

초고속 옥내 무선 통신을 위한 편파특성 시뮬레이터 개발

박정훈 · 하인철 · 이주현 · 김성명 · 하덕호
부경대학교 정보통신공학과

The Development of a Polarization Characteristic Simulator for High Speed Indoor Wireless Communications.

Jung Hoon Park · In Chul Ha · Ju Hyun Lee · Sung Myung Kim · Deock Ho Ha
Dept. of Telecommunications Engr., Pukyong National University
E-mail : hadh@pknu.ac.kr

요 약

본 논문에서는 3D Ray Tracing 편파특성 예측 시뮬레이터를 개발하고 초고속 옥내 무선환경에서의 원형편파 우수성을 시뮬레이션을 통하여 확인하였다. 제안된 3D Ray Tracing 기법을 이용하여 시뮬레이션 한 결과 기수회의 반사파가 수신기에서 수신되지 않는 원형편파의 특성 때문에 다중 경로 페이딩을 현저히 감소시킬 수 있음을 확인하였다. 또한, 옥내 가시거리(LOS) 및 비가시거리(NLOS) 환경에서의 원형편파를 이용한 페이딩 경감효과는 수직 및 수평편파나 편파다이버시티보다 우수함을 알 수 있었고, DS-CDMA 시스템을 이용한 경우에 있어서도 원형편파가 보다 우수한 BER 성능을 나타냄을 확인하였다.

I. 서 론

최근 옥내 무선 통신 서비스는 W-LAN, Bluetooth, Home RF 등 그 활용 범위가 확대되고 있으며, 음성 데이터를 비롯하여 동영상 등의 고용량의 데이터를 전송할 수 있는 초고속 옥내 무선 통신 서비스에 대한 요구가 증가하고 있다. 하지만 옥내 무선 환경에서는 벽, 천장, 바닥 그리고 그 외 옥내에 위치한 장애물 등의 영향으로 발생하는 다중경로 전파전파에 의한 페이딩으로 초고속 옥내 무선 통신 서비스를 제공하는데 어려움이 있다[1].

이러한 페이딩을 경감시키는 방법으로 공간 다이버시티 방법과 편파 다이버시티 방법이 있다. 공간 다이버시티 방법은 공간적으로 분리된 두 개의 독립된 안테나가 필요하게 되며, 편파 다이버시티 방법은 두 개의 다른 편파 안테나로 전력이 분리되기 때문에 3dB의 전력 감소가 있다는 단점이 있다. 한편 원형편파를 이용한 송수신 시스템에서 기수 번의 반사파는 수신기에서 수신되지 않는 특징이 있

기 때문에 많은 다중 경로 성분 중에서 기수 번의 반사파에 의한 다중 경로 성분을 제거할 수가 있다. 이러한 특징으로 인해서 원형편파를 이용한 옥내 무선 통신 서비스를 제공할 경우 상당한 페이딩 경감효과를 가져 올 수 있다 [2].

본 논문에서는 3D Ray Tracing 기법을 이용하여 각종 편파의 송수신 조합에 의해 결정되는 옥내 수신 전계 강도 시뮬레이터를 구현하였다. 특히, 가시 거리 환경(LOS) 및 비가시 거리 환경(NLOS)에서 원형 편파만을 이용한 페이딩 경감 효과와 수직·수평 편파 다이버시티를 이용한 페이딩 경감에 대하여 비교하였다.

II. 3D Ray Tracing 알고리즘

2-1. 송수신기 구현

3D Ray Tracing 방법에서 송신기는 모든 방향으로 균일하게 방사되는 무지향성 안테나로 가정한다. 모든 방향으로 균일하게 방사되는 형태를 구현하기 위해서 그림 1 과 같이 송신기의 방사형태를 단일 반지름을 가지는 원으로 구현한다. 그리고 송신기로부터 방사되는 Ray들이 모든 방향으로 균일하게 방사되기 하기 위해서 구 형태의 송신기 형태를 정다면체의 형태로 모델링 한다. 이렇게 모델링된 구의 표면의 정다면체의 각 꼭지점을 통해 Ray를 방사함으로써 송신기로 방사되는 Ray는 모든 방향으로 균일하게 방사되는 형태가 된다[3][4].

