

WBAN Off-Body 채널에서 안테나 편파의 영향 분석

Experimental Study on the Effect of Antenna Polarization in WBAN Off-Body Channel

전재성 · 안병직 · 김선우 · 최재훈

Jaesung Jeon · Byoungjik Ahn · Sunwoo Kim · Jaehoon Choi

요 약

본 논문에서는 무선 인체 통신 중 off-body 채널에서 안테나 편파의 변화에 대한 영향을 알아보기 위한 실험을 수행하였다. 실험은 두 수신 안테나의 편파 조합에 따라 총 4가지로 나누었으며, Line-of-Sight(LOS)와 Non-LOS(NLOS)에 따른 영향도 조사하였다. 그리고 인체의 움직임으로 인하여 생기는 안테나 편파의 변화가 신호에 어떠한 영향을 미치는지 알아보기 위해, 인체를 정지한 상태와 움직이는 상태로 나누어 신호 세기를 측정하여 비교하였다. 본 논문의 결과를 통해 수신 안테나의 편파 및 두 수신 안테나의 편파 조합에 따른 성능을 확인하였다.

Abstract

This paper investigates the effect of antenna polarization in Wireless Body Area Network(WBAN) off-body channel. The polarizations of antenna are divided into four combinations regarding Line-of-Sight(LOS) and Non-LOS(NLOS) environment. The human body keeps both still standing and moving to show that the impact of the polarization to signal. This paper confirms the performance depending on the polarization of receiver antenna and the combination of the polarizations on the off-body channel.

Key words : WBAN, Off-Body Channel, Channel Capacity, Polarization

I. 서 론

무선 인체 통신(WBAN)은 인체 내외부의 노드나 장비 등을 사용하여 인체를 중심으로 3 m 내외의 거리를 무선으로 통신하는 네트워크로 최근 많은 주목을 받고 있는 연구 분야이다^[1]. WBAN 통신은 센서를 부착하거나 삼키는 형태로 사람의 건강 상태를 확인하는 의료용과 멀티미디어 기기와 무선으로 통신하는 비 의료용으로 구분된다. 의료 분야에서는

인체의 생체 신호 전달을 목적으로 하기 때문에 비 의료 분야에 비해 높은 신뢰성이 요구되는 반면, 비 의료 분야에서는 고속의 데이터 전송이 요구된다^{[2][3]}. 인체 통신은 기존의 통신과 달리 인체 내부나 근거리에서 이루어지므로, 높은 유전율과 전도율 특성을 지니는 체내 매질, 인체의 자세나 움직임 등 다양한 영향들을 고려하여 연구해야 한다.

과거 WBAN 관련 연구는 채널 특성 분석이 주로 이루어졌으나, 최근에는 통신 성능을 높이거나 소모

「이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No.2012-0003885, No.2012-000-5655).」

한양대학교 전자컴퓨터통신공학부(Department of Electronic Computer Engineering, Hanyang University)

· Manuscript received January 2, 2013 ; Revised January 18, 2013 ; Accepted January 21, 2013. (ID No. 20130102-003)

· Corresponding Author : Sunwoo Kim (e-mail : remero@hanyang.ac.kr)

전력을 줄이는 등의 연구가 다양한 형태로 진행 중이다^{[4],[5]}. Multiple-input multiple-output(MIMO) 시스템을 구성하는 방법 역시 많은 연구가 진행되고 있다^{[6],[7]}. MIMO는 다중 안테나를 사용함으로써 다이버시티 이득과 채널 용량을 기존 시스템보다 증가시키는 기술로, 대역폭을 늘리지 않고도 채널 용량을 증가시킬 수 있다. 참고문헌 [8], [9]에서는 MIMO 기술을 WBAN 연구에 적용하여 인체나 의류에 다중 안테나를 부착하고, 인체의 움직임이나 안테나의 부착 위치에 따른 채널의 변화 등이 연구 중에 있다.

하지만 다중 안테나에서 안테나의 편파를 다르게 함으로써 편파 다이버시티를 얻는 방법에 대한 연구는 찾아보기 어렵다. Off-body 통신에서 인체의 움직임은 다양한 통신 환경을 구성하기 때문에, 안테나의 편파에 따라 성능 변화 및 편파 다이버시티를 이용한 채널 용량에 대한 분석이 필요하다.

