

균일 회절 이론을 이용한 선박 환경에서의 단말기 사용자 쉐도잉 분석 기법

김창회*, 정재훈*, 이성로**, 김성철^o

User-Body Shadowing Analysis Technique in Ship Environment Based on the Uniform Geometrical Theory of Diffraction

Chang-hoe Kim*, Jae-hoon Jung*, Seong Ro Lee**, Seong-Cheol Kim^o

요 약

기하학적 균일 회절 이론(UTD)은 특정 주파수에서 장애물에 의해 전파가 불연속적인 특성을 가질 때, 전자기학적으로 접근하여 회절 계수와 반사 계수 등을 계산하여 전파를 분석하는 기법이다. 본 논문에서는 실내 무선 채널 환경에서 사용자가 단말기 주변에 있을 때, 사용자에게 의한 쉐도잉(Shadowing) 효과를 기하학적 UTD을 통하여 분석하였다. 사용자가 통화를 하고 있는 상황(Head Model)과 가슴 앞쪽에 단말기를 위치하여 사용하는 상황(Chest Model)으로 나누고, 각각에 대하여 복사 모델(Radiation Model)과 산란 모델(Scattering Model)에 적용하여 비교 및 분석하였다.

Key Words : Body-shadowing, the Uniform Geometrical Theory of Diffraction, Radiation Model, Scattering Model

ABSTRACT

The Uniform Geometrical Theory of Diffraction(UTD) is an effective technique to analyze the radio wave by ray-based calculation of the diffraction coefficient and the reflection coefficient. In this paper, user body shadowing based on the UTD is investigated when the user is close to the mobile device. Two cases are introduced. One is that the user is calling with the mobile attached to the ear(Head Model). The other is that the mobile is located about 15cm away from the user's chest(Chest Model) Radiation Model and Scattering Model are applied to these cases presenting which model is applicable.

I. 서 론

실내 구조, 도시 내 건물의 밀집도, 이동 속도, 안테나 특성 등 무선 통신을 하는데 있어서 전파 채널에 영향을 미치는 요소들은 매우 다양하게 존재하고, 그

에 따른 다양한 연구들이 진행되어 왔다. 그 중에서도 실내 무선 채널 환경에서는 사용자가 단말기 주변에 있을 때 사용자에게 의한 쉐도잉 효과가 실시간으로 전파 채널에 영향을 끼치게 된다. 따라서 사용자가 단말기를 사용하는 상황에 따라 사용자 쉐도잉을 고려할

※이 논문은 2014년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(NRF-2009-0093828)과 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 IT융합 고급인력과정 지원사업의 연구결과로 수행되었음(NIPA-2014-H0401-14-1009).

◆ First Author : Seoul National University Department of Electrical and Information, kch330@maxwell.snu.ac.kr, 학생회원

◦ Corresponding Author : Seoul National University Department of Electrical and Information, sckim@maxwell.snu.ac.kr, 종신회원

* Seoul National University Department of Electrical and Information, manbotoss@maxwell.snu.ac.kr, 학생회원

** Mokpo National University Department of Information & Electronics Engineering, srlee@mokpo.ac.kr, 정회원

논문번호 : KICS2014-10-406, Received October 8, 2014; Revised November 17, 2014; Accepted November 17, 2014

필요가 있다.

선박은 특수한 환경이기는 하지만, 한 선박 내에서 이루어지는 통신은 실내 무선 채널의 일환으로 생각 해볼 수 있다. 선박 내 무선 통신은 그 활용 목적에 따라 매우 다양한 시스템을 고려할 수 있으나, 일반적인 통신에서처럼 사람이 무선 단말기를 이용하여 통신하는 경우, 앞서 언급한 바와 같이 사용자 신체에 의한 쉐도잉 영향을 강하게 받게 된다.