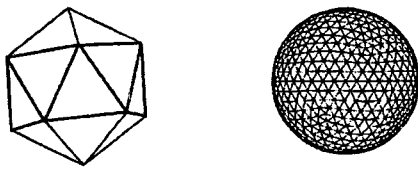


그림 1. 정다면체로 구현한 원형 송신기 모델링

3D Ray Tracing에서 수신기 역시 수신점 주위에 구의 형태로서 모델링 된다. 수신구의 반경의 크기는 수신점 근처를 지나가는 단 하나만의 Ray와 교차할 수 있도록 그림 2와 같이 적당한 크기로 결정하여야 한다. 만약 수신구의 반경이 너무 큰 경우는 수신되는 Ray의 인접 Ray 역시 수신되는 것으로 결정되고, 수신구의 반경이 너무 작은 경우는 수신기에 수신되는 Ray를 놓치게 된다.

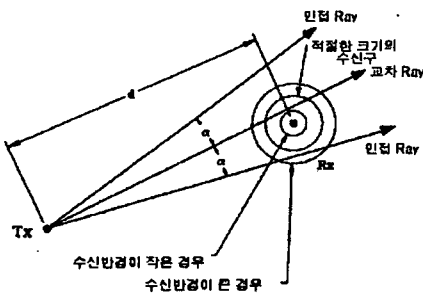


그림 2. 수신 반경에 따른 수신구

2-2. 벽면에 의한 반사 및 투과

송신기로부터 방사된 Ray는 진행해나가면서 벽이나 다른 방해물에 의해서 반사 혹은 투과하게 되고 일부는 흡수된다. Ray와 만나는 벽면에 대해서는 아래의 세 가지의 Ray가 존재하게 된다[5].

- 벽면에 입사하는 Ray
- 벽면에서 반사하는 Ray
- 벽면을 투과하는 Ray

반사 Ray의 진행방향은 그림 3에서 보는 바와 같이 Ray의 진행 방향을 Vector 적으로 해석하여 (식 1) 과 같이 나타내어진다[6].

$$\vec{R} = 2(-\vec{I} \cdot \vec{N})\vec{N} + \vec{I} \quad \text{(식 1)}$$

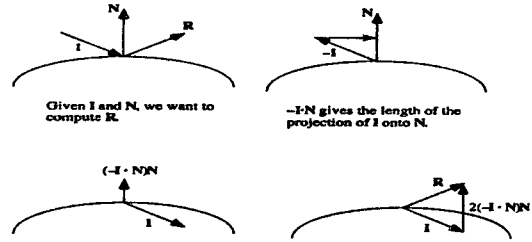


그림 3. 입사 Ray와 반사면에 따른 반사 Ray의 진행방향

여기서 \vec{R} 는 반사된 Ray의 진행 방향의 단위 벡터를 나타내며 \vec{I} 는 입사 Ray의 진행 방향에 대한 단위 벡터이다. 그리고 \vec{N} 은 Ray와 만나는 벽면의 수직 Vector를 표시한다.

III. 시뮬레이션 결과 및 BER 성능 비교

3-1. 가시거리(LOS) 환경

3-1-1. 페이딩 경감효과

시뮬레이터 구현 환경은 그림 4와 같으며 11.1×7.99×2.7(m) 옥내에 대해서 시뮬레이션 하였다. 사용 주파수는 2.4GHz, 송신기의 위치를 옥내의 중앙에 바닥으로부터 2m 높이에 두고 송신기로부터 대각선으로 1m 떨어진 지점부터 대각선 방향으로 0.05m의 간격으로 수신기의 위치를 변화하였다. Ray 개수는 14,400개이며 모든 벽면과 천장은 콘크리트 벽면으로 가정하고 σ 는 1.0, ϵ_r 은 10으로 가정하였다. 그림 5는 옥내 가시 거리 환경에서의 수직, 수평, 원형편파에 대한 페이딩을 시뮬레이션한 결과이다.

