
옥내 무선통신을 위한 편파발생 시뮬레이터 개발

이주현* · 하덕호*

A Simulator Development of Generating Polarization Waves for The Indoor Wireless Communications

Ju-Hyun Lee* · Deock-Ho Ha*

요 약

본 논문에서는 3D-Ray Tracing 기법을 이용한 옥내 무선통신용 편파발생 시뮬레이터를 개발하고, 실내 무선전파환경에서 실제 측정된 데이터와의 비교를 통하여 검증하였다. 개발된 시뮬레이터를 이용하여 Line-Of-Sight(LOS) 와 Non-Line-Of-Sight(NLOS) 무선전파 환경에서 수직, 수평, 원편파에 대한 채널특성과 편파 다이버시티 수신특성을 해석하였다. 그 결과 원편파의 경우 기수회 반사파를 억제 수신하는 특성 때문에 수직 및 수평편파의 경우와 비교하여 다중경로 페이딩이 현저하게 경감됨을 알 수 있었다.

ABSTRACT

In this paper, we developed a simulator which can generate the polarization waves for the indoor wireless communications based on three dimensional ray tracing technique and verified the simulation results comparing with the measured data in indoor wireless propagation environments. Using the developed simulator, we analyzed the channel characteristic and polarization diversity reception characteristic for the vertical, horizontal and circularly polarized waves. From the analysis results, in the case of using circularly polarized wave it can be clearly seen that the multipath fading is markedly reduced compared to the vertical and horizontal polarized waves due to the reception characteristic of removing the odd time reflected waves.

Key word

(Indoor wireless propagation, Ray tracing, Circularly polarized wave)

1. 서 론

최근 옥내 무선통신 서비스는 W-LAN, Bluetooth, Home RF 등 그 활용 범위가 확대되고 있으며, 음성 데이터를 비롯하여 동영상 등의 대용량의 데이터를 전송할 수 있는 초고속 옥내 무선통신 서비스에 대한 요구가 증가하고 있다. 하지만 옥내 무선환경에서는 벽, 천장, 바닥 그리고 다양한 장애물 등의 영향으로 다중경로 전파에 의한 페이딩이 발생하여 초고속 옥내 무선통신 서비스

제공에 어려움이 있다[1].

이러한 다중경로 페이딩을 경감시키는 방법으로 흔히 공간 다이버시티 방법과 편파 다이버시티 방법이 있다. 공간 다이버시티 방법은 공간적으로 분리된 두 개의 독립된 안테나가 필요하게 되며, 편파다이버시티 방법은 두 개의 다른 편파안테나로 전력이 분리되기 때문에 3dB의 전력 감소가 있다는 단점이 있다[2][3][4]. 한편 원편파를 이용한 송수신 시스템에서 기수회의 반사파는 수신기에서 수신되지 않는 특징이 있기 때문에 많은 다

*부경대학교 정보통신공학과

접수일자 : 2003. 5. 14

중 경로 성분 중에서 기수회의 반사파에 의한 다중 경로 성분을 제거할 수가 있다. 이러한 특징으로 인해서 원형편파를 이용한 육내 무선 통신 서비스를 제공할 경우 상당한 페이딩 경감효과를 가져 올 수 있다[4].

본 논문에서는 전파 예측에 기초를 둔 3D-ray tracing 기법을 이용하여 육내 무선전파환경에서 송·수신기의 위치선택을 도울 수 있고, 각종 편파의 송수신 조합에 의해 결정되는 육내 수신 전계 강도 시뮬레이터를 구현하였다. 특히, 가시거리환경 (LOS) 및 비가시거리환경(N-LOS)에서 원편파만을 이용한 페이딩 경감 효과와 수직·수평 편파다이버시티를 이용한 페이딩경감에 대하여 비교 해석하였다.