최근 들어, 사람의 몸에 부착하는 형태의 디바이스 인 웨어러블 디바이스의 종류와 수가 증가함에 따라 사용자가 전파 환경에 미치는 영향에 대한 연구도 활발해 지고 있다. 일반적으로 실외 환경에서는 송신기와 수신기의 거리가 멀고, 사용자에게 의한 영향보다는 주변 건물이나 기지국의 위치 등에 의한 영향이 전파 환경에 더욱 큰 요소로 작용한다. 하지만 실내 환경에서는 실외 환경보다 좁은 커버리지를 가지고 있고, 신호의 세기가 작은 점에서 사용자에게 의한 페이딩 효과는 실외에서보다 큰 비중을 차지하게 된다.

사용자에게 의한 쉐도잉 효과는 크게 3가지 경우로 나눌 수 있다. IEEE에서 발표한 802.15.6 표준에서는 송신기가 사용자로부터 3m 이하로 떨어져있고, 수신기가 사용자와 가까이 있을 때 혹은 그 반대의 상황일 때를 Off-Body Model, 송신기와 수신기가 모두 사람 몸에 부착된 상황에서는 On-Body Model, 두 사람 중 한 사람의 몸에는 송신기, 다른 한 사람의 몸에는 수신기가 부착된 상황에서는 Body-to-Body Model로 정의하고 있다.^[1] 이를 기반으로 AP Magazine에서는 각각의 모델에 대하여 사용자의 자세나 동작에 따라 적합한 확률 분포 모델들을 제시하고 있다.^[2]

송신기와 수신기의 위치에 따른 사용자 쉐도잉 연구도 많이 진행되고 있지만 Ultra Wideband (UWB), millimeter wave(mmWave) band 등 다양한 주파수에 대해서도 연구가 진행되고 있다. Thad. B. Welch는 실내 환경에서 사용자에게 의한 쉐도잉 효과를 안테나 위치를 변화시켜가며 UWB 대역에서 퍼포먼스를 분석하였다.^[3] mmWave 대역에서 또한 실내 무선 채널 환경에서 채널을 모델링 하려는 연구들이 많이 진행 중이다. Petros는 실내 무선 채널 환경에서 60GHz 대역의 power delay 모델과 이에 따른 확률 분포도를 제시하고 있고,^[4] Carl은 60GHz 대역의 Off-Body Model을 회절 이론을 통해 분석하고 있다.^[5]

그러나 아직 실내 무선 채널 환경은 Wifi 기반의 2.4 GHz 대역이 주를 이루고 있으며, 향후 IoT의 기반이 되는 통신 방법도 새로운 주파수 대역을 선정하기 보다는 기존 디바이스들에 탑재되어 있는 안테나

를 활용할 수 있는 Wifi 주파수 대역이 활용될 가능성이 높다. 그런 점에서 2.4 GHz 대역에 대한 실내 무선 채널을 중점적으로 분석하는 것이 필요하다. 분석 방법으로는 광선 추적 기법, 신호 감쇄 모델 분석 등도 존재하며^[6,7], 센서의 위치 별로 채널의 간섭을 분석하는 접근도 연구되고 있다.^[8] S.L. Cotton은 2.45 GHz 대역에서 사용자 쉐도잉 영향을 사용자의 동작에 대하여 분석하였는데, 실험 데이터만을 분석한 결과를 제시하고 있으며, 수식적으로 예측할 수 있는 모델링은 제시하지 못한다.^[6] 본 논문에서는 실험 결과와 함께 UTD를 이용한 시뮬레이션 모델도 제시하고 있다. UTD는 협대역 시스템에서 송신기, 수신기, 사용자의 위치에 따라 전파 채널을 분석하는 데 용이하다. UTD에는 산란 모델, 복사 모델, 결합 모델로 나누어 수식적으로 해석하는데, 본 논문에서는 산란 모델과 복사 모델을 가정하여 쉐도잉 영향을 분석한다. 복사 모델은 송신단 혹은 수신단 둘 중에 하나가 사용자의 표면에 붙어 있는 모델이며, 산란 모델은 사용자와 단말기 사이에 거리가 존재하는 모델이다.^[9]

논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서 UTD 모델의 종류와 분류 기준 및 특징을 간략하게 설명하고, 3 장에서는 실험에서 가정한 산란 모델과 복사 모델에 대해 수식적으로 모델링한 결과를 비교 분석한다. 4 장에서는 실험 데이터와 시뮬레이션 결과를 비교 분석하여 사용자 쉐도잉 모델에 적합한 UTD 모델을 제시한다. 마지막으로 5 장에서는 요약, 결론 및 이후 연구 주제에 대해 토의해 보도록 한다.

