

실내무선전파환경에서의 원형편파 전파를 고려한 수정된 UWB 채널 모델

서유정^{*} · 안재성^{*} · 하덕호^{*}

^{*}부경대학교 정보통신공학과

A Modified UWB Channel Model Considering The Circular Polarization Wave in Indoor Radio Propagation Environments

Yu-Jung Seo^{*} · Jae-Sung Ahn^{*} · Deock-Ho Ha^{*}

^{*}Department of Telecommunication Engineering, Pukyong National University

e-mail : skyssal@nate.com

요 약

협대역 다중접속 방식의 한계를 벗어난 Ultra-wide band(UWB) 기술이 고속 데이터 전송을 위해 많이 개발되어지고 있다. UWB 시스템은 방사전력 제한을 두고 있어서 근거리 실내 무선통신 분야 에서 활용 범위가 확대되고 있다. 하지만 실내 무선 환경에서는 벽, 천장, 바닥 그리고 실내에 위치한 장애물 등에 의한 다중경로 페이딩 영향으로 초고속 실내 무선통신 서비스를 제공하는데 어려움이 있다. 이러한 실내 다중경로 성분에 의한 페이딩을 경감시키는 여러 가지 방법 중에서 원형편파를 이용하면, 상대적으로 긴 지연을 갖는 강한 다중경로 성분을 효과적으로 제거할 수가 있기 때문에 수신신호의 RMS 지연 감소, 페이딩 경감 및 신호강도 개선효과 등을 얻을 수 있다. 본 논문에서는 원형편파를 고려한 수정된 UWB 채널의 파라미터를 수정 정립하였고, 수정된 채널모델을 UWB 시스템에 적용하여 성능 개선을 시도하였다.

키워드

circular polarization, modified UWB channel model, system performance improvement

I. 서 론

실내 환경에서의 무선통신은 벽, 천장, 바닥 그리고 그 외 실내에 위치한 장애물 등의 영향으로 발생하는 다중 경로 전파 전파에 의한 페이딩으로 인해 초고속 실내 무선 통신 서비스를 제공하는데 어려움이 있다.

이러한 다중 경로 성분으로 발생하는 페이딩을 경감시키는 방법으로 많이 이용되고 있는 다이버시티 방법으로는 공간 다이버시티 방법과 편파 다이버시티 방법이 있다.[1] 공간 다이버시티 방법은 공간적으로 분리된 두 개의 독립된 안테나가 필요하게 되며, 편파 다이버시티 방법은 두 개의 다른 편파 안테나로 전력이 분리되기 때문에 3 dB의 전력 감소가 있다는 단점을 각각 들 수 있다. 한편, 원형편파를 이용한 송수신 시스템에서 기수 번의 반사파는 수신기에서 수신되지 않는 특징이 있기 때문에 많은 다중 경로 성분 중에서 기수 번의 반사파에 의한 다중 경로 성분을 제거할 수가 있다. 이러한 특징으로 인해서 원형편파를 이용한 실내 무선 통신 서비스를 제공할 경우 상당한 페이딩 경감효과를 가져 올 수 있

다.[2] 본 논문에서는 가시거리 환경(LOS)에서 원형 편파를 이용하면 직선 편파에 비해 페이딩 경감 효과가 나타나는 특성을 이용하여, 새로운 UWB 채널모델을 수정 정립하기 위하여 매트랩 시뮬레이션으로 UWB 채널모델 모의실험을 수행하였다. 이로부터 기존의 UWB 채널모델 파라미터를 새로이 수정하였고, 수정된 채널 파라미터를 UWB 시스템에 적용하여 성능 개선을 시도하였다. 그 결과, 원형편파를 UWB 시스템에 적용하면 시스템 성능이 개선됨을 확인하였으며 또한 새로이 수정된 UWB 채널모델의 타당성도 확인되었다.

