

실내 환경에서의 UWB 채널 모델

배백근, 박진환, 고영은, 방성일
단국대학교 전자컴퓨터학과
e-mail : bag1002@dankook.ac.kr

Indoor Channel Model for UWB

Bag-Geun Bae, Jin-Hwan Park, Young-Eun Ko, Sung-Il Bang
Electronics and Computer Engineering, Dankook University

요 약

본 논문에서는 실내 환경에서 UWB 시스템 적용시 발생하는 다중경로에 의한 시간 지연과 위상왜곡 및 전력 감쇄 성분으로 인한 왜곡 정도를 분석하였고, 실내의 구조와 건물내부 재질에 따라 왜곡 성분들의 영향을 연구하였다. 이와 같은 왜곡성분을 토대로 실제 환경과 유사한 채널 모델을 수학적으로 전개하였고, 임의의 환경에 UWB 시스템을 적용하였을 때 발생하는 다중경로와 신호 왜곡 정도를 시뮬레이션을 통해 채널 모델을 모의 실험함으로써 다양한 실내 환경에서 UWB 시스템이 고려해야 할 왜곡 성분을 분석하였다.

1. 서론

최근에 무선통신 분야에서는 WLAN(Wireless Local Area Network), WPAN(Wireless Personal Area Network)등의 근거리 무선통신 서비스에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 특히 WPAN은 보다 생산적이고 효율적인 일상생활을 목적으로 IEEE 802.15 WG에서 연구가 진행되고 있다. IEEE 802.15 WG는 WPAN에 적합한 프로토콜 및 인터페이스 규격 제정 등을 위한 표준화 단체로 5개의 TG로 하부 구조를 두어 연구하고 있다. 이 중 TG3a에서는 초고속의 데이터 전송을 위한 UWB의 기술 및 표준화 작업을 진행하고 있다[1].

UWB는 연속적인 정현파가 아닌 초단시간 펄스의 사용으로 초 광대역을 점유하면서도 단속적으로 데이터를 전송할 수 있는 기술이다. UWB는 2002년에 미국 FCC에서 기존 무선통신과의 간섭이 없는 수준에서 기술을 허가 하였다. UWB의 사용대역은 3.1GHz~10.6GHz로 제한하였으며 -41.25dBm/MHz의 방사제한을 두었다[1]. 이와 같은 UWB는 근거리 무선 통신을 하므로 다른 채널 환경에는 강하지만, 짧은 단 펄스를 이용하여 초 광대역에서 저전력으로

전송하므로 다중경로 페이딩에는 약하다. 특히 실내에서 가구의 위치나 재질, 건물 내벽의 재질 등에 따라 발생하는 다양한 다중경로에 의한 손실을 무시할 수 없다. 그러므로 IEEE 802.15 TG3a에서는 채널환경의 연구도 동시에 진행하고 있다[1][2][3].

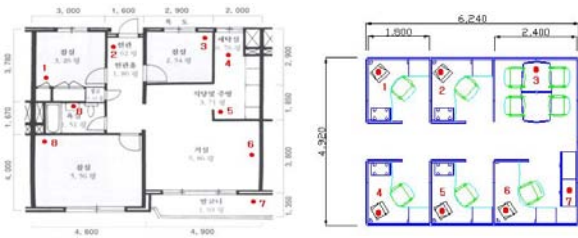
본 논문에서는 현재 IEEE 802.15.TG3a에서 진행 중인 UWB 채널 모델을 분석하고, 다양한 환경에서 송신 신호가 채널을 통과하여 수신될 때 발생하는 왜곡 성분을 수식적으로 전개했다[2][4]. 이와 같은 채널 모델을 바탕으로 설정된 임의의 환경에서 다중경로와 채널 환경을 볼 수 있는 시뮬레이션 툴을 제안하였고, 정확한 전송 채널환경 모델은 실제 환경에서 발생하는 다양한 왜곡성분을 고려하여 UWB 시스템을 효율적으로 설계할 수 있도록 하였다.