II. UTD 모델 비교

본 논문에서는 UTD를 이용하여 사용자가 있을 때와 없을 때, 2가지 경우에 대해 수신 신호 크기의 상대적인 추이를 분석한다. UTD는 주로 협대역 시스템에 적용되는데, 전파를 광선으로 모사한 방식을 기본을 두고 송신기와 수신기 사이의 물체에 의한 회절 특성을 분석한 이론적 모델이다.

UTD에서 가정하는 모델은 3가지로 나뉘는데, 산란 모델(Scattering Model), 복사 모델(Radiation Model) 그리고 결합 모델(Coupling Model)이 있다. 위의 모델들은 송신기와 수신기의 분포 형태에 따라 분류된다. 그럼 1은 각각의 UTD 모델을 시각적으로 표현한 것이다. (a)처럼 송신기와 수신기가 모두 물체로부터 떨어져 있는 경우엔 산란 모델이라고 하며, (b)와 (c)처럼 송신기나 수신기 중 하나가 물체와 붙어있는 경우엔 복사 모델로 정의한다. (d)처럼 모두 물체

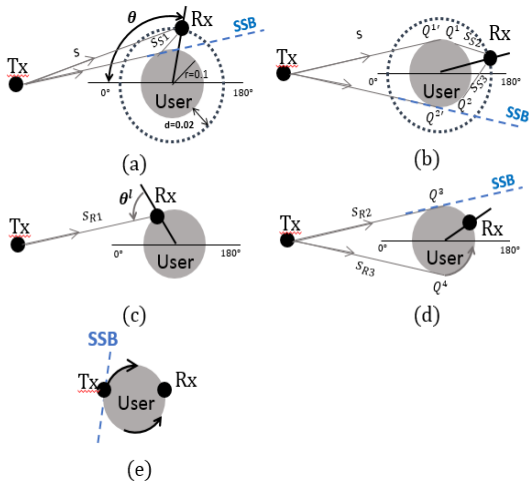


그림 1. 사용자 섀도잉 모델의 분류: (a)산란 모델(LOS zone); (b)산란 모델(NLOS zone); (c)복사 모델(LOS zone); (d)복사 모델(NLOS zone); (e)결합 모델
 Fig. 1. Types of user shadowing model: (a)Scattering Model(LOS zone); (b)Scattering Model(NLOS zone); (c)Radiation Model(LOS zone); (d)Radiation Model(NLOS zone); (e)Coupling Model

와 붙어있는 경우는 결합 모델로 정의한다.

본 논문에서는 휴대폰을 사용하는 상황 중에서 통화를 하는 상황과 손에 들고 사용하는 상황만을 실험하였다. 통화를 할 때는 휴대폰을 머리에 가까이 해야 한다는 점에서 Head Model, 손에 들고 사용하는 상황에선 사람의 가슴 근처에서 휴대폰이 놓여지기 때문에 Chest Model로 정의한다. Head Mode과 Chset Model 모두 사람의 몸에 가까이 위치하고, 송신기는 사용자와 비교적 먼 곳에 위치하고 있으므로 산란 모델과 복사 모델에 적용하여 비교 및 분석하였다.