II. 원형편파의 특성

2-1. 원형편파의 파형

원형편파는 위상차 π 의 간격을 두어 직교하는 두 개의 직선편파가 동시에 발진하면서 만들어진 다. 좌선회 원형편파(LC, Left-hand Circular polarization)와 우선회(RC, Right-hand Circular polarization) 원형편파는 (1)의 식으로 주어진다.

$$\begin{bmatrix} E_R(t) \\ E_L(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & j \\ 1 & -j \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_H(t) \\ E_V(t) \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서 $E_H(t)$ 와 $E_V(t)$ 는 각각 수평편파와 수직 편파이고 j 는 π 만큼의 위상차를 의미한다. 가시 거리(LOS, Line of Sight) 환경에서 전파된 RC파 ($E_H(t) = E_V(t) = E(t)$)의 신호는 수신측에서 (2)의 식으로 표현된다.

$$r(t) = 2E(t - \tau_0) + \sum_i \sum_k \rho_{ik} E(t - \tau_{ik}) \quad (2)$$

$$\rho_{ik} = (\rho_{H,ik})^i + (-\rho_{V,ik})^i \quad (3)$$

여기서 τ_0 는 LOS 신호의 전송지연, τ_{ik} 는 i 회 연속 반사된 k 번 째 신호의 전파지연, $\rho_{H,ik}$ 와 $\rho_{V,ik}$ 는 직교 선형 편파의 반사계수를 각각 나타낸다. 원형편파로 송수신되는 전파는 정(正)반사성의 반사를 제외하고($\rho_{H,ik} = \rho_{V,ik}$ 식(3)), 모든 기수회 반사 경로에서 $\rho_{ik} = 0$ 이 된다. 반사가 한번 또는 기수회 일어났을 때는 식(3)으로 표현되며, 전파의 방향이 바뀌었을 때의 파형은 직교 요소내의 수평편파 성분의 위상이 반전된다. 이 때문에 원형편파로 발생한 전파가 기수회 반사를 겪으면 편파의 선회방향이 반대가 된다.(예를 들어, RC파는 LC반사파를, LC파는 RC반사파가 된다.) 따라서 각각의 정선회(선회방향이 같은) 원형편파 안테나로 송수신하게 되면(RC-RC or LC-LC), 기수회 반사파는 수신측에서 제거 수신되어 다중경로 성분을 억제할 수 있다. 실제로는, 우수회 반사파(2회, 4회 등)들은 수신측에서 수신이 되지만 반사계수의 영향으로 신호강도가 약하게 수신 합성되는 신호에는 큰 영향을 못 미치게 된다.

2-2. 원형편파의 페이딩 경감 특성

장애물이 없는 가시거리 환경에서는 다중 경로 성분이 벽면과 천장 바닥에 의한 반사파로 이루어진다. 때문에 가시거리 환경에서는 기수번의 반사파에 대해서는 수신되지 않는 정선회 원형 편파의 안테나를 송수신측에서 조합하여 사용하는 경우는 수직 편파나 수평 편파에 비해서 상당한 페이딩 경감효과를 기대할 수 있다.[3]

[그림1]은 가시거리 환경에서의 수직편파(V-V), 수평편파(H-H), 원형편파(C-C)에 대한 페이딩을 측정된 결과이다. 측정 환경은 8x11x3m의 장애물이 없는 실내에서 송수신이 가능한 ISM 대역의 5.7 GHz 주파수를 사용하고 송신기는 중앙의 바닥으로부터 2m 높이에 두고, 수신기는 송신기로부터 대각선 방향으로 1m 떨어진 지점에서부터 0.5mm 간격으로 측정치를 얻을 수 있도록 송신기의 위치가 멀어지도록 변화시키면서 이동측정이 이루어졌다. [그림1]의 측정결과로부터 가시거리 환경에서는 수직이나 수평편파를 사용하였을 경우보다 원형편파를 이용한 경우가 탁월한 페이

