2.45 GHz On-Body 시스템에서 인체 내부 장기에 따른 채널 모델 특징 연구

Study of Channel Model Characterization of Human Internal Organ in On-Body System at 2.45 GHz

전 재 성 · 최 재 훈 · 김 선 우

Jaesung Jeon · Jaehoon Choi · Sunwoo Kim

요 약

본 논문에서는 WBAN(Wireless Body Area Network) On-body 시스템에서 표면 지향 안테나를 사용하여 인체 내부 기관에 의한 영향을 분석하였다. 인체 내부 기관의 영향을 확인하기 위하여 인체 상반신 모델과 실제 인체에 안테나를 부착하여 수신 신호의 세기를 측정하였다. 실험은 인체에 대한 고유 영향을 보기 위하여 무반향실에서 움직임 없이 수행하였고, VNA(Vector Network Analyzer)를 이용하여 수신 신호 세기를 측정하였다. 측정된 데이터를 이용하여 인체 모델과 상반신 모델의 수신 신호 세기를 비교하였고, 인체 내부 기관이 안테나 수신 신호 세기에 미치는 효과를 분석하였다.

Abstract

In this paper, WBAN(Wireless Body Area Network) On-body system using the surface-oriented antenna about the impact of human internal organs were analyzed through experiments. The received signal strength is measured for effect of human using the human model and the phantom of torso. Experiments are performed in anechoic chamber without moving and measured by Vector Network Analyzer. This paper confirms the effect of human body by comparing the human model and the phantom of torso. And also know the human internal organs effect on the antennas loss of received signal strength by measured data.

Key words: WBAN, On-Body System, Human Body, Received Signal Strength

I. 서 론

의료분야에서 많은 관심과 연구가 이루어지는 WBAN은 초기에 인체 외부 기기와의 통신 상황에 대한 고려로 Off-body 시스템이 주로 연구되었지만^{[1][2]}, 최근에는 표면 지향형 안테나를 사용한 인체 표면의 채널 분석 및 안테나 개발, 효율성 향상을 위한 안테나의 부착 위치

변화와 같이 On-body 시스템에 대한 관심이 높아지고, 많은 연구가 진행되고 있다^{[3][4]}.

특히 On-body 시스템은 인체 표면에서의 링크에 대한 분석을 위해 여러 위치에 수신 안테나를 부착하고, 부착 위치에 따른 채널에 대한 통계적 분석 및 인체 움직임에 따른 페이딩의 정도를 분석하는 방식 등이 주로 연구되고 있다^{[5]~[7]}. 또한, 추후에 많은 연구가 진행될 것으로 보

「본 연구는 2010년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No.2010-0017934).」

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

· Manuscript received August 23, 2013 ; Revised October 8, 2013 ; Accepted November 18, 2013. (ID No. 20130823-05S)

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

이는 In-body 시스템을 고려하여 On-body to In-body 형태의 링크 분석도 연구되고 있다. 이와 더불어 인체 내부에서 외부로의 링크에 대한 손실을 줄이고자 릴레이 기법을 사용하여 In-to-Off 링크의 손실을 줄이고, 전파나 전력이 인체에 미치는 영향을 최소화하기 위한 연구도 진행되고 있다^{[8]~[10]}.

하지만, 이러한 활발한 연구에도 불구하고, 실제 인체의 영향을 고려한 실험적 분석은 부족하다. 특히 인체의 내부 구조에 따른 영향이나 인체의 좌우 비대칭성을 고려한 실험은 이루어지지 않고 있다. On-body 시스템의 경우, 송신 안테나의 위치는 대부분 고정하여 연구를 수행하고, 수신 안테나의 위치만을 변화시켜 그에 따른 링크 분석이 대부분 지금까지 이루어졌다. 따라서 실제로 인체 내부의 영향을 고려한 실험 및 분석이 필요하다.

본 논문은 인체가 안테나의 수신 신호 세기에 미치는 영향 및 인체의 좌우 비대칭적 구조적인 특성에 대하여 확인하고자 On-body 표면 지향형 안테나를 이용하여 실험을 통해 분석하였다. 내부 신체 기관의 영향을 파악하기 위해 인체 상반신 모형(팬텀)을 사용하여 실제 인체와의 비교를 하였다. 측정은 똑 같은 실험 환경에서 진행하였다. 또한, 좌우 대칭적으로 수신 안테나를 부착하여 그에 따른 인체의 좌우 비대칭성에 대해 고려하였다.