III. 산란 모델과 복사 모델의 수식 해석

그림 1에서 알 수 있듯이 복사 모델과 산란 모델 모두 LOS zone과 NLOS zone으로 구분해서 해석해야 한다. 송신기에서 물체에 그은 접선을 SSB(Surface Shadow Boundary)라고 하는데, 이 선을 기준으로 LOS zone과 NLOS zone으로 나누게 된다. 또한 본 논문에서의 전파의 크기는 사용자에 의한 섀도잉 영향을 분석하므로 다른 물체, 특수한 환경에서의 다중 경로나 반사 효과는 고려하지 않고, 수식적으로 해석하였다. 사용자는 재질이 완전한 전기 전도체인 원통형으로 가정하였고, 사용자와 송신기, 수신기 사이의 각도에 따라 섀도잉 영향을 분석하였다. 사용자에 의한 섀도잉에 영향을 미칠 수 있는 요소들 중에는 사용

자의 체형, 사용자와 송수신기 사이의 거리, 사용자 입은 옷의 재질 등 여러 가지 요소가 있을 수 있지만 LOS zone, NLOS zone을 구분해주고 반사 경로나 회절 경로의 섬세한 차이를 보여줄 수 있는 변수인 각도가 가장 중요한 요소로 볼 수 있다. 따라서 각도에 따른 섀도잉 영향을 보는 것이 가장 합당하다.

3.1 산란 모델 수식 분석

LOS zone에서는 LOS 성분과 사용자에 의해 반사되는 성분이 전기장 크기의 대부분을 차지하게 되고, NLOS zone에서는 회절된 전파들만이 수신된다. 이를 수식적으로 표현하면 다음과 같다.^[10]

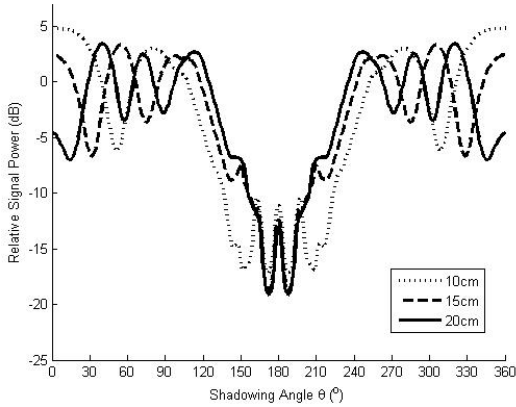
$$E_{(S,LOS)} = E_0 R L_d e^{-jks_{s1}} + E_0 \quad (1)$$

$$E_{(S,NLOS)} = E_1 T_1 \frac{e^{-jks_{s2}}}{\sqrt{s_{s2}}} + E_2 T_2 \frac{e^{-jks_{s3}}}{\sqrt{s_{s3}}} \quad (2)$$

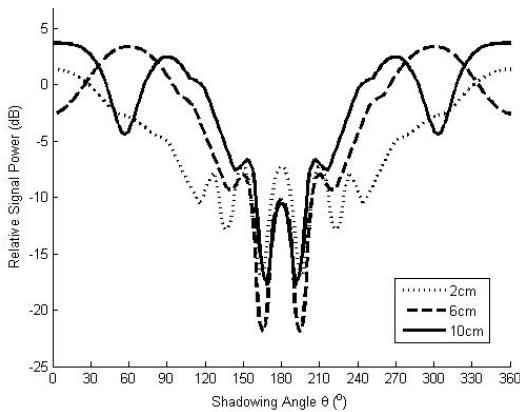
식 (1)과 식(2)는 그림 1의 (a),(b)처럼 각각 LOS zone, NLOS zone에서의 전기장 크기를 수식화한 것이다. 식 (1)부터 살펴보면, E_0 는 경로 s 를 지나서 LOS 성분이며, R 은 UTD 반사 계수로 θ 와 물체의 곡률 및 재질에 관한 변수이다. S_{s1} 은 반사 지점부터 수신기까지의 거리, L_d 는 물체의 곡률과 S_{s1} 에 대한 비율을 고려한 계수를 의미한다. 식 (1)은 단순히 LOS 성분과 반사 경로의 가지는 전파의 합으로 볼 수 있다.