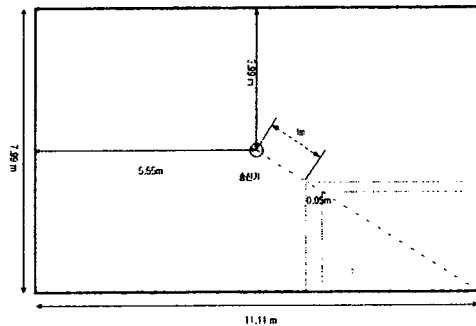


그림 4. 시뮬레이션에 적용된 LOS 환경 모델

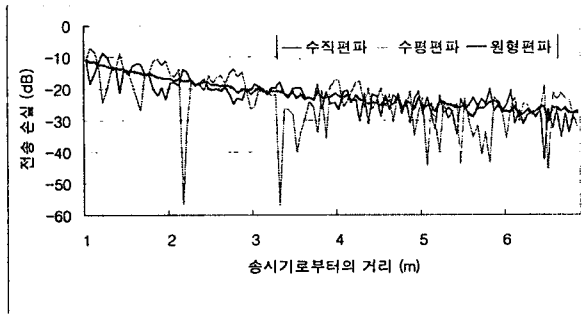


그림 5. LOS 환경에서의 편파에 따른 페이딩 경감특성

그림 5로부터, 가시거리 환경에서 수직이나 수평 편파를 단독으로 사용하였을 경우보다 원형 편파를 이용한 경우 다른 편파에 비해 상당한 페이딩 경감 효과를 볼 수 있음을 알 수 있다.

그림 6은 옥내 LOS 무선 환경에서 페이딩 경감방법으로 사용되는 수직, 수평 편파 다이버시티를 이용한 경우와 원형 편파를 이용한 경우의 페이딩 특성을 비교한 것이다. 시뮬레이션 결과 가시거리 옥내 무선 환경에서 원형편파를 이용한 페이딩 경감효과가 수직, 수평 편파 다이버시티를 이용한 경우보다 페이딩 경감효과가 큼을 알 수 있다.

표 1은 가시거리 환경에서의 수직, 수평, 원형편파와 수직, 수평 편파 다이버시티를 이용한 경우의 페이딩 특성을 비교한 것이다. 표 1로부터, 옥내 LOS 환경에서는 원형편파를 단독으로 이용하는 경우가 페이딩 경감특성이 가장 우수함을 알 수 있다.

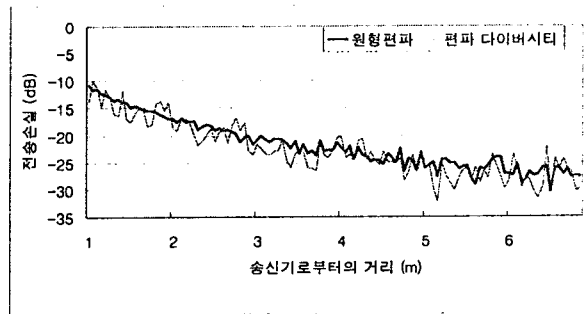


그림 6. LOS에서의 원형편파와 편파다이버시티의 페이딩 경감효과

표 1. 옥내 LOS에 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

3-1-2. BER 개선도

각 편파에 따른 페이딩 경감효과를 비교하기 위해 그림 7과 같이 DS-CDMA 시스템을 구성하여 Monte Carlo

방법으로 각 편파에 따른 페이딩 환경과 가우시안 노이즈 환경을 함께 고려하여 시뮬레이션 하였다. DS-CDMA의 PN code의 chip 길이(Lc)는 20으로 하고 균일 랜덤 변수(Uniform Random Variable)를 발생시켜 사용하였다. 그리고, Source 데이터는 +1,-1을 균일하게 임의적으로 발생시켜, 발생된 Source 데이터들을 생성된 PN code와 곱한 뒤, 각 편파에 따른 페이딩 채널을 통과시킨 다음 AWGN을 더하였다. 그리고 수신된 신호 검출기를 통과시켜 +1,-1을 판별한 다음 원래 송신된 Source 데이터와 비교하였다.