본 논문에서는 안테나 편파에 따라 조합을 나누고, 각각의 조합에 따른 통신 성능을 비교하여 분석하였다. 편파의 영향을 고려하기 위하여 송신 안테나는 인체 외부에 지면과 수직으로 고정하였으며, 수신 안테나는 인체의 귀에 부착하여 편파 만을 변화시켜 외부 기기와 헤드셋(headset) 안테나 간의 통신을 고려하였다.

II. 안테나 성능 및 실험 조건

인체 통신에서 안테나의 편파에 따른 영향과 편파 다이버시티를 조사하기 위해 그림 1과 같은 측정 환경을 구성하였다. 신호 발생기에서 2.45 GHz 협대역 신호를 1 mW의 전력으로 송신하고, Rohde & Schwarz사의 ZVB20 벡터 네트워크 분석기(VNA)를 사용하여 수신 신호의 세기를 측정하였다. 2.45 GHz 대역을 사용한 이유는 비의료용 주파수 대역인 ISM (Industrial, Scientific and Medical) 대역에 속하기 때

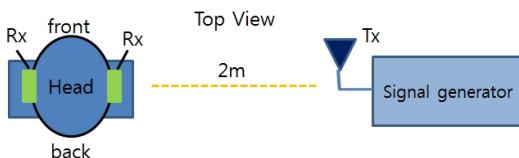


그림 1. 실험 세팅과 안테나의 위치

Fig. 1. Experiment setup and off-body antenna locations.

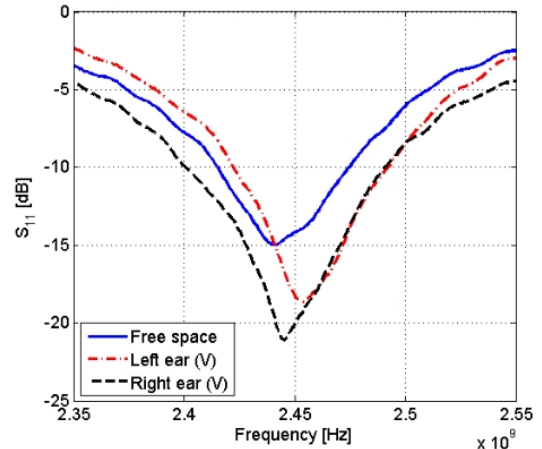


그림 2. S_{11} 반사 손실 계수 측정값

Fig. 2. Measured S_{11} return loss coefficient.

문이다. 실험은 다중 경로 신호의 영향을 받는 실제 환경을 고려하기 위해 실내에서 측정하였지만, 안정적인 채널 상태를 유지하기 위하여 외부 물체의 움직임은 없도록 유지하였다. 인체와 인체 외부 간 채널 측정을 위해 송신 안테나는 외부에 고정하였으며, 수신 안테나는 인체 귀에 부착하고 편파를 변화시켰다. 송수신 안테나 모두 기준에 사용한 2.45 GHz 대역에서 안정적으로 동작하는 패치형 안테나로 실내 환경에서 측정된 S_{11} 의 값을 그림 2에 나타내었다. Free space인 경우는 자유공간에서 측정된 안테나의 반사 손실이다. 귀에 수신 안테나를 부착했을 경우, 패치형 안테나의 매칭(matching)으로 인하여 내부 반사량이 작아졌다. 귀에 부착하고 있는 경우들을 살펴보면, 사용하는 대역폭인 2.45 GHz에서 안테나에서 오른쪽 귀에 부착한 경우가 왼쪽 귀에 부착했을 경우보다 반사 손실 값이 큰 것을 확인할 수 있다^{[8],[9]}.

송신 안테나와 수신 안테나의 거리는 2 m이고, 수신 안테나는 그림 1과 같이 양쪽 귀에 부착하였다. 송신 안테나의 높이는 인체의 귀의 높이와 일치시켜 아래의 각 경우에 대해 측정하였다. 분석은 인체의 움직임이 없는 경우와 있는 경우를 나누어 수행하였으며, 움직임이 없는 경우에는 각각 1초, 움직임이 있는 경우에는 10초 동안 총 1,601개의 데이터를 측정하였다. 보다 신뢰성을 높이기 위해서 각 측정에 대해 세 번 반복하였다.