식 (2)에선 E_1, E_2 는 각각 원의 접점인 Q^1, Q^2 에 도달한 전기장의 크기이며, T_1, T_2 는 각각 경로 $Q^1 - Q^1, Q^2 - Q^2$ 에 의해 생기는 회절 계수를 의미한다. 회절 계수는 전파가 표면에서 이동하는 경로의 길이 및 표면의 재질, 물체의 표면에서 송, 수신기 사이의 거리 등이 고려된 계수이다. S_{s2}, S_{s3} 는 각각 Q^1, Q^2 부터 수신기까지의 거리를 의미한다.

위의 수식에서도 알 수 있듯이, LOS zone과 NLOS zone에서 모두 물체의 크기, 물체와 송, 수신기 사이의 거리에 의한 영향이 크게 작용한다. 사용자가 휴대폰을 어느 정도 거리를 두고 사용하는 지에 따라 상대적인 수신 신호는 그림 2와 같은 양상을 보인다. 그림 2에서 각각의 그래프를 살펴보면 LOS zone에서는 거리가 달라지면서 반사 경로가 조금씩 바뀌어 감쇄되는 각도가 조금씩 달라지는 것을 확인할 수 있다. 하지만 전체적인 신호 크기의 경향성은 크게 바뀌지 않



(a)



(b)

그림 2. 사용자와 수신기 사이의 거리에 따른 상대적인 신호 크기: (a)Chest Model; (b)Head Model.
Fig 2. Relative Signal Power by the distance between user and receiver: (a)Chest Model (b)Head Model.

는 것을 확인할 수 있다. 각도가 가장 큰 변수가 됨을 알 수 있다.

3.2 복사모델 수식 분석

복사 모델에서는 산란 모델과는 달리 반사되는 경로가 없다. 다만, 표면에서 회절하는 성분들에 대한 영향을 산란 모델보다는 많이 받게 된다. 이러한 이유로 복사 모델에서는 산란 모델에서 쓰이는 계수와 다른 식을 적용하게 된다. 복사 모델에서의 수신 신호 크기는 다음과 같다.^[10]

$$E_{(R,LOS)} = C_0 H_1 \cos \theta^l \frac{e^{-jks_{R1}}}{\sqrt{s_{R1}}} \quad (3)$$

$$E_{(R,NLOS)} = C_0 H_2 \left[e^{-jkt_1} \frac{e^{-jks_{R2}}}{\sqrt{s_{R2}}} + e^{-jkt_2} \frac{e^{-jks_{R3}}}{\sqrt{s_{R3}}} \right] \quad (4)$$

H_1, H_2 는 복사 모델의 계수로 θ 와 물체의 곡률, 재질에 따른 함수식 등이 적용되어 계산된 상수이다. C_0 는 비례 상수이고, θ^l 은 그림 1.(d)에서 알 수 있듯이 수신기에 입사하는 전파와 법선 사이의 각도를 의미한다. S_{R1} 은 송신기에서 수신기 사이의 거리이며, S_{R2}, S_{R3} 는 송신기에서 물체와의 접점인 Q^3, Q^4 까지의 거리를 의미한다. t_1, t_2 는 각각 접점 Q^3 부터 수신기 사이의 곡선 거리, Q^4 부터 수신기 사이의 곡선 거리를 의미한다.