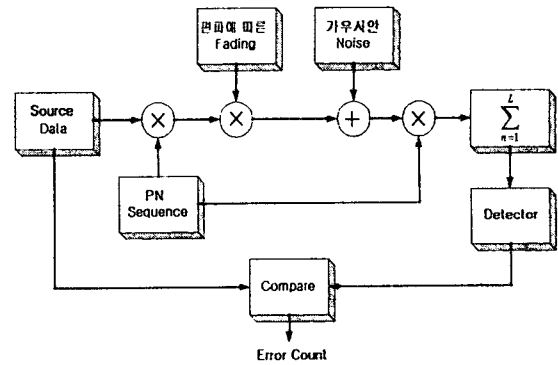


그림 7. 각 페이딩 환경에서의 DS-CDMA BER 성능 시뮬레이션 블록도

그림 8은 가시 거리 환경에서의 수직, 수평, 원형편파와 편파 다이버시티 페이딩 채널 환경에서의 DS-CDMA 시스템의 BER 개선도를 도식한 것이다. 그림 8에서 보는 바와 같이 원형 편파 단독으로 사용하는 경우가 수직, 수평 편파 다이버시티를 사용하는 경우에 비해 10^{-2} BER에서 2dB 이상의 SNR 개선도를 보이며 수직 편파 단독으로 이용하는 경우에 비해서는 10^{-2} BER에서 5dB 이상의 SNR 개선도를 보이고 있다.

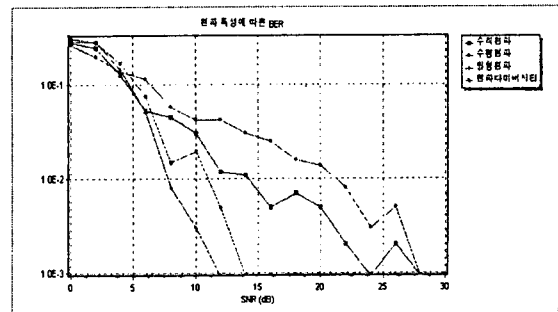


그림 8. LOS에서의 BER 개선도

이상에서와 같이 가시거리 환경에서 DS-CDMA를 이용한 옥내 무선 통신에서는 수직이나 수평 편파를 단독으로

로 이용하는 경우에 비해 원형 편파를 이용하는 것이 초고속 옥내 무선 통신에 유리함을 알 수 있었다.

3-2. 비가시거리(NLOS) 환경

비가시 거리 환경에 대한 시뮬레이션은 우선 송신기와 수신기 사이에 유동적인 장애물이 있는 경우, 그리고 송신기와 수신기 사이에 완전히 벽으로 차단된 경우 두가지로 시뮬레이션 하였다.

3-2-1. 페이딩 경감효과

시뮬레이션을 위한 옥내의 전파 환경은 가시 거리와 같이 그림 9와 같은 환경을 구축하고 송신기의 위치를 벽면으로부터 2.78 m에 위치시키고 송신기와 수신기 사이인 5 m 지점에 폭 6m 높이 2.5m의 장애물을 위치시키고 장애물의 도전을 및 유전율은 벽면과 같은 값으로 설정하였다. 그림 10은 이러한 환경에서의 수직, 수평, 원형편파에 대한 페이딩 채널 예측 시뮬레이션 결과이며, 그림 11은 원형 편파와 수직·수평 다이버시티를 비교한 것이다.

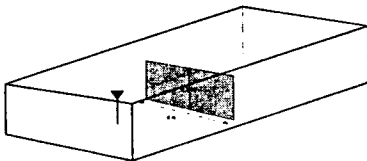


그림 9. 비가시거리(NLOS) 환경 (1)