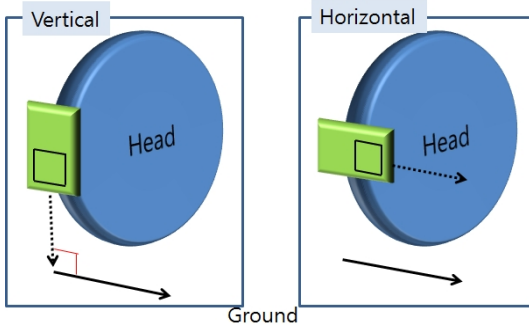


그림 3. 안테나의 편파
Fig. 3. Polarization of antenna.

표 1. 안테나 편파 조합
Table 1. Combinations of antenna polarization.

조합	편파(좌측 귀)	편파(우측 귀)
1	V	V
2	V	H
3	H	V
4	H	H

피실험자는 20대 중반 남자이며, 안테나의 편파가 수신 신호에 미치는 영향을 확인할 수 있도록 매 측정마다 누웠다가 앉는 동작을 수행하였다. 또한, 그림 1과 같이 인체를 위치시켜 편파의 변화와 함께 LOS와 NLOS가 미치는 영향도 확인하였다. 수신 안테나 부착 위치는 왼쪽 귀와 오른쪽 귀를 구분하여 측정하였다. 그림 3과 표 1은 본 논문에서 수행한 안테나의 편파와 편파의 조합을 나타내었다. 편파를 지면과의 관계에 따라 수평(H: Horizontal)과 수직(V: Vertical)으로 나누어 총 4개의 편파 조합으로 구분하였으며, 조합 1과 4의 경우는 단일 편파(single polarization)이고, 조합 2와 3의 경우는 복합 편파(hybrid polarization) 조합이다.

III. SIMO WBAN 시스템 분석

본 장에서는 1×2 single input multiple output(SIMO)에서 송수신 안테나간 편파의 정렬 상태에 따른 수신 신호 세기를 측정하고, 이에 따른 채널 용량을 계산하였다.

일반적으로 N_T 개의 송신 안테나와 N_R 개의 수신 안테나가 존재하는 MIMO 채널에서, 송수신 안테나

사이의 입출력 관계는 다음과 같이 표현된다^{[10],[11]}.

$$Y = HX + N \tag{1}$$

Y 는 크기가 $[N_R \times 1]$ 인 수신 벡터이고, X 는 크기가 $[1 \times N_T]$ 송신 벡터이며, N 은 평균이 0인 복소수 가우시안 잡음 벡터이고, 복소수 채널 행렬 H 는 $[N_R \times N_T]$ 크기를 갖는다.

시스템이 $[1 \times N_R]$ SIMO 채널일 때, 다음과 같이 쓸 수 있다^[11].

$$H = \begin{bmatrix} h_{1,1} \\ h_{1,2} \\ \vdots \\ h_{1,i} \\ \vdots \\ h_{1,N_R} \end{bmatrix} \tag{2}$$

단일 송신 안테나와 i 번째 수신 안테나 사이의 복소수 채널 이득 $h_{1,i}$ 는 VNA를 통해 각 부채널의 복소수 전압 이득을 측정함으로써 얻을 수 있다. 위에서 얻은 채널 행렬 H 를 통해 협대역 에르고딕(ergodic) 채널 용량을 계산하였으며, SIMO 시스템일 때 채널 용량 공식은 다음과 같다^{[12],[13]}.

$$C = \log_2 \left(1 + \frac{\rho}{N_R} \overline{HH^*} \right) [\text{bps/Hz}] \tag{3}$$

여기서 $\rho = P_s/P_n$ 은 평균 수신 SNR이며, P_s 는 수신 안테나에서 얻은 수신 신호의 전력, P_n 은 잡음 N 의 전력이다. SNR은 측정된 수신 신호의 세기를 이용하여 구하였으며, 평균을 취해 ρ 을 얻었다. 실험을 통해 구한 noise floor는 -90 dBm이었다.

표준화 된 복소수 전압 이득 행렬 \bar{H} 는 H 를 표준화 과정을 통해 얻었다. 다음 식 (4)는 전압 이득 행렬이 프로베니우스 놈(Frobenius norm)으로 표준화 되는 과정을 나타낸 것이다^{[6],[14],[15]}.

$$\bar{H} = \frac{H}{\sqrt{(1/N_R) \cdot \|H\|^2}} \tag{4}$$

표준화는 다중 안테나 시스템에서 각 안테나마다 다르게 얻어지는 경로 손실에 관계없이 채널의 실제 영향을 보기 위해서 수행하였다.