IV. 실험 측정 결과

4.1 측정 환경 및 방법

실험은 총 2가지 경우로 나누어서 실행하였다. 사용자가 통화하고 있는 상황을 가정하여 머리로부터 2cm 정도 떨어진 거리에 수신기를 위치하여 실행한 실험과 일반적으로 휴대폰을 사용하는 상황을 가정하여 여서 가슴에서 15cm 정도 떨어져서 수신기를 위치하여 실행한 실험 2가지로 나누어서 측정하였다. 아래 그림 3과 같이 송신기와 사용자 사이의 거리는 3m이며 이 선을 기준으로 수신기와 기준선 사이의 각도를 θ 라 한다. θ 를 0° 부터 360° 까지 10° 씩 이동하면서 수신 신호의 크기를 측정하였다. 그림 3에서 d는 사용자와 송신기 사이의 거리를 의미하는데, Chest Model에서는 15cm이고, Head Model에선 2cm이다. Chest Model에서는 안테나 높이를 가슴 높이에 맞추고, Head Model에선 머리 높이에 맞춰 실험하였다. 벽에 의한 반사 경로를 무시하기 위해 전파 무향실에서 실험하였으며, 2.4GHz 주파수를 사용하였다.

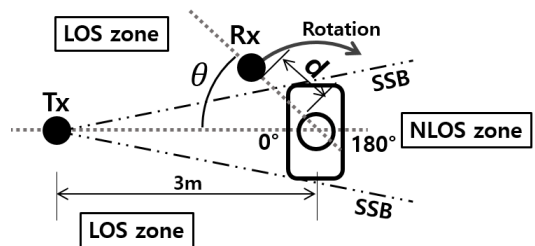


그림 3. 실제 실험 환경을 위에서 보았을 때의 구조도
Fig 3. A top view of the experiment environment

4.2 실험값과 시뮬레이션 결과 비교

Chest Model과 Head Model 각각에 대해 36개의

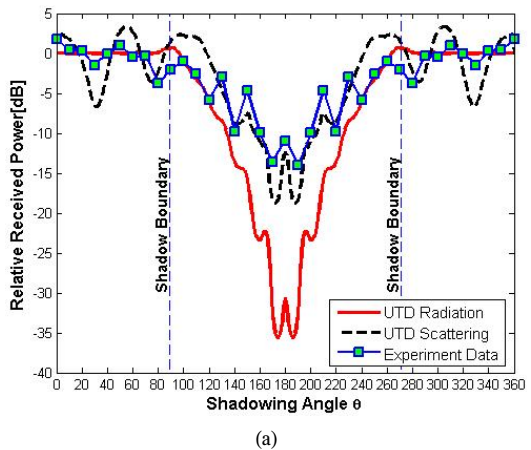
실험값을 측정하고, 이것을 UTD를 이용한 시물레이션 결과값과 비교하였다. 그림 4는 실험값과 UTD 시물레이션 결과를 비교한 그래프이다. 세로 축은 상대적인 신호 크기, 가로 축은 θ 를 의미한다.

복사 모델의 경우, Chest Model과 Head Model에 상관없이 LOS zone에서는 약 0 dB를 유지하며 상대적인 신호 크기가 거의 변하지 않는다는 것을 알 수 있다. 반면, NLOS zone에서는 -20 dB 이하의 감쇄 구간이 Chest Model에선 4번, Head Model에선 2번 정도 발생한다. 산란 모델의 경우, Head Model에서는 LOS zone에서 복사 모델과 같이 변동폭이 심하지 않지만 Chest Model에서는 10 dB 이상의 변동폭이 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이는 Head Model에서는 사용자와의 거리가 2cm 정도로 거의 붙어 있어서 각도가 변함에 따라 생기는 반사 경로의 성분들이 심하

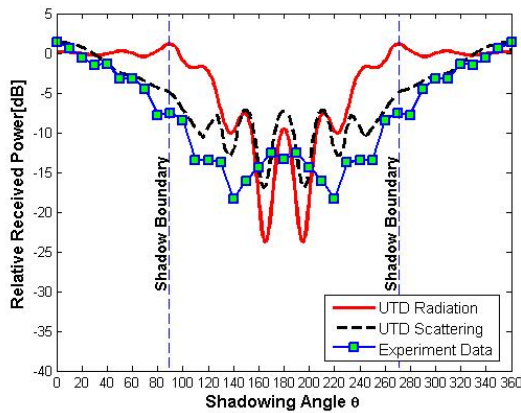
게 바뀌지 않기 때문이다. Chest Model에서는 15cm 정도로 떨어져 있어서 각도가 변하면 반사 계수의 변화폭이 커진다. 그리고 산란 모델의 NLOS zone에서는 심한 감쇄 구간이 4번 정도로 복사 모델보다 더 많이 존재한다.

