

논문 2007-44TC-5-11

실내에서 I-UWB 시스템의 채널 모델링 및 검증

(The Verification of I-UWB Channel Model in Indoor)

장 필 선*, 이 석 희*, 고 영 은*, 방 성 일**

(Pil-Seon Jang, Suk-Hee Lee, Young-Eun Ko, and Sung-Il Bang)

요 약

본 논문에서는 가구나 생활 가전기기가 포함된 실내 아파트 환경에서의 I-UWB 시스템의 전송채널 특성을 측정하였다. 전 송환경 특성은 10[MHz]~16.01[GHz]의 영역에 대해 LOS와 NLOS 환경에서 주파수 영역과 시간 영역에 대해 측정하였다. 측정 데이터로부터 전파특성을 분석하기 위해 파라미터 도출 프로그램을 제작하여 PDP를 도출하였고, PDP로부터 다양한 전파 특성 파라미터를 산출하였다. 또한 채널특성에 따른 시스템의 성능을 평가하기 위해 Simulink로 I-UWB 시스템의 simulator를 모델링하고, 측정된 채널 모델을 삽입하여 모의실험 하였다. 모의실험 결과 SNR 20[dB] 이상에서 BER이 10^{-5} 이하인 것을 확인할 수 있었다.

Abstract

In this paper, we measured the propagation characteristics of I-UWB channel in time domain and in frequency domain. The measurements carried out in apartment environment while furniture and household electric appliance. Typical indoor scenarios, including line-of-sight(LOS), non-line-of-sight(NLOS) in room-to-room, within-the-room. A transmitting and receiving antenna is a biconical antenna. Results for indoor propagation measurements are presented for power delay profiles(PDP). We extracted the channel characteristic parameters from a power delay profile. Finally, we designed I-UWB channel model in indoor environment, and I-UWB simulator. The results of simulation shows BER characteristics below 10^{-5} for SNR over 20[dB].

Keywords : Channel model, I-UWB, Indoor channel, Channel parameter, PDP

I. 서 론

UWB(Ultra-WideBand)는 초광대역의 초고속 무선 인터페이스를 이용하여 근거리(평균 10~20[m], 최대 100[m]) 공간에서 대용량의 데이터를 고속으로 전송하는 기술이다. 그러므로 PC와 주변기기 및 가전제품들을 연결하는 개인 통신망이나 건물 벽을 투시하는 벽 투시용 레이더, 고정밀도의 위치측정, 차량충돌 방지장치, 지뢰매설 탐지, 분실방지 시스템 등 여러 분야에서 활용이 가능하다^[1].

최근에는 향후 전 세계의 무선통신 시장을 주도할 것으로 예상되는 Home Networking 분야에 대한 관심이

증가하면서, W-PAN (Wireless Personal Area Network)에 대한 표준화와 이를 구현하고자하는 연구가 IEEE 802.15 WG(Working Group)를 중심으로 진행되고 있다. 특히 UWB 시스템을 빌딩이나 병원, 공장, 사무실 등에서 물체의 위치탐지 작업과 같은 imaging 시스템에 응용하기 위한 연구와 표준화 작업은 IEEE 802.15.4a에서 진행되고 있다^[1-2].

임펄스 신호를 이용한 UWB 통신은 건물 내에서의 다양한 전파 환경에 따라 전파의 반사, 굴절 및 회절에 의해 다중경로가 발생하고 페이딩을 일으킨다. 다중경로에 의해 송신된 전파는 전력손실과 지연시간으로 인해 신호가 왜곡된다. 그러므로 시스템 설계자는 주변 환경에 의한 왜곡을 고려하여 UWB 송·수신기를 설계하고, 위치를 설정해야 효율적으로 통신을 할 수 있으므로 통신 채널 환경에 대한 정확한 이해가 필요하다.

* 정회원, ** 평생회원, 단국대학교 전자컴퓨터공학부 (Electronics and Computer Engineering Dankook University)

접수일자: 2007년3월5일, 수정완료일: 2007년5월14일

본 논문에서는 실제 생활환경을 갖춘 아파트 내에서 I-UWB용 임펄스와 전파특성을 측정하고 모델링하였다. 다중 경로에 의한 시간지연과 전력 손실을 측정된 후 이를 바탕으로 채널 파라미터를 도출하고, 도출한 파라미터를 IEEE 802.15.4a에 제시된 파라미터와 비교하여 검증하였다. 또한 이 파라미터들을 적용한 I-UWB(Impulse radio UWB) 시스템의 시뮬레이터를 구현하였다.

II. 본 론

1. 채널특성 측정환경

본 논문에서는 실내 환경에서 I-UWB 시스템의 임펄스 무선 통신 채널을 분석하기 위해 침실, 거실, 휘트니스룸, 서재, 그리고 주방으로 구성되어 있는 아파트 환경에서 채널특성을 측정하였다. 실제 측정한 아파트의 평면도와 실내 환경은 그림 1과 같다.

그림 1(a)에서 보는 바와 같이 거실중앙에 송신안테나를 고정하고, 반경을 1m 간격으로 증가하면서 각 중심원 상에서 10°간격으로 수신안테나를 이동시키며 측정하였다. 반경은 최대 7m까지 측정하였고, LOS(Line of Sight)와 NLOS(Non Line of Sight) 환경에 대하여 Large Scale 방식으로 측정하였다.