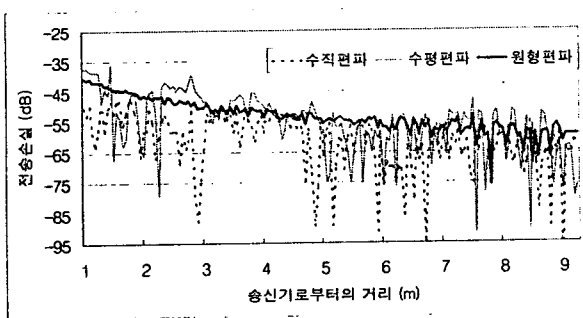


그림 10. 비가시거리 환경(1)에 대한 편파에 따른 페이딩 경감특성

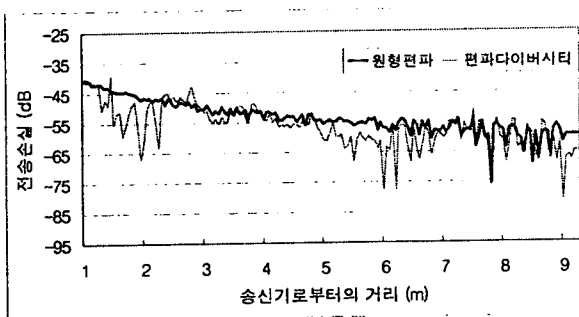


그림 11. 비가시거리 환경(1)에 대한 원형편파와 편파 다이버시티의 페이딩 경감효과

표 2. NLOS(1)에 대한 페이딩 특성

	수직편파	수평편파	원형편파	편파 다이버시티
평균손실(dB)	-58.2	-55.6	-51.2	-54.5
표준편차	12.7	13.9	8.47	9.60

비가시 거리 환경 두 번째는 마찬가지로 그림 12와 같은 옥내 환경에서 송신기와 수신기 사이에 완전한 벽으로 막힌 경우를 구현하였다. 벽면의 위치는 앞선 환경과 마찬가지로 5m 지점에 위치시키고 송신기의 위치는 2.78m 지점에 위치 시켰다.

그림 13은 비가시 거리 환경 (2)에 대한 수직, 수평, 원형 편파에 따른 페이딩 예측 시뮬레이션 결과이며, 그림 14는 비가시 거리환경(2)에서의 원형 편파와 편파 다이버시티를 비교한 그림이다. 또한, 표 3은 비가시 거리환경(2)에서의 페이딩 특성을 비교한 것이다.

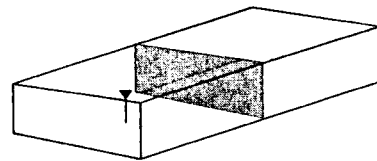


그림 12. 비가시거리(NLOS) 환경 (2)

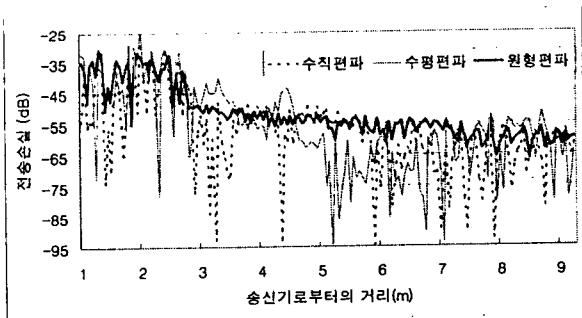


그림 13. 비가시거리 환경(2)에 대한 편파에 따른 페이딩 경감특성

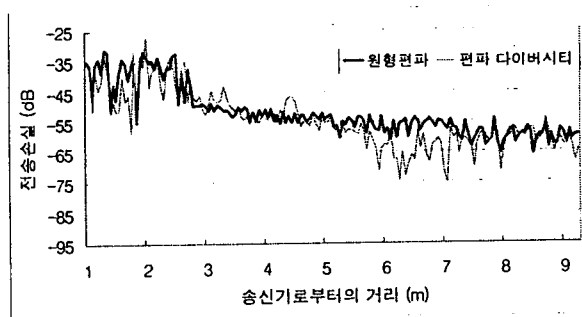


그림 14. 비가시거리 환경(2)에 대한 원형편파와 편파 다이버시티의 페이딩 경감효과

표 3. NLOS(2)에 대한 페이딩 특성

	수직편파	수평편파	원형편파	편파 다이버시티
평균손실 (dB)	-61.8	-55.8	-53.6	-56.5
표준편차	9.63	10.2	5.8	7.31

이상과 같이 비가시 거리환경(1)과 비가시 거리환경(2)의 시뮬레이션 결과 비가시 환경이 되면서 수직, 수평편파는 물론 원형 편파 역시 페이딩이 심해짐을 알 수 있다. 하지만, 비가시 거리 환경에서도 원형편파가 수직, 수평편파에 비해 상당한 페이딩 경감효과가 있으며 편파 다이버시티보다도 우수한 페이딩 경감 효과를 보이고 있다.