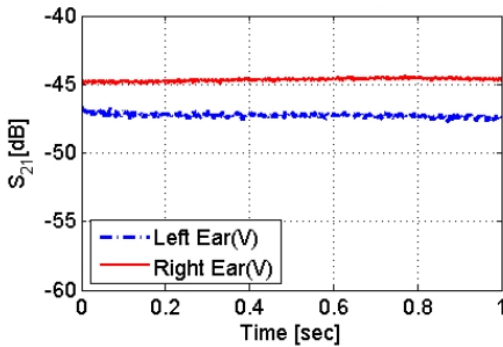
다음 절에서는 각 실험을 통해 얻은 채널 정보를 사용하여 안테나의 편파 조합과 인체의 움직임의 여

표 2. 수신 신호의 평균과 표준편차(움직임 없는 경우)
Table 2. Average and standard deviation of received signal(no movement).

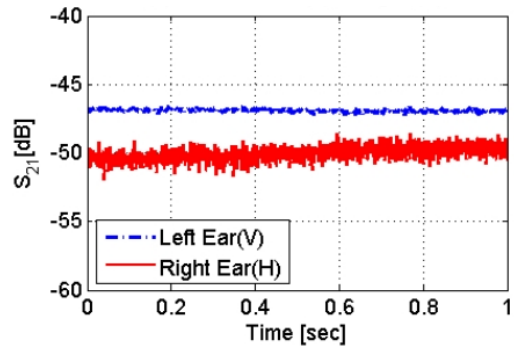
조합	안테나 위치	μ (dB)	σ (dB)
1	왼쪽(V)	-47.13	0.01
	오른쪽(V)	-44.73	0.015
2	왼쪽(V)	-46.88	0.01
	오른쪽(H)	-49.9	0.05
3	왼쪽(H)	-55.62	0.3
	오른쪽(V)	-45.14	0.017
4	왼쪽(H)	-55.29	0.17
	오른쪽(H)	-49.44	0.06

부에 따라 식 (3)을 사용하여 [1×2] SIMO 시스템에서의 신호 세기와 채널 용량을 분석하였다.

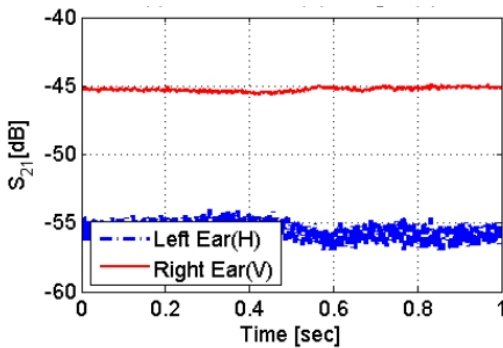
3.1 정지된 채 서 있는 상태일 때 Off-Body 채널 분석



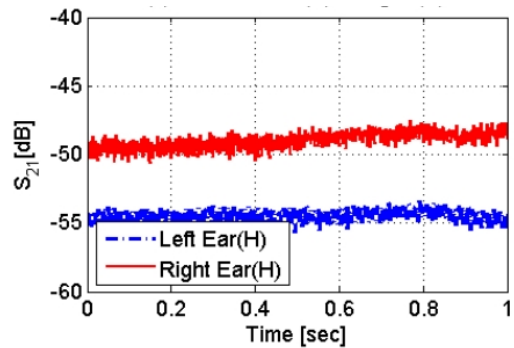
(a) Case 1: Left(V) + Right(V)



(b) Case 2: Left(V) + Right(H)



(c) Case 3: Left(H) + Right(V)



(d) Case 4: Left(H) + Right(H)

그림 4. 각 조합별 시간에 따른 수신 신호 세기
Fig. 4. Received power for each combination.

그림 4와 그림 5는 안테나 편파에 따른 조합별 안테나의 수신 신호 세기와 채널 용량을 각각 나타낸 것이다. 표 2는 각 조합에 따른 수신 신호 세기의 평균과 표준 편차를 비교한 결과이다. 평균적으로 수신되는 신호의 세기는 -55.62 dB에서 -44.73 dB 사이의 값을 갖는다.