정확한 채널특성을 측정하기 위하여 두 가지 방법을 사용하였다. 첫 번째 방법은 DSO(Digital Sampling Oscilloscope)를 사용하여 시간영역에서 채널 임펄스 응

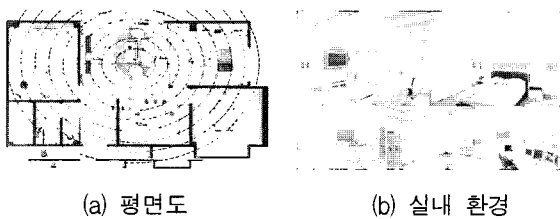


그림 1. 측정환경(아파트)
Fig. 1. Environment of measurement.

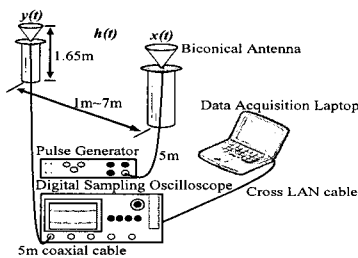


그림 2. DSO를 이용한 측정방법
Fig. 2. Measurement method by DSO.

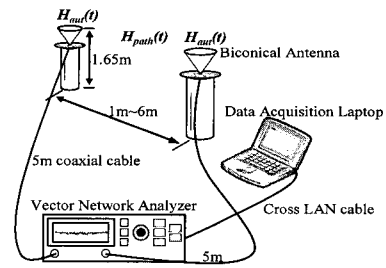


그림 3. VNA를 이용한 측정방법
Fig. 3. Measurement method by VNA.

답(Channel Impulse Response : CIR), $h(t)$ 를 얻는 것으로, 측정방법은 그림 2와 같다^[3-5].

두 번째 방법은 주파수 영역에서 VNA를 사용하여 채널전송함수(Channel Transfer Function : CTF), $H(f)$ 를 얻는 것으로, 측정방법은 그림 3과 같다^[3-5].

2. 채널 특성 파라미터 도출

전파특성 파라미터를 분석하기 위해 측정 데이터로부터 PDP를 도출하고, PDP로부터 파의 도착시간과 감쇄율을 도출하고, 다양한 채널 특성 파라미터를 도출하였다.

가. PDP(Power Delay profile)

PDP는 채널 임펄스응답의 전력성분을 spatial average 하여 산출하는 값으로 채널에 임펄스를 인가하였을때 시간에 따른 수신신호의 전력을 나타낸다. 그러므로 채널의 특성에 따른 수신신호의 감쇄와 더불어 지연시간도 알 수 있다^[3-5].

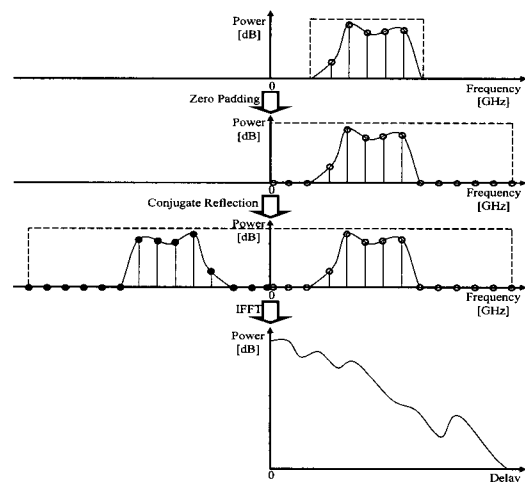


그림 4. 채널 전송함수를 채널 임펄스 응답으로 변환하는 과정
Fig. 4. Converting procedure to channel impulse response.

주파수 영역에서 VNA를 사용하여 측정된 채널 전송 함수는 그림 4와 같이 IFFT 변환을 하여 채널 임펄스 응답을 얻을 수 있다. IFFT 변환 시 DC 부분에서부터 측정영역의 시작까지, 측정영역의 끝에서부터 측정영역의 두 배에 해당하는 영역까지를 먼저 windowing 함으로써 변환 시 발생할 수 있는 누출문제를 해결하였다. 변환된 채널 임펄스 응답은 경로의 넓이를 통하여 확인할 수 있는 delay bins 또는 small interval을 통하여 분석하였다. 그리고 채널 임펄스 응답의 PDP의 최대값을 0[dB]로 정규화 하였다.

나. 도착율과 감쇄시간 파라미터

측정을 통해 얻어진 채널특성 PDP는 다중경로로 인해 다양한 시간에 도착한 파의 지연시간 및 감쇄특성을 나타낸다. 이와 같은 파의 도착 지연시간이나 진폭 감쇄특성은 채널환경에 따른 전파환경을 나타낸다.

감쇄시간을 나타내는 파라미터는 Γ 와 γ 이다. Γ 는 클러스터의 감쇄상수으로써 다중경로로 인해 발생한 전체 클러스터의 감쇄시간을 나타낸다. 다중경로에 의해 전력이 감쇄하는 클러스터의 감쇄율을 함수로 나타내면 $e^{-\tau/\Gamma}$ 이므로 처음 도착지연된 시간($\tau=0$)에서 기울기는 $-1/\Gamma$ 이고, 감쇄시간으로 표시하면 Γ [ns]가 된다. γ 는 파의 감쇄상수으로써 한 클러스터 내에서 다중경로에 의해 전력이 감쇄되어 도착하는 파의 감쇄율을 함수로 나타내면 $e^{-\tau/\gamma}$ 이므로 처음 도착지연된 시간($\tau=0$)에서 기울기는 $-1/\gamma$ 이고, 감쇄시간으로 표시하면 γ [ns]가 된다^[6].

도착율을 나타내는 파라미터는 Λ 와 λ 이다. 도착율은 사상이 두 가지이므로 Poisson 분포에 따르게 된다. Λ 는 클러스터 도착율으로써 다중경로로 인해 클러스터가 시간지연을 갖고 도착하는 확률을 나타낸다. 클러스터가 도착하는 확률을 Poisson 분포로 나타내면 식 (1)과 같다.