2. UWB 전송 채널 환경

레이더 통신을 기반으로 군에서 개발된 UWB는 최근 근거리 무선 통신 시스템으로 활발하게 개발되고 있다. 최근에는 Home Networking 서비스를 위한 높은 전송율의 UWB와 Human 인터페이스 서비스를 위한 낮은 전송율의 UWB로 구분된다. 이와

같은 UWB는 가정이나 사무실, 병원, 공장과 같이 제한된 공간에서 서비스 하므로 상대적으로 다른 이동 통신 시스템보다 채널환경에 의한 영향이 적다. 그러나 낮은 전력으로 ns 단위의 짧은 폭을 갖는 펄스로 정보를 전송하므로 다중 경로 손실에는 약하다. 그러므로 IEEE 802.15.TG3a에서도 UWB의 기술 개발과 표준화와 더불어 채널환경의 연구도 진행되고 있다[1]

UWB 시스템이 응용되는 환경은 그림 1과 같다.



(a) 가정환경 (b) 사무실 환경
그림 1. UWB 시스템 응용환경의 예

그림 1에 표시된 각 지점에 UWB 송수신기를 설치한 경우 직선 경로를 통해 데이터가 수신되기도 하지만 벽과 물건들과 같은 장애물로 인해 다중경로가 한다. 또 UWB는 임펄스를 ns 단위의 주기로 전송하므로 다중경로에 의한 지연이 발생할 경우 지연된 펄스와 중첩이 발생되고 심각한 ISI (Intersymbol Interference)가 발생한다. 그러므로 다중경로에 의한 왜곡성분을 고려하여 UWB 시스템을 설계하고, 송수신기의 위치 또한 고려하여 설치하여야 한다[2][4]. 다중경로는 벽에 의한 반사와 투과에 의해 위상 왜곡과 진폭 왜곡을 발생한다. 임의의 전파가 벽에 θ_1 의 각으로 입사한 경우, 반사각 θ_2 는 식 (1)과 같다.

파의 반사 :

$$\theta_2 = \sin^{-1} \left(\frac{v_2}{v_1} \sin \theta_1 \right) = \sin^{-1} \left(\sqrt{\frac{\epsilon_2}{\epsilon_1}} \sin \theta_1 \right) \quad (1)$$

식 (1)에서 보는 바와 같이 반사각은 전파가 진행하고 반사되는 매질에 따라 다른 각으로 반사된다.

$$\Gamma = \frac{\eta_2 \cos \theta_i - \eta_1 \cos \theta_t}{\eta_2 \cos \theta_i + \eta_1 \cos \theta_t} \quad (2)$$

반사된 파는 반사계수의 비만큼 수신 전력이 감소하는데, 식 (2)와 같다. 여기서 θ_i 는 입사각이고, θ_t

는 투과각이고, η_1, η_2 는 매질의 투자율이다.

식 (2)의 반사계수는 전파가 투과나 반사되는 매질의 종류에 따라 다른 값을 갖는다.

UWB 전송 환경은 내부벽면 재질과 장애물의 재질 등에 따라 감쇄된 신호가 반사각에 의해 여러 경로를 통해 전송되며, 전송된 파는 매질과 다중경로, 반사각, 반사의 횟수에 따라 시간지연과 위상오차, 진폭감쇄를 가진다.

3. 전송 채널 모델링

UWB 시스템은 임의의 환경에 송수신기를 설치하는데, 이때 송신하는 펄스는 식 (3)과 같다.

$$x(t) = p(t) e^{j(\omega t + \phi)} \quad (3)$$

여기서, $p(t)$ 는 임펄스이고, ϕ 는 전파의 위상이다.

식 (3)의 송신펄스는 일반적인 전송 펄스이다.

식 (3)은 전송 채널을 거쳐 수신기에 도착하는데, 이 때 채널 응답은 식 (4)와 같다.

$$h(t) = \sum_k \beta_k e^{j\theta_k} \delta(t - \tau_k) \quad (4)$$

식 (4)에서 보는바와 같이 채널 응답은 시간지연 τ_k 와 위상오차 θ_k 진폭왜곡 β_k 를 갖는다. 여기서 k 는 경로를 나타낸다. 예를 들어 펄스가 그림 2와 같은 경로로 수신된 경우 각 채널 진폭 응답은 (5)와 (6)으로 나타난다.