단일 편파의 경우인 조합 1과 4를 보면 왼쪽과 오른쪽의 수신 안테나가 송신 안테나와 편파가 같은 조합 1의 경우, 편파가 다른 조합 4에 비하여 각각 약 8 dB, 4 dB 정도 큰 것을 확인할 수 있다. 또한, 그림 4의 조합 1을 보면 왼쪽 안테나와 오른쪽 안테나의 수신 신호의 세기가 인체의 비대칭성 및 실내의 다중 경로의 영향으로 인하여 약 2 dB 정도 성능 차이를 보이는 것을 확인할 수 있다. 그리고 그림 4의 (a)와 (d)를 통해 수직 편파에서 수평 편파로 바뀌면서 오른쪽의 안테나의 수신 신호의 세기는 약 4 dB 떨어진 반면, 왼쪽 안테나의 수신 신호의 세기는 약 8

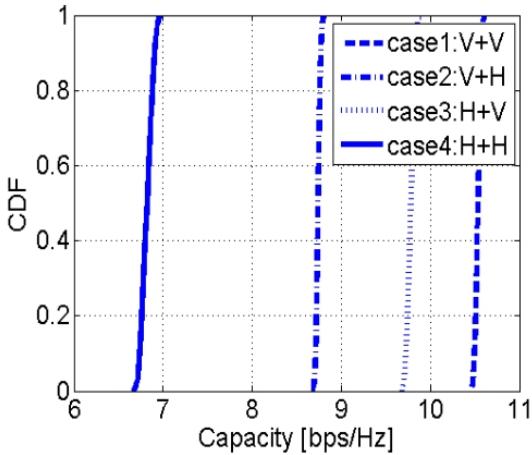


그림 5. 각 조합별 채널 용량(움직임 없음)
 Fig. 5. Channel capacity for different combinations(no movement).

dB 떨어진 것으로 보아 왼쪽의 안테나가 편파에 대해 더 크게 영향을 받는 것을 확인할 수 있다.

복합 편파인 조합 2와 3의 경우, 송신 안테나의 편파가 송신 안테나의 편파(vertical)와 일치할 때 수신 신호의 세기가 크다는 것을 알 수 있다. 조합 2의 경우는 왼쪽에 부착한 수신 안테나(vertical)가 오른쪽에 부착한 수신 안테나(horizontal)에 비하여 약 3 dB의 차이가 나며, 조합 3의 경우는 오른쪽에 부착한 수신 안테나(vertical)가 왼쪽에 부착한 수신 안테나(horizontal)에 비하여 약 10 dB 정도 차이가 나는 것을 그림 4의 (b)와 (c)를 통하여 확인할 수 있다.

그림 5는 각 편파의 조합에 대한 채널 용량을 분석한 것이다. 안테나의 편파 조합 중에서 송신 안테나와 같은 편파를 갖는 조합 1의 경우가 가장 큰 채널 용량을 갖는 것을 확인할 수 있다. 반면에 송신 안테나와 두 개의 수신 안테나 모두 다른 편파를 갖는 조합 4의 경우가 가장 작은 채널 용량을 갖는 것을 보인다. 복합 편파 조합인 조합 2와 3의 경우에는 수신 신호의 세기가 큰 오른쪽 안테나의 편파가 송신 안테나의 편파와 같은 경우인 조합 3의 경우가 상대적으로 수신 신호의 세기가 작은 왼쪽 안테나의 편파가 송신 안테나와 같은 조합 2의 경우에 비하여 좋은 성능을 갖는 것을 확인할 수 있다.

위의 결과를 통하여 좌우의 수신 신호 세기의 차이와 안테나의 편파가 수신 신호 및 성능에 상당한 영향을 끼치는 것을 확인할 수 있다.

표 3. 수신 신호 출력의 평균과 표준편차(움직임 고려)

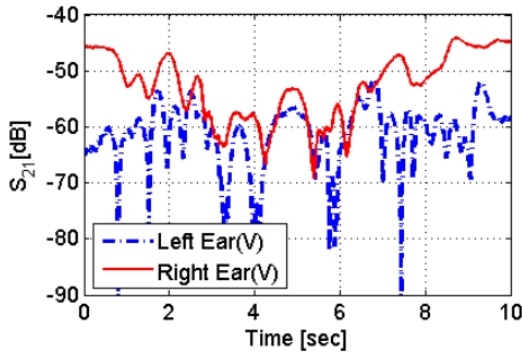
Table 3. Average and standard deviation of received signal(considering movement).