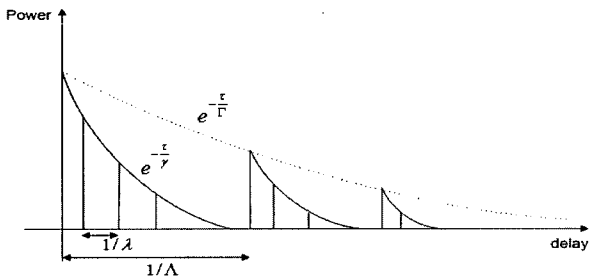


그림 5. PDP에서의 도착율과 감쇄시간 파라미터
Fig. 5. Arrival time and decay factor in PDP.

$$P(T_i - T_{i-1}) = \Lambda \exp[-\Lambda(T_i - T_{i-1})] \quad (1)$$

여기서 하나의 클러스터가 도착한 후 다음 클러스터가 도착할 때까지의 시간의 역수는 임의의 시간 내에서 클러스터가 도착할 확률, Λ [1/ns]가 된다.

λ 는 파의 도착율으로써 다중경로로 인해 한 클러스터 내에 파가 시간지연을 갖고 도착하는 확률을 나타낸다. 한 클러스터 내에서 파가 도착할 확률을 Poisson 분포로 나타내면 식 (2)와 같다.

$$P(\tau_i - \tau_{i-1}) = \lambda \exp[-\lambda(\tau_i - \tau_{i-1})] \quad (2)$$

여기서 한 클러스터 내에서 파가 도착한 후 다음 파가 도착할 때까지의 시간의 역수는 임의의 시간 내에서 파가 도착할 확률, λ [1/ns]가 된다^[7].

다. Mean Excess Delay

Mean Excess Delay는 다중경로를 통해 수신된 파의 전력대비 평균지연시간을 의미하는 것으로써 PDP의 1차 moment 이며, 식 (3)과 같이 정의한다^[4-5, 8].

$$\bar{\tau} = \frac{\sum_k a_k^2 \tau_k}{\sum_k a_k^2} = \frac{\sum_k P(\tau_k) \tau_k}{\sum_k P(\tau_k)} \quad (3)$$

여기서 a_k 와 τ_k 는 각각 파의 진폭과 지연성분이고, $P(\tau_k)$ 는 k번째 다중경로 요소를 나타낸다.

라. RMS Delay Spread

RMS delay spread는 수신 파의 평균지연시간 대비 파의 퍼짐 정도를 나타내는 것으로써 PDP의 2차 moment 이고, 식 (4)와 같이 정의한다^{[5][8]}.

$$\sigma_\tau = \sqrt{\tau^2 - (\bar{\tau})^2} \quad (4)$$

여기서

$$\tau^2 = \frac{\sum_k a_k^2 \tau_k^2}{\sum_k a_k^2} = \frac{\sum_k P(\tau_k) \tau_k^2}{\sum_k P(\tau_k)} \quad (5)$$

식 (5)에서 $\tau_0 = 0$, 즉 수신기에 도착한 첫 번째 도달한 신호의 시간을 기준으로 하여 τ_k 값을 결정한다. 또한 식 (4)는 다중경로 성분의 상대적인 크기에 의해서만으로 결정되는 값이므로 수신되는 신호간의 상대적인 값에 의해 결정되는 파라미터이다.

마. Maximum Excess Delay

Maximum excess delay (X dB)는 PDP에서 가장 큰 신호와의 차이가 X[dB]인 다중경로 신호가 나타내는 최대 시간지연이다. Maximum excess delay는 $\tau_X - \tau_0$ 로 정의하며, 여기서 τ_0 는 첫 번째 도착 신호, τ_X 는 다중경로를 통해 도착하는 신호 중 임계값 X[dB] 안에서 다중경로 요소를 나타낸다. 따라서 임계값이 -X[dB]이면 -X[dB] 이하로 수신된 신호는 노이즈로 간주한다. Maximum excess delay 또한 채널전송에서의 오류에 높은 영향을 미친다^{[3][8]}.

바. Path Loss

경로손실은 일반적으로 전송된 전력과 수신된 전력의 평균 비로 나타낸다. 실제 채널 상에서는 자유공간이 적용되지 않기 때문에 일반적인 경로손실 모델은 거리와 수신된 전력사이의 관계를 나타내기 위해 평균 경로손실 지수를 사용하고, 식 (6)과 같이 표현할 수 있다^[8].

$$\overline{PL}(d) \propto \left(\frac{d}{d_0}\right)^n \quad (6)$$

식 (6)에서 \overline{PL} 는 평균 경로손실을 나타내며, n 은 평균 경로손실 지수로서 거리에 따라서 얼마나 빠르게 경로 손실이 증가하는 가를 나타내는 지수이다. 자유공간에서 $n=2$ 이며, 무선 채널에서는 이보다 높은 값을 갖는다. d_0 는 기준거리(reference distance)로써 본 논문에서는 1[m]를 사용하였으며, d 는 송·수신기간의 거리이다. 송·수신기 사이의 거리 d 와 기준거리 d_0 의 비를 포함한 전송거리에 따른 경로손실은 다음과 같다^[8].

$$\overline{PL}(d)[dB] = PL(d_0)[dB] + 10 \times n \times \log_{10}\left(\frac{d}{d_0}\right) \quad (7)$$

여기서,

$$PL[dB] = 10 \log \frac{P_t}{P_r} = -10 \log \left[\frac{G_t G_r \lambda^2}{4\pi d^2} \right] \quad (8)$$

사. 군지연(Group Delay)

통신채널에서의 위상의 선형성은 군지연으로 설명한다. 군지연은 임펄스 파가 무선채널을 진행해 나갈 때 위상의 변하는 정도를 나타내며, 일반적으로 전파지연, 그리고 시스템의 선형위상특성의 편차를 나타낸다. 또한 이 파라미터는 임펄스파의 진행지연과 비선형성 통

신 채널에서의 왜곡성분과 같은 유용한 정보를 포함하고 있다.

