광대역 전력선채널 측정 및 분석

3.1. 맥내 전력선 채널 특성 측정

일반적으로 가정에서 사용하는 전력선은 가정의 아웃렛(outlet)의 설치 수에 따라 다중경로(multipath)가 결정되므로 가정 내의 전력선의 최대길이가 100m 이내로 한정하여 최대 경로를 15개 이내로 설정하였다. 가정 내 전력선에 의한 데이터 전송채널의 특성을 측정 분석하기 위하여 그림(1)과 같이 실제 30평 아파트를 중심으로 전기 입력 배전반에서 가정 내의 전기 아웃렛까지 전력선을 측정하였다. 전력선채널에서 주파수 특성은 전력선 채널의 다중경로 현상을 주파수 대역에 대한 전송신호 감쇠 및 위상 변화 등을 측정하기 위하여 전력선 채널에 임펄스 형태의 함수를 사용하였으며 임펄스함수를 이산함수로 나타내어 주파수특성함수로 전환시켜 그림 1.과 같이 측정시스템을 구성하였다. 측정시스템에서 임펄스신호를 만들어 내는 PN 시퀀스 발생장치는 시프트 레지스터 동작을 통해 발생된 시퀀스 신호를 내부의 오실레이터를 이용하여 20MHz 즉 주기가 50ns 칩(chip) 단위로 생성시켰다. 임펄스 신호는 신호결합장치를 이용하여 전력선에 인가시켰으며, 전력선 채널을 통하여 전달된 임펄스 신호는 가정 내의 전기 아웃렛에서 결합장치를 통하여 220V 전기신호를 제거한 후 임펄스신호를 수신하였다. 수신된 신호는 감쇄기를 이용하여 신호 크기를 정확화시켰으며, 디지털 오실로스코프에서 칩당 5 샘플링하여 PC에 저장하였다. 수집된 데이터를 대역통과필터에 통과시키고, 복조신호는 임펄스시퀀스에 대하여 상관관계를 계산하여 전달함수를 구하였다. 표 1.은 실제 측정한 임펄스 응답측정의 결과를 보여 주고 있다. 임펄스 전송측정 과정에서 전력선채널의 기준값은 전력선 채널을 통하지 않고 송신신호를 직접 수신단에 연결시켜 측정한 데이터를 기준 값으로 설정하였다. 전기 아웃렛의 위치에 따라 측정한 가정 내 220V 전력선 채널의 영향을 분석할 수 있었다. 표1.에서 측정 대상 세대의 아웃렛의 위치에 따라 분류하였으며 한 아웃렛에 대하여 50회 측정결과를 가지고 주파수특성을 결정하였으며, 다중경로 개수, 평균 최대 초과 지연시간, 평균 감쇠 값은 다중경로를 판별하여 다중경로의 개수와 최대 초과 지연시간을 구하였다. 30평형 아파트 세대에 대하여 그림(2a)은 입력 임펄스(Tx)와 아파트 거실에서 수신된 수신 임펄스신호의 형태를 보여 주고 있으며 그림

(2b)는 송신 수신신호에 대한 주파수특성을 나타내고 있다. 그림(2a)의 송신 임펄스함수에 대한 주파수 특성과 수신 임펄스의 주파수 함수는 그림(2b)과 같다. 송신임펄스의 주파수함수는 주로 30MHz의 범위를 갖으며 이 값은 다중경로에서 가장 큰 영향을 나타내는 주파수 범위이다. 측정 결과로부터, 한 세대 내에서 여러 개의 아웃렛에 대해 수신 신호 크기 면에서 가장 열악한 경우 15dB 이상의 차이를 나타내었다. 이와 같이 측정된 임펄스 함수와 주파수 응답함수로부터 광대역 전력선에 대한 채널 모델링에 대한 전달함수는 그림2b에서와 같이 수식적으로 최적화시킬 수 있었다.

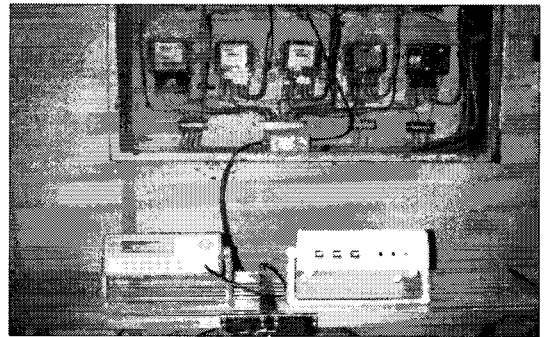


그림 1. 전력선 채널의 측정시스템

(a) 송신임펄스 (b)수신 측정시스템

Fig. 1. Power channel measurement system
(a) impulse input signal generator (b) receiver experimental setup