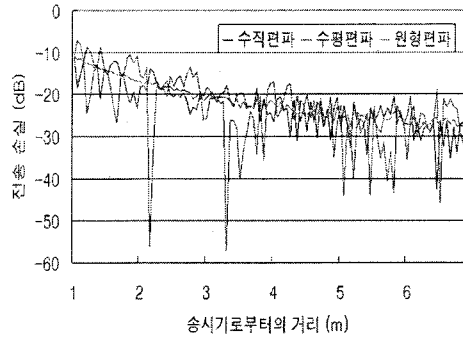


그림1. 가시거리 환경에서의 편파에 따른 페이딩 특성

딩 경감 효과가 있음을 알 수 있다. [표1]은 [그림1]의 가시거리 환경에서의 수직, 수평, 원형편파를 이용한 경우의 페이딩 특성을 평균손실과 표준편차를 통하여 비교한 것이다. [표1]에서 알 수 있듯이 평균손실 및 표준편차에 있어서 원형편파의 경우가 수직 및 수평편파보다 크게 감소되어 가시거리 환경에서는 페이딩 경감특성이 탁월함을 알 수 있다. 또한 직선편파를 고려한 편파 다이버시티의 경우보다도 원형편파의 경우가 페이딩 경감 특성이 우수함을 확인할 수가 있었다.

표1. 가시거리환경에 대한 페이딩 특성

	수직편파	수평편파	원형편파	편파 다이버시티
평균손실 (dB)	-22.5	-23.9	-21.8	-22.6
표준편차	5.70	9.07	4.61	4.98

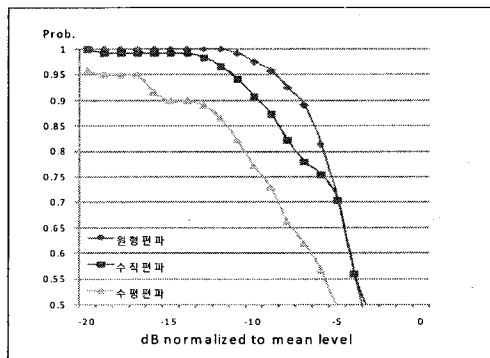


그림2. 원형편파 수신신호의 평균 CPD

[그림2]는 [그림1]의 수신신호 레벨 그래프를 평균치로 정규화한 값에 대한 누적확률분포(cumulative probability distributions)로 표현한 그래프이다. 가시거리 무선 환경에서 원형편파를 이용한

누적분포도는 90% 부근에서 수직편파에 비해 3dB, 수평편파에 비해 7dB 정도의 안정된 수신강도를 제공하고 있음을 보여준다.

III. 수정된 UWB 채널 모델

3-1. UWB 대역의 전파모델 파라미터

본 장에서는 원형편파의 특성을 UWB대역 통신에 적용하기 위해 기존의 수직편파를 사용하여 정의되었던 UWB 채널 특성 파라미터를 원형편파가 가지는 이득을 적용하여 수정한다. 그리고 실내 무선 환경 예측 시뮬레이터를 이용하여 CM1의 임펄스 응답을 시험하여 수신 신호의 밀도, RMS 지연 분포, 일정 강도 이상의 다중경로 수를 분석한다.

기존의 고속형 UWB를 위한 채널 모델은 IEEE 802.15. SG3a의 분과 위원회가 802.15. TG3a의 물리계층 성능 분석을 위하여 제안된 모델이다.[4] 채널 측정 결과에 의하면 UWB 채널은 Log-normal 분포를 따르고 식(4)의 이산 시간 임펄스 응답으로 표현된다.

$$h_i(t) = X_i \sum_{l=0}^L \sum_{k=0}^K a^{i,k,l} \delta(t - T_l^i - \tau_{k,l}^i) \quad (4)$$

여기서 T_l^i 는 l번째 클러스터 지연, $\tau_{k,l}^i$ 는 T_l^i 와 관련된 다중경로의 지연, $a^{i,k,l}$ 는 다중경로의 이득을 의미한다.

채널 특성 모델을 정의하는데 있어서 몇 가지의 파라미터들을 사용한다. 주요 파라미터는 Mean excess delay, RMS delay spread, Number of paths(NP), Power decay profile 등이 있다. 특히 지연분포는 아주 중요한 파라미터로서 통신 품질에 영향을 미치고 심볼의 최대 전송률을 한정짓게 만든다. RMS 지연분포 Δ 는 식(5)로 표현된다.

$$\Delta = \int_0^{\infty} t^2 e(t) dt - \left[\int_0^{\infty} t e(t) dt \right]^2 \quad (5)$$

여기서 $e(t)$ 는 수신기 임펄스 응답의 지연 포락선이다.