II. 3D Ray-Tracing 기법

Ray Tracing 기법을 포함한 결정론적인 무선전파예측 모델링 기법은 마이크로 셀 과 실내 전파환경에서의 경로 손실을 정확하게 예측할 수 있는 방법으로 많이 이용되고 있다. Ray Tracing 방법은 기존의 통계적 모델에 비해서 좀더 정확한 결과를 얻을 수 있을 뿐만 아니라, RMS 지연확산과 같은 추가적인 정보를 얻을 수 있다. 특히 3D Ray-Tracing 기법은 무선시스템을 설계하는데 필요시 되는 정확한 결정론적인 전파 모델을 만들어 낼 수 있다[5][6]. 본 장에서는 원형 편파를 이용한 페이딩 경감효과를 비교하기 위하여 구현한 시뮬레이터에서 이용된 3D Ray Tracing 방법에 대해서 설명하고 구현된 시뮬레이터에 의한 시뮬레이션 결과와 실제 측정결과를 비교한다.

1. 송수신기 구현

3D Ray Tracing 방법에서 송신기는 모든 방향으로 균일하게 방사되는 무지향성 안테나로 가정한다. 모든 방향으로 균일하게 방사되는 형태를 구현하기 위해서 그림 1과 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[5][6].

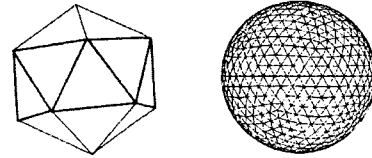


그림 1. 정다면체로 구현한 원형 송신기 모델링
Fig. 1 Circular transmitter modeling with regular polyhedron.

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.

송신기로부터 방사된 Ray들은 진행 해 나가면서 퍼지기 때문에 수신구의 반경 역시 그림 3과 같이 송신기로부터의 거리에 따라 변화하여야 한다. 수신구 반경의 크기는 송신기에서 수신기까지의 거리와 Ray 간의 간격에 대한 함수로서 일반적으로 $(\alpha \cdot d)/\sqrt{3}$ 으로 한다[5][6]. 여기서 α 는 인접 Ray간의 각도를 나타내며 d 는 송신기에서 수신기까지의 거리를 나타낸다.

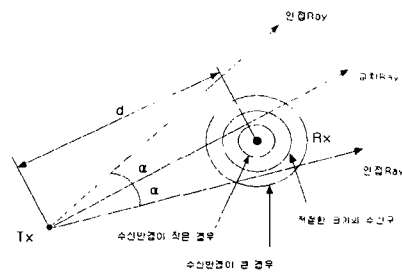


그림 2. 수신 반경 크기에 따른 수신구
Fig. 2 Receiving sphere with reception radius size.

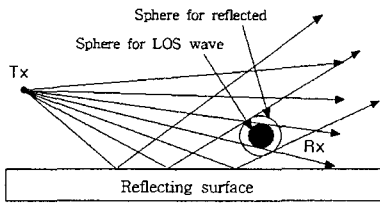


그림 3. 가시거리와 반사된 Ray에 대한 수신구
Fig. 3 Receiving sphere for Los and reflection rays.

2. 벽면에 의한 반사 및 투과

송신기로부터 방사된 Ray는 진행해나가면서 벽이나 다른 방해물에 의해서 반사 혹은 투과하게 되고 일부분은 흡수된다. Ray와 만나는 벽면에 대해서는 벽면에 입사하는 Ray와 벽면에서 반사하는 Ray 그리고, 벽면을 투과하는 Ray가 존재하게 된다[7].

반사 Ray의 진행방향은 그림 4에서 보는 바와 같이 Ray의 진행 방향을 Vector 적으로 해석하여 식(1)와 같이 나타내어진다[8].

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

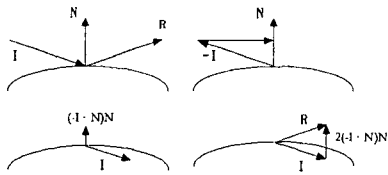


그림 4. 입사 Ray와 반사면에 따른 반사 Ray의 진행방향

Fig. 4 The progress direction of reflected ray associated with the reflection at the boundary.

여기서, \vec{R} 는 반사된 Ray의 진행방향의 단위벡터를 나타내며, \vec{I} 는 입사 Ray의 진행방향에 대한 단위벡터이다. 그리고 \vec{N} 은 Ray와 만나는 벽면의 수직 벡터를 표시한다.