조합	안테나 위치	μ (dB)	σ (dB)
1	왼쪽(V)	-61.70	36.45
	오른쪽(V)	-52.82	35.94
2	왼쪽(V)	-62.06	33.97
	오른쪽(H)	-51.36	53.74
3	왼쪽(H)	-61.87	31.19
	오른쪽(V)	-51.27	30.29
4	왼쪽(H)	-61.82	27.10
	오른쪽(H)	-51.24	56.22

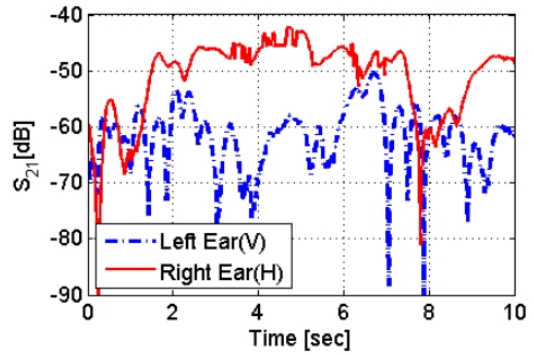
3-2 누웠다 일어나는 동작 상태일 때 Off-Body 채널 분석

인체가 움직이는 경우, 수신 안테나의 편파가 변하므로 수신하는 신호의 세기 및 채널 용량에 변화가 있는 것을 그림 6과 그림 7을 통해 확인할 수 있다. 또한, 표 3은 그 때의 수신 신호의 세기의 평균과 표준 편차를 나타내었다. 인체의 움직임의 영향으로 움직임에 따라 받는 수신 신호의 세기가 달라지므로 표 2의 표준편차와 비교할 때 값이 큰 것을 확인할 수 있다.

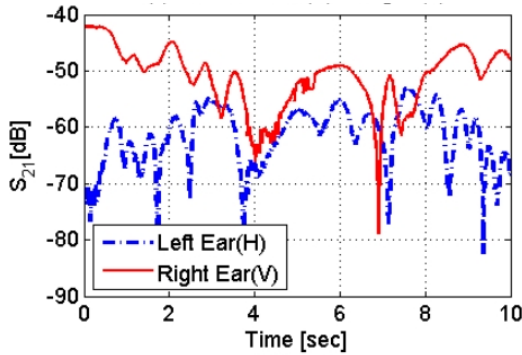
오른쪽에 부착된 수신 안테나의 경우, 송신 안테나와 LOS가 보장되는 상황이다. 그림 6의 조합 2와 3을 보면 3 초에서 8 초 사이에는 원래의 수신 안테나의 편파가 반대로 바뀌는 시간 대역으로 그 때 송신 안테나의 편파와 같은 편파를 갖는 조합 2와 4의 경우가 신호 세기가 큰 것을 확인할 수 있다. 반면에 그림 6의 조합 1과 조합 3을 볼 때 조합 1과 3의 경우, 동일한 시간대에 송신 안테나와의 편파가 반대이므로 수신 신호의 세기가 작은 것을 확인할 수 있다. 이와 반대로 왼쪽에 부착된 수신 안테나의 경우, 송신 안테나와 NLOS 상황이다. NLOS 상황에서는 편파의 변화에 따라 수신 신호의 세기가 변하기는 하지만, 그 변화가 LOS의 상황에 비하여 크지 않은 것을 알 수 있다. 결과적으로 안테나의 편파는 NLOS 상황보다 LOS 상황에서 크게 영향을 받는 것을 그림 6를 통해 확인할 수 있다.