표 1. 임펄스 응답 측정 중요 지수(30평형)
Table.1 Parameters of impulse measured response

구분	Outlet	Avg. τ_{ma} [us]	Avg. α [dB]	Paths
30평형	거실1	0.41	-1.42	5
	거실2	1.05	-11.99	12
	방1	0.95	-13.30	10
	방2	0.71	-5.87	8
	방3	1.22	-15.26	11

3.2. 광대역 전력선 채널 파라미터 최적화

30평 아파트의 주거용 220V 전력선 채널을 지능형 홈의 고속 전력선 통신의 채널로 적용하기 위하여 앞에서 제시한 전력선 채널의 주파수에 대한 감쇠함수 및 다중 경로에 대한 가중치 값 g_i 을 실제 측정 결과와 모의실험한 값과 비교하여 최적화 값을 구함으로서 식(3)에서 제시한 파라미터를 구할 수 있다.

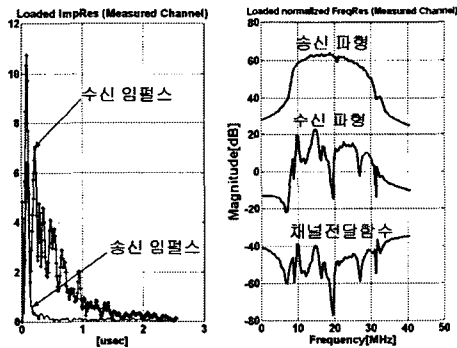


그림 2. 임펄스 신호(a)와 (b) 임펄스신호의 주파수특성

Fig. 2. Input Signal (a) and Frequency response of impulse signal

본 논문에서 제시한 광대역 전력선 통신의 채널 모델 함수의 파라미터를 최적화시키기 위하여 다중 경로의 영향이 가장 크게 나타나는 30MHz의 주파수를 중심으로 모의실험 하였다. 다중 경로는 아웃렛의 수를 고려하여 10개로 한정하였으며 다중경로에 대한 전달함수에서 제시한 거리 l_i 에 대한 가중함수 g_i 는 다중경로 i 에 따라 최적 파라미터 값을 구하였으며 표2와 같다. 주파수 대역에 대한 모의실험 결과는 그림3.과 같다. 주파수 30MHz에 대한 10개의 다중경로를 고려한 거리 100m이

내에서의 모의실험을 통한 전달함수 응답을 보여 주고 있으며 특정 주파수에서 노치(notch)로 인한 주파수 선택적 페이딩 현상이 발생함을 알 수 있다. 그림(3)은 전력선에서 나타나는 배경잡음과 잡음이 혼합된 전송채널에서의 주파수 특성을 나타내었으며 배경잡음을 제외시켰을 때의 채널 전달함수는 나타내고 있다. 그림4에서는 임펄스 전송에 의한 채널전달함수와 최적 파라미터에 의한 채널전송함수의 주파수 특성을 나타내고 있다.

그림4.에서 10개의 다중경로에 잡음이 포함되었을 때 포락선에 대한 기울기는 주파수 축에 대하여 -15dB/decade로 나타났으며 이러한 특성을 실내 환경에서는 잡음배경 감쇄 특성과 비교될 수 있다. 실내 환경에서의 배경잡음을 포함한 열악한 환경은 다음식과 같다[15].

$$N_{\text{실내환경}}(f) = -35 + 35 \cdot \exp(-f(\text{MHz})/8.6) \quad (4)$$

표. 2. 10개 다중경로 전송선로의 파라미터
Table 2. Transmission parameters with 10 multipath

attenuation parameters					
$k = 0.9$	$a_0 = 0$	$a_1 = 7.8 \cdot 10^{-10} s/m$			
Path parameters					
i	g_i	l_i/m	i	g_i	l_i/m
1	0.035	10	6	0.010	60
2	0.103	20	7	0.088	70
3	-0.013	30	8	-0.058	80
4	0.068	40	9	0.101	90
5	-0.035	50	10	-0.035	100