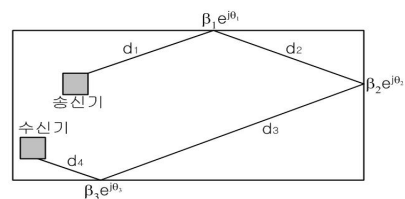


그림 2. 세 번의 반사 후 수신된 펄스의 경로

$$\beta_k = \frac{\beta_1 \beta_2 \beta_3}{d} \quad d = d_1 + d_2 + d_3 + d_4 \quad (5)$$

$$\theta_k = \theta_1 + \theta_2 + \theta_3 \quad (6)$$

송신펄스가 채널을 거쳐 수신기에 도착하면, 식 (3)과 식 (4)의 컨볼루션 형태의 수신신호를 갖는데, 이는 식 (7)와 같다.

$$\begin{aligned}
 y(t) &= x(t) * h(t) \\
 &= \sum_k \beta_k b(t - \tau_k) e^{j\omega(t - \tau_k) + \phi + \theta_k} \quad (7) \\
 &= \sum_k \beta_k e^{j\theta_k} x(t - \tau_k)
 \end{aligned}$$

식 (7)에서 보는 바와 같이 수신 펄스는 진폭성분과 위상성분, 시간지연 성분을 갖는다. 이와 같은 수신 펄스는 포락선 검파기를 사용하여 검파하는데, 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 |y(t)|^2 &= \sum_k \sum_l \beta_k \beta_l b(t - \tau_k) b(t - \tau_l) \exp\{j[\omega(\tau_l - \tau_k) + \theta_k - \theta_l]\} \\
 &= \sum_k \beta_k^2 b^2(t - \tau_k) \quad (8)
 \end{aligned}$$

이 경우 Square 법칙을 따르는 포락선 검파기를 사용하여 식 (7)에서의 위상성분, θ_k 를 제거하였다. UWB 시스템은 펄스의 수신여부로 복조하므로 위상오차는 제거하고 수신펄스를 분석할 수 있다.

포락선 검파기를 사용하여 위상 성분을 제거한 식 (8)과 같은 수신 펄스는 진폭 성분과 시간 지연 성분을 가진다. 식 (8)에서의 진폭 성분은 수신 펄스의 전력이 되는데, 전력 이득은 식 (9)와 같다.

$$G \equiv \sum_k \beta_k^2 \quad (9)$$

식 (9)에서 보는 바와 같이 전력이득은 모든 경로를 통해 수신된 신호의 진폭 성분의 합으로 정의하며, 모든 k 에 대해 β_k^2 의 합이므로 전력이득이 된다.

그러나 UWB 시스템은 ns 단위의 주기를 갖는 duty cycle이 1%미만의 펄스를 사용하므로 시간 지연 성분에 민감하며, 이와 같은 시간 지연 성분은 전송 채널 환경에 큰 영향을 준다. 식 (8)에서 각 경로의 시간 지연 τ_k 에 의한 전체적인 시간 지연을 표현하면 식 (10)과 같다.

$$\tau^n = \frac{\sum_k \tau_k^n \beta_k^2}{\sum_k \beta_k^2} \quad (10)$$

식 (10)에서 보는 바와 같이 모든 경로의 시간 지연을 표준편차를 이용하여 rms 지연 확산값으로 표

현함으로써 시간 지연 정도를 나타냈다.

2장에서 분석한 채널의 왜곡 성분을 이용하여 3장에서는 채널 모델링을 수학적으로 전개하였다. 이와 같은 수학적 모델로 송신 펄스의 전력과 전송 채널 환경을 알면 송수신기 위치에 따른 다중 경로를 예측할 수 있으며, 다중 경로에 의한 전력 이득과 지연 시간을 갖는 채널 특성을 산출함으로써 채널 특성을 고려한 UWB 시스템을 설계할 수 있다.