반사된 Ray와 투과된 Ray의 진폭은 입사각과 반사면의 재질에 의해서 결정되어진다. 또한 반사된 Ray와 투과된 Ray의 위상 역시 영향을 받게된다. 반사된 Ray의 경우는 위상이 180°변화하고, 투과된 Ray의 위상변화가 없다고 가정한다. 수평편파와 수직편파에 대한 반사계수의 일반적인 식

은 식(2),(3)과 같다[7].

$$R_h = \frac{E_{r,h}}{E_{i,h}} = \frac{\sin \psi - \sqrt{\epsilon - \cos^2 \psi}}{\sin \psi + \sqrt{\epsilon - \cos^2 \psi}} \tag{2}$$

$$R_v = \frac{E_{r,v}}{E_{i,v}} = \frac{\epsilon \sin \psi - \sqrt{\epsilon - \cos^2 \psi}}{\epsilon \sin \psi + \sqrt{\epsilon - \cos^2 \psi}} \tag{3}$$

여기서, ψ 는 입사각이고 ϵ 은 복소 유전율로서 식(4)와 같이 나타내어진다.

$$\epsilon = \epsilon_r - j60\sigma\lambda \tag{4}$$

위의 식에서 ϵ_r 은 유전율 상수이고 σ 는 도전율, λ 는 파장을 나타낸다.

투과계수는 반사계수와 벽을 통과로 인한 감쇠로 결정되어진다. 두꺼운 콘크리트 벽의 경우 투과손실이 상당히 큰 반면 유리벽의 경우는 투과손실이 1dB 정도로 적은 편이다. 비가시거리의 실내 무선통신의 경우 벽을 통과하는 투과파가 수신신호의 중요한 성분이 될 수 있다. 실내 무선통신 채널에서 투과계수에 대해서는 다음과 같이 간략화된 세 가지 모델을 이용한다. 이 세 가지 모델은 벽에 대한 정확한 표현보다는 투과 계수에 대한 간략화로 표현한다.

첫 번째 모델은 벽 자체에 의한 손실이 없다고 가정한다. 즉 모든 에너지가 반사되거나 투과된다고 가정하는 것이다. 이 때의 투과계수 식은 식(5)과 같이 표현되어진다. 이 모델은 시스템의 전체 전력은 보존된다는 사실로부터 유도된 것이지만 이 식은 정확하지 않다.

$$T_{(h,v)} = \sqrt{1 + R_{(h,v)}^2} \tag{5}$$

두 번째 모델은 모든 물질은 손실을 가지고 있으며, 벽의 첫 번째 층과 두 번째 층에 의한 손실을 포함한 것으로 간단한 Slab 모델로 볼 수 있다. 이 모델에 대한 투과계수에 대한 식은 식(6)으로 표현된다.

$$T_{(h,v)} = \sqrt{(1-R_1^2)(1-R_2^2)} \quad (6)$$

여기서, R_1 과 R_2 는 벽면의 경계에서의 반사계수를 나타낸다. 이 모델은 벽면의 두께와 벽면의 뒤 층에서 반사되어 오는 에너지의 양을 계산해야 하기 때문에 이용하기가 용이하지 않다.

세 번째 모델은 벽면을 통과하면서 3 dB의 손실이 있다고 가정하는 모델이다. 이러한 모델에 대한 반사계수 식은 식(7)과 같이 나타내어지며, 본 연구에서 개발한 시뮬레이터에 적용되었다.

$$T_{(h,v)} = \sqrt{0.5 (1-R^2)} \quad (7)$$

III. 시뮬레이션 및 측정 결과비교

본 연구에서 개발한 시뮬레이터를 입증하기 위하여 실제 실내무선 환경에서 측정된 데이터와 비교하여 검증한다. 시뮬레이터의 구현은 객체 지향 언어인 C++을 이용하여 Ray와 송신기, 벽면 등을 객체화하였고, GUI (Graphic User Interface)를 구성하기 위해서 Borland C++ Builder 5를 이용하여 사용자가 Ray의 개수와 시뮬레이션 환경을 설정할 수 있도록 하였다.