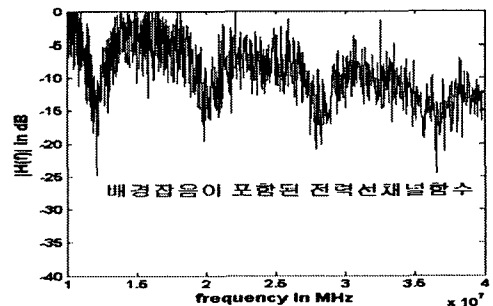


그림 3. 배경잡음을 포함한 광대역 전력선채널의 모의실험결과

Fig. 3. Simulation of 10 multipath power line channel with background noise

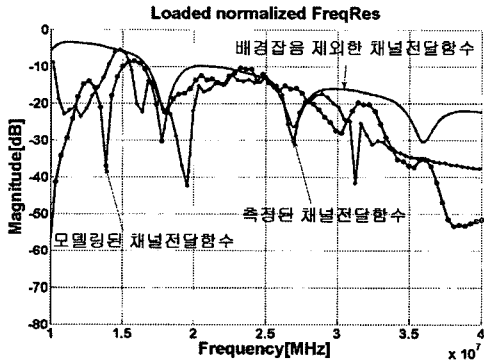


그림 4. 전력선 채널모델 전달함수의 모의실험
Fig. 4. Simulated channel transfer function

3.3. 전력선 채널 특성 및 BER 성능 분석

본 논문에서는 전력선 채널이 최악의 채널상태와 최적의 채널 상태에 대하여 표3과 같이 다중전송방식인 OFDM 전력선 모델의 설계 사양을 적용하여 전송상태에 따른 BER 성능을 시뮬레이션 하였다. 앞에서 구한 광대역 채널 전달함수의 열악한 경우에 대한 함수를 고려하여 일반적인 OFDM의 구성도를 고려하였으며[16,17] OFDM 변조신호 QPSK와 16-QAM에 대한 BER 관계는 그림(5)와 같다. 그림(5)에서는 열악한 잡음 환경에서의 성상도 특성을 나타내었으며, 각각 등화기(equalizer)를 사용하기 전과 등화기를 거친 후의 상태로 나타내었다.

표3. 광대역전력선 OFDM 모델 파라미터
Table 3. OFDM modem parameters for BPLC

구분	파라미터
Modulation	16-QAM, QPSK
Error correction code	K=7(64 states), Convolutional encoder
Coding rate	1/1, 1/2
Number of subcarrier	52
OFDM symbol duration	400 μ s
Guard interval	80 μ s

그림(6)은 QPSK 및 16-QAM 변조 신호에 대한 광대역 전력선 통신 OFDM 모델의 수신단에서의 BER 성능을 보여 주고 있다. BER=10⁻⁴를 기준으로 했을 때, QPSK 변조방식의 경우 양호한 환경상태는 열악한 환경

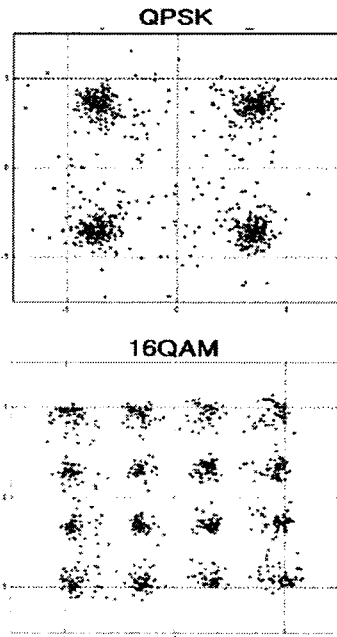


그림 5. QPSK(a) 및 16-QAM(b)의 성상도
Fig. 5. (a) Constellation of QPSK and (b) 16-QAM

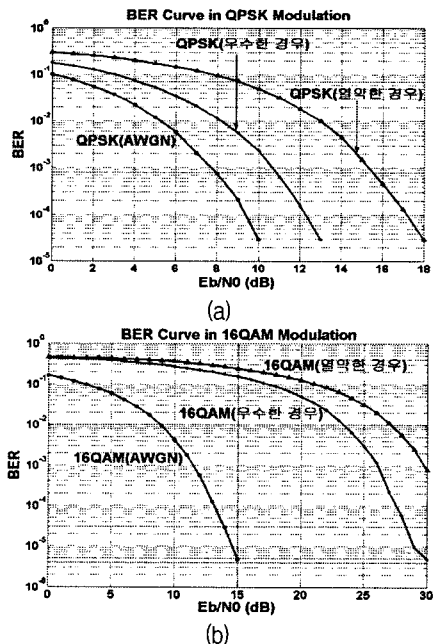


그림 6. (a) QPSK와 (b)16-QAM의 BER
Fig. 6. BER of (a) QPSK and(b)16-QAM

에 비하여 약 5dB 이상 우수함을 나타내었으며 16-QAM 변조방식은 QPSK에 비해 높은 전송률을 가지지만 채널의 영향을 많이 받으므로 QPSK보다 낮은 BER 10^{-3} 을 기준으로 비교하면, 환경에 따라 약 4dB 정도의 차이를 나타냄을 확인하였다.