4. Simulation & Estimation

3장에서 수학적으로 모델링한 채널에서 환경의 설정에 따라 펄스의 수신 경로와 시간지연 진폭 왜곡을 알아볼 수 있도록 시뮬레이션 툴을 제작하여 모의실험 하였다. 시뮬레이션에서 UWB 시스템은 폭이 5ns이고, 주기는 600ns의 100mW의 펄스를 발생하고, 송수신기 모두 전방향 dipole 안테나로 전방향에 대해 5° 간격으로 전파를 송신하였다. 환경설정은 장애물이 없는 9.4975×5.475 m²의 자유 공간을 1 mm²으로 구간을 분할하여 송수신기 위치를 자유롭게 설정할 수 있도록 하였으며, 벽면 재질은 나무, 콘크리트, 금속, 유리 4가지 경우에 대하여 실험하였다. 시뮬레이션 툴은 Visual Basic으로 제작하였다.

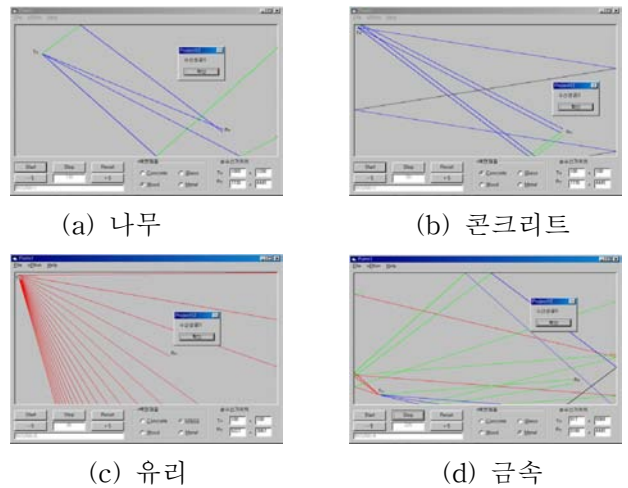


그림 3. 벽면 재질에 따른 다중 경로

송수신기 위치를 고정되었을 경우 벽면 재질에 따른 다중 경로는 그림 3과 같다.

나무인 경우 파의 일부는 투과하고 반사계수가 작으므로 다중 경로에 의한 파가 2번 이상 반사되면 수신이 불가능 하였다. 콘크리트인 경우 표면이 거칠기 때문에 반사각이 입사각과 비례하지 않으므로

파의 수신율이 낮았다. 금속은 반사계수가 커서 반사파의 전력이 높으므로 3번 반사된 파까지 수신되었다. 재질이 유리인 경우는 거의 모든 파가 투과하므로 반사파가 수신되지 않아 직선 경로에 의한 파만 수신되었다.

벽면 재질이 금속인 경우 수신기 위치는 변경한 경우 다중 경로와 그림 4와 같다.

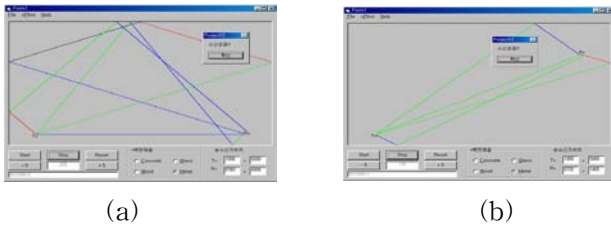


그림 4. 송수신기 위치에 따른 다중 경로(금속)

그림 4의 두 결과를 비교하면 위치에 따라 다중경로가 서로 다르게 나타났다. 동일 위치의 송수신기가 전방향에 대해 5° 간격으로 전파를 송신하면 그림 4(a)의 수신기는 반사 횟수가 많은 파가 수신되었고, 그림 4(b)의 수신기는 (a)보다 적은 반사 횟수를 가진 파가 수신되었다. 이와 같은 다중경로로 수신된 전파의 특성은 표 1과 같다.