시뮬레이션 과 측정환경은 그림 5와 같고 수직 편파와 원편파에 대해서 시뮬레이션 및 측정을 행하였다. 이때, 사용주파수는 실측데이터와 비교하기 위해 1.3 GHz로 하였으며, 모든 벽면과 천장은 콘크리트 벽면으로 가정하고 도전율(σ) 1.0, 상대 유전율(ϵ_r)은 10으로 하였다[7]. 송신기는 실내의 중앙에 2 m 높이에 위치시키고 수신기의 높이는 1.5 m 로 하고 송신기로부터 1m 떨어진 지점부터 직선으로 0.05 m 씩 이동시키도록 하여 시뮬레이션 및 이동측정[9][10]을 행하였다.

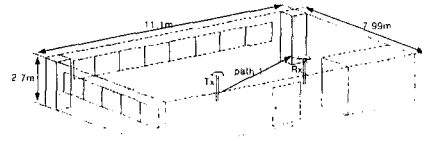


그림 5 시뮬레이션 및 측정 환경
Fig. 5. Simulation and measurement environments.

그림 6 은 수직 편파 와 원편파에 대한 측정 및 시뮬레이션 결과를 비교하고 있다. 이때 Ray의 개수는 10,000개로 하고 6회 반사까지 추적할 수 있도록 하였다.

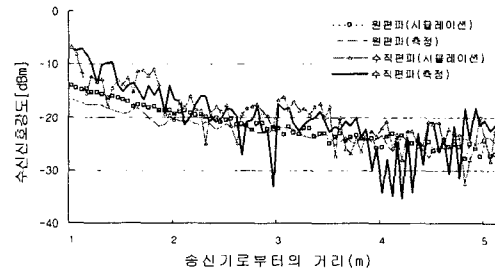


그림 6. 편파에 대한 시뮬레이션 및 측정 결과
Fig. 6 Simulation and measurement results for the vertical and circular polarization

그림 6에서 알 수 있듯이 시뮬레이션과 측정결과와의 평균오차는 수직편파인 경우가 약 2.84 dB, 원편파의 경우가 약 1.5 dB 정도로 비교적 잘 일치하고 있다.

IV. 편파에 따른 시뮬레이션 결과

1. 가시거리(LOS) 환경

시뮬레이션환경은 그림 5와 같고 주파수는 W-LAN, Bluetooth, Home RF 의 주파수대인 2.4 GHz를 사용하였다. 시뮬레이션은 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 7은 옥내 가시

거리환경에서의 수직, 수평, 원편파에 대한 페이딩을 시뮬레이션 한 결과이다. 그림 7로부터, 가시거리환경에서는 수직이나 수평편파를 단독으로 사용하는 경우보다 원편파의 경우 상당한 페이딩 경감 효과가 있다. 또한, 그림 8은 수직, 수평편파 다이버시티를 이용한 경우와 원편파를 이용한 경우의 시뮬레이션결과로 가시거리 옥내 무선 환경에서 원편파를 이용한 경우가 수직, 수평편파다이버시티를 사용한 경우보다 우수한 페이딩 경감 효과가 있음을 알 수 있다.

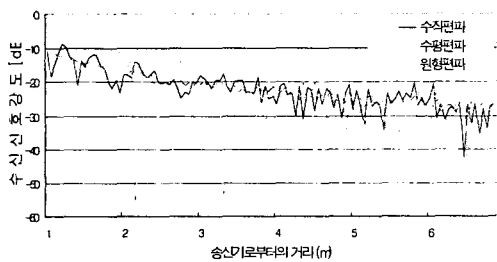


그림 7. LOS 환경에서의 편파에 따른 페이딩 경감특성
Fig. 7 Fading reduction characteristic for polarizations in LOS environments.

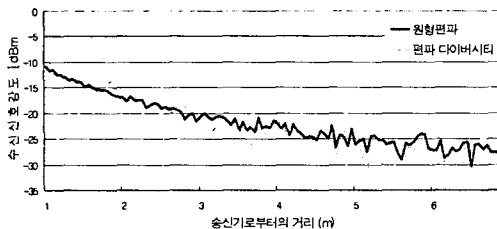


그림 8. LOS에서의 원편파와 편파다이버시티의 페이딩 경감효과
Fig. 8 Fading reduction characteristic for polarization diversity and circularly polarized wave in LOS environments.