3-2-2. BER 개선도

그림 15에서 보는 바와 같이 비가시 거리환경(1)에서는 BER 10^{-2} 에서 원형편파를 이용한 경우가 편파 다이버시티를 이용한 경우에 비해서 2dB이상의 개선도를 보이고 있으며, 비가시 거리환경(2)에서도 역시 원형편파를 이용한 경우가 다른 편파나 편파 다이버시티를 이용한 경우와 비교하여 BER 개선도가 훨씬 뛰어난 것을 알 수 있다.

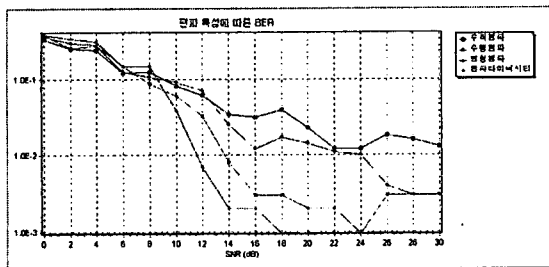


그림 15. 비가시거리 환경(1)에서의 BER 개선도

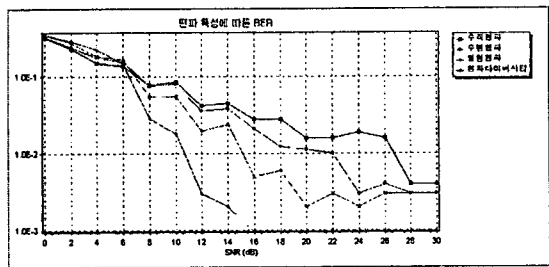


그림 16. 비가시거리 환경(2)에서의 BER 개선도

IV. 결론

본 논문에서는 옥내 무선 통신에서 다중경로 성분에 의한 페이딩을 경감시키기 위하여 원형편파를 이용하는 방법을 제시하였다. 3D Ray Tracing 기법을 이용한 옥내 무선 환경 예측 시뮬레이터를 개발하여 옥내 무선 환경에

대한 수직, 수평, 원형 편파를 이용한 경우와 수직, 수평 편파 다이버시티를 이용하여 페이딩을 경감시킨 경우를 비교, 검토하였다.

시뮬레이션 결과로부터 LOS 환경 및 NLOS 환경에서 원형편파를 이용하는 경우가 수직, 수평 편파 단독으로 이용하는 경우, 그리고 편파 다이버시티를 이용하는 경우에 비해서 상당한 페이딩 경감효과를 얻을 수 있음을 알 수 있었다. 또한 페이딩 환경에 따른 DS-CDMA 시스템 성능 검토로부터 초고속 옥내 무선 통신 서비스를 위해서는 수직이나 수평편파 보다는 원형편파를 이용하여야 유리하다는 것을 알 수 있었다.

차후 연구 과제로는 좀더 복잡한 구조의 옥내 환경 및 옥외 환경을 고려한 시뮬레이터를 개발하고 또한 옥외의 실측 데이터와의 비교검토도 필요시된다. 그리고 원형 편파로 송신하고 수직, 수평 편파로 수신하는 원형 편파 다이버시티를 결합한 경우의 페이딩 경감효과 연구를 수행할 계획이다

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구 (2001-1-30200-007-2) 지원으로 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] 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.
- [2] A. Kajiwara, "On a Circular Polarization Wave Transmission in LOS Indoor Radio Channels," IEEE PIMRC '94, pp.156~159, 1994.
- [3] T. S. Rappaport, "An Advanced 3D Ray Launching Method for Wireless Propagation Prediction," IEEE 47th Vehicular Technology Conference, pp.785~789, 1997.
- [4] S. Y. Seidel, "Site-Specific Propagation Prediction for Wireless In-Building Personal Communication System Design," IEEE Trans. Vehicular Technology, pp.879~891, 1994.
- [5] K. Pahlavan, Wireless Information Networks, John Wiley & Sons, INC, New York, 1997.
- [6] N. Wilt, Object-Oriented Ray Tracing, John Wiley & Sons, INC, New York, 1994.