UTD 시물레이션 결과가 실험값에 비해 변동폭이 심하고 심한 감쇄 구간이 생기는 이유는 시물레이션에서 사용자를 재질이 완전한 전기 전도체인 구로 가정하고 수직을 적용하였기 때문이다. 이런 경우에 복사 모델과 산란 모델 모두 각도에 따른 계수 변화가 크게 일어나게 된다. 또한 실제 실험 시에는 시물레이션처럼 각도를 세세하게 맞춰주기 어렵고, 사용자는 원통형보다는 높이에 따라 모양이 매우 다른 입체적인 구조를 가지고 있으며, 사용자가 완벽히 정지 자세를 유지할 수 없기 때문에 신호 크기의 변동폭이 비교적 덜 일어나게 된다.

실험값의 추이를 산란 모델과 복사 모델의 추이와 비교하면 Chest Model과 Head Model 모두 산란 모델에 더 가까운 것을 확인할 수 있다. Chest Model과 Head Model은 각각 사용자로부터 15cm, 2cm 떨어져서 실험하였기 때문에 반사 경로와 회절 경로들의 영향으로 산란 모델과 비슷하게 나온 것으로 추정된다. Chest Model에서 보다 뚜렷하게 산란 모델의 추이와 비슷한 것을 확인할 수 있는데, 이는 15cm의 거리가 사용자와 송신기 사이의 거리(3m)와 비교했을 때 무시할 수 없는 수준으로 떨어져 있기 때문이다. Head Model에선 사용자와 송신기 사이 거리의 1%도 되지 않는 거리에 수신기가 위치하여 온전하게 산란 모델에 적용하기 힘든 것이다.



(a)



(b)

그림 4. 실험값과 UTD 시물레이션 비교: (a)Chest Model; (b)Head Model.
Fig. 4. Comparison with experiment result and UTD simulation result: (a)Chest Model; (b)Head Model.

V. 결 론

본 논문은 송신기와 수신기 사이에 사용자의 상대적 위치(각도)에 따른 섀도잉 효과가 어떻게 나타나는지 UTD에 적용하여 분석하고 있다. 수신기가 머리에 위치하는 Head Model과 가슴 부분에 위치하는 Chest Model로 나누어 실험하였으며, 송신기, 사용자, 수신기를 잇는 각도를 0° 부터 360° 까지 모든 각도에 대하여 모델링 하였다.

실험과 시물레이션을 비교한 결과, 시물레이션 값은 LOS zone에서는 실험값과 비슷한 곡선 형태를 취하는 반면, NLOS zone에서는 상대적인 신호 크기가 -20 dB 이하로 떨어지는 감쇄 구간이 생기는 등 변동폭이 심한 형태를 보인다. 이것은 실제 인체는 완전한 전기 전도체가 아니고, 구조 또한 원통형에 비해서 매

우 입체적인 점, 사용자가 실험 시에 완벽한 정지 상태를 유지하지 못한다는 점 등이 복합적으로 영향을 미친 결과로 볼 수 있다.

사용자 쉐도잉을 고려한 보다 정확한 채널 모델링은 멀리 떨어져있는 승조원들 사이의 통신이나 AP를 통한 탑승객들의 위치 추정 등 선박 내에서 이루어질 수 있는 다양한 통신 및 응용 시스템을 신뢰도 있게 설계하는데 중요한 지표로 활용될 수 있다. 하지만 본 논문에서는 사용자가 정지 상태를 가정하여 실험을 하는 등 비교적 한정적인 상황에서의 쉐도잉 효과만을 분석하였다. 실제 환경에서는 사용자가 단말기를 사용하는 상황이 매우 다양할 뿐만 아니라 실시간으로 변화할 가능성이 매우 크기 때문에, 이후 연구에서는 보다 현실적인 통신 상황을 고려한 모델링이 필요할 것으로 보인다.