표 1. 그림 4(a)와 (b)의 전파특성

송수신기 위치	κ(경로)	d _κ [m]	τ _κ [ns]	β _κ [mW]	G	α _κ
(a) Tx:1000*5000 Rx:8740*4900	1	3.87	0	26	6.80E-04	1.40E-08
	2	6.81	9.79	1.47		
	3	7.07	10.67	1.41		
	4	14.6	35.77	0.068		
(b) Tx:1000*5000 Rx:8740*1400	1	4.26	0	24	1.82E-03	1.24E-08
	2	4.55	0.98	22		
	3	4.98	2.4	20		
	4	5.25	3.3	19		

표 1에서 볼 수 있듯이 그림 4(a)의 수신기는 (b)의 수신기보다 전력이득이 1.14e-3정도 낮고, 지연확산도 1.6e-9 크다. 즉, 반사 횟수가 많으면 전력이득이 감소하고 지연확산도 커져서 수신율 적은 것을 확인할 수 있었다. 이와 같은 결과에 따르면 그림 (a)보다 (b)의 수신기 위치가 전파의 송수신 특성이 우수한 것을 알 수 있었다.

시뮬레이션 결과에 따르면 벽면 재질과 같은 주변 환경에 따라 채널 특성이 달라지므로 UWB 시스템 설계시 이와 같은 채널 특성을 고려하여 설계할 수 있었으며, 송수신기 위치에 따른 다중 경로 발생에 대한 시뮬레이션 결과에 따라 전파가 효율적으로 전송되도록 송수신기 위치를 결정할 수 있었다.

5. 결론

본 논문에서는 UWB 시스템을 적용시 채널 환경에 따른 왜곡 성분들을 분석하였다. 대표적인 왜곡 성분으로는 진폭 왜곡, 시간지연이 있는데, 분석된 성분을 고려하여 수학적 채널 모델링을 하였다. 그리고 채널 모델링을 바탕으로 시뮬레이션 툴을 제작하여 모의 실험하였다.

시뮬레이션 툴은 장애물이 없는 9.4975×5.475 m² 공간을 1 mm²로 분할하여 전방향으로 5° 간격으로 신호를 전송하였고, 벽면 재질과 송수신기 위치를 변화시키면서 실험하였다. 실험 결과 벽면 재질의 특성에 따라 나무는 2번 반사된 파까지만 수신할 수 있었으며, 콘크리트는 다중경로 지연이 컸으며, 금속은 3번 반사된 파까지 수신이 가능하였다. 또 유리는 투과성질이 높아서 다중경로가 거의 발생하지 않았다. 또 벽면이 금속일 때 송수신기 위치를 달리 한 경우, 반사가 적은 파가 수신될 때 전력이득은 1.14e-3만큼 크고, 지연확산은 1.6e-9만큼 작았다.

이와 같은 시뮬레이션 결과는 UWB 시스템을 실제 환경에 적용시 채널에 의한 영향을 나타낸다. 그러므로 UWB 시스템 설계자는 시스템 설계 이전에 이와 같은 채널 영향을 고려하여 설계할 수 있었으며, 효율적으로 전송이 가능한 송수신기 위치를 결정할 수 있었다.

향후 임의의 장애물 위치 설정과 종류 및 재질에 대한 연구도 함께 이루어야 할 것이다.

참고문헌

- [1] Wireless Personal Area Networks, IEEE P802.15-02/279r0-SG3a, 24 June, 2002.
- [2] A. A. Saleh, R. Valenzuela, "A Statistical Model for Indoor Multipath Propagation", IEEE J. Select. Areas In Communications, Vol. SAC-5, No.2, February 1987.
- [3] Rodney Vaughan, Jorgen Bach Andersen, "Channels, Propagation and Antennas for Mobile Communications", The Institution of Electrical Engineers, 2003
- [4] A. H. Muqaibel, A. Safaai-Jazi, A. M. Attiya, "Measurement and characterization of Indoor Ultra-Wideband Propagation" ,2003 IEEE Conference on Ultra Wideband Systems and Technologies, November 16-19, 2003.