표 1은 가시거리 환경에서의 수직, 수평, 원편파와 수직, 수평편파다이버시티를 이용한 경우의 표준편차 및 손실을 비교한 것이며, 원편파를 단독으로 이용하는 경우가 페이딩 경감특성이 가장 우수함을 알 수 있다.

표 1. 옥내 LOS에 대한 페이딩 특성
Table 1 Fading characteristic of the indoor LOS environments.

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

2. 비가시거리(NLOS) 환경

비가시거리환경에서의 시뮬레이션은 송수신기 사이에 폭이 6m이고 높이가 2.5m인 유동적인 장애물이 있는 경우의 비가시거리환경(1) 과 송신기와 수신기 사이에 완전히 벽으로 차단된 경우의 비가시거리환경(2)에 대하여 시뮬레이션 하였다. 그림 9는 비가시거리 환경(1)에서의 수직, 수평, 원편파를 이용한 시뮬레이션 결과이며, 그림 10은 원편파와 수직·수평편파다이버시티의 시뮬레이션결과를 보이고 있다.

그림 9, 10에서 알 수 있듯이 비가시거리전파환경(1)에서도 원편파의 경우가 각각의 수직 및 수평편파 그리고 수직, 수평편파다이버시티의 경우보다 원편파를 이용하는 경우가 페이딩이 적음을 알 수 있다.

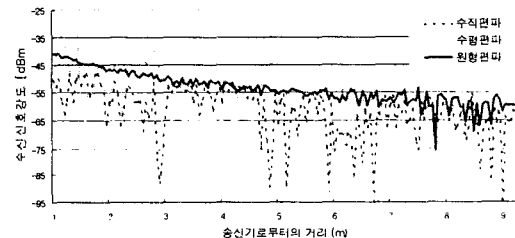


그림 9. 비가시거리 환경(1)에 대한 편파에 따른 페이딩 경감특성
Fig. 9 Fading reduction characteristic for each polarizations in NLOS(1) environments.

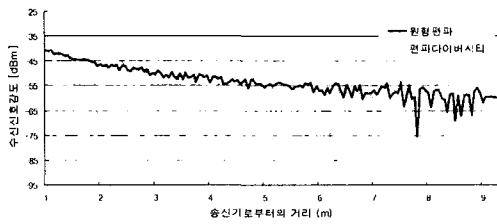


그림 10. NLOS(1)에 대한 원편파와 편파 다이버시티의 페이딩 경감효과
 Fig. 10 Fading reduction effects for the polarization diversity and circularly polarized wave in NLOS(1) environments.

그림 11은 NLOS 전파환경(2)에서 각 편파에 따른 페이딩 예측 시뮬레이션 결과이며, 그림 12는 원편파와 편파다이버시티의 시뮬레이션 결과를 비교한 그림이다.

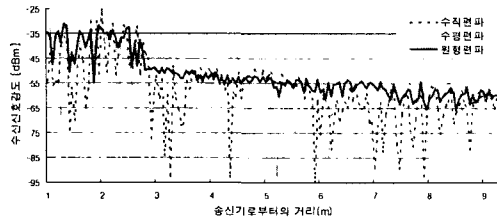


그림 11. 비가시거리 환경(2)에 대한 편파에 따른 페이딩 경감특성
 Fig. 11 Fading reduction characteristic for each polarizations in NLOS(2) environments.

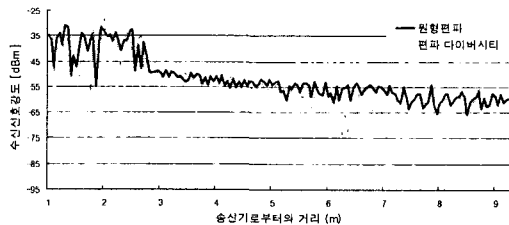


그림 12. 비가시거리 환경(2)에 대한 원편파와 편파 다이버시티의 페이딩 경감효과
 Fig. 12 Fading reduction effects for polarization diversity and circularly polarized wave in NLOS(2) environments.

그림 9, 10, 11, 12에서 알 수 있듯이 비가시거리 환경에서는 수직, 수평편파는 물론 원편파를 사

용하여도 페이딩이 있지만, 원편파의 경우가 수직, 수평편파에 비해 상당한 페이딩 경감효과가 있으며 편파 다이버시티보다도 우수한 페이딩 경감 효과를 보이고 있다.