References

[1] A. Astrin, et al., *IEEE standard for local and metropolitan area networks part 15.6: wireless body area networks: IEEE Std. 802.15.6-2012*, Feb. 2012.

[2] D. B. Smith, et al., "Propagation models for body-area networks: A survey and new outlook," *IEEE Antennas and Propag. Mag.*, vol. 55, No. 5, pp. 97-117, Oct. 2013.

[3] T. B. Welch, "The effects of human body on UWB signal propagation in an indoor environment," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 20, pp. 1778-1782, Dec. 2002.

[4] P. Karadimas, et al., "Human body shadowing characterization for 60-GHz indoor short-range wireless links," *IEEE Antennas and Wirel. Propag. Lett.*, vol. 12, pp. 1650-1653, 2013.

[5] C. Gustafason and F. Tufvesson, "Characterization of 60 GHz shadowing by human bodies and simple phantoms," *European Conf. Antennas Propag. (EUCAP)*, pp. 473-477, Prague, Czech, Mar. 2012.

[6] J. H. Jung, J. H. Choi, Y. H. Kim, and C. H. Kim, "A study on the user-shadowing based on the ray-tracing," in *Proc. KICS Int. Conf. Commun.*, pp. 247-248, Pyeongchang, Korea, Jan. 2014.

[7] W. S. Choi and J. G. Kim, "A study for co-

Channel interference cancelation algorithm with channel estimation for WBAN system application," *J. KICS*, vol 37, no. 6, pp. 476-482, Jun. 2012.

[8] B. J. Ahn, J. H. Choi, and S. W. Kim, "Analysis of human on-body channel at 2.45 GHz band," in *Proc. KICS Int. Conf. Commun.*, pp. 57-58, Pyeongchang, Korea, Feb. 2012.

[9] G. Koutitas, "Multiple human effects in body area networks," *IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett.*, vol. 9, pp. 938-941, Oct. 2010.

[10] D. A. McNamara, C. W. Pistorius, and J. A. Malherbe, *Introduction to the uniform geometrical theory of diffraction*, Boston, MA: Artech House, 1990.

김 창 회 (Chang-hoe Kim)



2014년 2월 : 포항공대 전자전기 공학과 공학사
 2014년 3월~현재 : 서울대학교 전기정보공학과 석박사통합 과정
 <관심분야> Channel Modeling, Wireless Communication

정 재 훈 (Jae-hoon Jung)



2008년 2월 : 서울대학교 전기정보공학과 공학사
 2008년 3월~현재 : 서울대학교 전기정보공학과 석박사통합 과정
 <관심분야> Channel Modeling, Ray Tracing, Full-duplex

이 성 로 (Seong Ro Lee)



1987년 2월: 고려대학교 전자
공학과 공학사
1990년 2월: 한국과학기술원 전
기 및 전자공학과 공학석사
1996년 8월: 한국과학기술원 전
기 및 전자공학과 공학박사
1997년 9월~현재: 목포대학교

공과대학 정보전자공학과 교수

<관심분야> 디지털통신시스템, 이동 및 위성통신시
스템, USN/텔레메틱스응용분야, 임베디드시스템

김 성 철 (Seong-Cheol Kim)



1984년 2월: 서울대학교 전기공
학과 학사
1987년 2월: 서울대학교 전기공
학과 석사
1995년 2월: 미국 폴리테크닉
대학교 박사
1995년~1999년: AT&T Bell

lab. Member of Technical Staff

1999년~2003년: 서울대학교 전기·컴퓨터공학부 조
교수

2003년~2008년: 서울대학교 전기·컴퓨터공학부 부
교수

2008년~현재: 서울대학교 전기·컴퓨터공학부 정교수
<관심분야> Systems Engineering, Channel Modeling,
Communication Algorithm, MIMO, Relay,
Localization.