3-2. 채널모델 파라미터의 수정

일반적으로 올바른 채널 모델을 정의하기 위해 몇 가지의 파라미터를 사용한다. 각 파라미터들은 채널의 중요한 특성을 지니고 있는데 모든 채널 특성을 부합시키기 어렵기 때문에 채널을 특징짓는 주요 파라미터들은 Λ , λ , Γ , γ 의 4가지로 압축되어 이들은 각각 클러스터 도달률, 레이 도달률(각 클러스터 내 path의 도달 비율), 클러스터 감쇄요소, 레이 감쇄요소를 나타낸다. CM1

(Channel Model 1: 1~4m의 LOS환경)에 대해 측정된 다양한 결과(그림1 등)를 토대로 모델링하여 수정된 파라미터는 [표2]와 같이 정리할 수 있다.

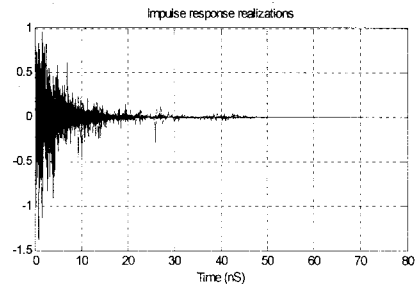
표2. CM1의 수정된 채널모델 파라미터

Model Parameters	수직편파 CM1(기존)	원형편파 CM1(수정)
Λ (1/nsec)	0.0233	0.012
λ (1/nsec)	2.5	2.8
Γ	7.1	5.0
γ	4.3	2.1

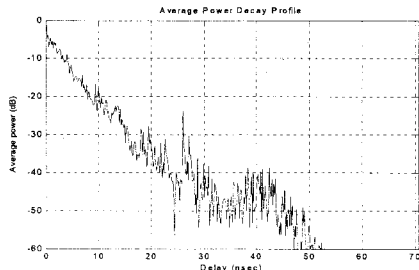
3.3. 채널모델 특성분석

새로운 UWB 채널모델을 수정정립하기 위하여 매트랩 시뮬레이션으로 UWB 채널모델 모의실험을 수행하였다. 일반적으로 임펄스 응답은 처음 감지된 신호에 대한 초과 지연의 함수로서 전력 밀도로 표현되며 이 함수는 종종 전력지연 profile로 언급되기도 한다. 시뮬레이션을 위한 UWB채널은 100개의 임펄스 응답으로 구성하였다. 다중경로 성분의 수신파위를 정량화 하여 100개의 임펄스 응답과 평균전력지연 프로파일의 평균을 구하였다. [그림3]의 시뮬레이션 결과는 CM1 모델의 경우이다. 각각 임펄스 응답, 평균 파워지연 프로파일, RMS delay의 결과를 그래프로 나타냈다.

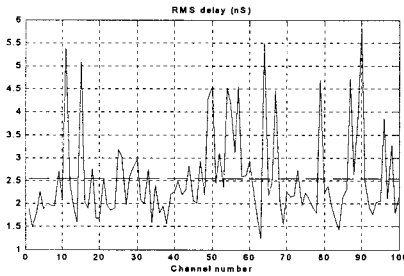
채널의 특징은 주로 평균 초과지연, RMS 지연 분포, 다중경로의 수에 의해서 결정되는데, [그림 3] (a)를 보면 임펄스 응답은 대략 25ns 까지 이어진다. 이 성분 중 신호로 받을 수 있는 충분한



(a) 임펄스 응답(ns)



(b) 평균 파워지연 프로파일



(c) RMS delay(ns)