V. 결론

본 논문에서는 전파 예측에 기초를 둔 3D Ray Tracing 기법을 이용하여 옥내 무선전파환경에서 송·수신기의 위치선택을 도울 수 있고, 각종 편파의 송수신 조합에 의해 결정되는 옥내 수신전계 강도 시뮬레이터를 개발하였다. 개발된 시뮬레이터를 이용하여 실내 무선환경에 대한 수직, 수평, 원편파를 이용한 경우와 수직, 수평편파다이버시티를 이용하여 페이딩을 경감시킨 경우를 비교 검토하였다.

그 결과 LOS 환경 및 NLOS 환경에서 원편파를 이용하는 경우가 수직, 수평 편파 단독으로 이용하는 경우, 그리고 편파 다이버시티를 이용하는 경우보다 상당한 페이딩 경감효과가 있음을 알 수 있었다.

차후 연구과제로는 좀더 복잡한 구조의 옥내·외 환경을 고려한 범용 시뮬레이터를 개발하여 시뮬레이션 후 실측 데이터와 비교검토가 필요하다. 그리고 원형 편파로 송신하고 수직, 수평편파로 수신하는 원편파 다이버시티를 결합한 경우의 페이딩경감효과에 대한 연구를 수행할 것이다.

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] G. A. Kalivas, "Millimeter-Wave Channel Measurement with Space Diversity for Indoor Wireless Communications," IEEE Trans. on Vehicular Technology, pp. 494~503, 1995.
- [3] T. S. Rappaport, Wireless Communications:

Principles and Practice, PrenticeHall Inc., New Jersey, 1996.

- [4] A. Kajiwara, "On a Circular Polarization Wave Transmission in LOS Indoor Radio Channels," IEEE PIMRC '94, pp. 156-159, 1994.
- [5] T. S. Rappaport, "An Advanced 3D Ray Launching Method for Wireless Propagation Prediction," IEEE 47th Vehicular Technology Conference, pp.785-789, 1997.
- [6] S. Y. Seidel, "Site-Specific Propagation Prediction for Wireless In-Building Personal Communication System Design," IEEE Trans. Vehicular Technology, pp. 879-891, 1994.
- [7] K. Pahlavan, Wireless Information Networks, John Wiley & Sons, INC, New York, 1997.
- [8] N. Wilt, Object-Oriented Ray Tracing, John Wiley & Sons, INC, New York, 1994.
- [9] Deock-Ho Ha, Sung-Woo Jeon, Jae-Ho Lee, Fumio Ikegami, "A Study of Polarization Diversity in Indoor Mobile Radio Propagation Environments", 3RD ASIA-PACIFIC Conference on Communication, pp. 563-567 Dec. 1997
- [10] Deock-Ho Ha, Sung-Woo Jeon, "An Analysis on Optimum Condition for Polarization Diversity Reception under Indoor Radio Propagation Environments," Telecom. Review, 제7권 6호, pp. 874-889, 1997



하 덕 호(Deock-Ho Ha)

1979년 2월: 한양대학교 전자공학과 (공학사)

1984년 3월: 일본 교토대학(공학석사)

1987년 3월: 일본 교토대학(공학박사)

1978년 11월~1981년 1월: (주)금성사 중앙연구소 연구원

1990년 8월~1991년 8월: 캘리포니아 대학 (U.C., Davis) 방문 연구교수

2000년 2월~2001년 2월: 콜로라도 주립대학 연구교수

1987년 9월~현재: 부경대학 정보통신공학과 정교수

※ 주관심분야 : 실내외 전파특성 모델링, 다이버시티 시스템, 디지털 이동통신방식, 채널코딩 등



이 주 현(Ju-Hyun Lee)

1996년 2월: 경일대학교 전자공학과 (공학사)

1999년 2월: 부경대학교 정보통신공학과(공학석사)

2003년 8월: 부경대학교 정보통신공학과(공학박사)

2000년 3월~2001년 2월: 일본 구주공업대학 (연구생)

※주관심분야 : 전파측정 및 이동무선 전파환경 해석, 안테나 및 다이버시티 시스템 등