군지연의 위상응답 특성은 다음과 같다^{[3][5][8]}.

$$t_g = -\frac{\Delta\phi}{360\Delta f} \quad (9)$$

여기서, $\Delta\phi$ 는 Δf 만큼 떨어진 두 주파수에서의 위상 차이를 나타낸다. 이 파라미터는 주파수 영역에서 VNA를 사용해 위상응답특성을 측정하였다.

3. 채널 특성 모델링

넓은 실내 공간 전체에 대한 측정결과는 다중경로에 의해 다양하게 분포할 뿐만 아니라 측정환경의 크기에 따라 다량의 측정 데이터가 존재한다. 채널 모델링을 하기 위해서는 측정 데이터로부터 정확한 파라미터 값을 도출하여야 한다. 그러나 측정 데이터의 값은 보통 1000개 이상 이므로, 본 논문에서는 파라미터를 도출하

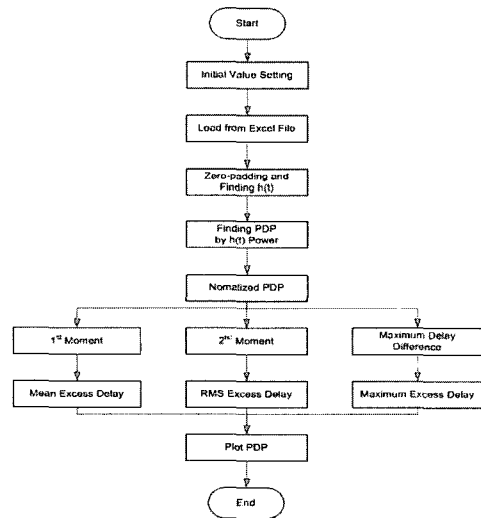


그림 6. 채널 특성 파라미터 도출 프로그램 알고리즘
Fig. 6. Program algorithm of channel parameter.

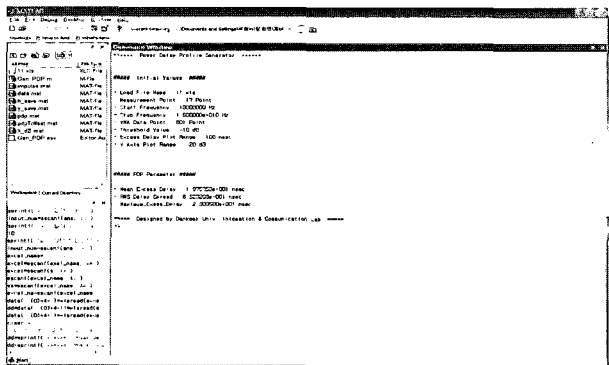


그림 7. 파라미터 추출 프로그램 진행과정
Fig. 7. Program process of extracting parameter.

는 프로그램을 제작하여 다량의 측정 데이터로부터 PDP를 얻고, 필요한 채널 파라미터를 수집 및 추출할 수 있도록 하였다.

제작한 데이터 자동저장 프로그램을 이용하면 측정 장비로부터 측정된 채널 특성은 excel 파일로 자동 저장한다. 이와 같이 측정 장비로부터 자동 수집된 데이터를 이용한 채널 파라미터를 도출하는 프로그램의 알고리즘은 그림 6과 같다.

이와 같은 알고리즘은 Matlab으로 프로그래밍 하였으며, 프로그램의 진행에 따른 파라미터 추출 과정을 나타내면 그림 7과 같다.

파라미터 추출 프로그램은 다양한 엑셀파일이나 텍스트 파일 형태로 저장된 채널 측정 결과를 호출하여 PDP를 도출하고, PDP로부터 각 파라미터를 수집하여 채널특성 파라미터를 추출한다.

III. 측정 데이터 분석

1. PDP(Power Delay Profile)

본 논문에서는 아파트 내 2000개의 지점에 대해 시간 영역과 주파수 영역의 전파특성을 측정하였다. 측정결과를 이용하여 PDP를 얻을 수 있고, 얻어진 PDP는 그림 8과 같다.

측정을 통해 얻어진 PDP로부터 채널 파라미터 산출하는 프로그램을 이용하여 파라미터를 도출하였다.

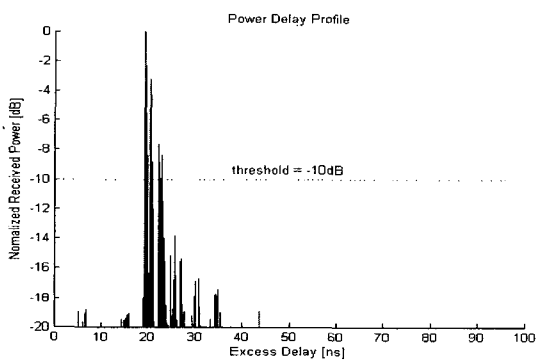
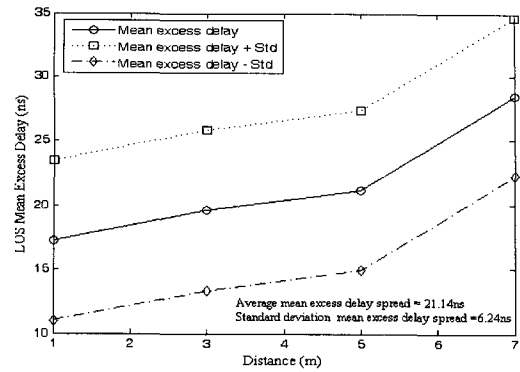


그림 8. 측정을 통해 얻어진 PDP
Fig. 8. Obtained PDP for measurement.