그림3. LOS환경에서의 채널 특성

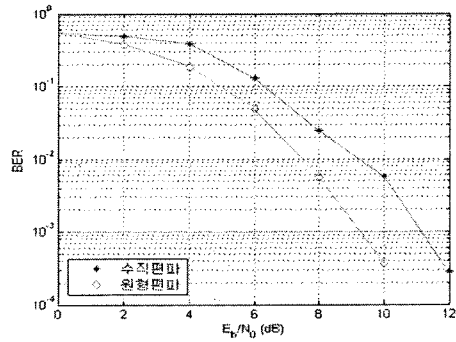


그림4. 편차에 따른 UWB 시스템 성능

크기의 성분은 최대 임펄스 응답인 직진 경로 성분의 에너지로부터 10dB 이내의 신호로 (b)에서와 같이 4ns 정도까지 나타나는 것을 볼 수 있다. (c)를 보면 RMS 지연분포가 평균적으로 2.5ns 정도 까지 발생한다. 수정된 CM1 모델의 특성결과를 [표3]에 정리하였다. 한편, CM2, CM3, CM4의 경우도 같은 방법으로 수정이 가능하다.

표3. CM1의 채널 모델 특성

Model Characteristics	수직편파 CM1(기준)	원형편파 CM1(수정)
Mean excess delay (nsec)	5.0	2.3
RMS delay (nsec)	5	2.5
NP _{10dB}	12.5	9.1

3-4. UWB 시스템 성능 개선도

앞서 수정된 UWB 채널모델 [표2] 및 [표3]을 적용하여 시스템 성능 개선을 시도하였다. [그림 4]는 샘플링 주기 0.5ns, QPSK로 매핑하여 UWB 시스템을 구성한 다음 수직편파와 원형편파 환경에서 가우시안 잡음 환경을 고려하여 E_b/N_0 에 따른 BER 개선도를 비교하였다. 그림에서와 같이 LOS환경에서 $BER 10^{-3}$ 부근에서 원형편파를 이용한 경우가 수직편파를 이용한 경우에 비해서 2dB 정도 개선되고 있음을 알 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 실내 무선 통신에서 활용범위가 확대되고 있는 UWB 시스템에 다중 경로 성분에 의한 페이딩 경감특성이 탁월한 원형편파를 이용하는 방법을 제시하였다. 이러한 원형편파의 특성을 UWB대역 통신에 적용하기 위해 기존의 수직편파를 사용하여 정의되었던 UWB 채널 특성 파라미터를 원형편파가 가지는 이득을 적용하여 수정하였다. 그리고 실내 무선 환경 예측 시뮬레이터를 이용하여 CM1의 임펄스 응답을 시험하여 수신 신호의 밀도, RMS 지연 분포, 일정 강도 이

상의 다중경로 수를 분석하였다. 또한 수직편파 및 수평편파 페이딩 환경에 따른 UWB 시스템 성능 시뮬레이션 결과, E_b/N_0 에 따른 BER 그래프를 통하여 품질 좋은 UWB 실내 무선 통신 서비스를 위해서 선형 편파보다는 원형 편파를 이용하여야 한다는 것을 알 수 있었다.

차후 연구 과제로는 다양한 비가시 거리 환경을 구현하여 시뮬레이션 해보고, 원형 편파로 송신하고 수직·수평 편파로 수신하는 원형 편파와 편파 다이버시티를 결합한 경우의 페이딩 경감효과를 확인하고 채널모델 분석 등에 대한 연구를 할 필요가 있다.

참고문헌

- [1] 김병욱, 이주현, 윤영석, 하덕호, "실내무선 환경에서의 편파 다이버시티 최적구성에 관한 연구," '98 춘계 마이크로파 및 전파 학술대회 논문집, pp.473~476, May 1998, 서울대학교.
- [2] Deock-Ho Ha, Chang-Young Kim, In-Chul Ha, "The Development of Signal Strength Simulator Based on Algorithm Selection in Indoor Radio Environments," SK Telecom Review Vol.10, No.6, pp.1330~1345, 2000.
- [3] A. Kajiwara, "On a Circular Polarization Wave Transmission in LOS Indoor Radio Channels," IEEE PIMRC '94, pp.156~159, 1994.
- [4] IEEE 802.15.3a <http://www.ieee802.org/15/pub/TG3a.html>