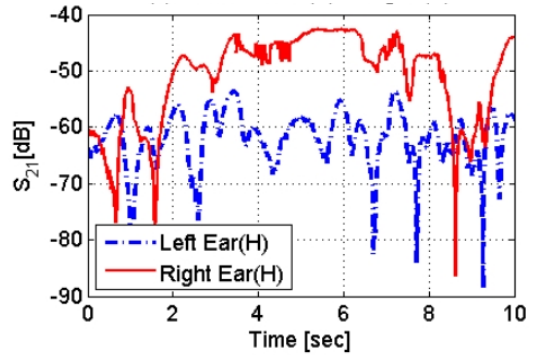
(a) Case 1: Left(V) + Right(V)



(b) Case 2: Left(V) + Right(H)



(c) Case 3: Left(H) + Right(V)



(d) Case 4: Left(H) + Right(H)

그림 6. 움직임을 고려한 각 조합별 시간에 따른 수신 신호 세기

Fig. 6. Received power for different combinations considering movement.

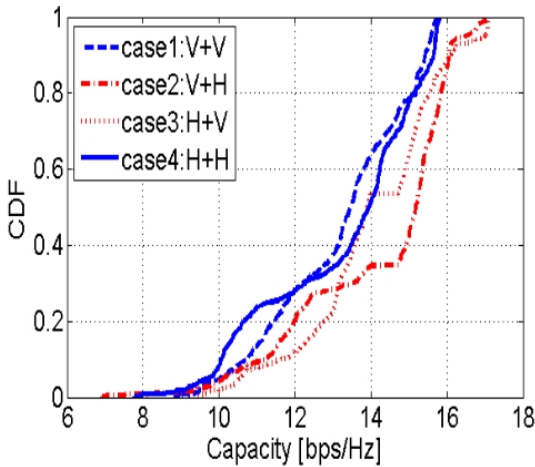


그림 7. 각 조합별 채널 용량(움직임 고려)

Fig. 7. Channel capacity for different combinations(considering movement).

움직임이 있는 경우에는 편파의 변화가 동일하게 변하는 단일 편파인 조합 1과 4의 경우보다 안테나

의 편파 변화가 서로 다른 복합 편파를 갖는 조합 2와 3의 경우가 더 좋은 성능을 갖는 것을 그림 7의 채널 용량을 통하여 확인할 수 있다. 그림 7의 전반적인 경향을 보면 복합 편파를 갖는 조합 2와 3의 경우가 단일 편파를 갖는 조합 1과 조합 4에 비하여 오른쪽에 있는 것을 확인할 수 있다.

결과적으로 앞의 두 실험을 통하여 WBAN은 단거리 통신이기 때문에 수신 신호의 크기가 인체의 움직임과 안테나의 편파의 조합에 따라 큰 영향을 받는다는 것을 확인할 수 있다. 따라서 인체의 움직임을 고려하여 안테나의 편파를 복합 편파를 사용함으로써 채널 용량을 높일 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 2.45 GHz 주파수 대역을 사용하는 [1×2] SIMO 시스템에서 수신 안테나의 편파 조합을 통하여 편파가 미치는 영향과 편파의 조합에 따른

성능을 분석하였다. 편파의 영향을 확인하기 위하여 실험 조합을 편파의 조합에 따라 구별하였고, 수신된 신호의 세기 및 채널 용량의 차이를 나타내었다. 인체의 움직임이 없는 경우에는 송신 안테나와 같은 편파를 갖는 경우의 성능이 좋음을 확인하였고, 인체의 움직임이 있는 경우에는 안테나 편파의 조합이 서로 다른 편파를 갖는 복합 편파의 경우가 서로 같은 편파를 갖는 단일 편파의 경우보다 좋은 성능을 갖는 것을 확인하였다. 또한, 안테나가 LOS 상황에서 NLOS 상황에서 보다 편파의 영향을 더 받는 것을 확인하였다. 본 논문의 실험 결과는 인체의 움직임이 있는 실제 상황에서 안테나의 편파 조합과 안테나의 위치가 근거리 WBAN off-body 채널 성능에 영향을 미치는 것을 검증하였다.