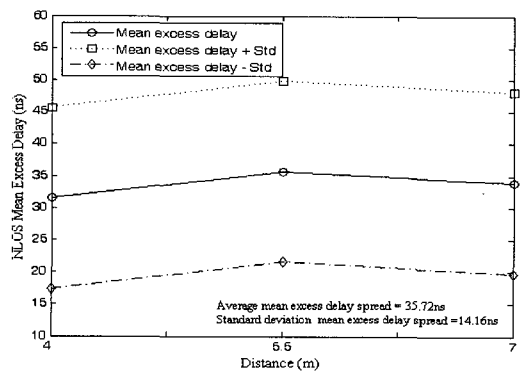
2. Mean Excess Delay

아파트의 LOS와 NLOS 환경에서 Mean Excess Delay는 그림 9와 같다.

송수신기 간의 거리가 3[m]일때 평균지연시간은 LOS 환경에서 21.1[ns], NLOS 환경에서 35.7[ns]로 장애물 등에 의해 14.6[ns] 지연되었음을 확인할 수 있었다.

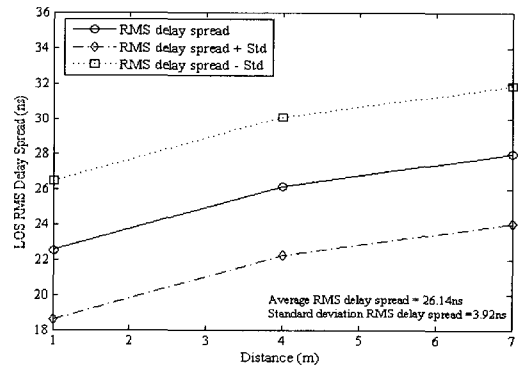


(a) LOS 환경

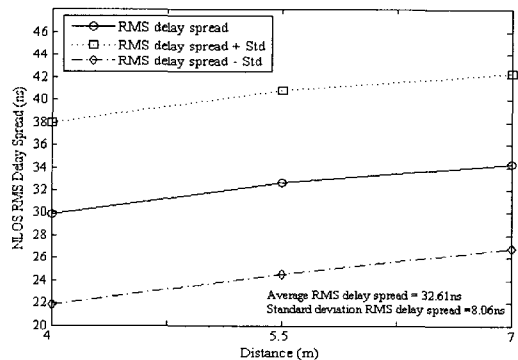


(b) NLOS 환경

그림 9. Mean Excess Delay
Fig. 9. Mean Excess Delay.



(a) LOS 환경



(b) NLOS 환경

그림 10. RMS Delay spread
Fig. 10. RMS Delay spread.

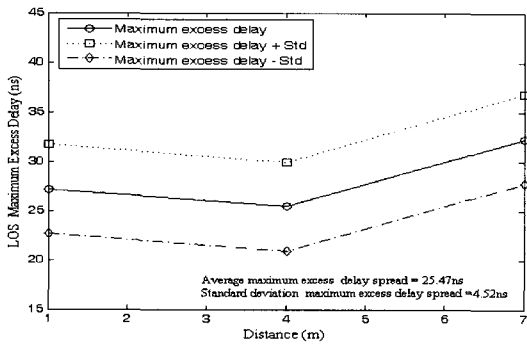
3. RMS Delay spread

RMS Delay spread는 그림 10과 같다.

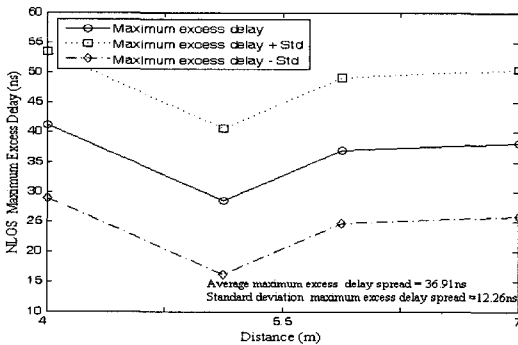
그림 10에서 보는바와 같이 평균 RMS Delay spread는 LOS환경에서는 26.14[ns]로 나타났고, NLOS 환경에서는 32.61[ns]로 측정되었다.

4. Maximum Excess delay

Maximum Excess delay값은 그림 11과 같다.



(a) LOS 환경



(b) NLOS 환경

그림 11. Maximum Excess delay

Fig. 11. Maximum Excess delay.

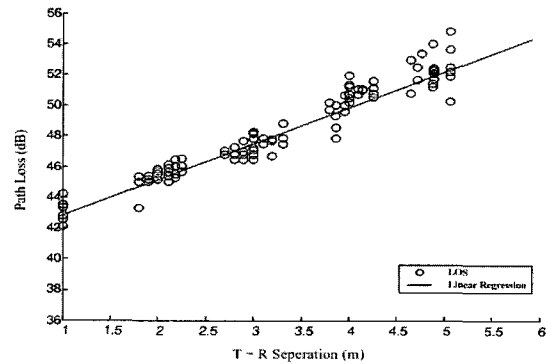
그림 11에서 보는바와 같이 평균 Maximum Excess delay 값은 LOS환경에서는 25.47[ns], NLOS 환경에서는 36.91[ns] 이다.