IV. 결 론

광대역 전력선 통신시스템은 가정 내의 각종 가전기기들에게 전기를 공급하는 전력선을 통신 매체로 사용하기 때문에 별도의 전용 통신선로를 설치할 필요 없는 확장성이 우수한 특징이 있다. 이러한 전력선은 가정 내에서의 구성형태에 따라 시간적, 공간적으로 매우 다양하게 전력선의 임피던스가 변화되므로 전력선 임피던스 특성 및 감쇠 특성 등 통신채널로서 전송 특성 분석이 요구되어 왔다

안정된 전력선 통신채널이 확보를 가정하여 광대역 전력선 통신시스템에 적용되는 OFDM 모뎀 신호의 전송특성에 대한 분석이 요구된다. 본 논문에서는 홈 네트워크를 구성하는 디지털 가전기기의 성능향상에 적응하는 통신속도를 유지하는 광대역 전력선 통신 채널의 문제점을 해결하기 위하여 법적으로 허용된 30MHz까지 주파수 대역에 대하여 기존의 전력선 채널을 모델링 함수와 실제 임펄스 전송에 따른 측정 데이터를 비교하여 광대역 주파수에 대한 전송신호의 전달함수를 구하였으며 모의실험을 통하여 구한 채널 전달함수에 열악한 잡음환경을 고려하여 OFDM 전송특성을 구하였다. OFDM 다중반송파 전송에 가장 많이 이용되는 변조신호 QPSK와 16-QAM에 따른 BER 관계를 분석함으로써 향후 홈 네트워크에 적용되는 광대역 전력선 통신에 적합한 OFDM 모뎀의 변조방식의 제안과 멀티미디어 전송에 따른 고속 데이터의 응용관계를 나타내었다.

참고문헌

[1] Andreas Schwager, Lothar Stadelmeier and Markus Zunkeller, " Potential of Broadband Power Line Home Networking", IEEE Inter. Confer.of Consum. Communication and Networking, Jan. 2005 pp359-363

[2] A.Dutta-Roy, "Networks for Homes", IEEE Spectrum, Vol.36, No.2, Dec. 1999, pp26-33

[3] Anindya Majumder and James Caffery, Jr., "Power Line Communication", IEEE Potentials, Vol.23, issue 4, Oct/November., 2004, pp4-8

[4] Kang J.M, Park C.K and Hyun D.W., "Design and Implementation of Network Management System for Power Line Communication Network", IEEE Int. Sympo. on Power Line Commun. and its Application, March 2007 pp23-28

[5] Th. Zahariadis, K. Pramataris and N. Zevos, "A Comparison of Competing Broadband in Home Technologies", Electronic & Communication Engineering Journal, Aug. 2002 pp133-142

[6] E. Del Re, R.Fantacci, " Comparison of CDMA and OFDM Technique for Downstream Power-Line Communication on Low Voltage Grid", IEEE Trans. on Power delivery, Vol.18, No.4, Oct., 2004, pp.1104-1109

[7] Huaiyu Dair and Poor H.V., "Advanced Signal Processing for Power Line Communications", IEEE Communication Magazine Vol.41, Issue 5, May 2003 PP100-107

[8] Xingyuan Fang, Cheng Tao, "Design and Implementation of Broadband PLC Modem", Int. Conf. of Signal Processing 2006, pp.16-20

[9] Takashi Matsuo and Shuji Maekawa, " Field test of the World First 200Mbps PLC Modems", IEEE Int. Symp. on Circuit and system, May 2005, pp.5330-5332

[10] Olaf G. Hooijen, "A Channel Model for the Residential Power Circuit Used as a Digital Communications Medium" IEEE Trans. on. Electromagnetic Compatibility, Vol. 40, No. 4, Nov. 1998 pp. pp.331-336

[11] Manfred Zimmermann and Klaus Dostert, " A Multipath Model for the Powerline Channel", IEEE Transactions on Communications, Vol.5, No4, April, 2002. pp553-559

[12] F.J Canete., " Modeling and Evaluation of the indoor power line transmission medium," IEEE Communication Mag. vol.41, no.4, April, 2003,

pp41-47.

- [13] H. Meng, Y.L. Guan, "Modeling and Analysis of Noise Effects on Broadband Power line Communications", IEEE Transaction on power delivery, Vol.20, No.2, April, 2005, pp 630-637
- [14] M. Zimmermann and K. Dostert, "Analysis and modeling of impulsive noise in broadband power line communications", IEEE trans. Electromagnetic Compatibility. vol.44, no.1, Feb.,2002, pp249-257
- [15] Holger Philipps, "Development of a Statistical Model for Powerline Communication Channels", IEEE ,Int. symposium. of power-line Commuications and its applications, April 2000, pp153-160
- [16] Kuhn M., Berger S., Hammerstom I. and Wittneben A., " Power Line Enhanced Cooperative Wireless Communications", IEEE Jour. of Selected Area in Communication, Vol.24 no.7, July 2006 pp 1401-1410
- [17] Richard Van Nee and Ramjee Prasad, OFDM for Wireless multimedia communication, Artech House, 2004

저자소개

이 영 철 (Rhee Young Chul)

약력 제7권제8호 참조

1981.9 - 현재 경남대학교 정보통신공학과 교수

※ 관심분야: 위성통신 및 마이크로파설계, 전력선통신, 전력IT