참 고 문 헌

- [1] K. S. Kwak, M. A. Ameen, D. Kwak, C. Lee, and H. Lee, "A study on proposed IEEE 802.15 WBAN MAC protocols", in *Proc. 9th Int. Conf. Commun. Info. Tech.*, pp. 834-840, 2009.
- [2] D. Raskovic, T. Martin, and E. Javanov, "Medical monitoring application for wearable computing", *The Computer Journal*, vol. 47, no. 4, pp. 495-504, Jul. 2004.
- [3] J. Choi, H. Kang, and Y. Choi, "A study on the wireless body area network applications and channel models", in *Proc. FGCN'08*, vol. 2, pp. 263-266, Dec. 2008.
- [4] M. Kim, J. Takada, "Statistical model of 4.5- GHz narrowband on-body propagation channel with specific actions", *IEEE Antennas Wireless Propagat. Lett.*, vol. 8, pp. 1250-1254, 2009.
- [5] E. Reusens, W. Joseph, B. Latre, B. Braem, G. Vermeeren, E. Tanghe, L. Martens, I. Moerman, and C. Blondia, "Characterization of on-body communication channel and energy efficient topology design for wireless body area networks", *IEEE Trans. Inf. Technol. Biomed.*, vol. 13, no. 6, pp. 933-945, Nov. 2009.
- [6] I. Khan, P. Hall, "Experimental evaluation of MIMO capacity and correlation for narrowband body-centric wireless channels", *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. 58, no. 1, pp. 195-202, Jan. 2010.
- [7] S. Han, S. Park, "Performance analysis of wireless body area network in indoor off-body communication", *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol. 57, no. 2, pp. 335-338, May 2011.
- [8] C. Ahn, B. Ahn, S. Kim, and J. Choi, "Experimental outage capacity analysis for off-body wireless body area network channel with transmit diversity", *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol. 58, no. 2, pp. 272-277, May 2012.
- [9] T. Aoyagi, M. Kim, J. Takada, K. Hamaguchi, and R. Kohno, "Numerical simulations for dynamic W-BAN propagation channel during various human movements", on *Symp. ISMICT'11*, pp. 65-69, Mar. 2011.
- [10] E. Biglier, R. Calderbank, A. Constantnides, A. Goldsmith, A. Paulraj, and H. V. Poor, *MIMO Wireless Communications.*, New York: Cambridge Univ. Press, 2007.
- [11] D. W. Bliss, K. W. Forsythe, A. O. Hero, and A. F. Yegulalp, "Environmental issues for MIMO capacity", *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 50, no. 9, pp. 2128-2142, Sep. 2002.
- [12] A. Paulraj, R. Nabar, and D. Gore, *Introduction to Space-Time Wireless Communications*, Cambridge University Press, New York, 2003.
- [13] K. Ghanem, I. Khan, P. Hall, and L. Hanzo, "MIMO stochastic model and capacity evaluation of on-body channels", *IEEE Trans. Antenna and Propagation*, vol. 60, no. 6, Jun. 2012.
- [14] H. Xu, M. J. Gans, N. Amitay, and R. A. Valenzuela, "Experimental verification of MTMR system capacity in controlled propagation environment", *Electron. Lett.*, vol. 37, no. 15, pp. 936-937, Jul. 2001.
- [15] G. J. Foschini, M. J. Gans, "On limits of wireless communications in a fading environment when using multiple antennas", *Wireless Personal Commun.*, vol. 6, pp. 311-335, Mar. 1998.

전 재 성



2012년 2월: 숭실대학교 정보통신
전자공학전공 (공학사)
2012년 3월~현재: 한양대학교 전자
컴퓨터통신공학과 석사과정
[주 관심분야] 인체 무선 통신, LTE

김 선 우



1999년: 한양대학교 전자전기공학
부 (공학사)
2002년: 미국 University of Califor-
nia, Santa Barbara 전기공학과
(공학석사)
2005년: 미국 University of Califor-
nia, Santa Barbara 전기공학과
(공학박사)
2005년 3월~현재: 한양대학교 융합전자공학부 조교수
[주 관심분야] Wireless Positioning System, 수중음향통신,
Global Positioning System, MIMO 레이더

안 병 직



2011년 2월: 한양대학교 미디어통신
공학전공 (공학사)
2011년 3월~현재: 한양대학교 전자
컴퓨터통신공학과 석사과정
[주 관심분야] 인체 무선 통신, LTE

최 재 훈



1980년: 한양대학교 전자공학과 (공
학사)
1986년: 미국 Ohio State University
전기공학과 (공학석사)
1989년: 미국 Ohio State University
전기공학과 (공학박사)
1989년~1989년: 미국 Arizona State
University 연구교수
1991년~1995년: 한국통신위성사업단 연구팀장
1995년~현재: 한양대학교 융합전자공학부 교수
[주 관심분야] 안테나 및 마이크로파 회로 설계, EMC