5. Path Loss

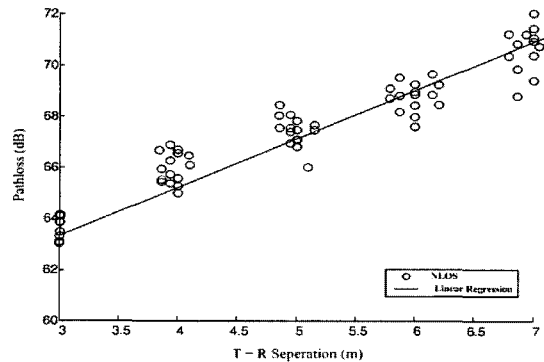
LOS와 NLOS 환경에서의 Path Loss값은 평균 경로 손실 지수 n 값과 기준거리 d_0 에서의 경로 손실 값은 그림 12와 같다.

LOS환경보다 NLOS환경에서 더욱 경로손실이 컸고, 각 지점에 대해 평균값에 대한 표준편차는 증가하였다. 그림 12의 측정치를 정리하면 표 1과 같다.

표 1에서 보는바와 같이 장애물이 있는 NLOS의 경로손실지수가 LOS 환경보다 컸다.



(a) LOS 환경



(b) NLOS 환경

그림 12. 경로 손실

Fig. 12. Path Loss.

표 1. 경로손실지수와 표준편차

Table 1. Path loss exponent and standard deviation.

Parameters	LOS		NLOS	
	Mean	S.D	Mean	S.D
PL_0 [dB]	43.5	NA	64.2	NA
n	2.1	0.1	3.5	0.7

6. 군지연

군지연은 주파수 영역에서 VNA를 사용해 위상응답 특성을 측정하여 산출하였고 거리별 LOS 환경과 NLOS 환경에 대한 측정결과는 그림 13과 같다.

군지연은 송·수신기간의 거리가 1, 3, 5, 7m일때의 측정결과이다. LOS 1m에서 4개의 통과대역이 존재하였다. 첫 번째 통과대역은 0.4[GHz]에서 0.8[GHz]까지이며, 두 번째는 2.5[GHz]에서 3.1[GHz]까지 그리고 마지막으로 6.9[GHz]에서 8[GHz]까지이다. 이와 같은 통과대역에서는 주파수에 따라 위상이 선형성을 갖는 것을 알 수 있었다. 또한 송신기와 수신기 사이의 거리가 멀수록, LOS보다는 NLOS환경에서 군지연의 통과대역이 줄어드는 것을 알 수 있었다.

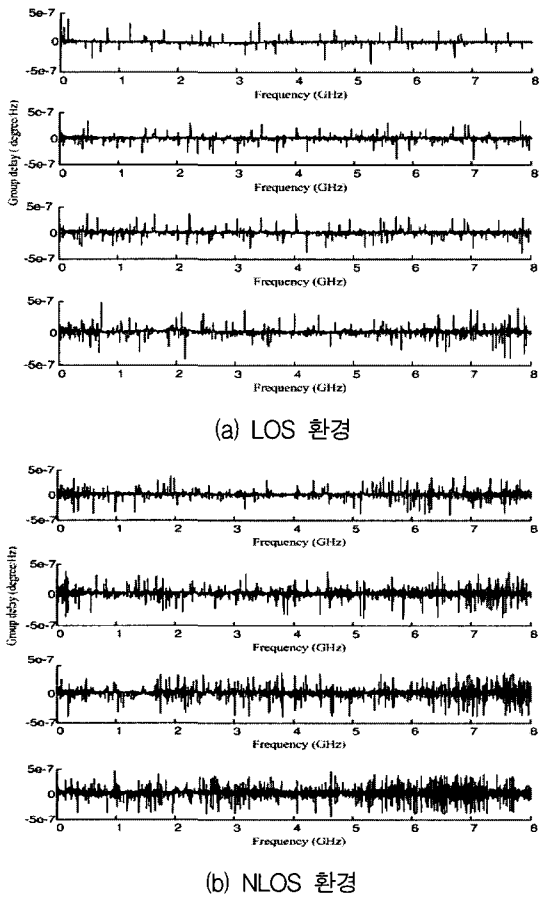


그림 13. 군지연
Fig. 13. Group Delay.

7. 채널 파라미터 비교

도출한 파라미터와 IEEE 802. 15. 4a Final report의 결과와 비교하면 표 2와 같다.

표 2에서 보는 바와 같이 본 논문에서의 측정치와 IEEE 802. 15. 4a의 측정치와 다소 차이가 있었다. 경로손실지수는 IEEE 802. 15. 4a보다 본 논문에서의 경로손실지수가 더 높았으며 다른 파라미터의 수치도 높

표 2. 채널 파라미터 비교
Table 2. Compare of channel parameters.

parameter	IEEE802.15.4a Final report		Measurement Model	
	LOS	NLOS	LOS	NLOS
Pathloss				
PL_0	36.6	51.4	43.5	64.2
n	1.63	3.07	2.1	3.5
Power Delay Profile				
Δ [1/ns]	0.0186	0.0134	0.031	0.29
λ [1/ns]	0.28	0.27	1.34	3.25
Γ [ns]	27.8	30.4	22.45	20.01
γ_0 [ns]	14.1	25.3	10.79	19.32
Temporal Domain Parameters				
τ_m [ns]	5.8	15.7	28.23	31.64
τ_{rms} [ns]	15.6	23.6	27.44	30.48
NP10dB	3.4	33	5.74	40.48

게 나타났다. 이와 같은 차이는 측정환경의 차이로 인한 것이다. IEEE 802. 15. 4a의 측정은 텅 빈 아파트 환경에서 이루어 졌으나 본 논문에서는 생활가구가 포함된 환경이기 때문이다. 그러나 이와 같은 차이는 근소하며, 생활가구가 포함된 본 논문에서의 측정이 보다 정확한 채널모델이라 사료된다.

8. I-UWB 시스템 구현

도출한 파라미터를 적용해 간단한 I-UWB 시스템을 Matlab Simulink로 구현하였다. 구현한 I-UWB 시스템에서는 Gaussian 1차 미분형 펄스를 PPM(Pulse Position Modulation)변조하여, 1,000만개의 데이터를 전송하였다. 모델링한 I-UWB 시스템은 그림 14와 같고, 모의실험 환경은 표 3과 같다.

이와 같은 I-UWB 시스템 모델에 실측으로부터 얻은 채널 파라미터를 적용하여 10[bits]를 전송할 경우 변조 과정과 복조과정의 결과는 그림 15와 같다.

그림 15에서 보는바와 같이 10[bits] 신호, [0011111001]를 전송하였을 때 약간의 시간지연을 갖고 복조되는 것을 확인할 수 있었다. 이와 같은 채널 환경에서 I-UWB 시스템을 이용하여 신호를 전송하는 경우의 시스템 특성을 알아보기 위해 1,000만개의 데이터에 대한 SNR 대비 BER 특성을 모의실험 하였는데, 결과

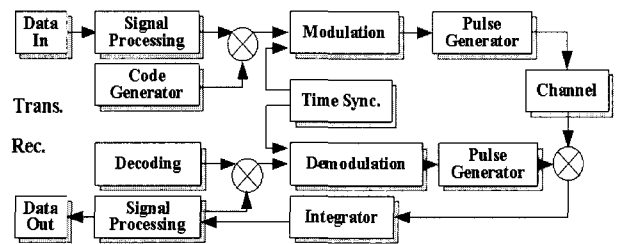


그림 14. I-UWB 시뮬레이터
Fig. 14. I-UWB simulator.

표 3. 시뮬레이션 환경
Table 3. Environment of simulation.

- Impulse width = 0.2 ns
- Symbol Time = 100 ns
- Symbol time in terms of frame time T/Tf = 10
- PN sequence Period = 31
- Average Signal Power = -40 dBm
- Pulse energy = $1.0 \cdot 10^{-15}$ J
- Channel Delay = 0 ns
- AWGN Noise Power = -50 dBm
- UWB Signal Detection Threshold = 95%
- Acquisition Threshold = 70%
- False Alarm Threshold = 30%

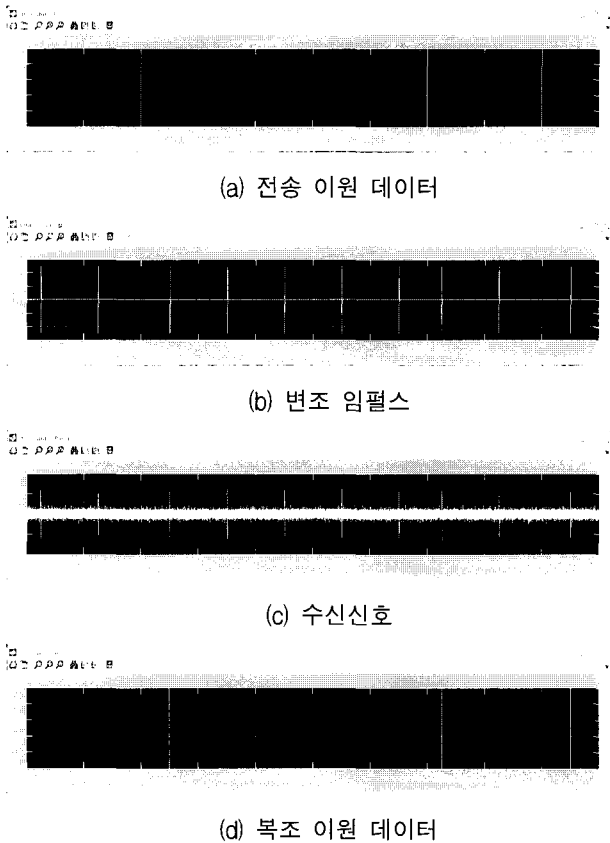


그림 15. 시뮬레이터를 이용한 변·복조 과정
Fig. 15. Modulation and demodulation by simulator.

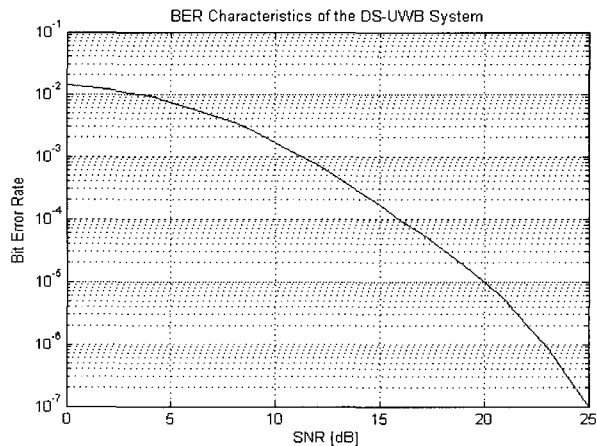


그림 16. I-UWB 시스템의 BER 특성
Fig. 16. BER characterization of DS-UWB system.

는 그림 16과 같다.

그림 16에서 보는바와 같이 SNR 20[dB] 이상에서 BER이 10^{-5} 이하인 것을 확인할 수 있었다.

IV. 결 론

본 논문에서는 실내 환경에서 I-UWB 시스템의 송·

수신기의 위치에 따라 수신되는 모든 파의 다중 경로와 전파특성을 측정하여 채널 모델링을 위한 설계 파라미터를 도출하였다. 채널 파라미터 도출 프로그램을 제작하였으며, 이를 이용하여 I-UWB 시스템의 채널을 모델링 하였다. 또한 채널 모델의 성능을 평가하기 위해 I-UWB 시뮬레이터를 제작하여 실측을 통한 채널을 적용하여 모의실험 하였다.

측정한 채널 특성으로부터 PDP를 도출하고, PDP를 이용하여 파의 도착율과 감쇄시간, Mean excess delay, RMS delay spread, Maximum excess delay, Path loss, Group delay와 같은 채널 파라미터를 모델링하였다.

채널 측정결과 Mean excess delay는 28.33(LOS)/31.64(NLOS), RMS delay spread는 27.44(LOS)/30.48(NLOS), Maximum excess delay는 5.74(LOS)/40.48(NLOS), Path loss 는 43.5(LOS)/64.2(NLOS)를 얻었다. 송·수신기의 거리가 1m였을때, path loss는 IEEE 표준안보다 LOS와 NLOS 환경에서 각각 6.9 dB, 12.8 dB 증가하였다. 파의 도착율과 감쇄율도 IEEE 표준안보다 증가함에 따라 각 채널 특성 파라미터가 증가하였다. LOS 환경과 NLOS 환경에서 Mean excess delay 값은 각각 22.4, 15.9 증가하였고, RMS delay spread 값은 각각 11.8, 6.9 증가하였다. 마지막으로 Maximum excess delay 값도 각각 2.3, 7.5 증가하였다. 즉 제안한 채널 모델이 IEEE 표준안보다 경로손실 및 파의 지연시간이 증가하였다. 이와 같은 결과는 채널구성의 차이로, 같은 구조와 크기를 갖는 환경에서 장애물이 있는 생활환경에 따라 채널특성이 다른 것을 알 수 있었다. 그러므로 본 논문에서 제안한 채널모델이 실제 채널모델에 근접한 모델로 사료된다. 실제 채널모델에 적용하여 I-UWB 시스템의 성능을 모의실험 한 결과 SNR 20dB 이상에서 BER은 10^{-5} 이하인 것을 확인할 수 있었다.

본 논문에서 측정을 통해 얻은 실내 아파트 환경에서의 I-UWB 채널모델은 실생활 환경에 보다 근접한 채널모델을 제시하여 시스템 설계자에게 유용하게 사용될 수 있을 뿐만 아니라 채널 모델링을 통해 어려움을 낮출 수 있고, 전송효율은 증가시킬 수 있는 토대가 될 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

[1] Federal Communications Commission (FCC), "Revision of Part 15 of the Commission's Rules Re

garding Ultra Wideband Transmission Systems, " First Report and Order, ET Docket No. 98-153, FCC 02-48; Adopted: Feb. 14, 2002; Released: Apr. 22, 2002.

[2] Robert C. Qiu, Huaping Liu, Xuemin Shen, "Ultra-Wideband for Multiple Access Communications," *IEEE Commun. Magazine*, Vol. 42, No. 12, Dec. 2004.

[3] M. GHAVAMI and L. B. MICHAEL and R. KOHNO, ultra wideband, WILEY, 2004.

[4] Christopher R. Anderson and Annamalai and Ahmed M. Attiya, An Introduction to Ultra Wideband and Communication Systems, Prentice Hall, 2005.

[5] Ian Oppermann and Jari Rinatti, UWB Theory and Applications, WILEY, 2004.

[6] Adel A. M. Saleh, Reinaldo A. Valenzuela, "A statistical model for indoor multipath propagation," *IEEE J. Select. Areas Commun*, vol. SAC-5, no. 2, pp. 128-137, Feb. 1987.

[7] Andreas F. Molisch, et. al., "Channel model final report," *IEEE 802.15-04-0662-02-004a*, Apr. 2005.

[8] Theodore S. Rappaport, Wireless Communications, Prentice Hall, 2002.

저 자 소 개



장 필 선(정회원)
 2006년 단국대학교 공과대학
 전자공학전공(공학사)
 2006년~현재 단국대학교 대학원
 전자컴퓨터공학과
 석사과정 재학

<주관심분야 : RF Amplifier, UWB, 디지털 이동통신>



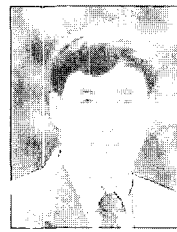
이 석 희(정회원)
 2004년 단국대학교 공과대학
 전자공학전공(공학사)
 2006년 단국대학교 대학원
 전자공학전공(공학석사)
 2006년~현재 단국대학교 대학원
 전자컴퓨터공학과
 박사과정 재학

<주관심분야 : RF Amplifier, UWB, 디지털 이동통신, Digital Pre-distorter>



고 영 은(정회원)
 2001년 단국대학교 전자컴퓨터
 공학부 전자공학전공
 (공학사)
 2003년 단국대학교 대학원
 전자컴퓨터 공학과
 통신공학전공(공학석사)

2003년~현재 단국대학교 대학원 전자컴퓨터
 공학과 통신공학전공(박사과정)
 <주관심분야 : UWB, SDR, RF Amp, 디지털 통신>



방 성 일(평생회원)
 1984년 단국대학교 공과대학
 전자공학전공(공학사)
 1986년 단국대학교 대학원
 전자공학전공(공학석사)
 1992년 단국대학교 대학원
 전자공학전공(공학박사)

1992년~1993년 (주)대기정보통신 책임연구원
 1997년~2001년 (주)엘씨텍 연구소장
 2001년~현재 단국대학교 산학연 센터장
 1994년~현재 단국대학교 전자컴퓨터공학과 교수
 <주관심분야 : RF Amp, UWB, OFDM, 디지털 이동통신>