II. 안테나 성능 및 실험 환경

On-body 시스템에서 신체 기관에 대한 영향을 확인하기 위해 다음 그림 1과 같은 측정 환경을 구성하였다. 실

그림 1. 안테나 부착 위치와 실험 세팅
Fig. 1. Position of antennas and experiment setup.

험에는 Rohde & Schwarz사의 ZVB20 벡터 네트워크 분석기(VNA)를 사용하여 Industrial Scientific and Medical (ISM) 2.45 GHz 대역에서 수신 신호의 세기를 측정하였다. 인체의 영향만을 고려하기 위하여 다중 경로 신호의 영향이 거의 없는 무반향실에서 실험을 진행하였으며, 인체의 움직임에 의한 페이딩을 최소화하기 위하여 움직임이 없이 가만히 앉아 있는 상태에서 수신 신호의 세기를 측정하였다. 송신 안테나의 부착 위치는 인체를 좌우 대칭적으로 나누기 위하여 정 가운데라고 볼 수 있는 배꼽에 위치시켰으며, 수신 안테나의 경우 각 포인트에 위치시켜 총 12개의 세팅을 설정하였다. 실험에 사용한 표면 지향형 안테나는 송수신 안테나 모두 ISM 대역(2.45 GHz)에서 안정적으로 동작하는 표면 지향형 안테나로서, 안테

(a) 전면도
(a) Front view

(c) S_{11} 파라미터
(b) Measured S_{11} parameter

그림 2. 안테나의 구조 및 측정된 S_{11} 파라미터

Fig. 2. Antennas layout and measured S_{11} parameter.

(a) 입력 임피던스
(a) Input impedance - reactance

(b) 방사 패턴
(b) Radiation pattern xy-plane

그림 3. 임피던스 특성 및 방사 패턴

Fig. 3. Characteristic of input impedance and radiation pattern.

나의 구조와 측정된 S_{11} 의 값은 그림 2를 통해 확인할 수 있다. 그림 3은 안테나가 팬텀 위에 있을 때 입력 임피던스 특성 및 방사 패턴을 나타낸 것이다. 입력 임피던스 특성의 경우, ISM 대역에서 이중 공진을 통해 10 dB-임피던스 대역폭을 만족하며, 방사 패턴의 경우 모의 실험과 측정을 통한 결과 실험에 사용된 안테나는 모노폴과 같은 방사 패턴을 갖는다^[11].

실험은 각 포인트(1부터 12)에서 움직임이 없으므로 1 초씩 측정하였으며, 매 측정 시에 샘플링 포인트는 1,601 개로 모두 동일하게 하였다. 모든 실험에 대하여 신뢰도

를 높이기 위하여 10번씩 반복 측정하여 데이터를 수집하였다. 피 실험자는 20대 중반 남자로서, 키는 175 cm이며, 무게는 68 kg으로 인체의 기관에 대한 영향을 확인하기 위해 움직임 없이 앉은 상태로 수신 안테나의 위치를 변화시키면서 측정을 수행하였다. 모든 실험 과정에서 피 실험자는 최대한 움직임이 없는 고정 상태로 실험을 수행하였으며, 호흡에 의한 영향을 배제하기 위하여 숨은 내신 후에 측정을 하였다. 또한, 수신 안테나의 부착 위치를 양끝에도 부착하여 좌우의 비교도 같이 할 수 있도록 실험을 하여 분석하였다. 인체 상반신 모형의 경우, 움직임이 고정되어 있고, 피 실험자의 실험 환경과 똑 같은 환경을 유지하기 위하여 피 실험자의 실험에서 사용한 의자를 사용하여 상반신 모형을 고정하였으며, 팔의 위치 또한 피 실험자와 같은 상태로 놓았다.

III. On-body 시스템 채널 특성 분석

본 장에서는 구성한 실험에 대하여 수신 안테나의 위치 변화에 따른 수신 신호 세기의 분석을 하였다. 그리고 측정한 수신 신호 세기를 근거로 인체와 상반신 모형을 비교하여 인체 내부 기관에 영향에 대하여 추정하였다.

3-1 상반신 모형의 수신 신호 세기 특성

상반신 모형의 경우, 만들어진 몸 속 안의 매질이 전체적으로 같다^[12]. 그러므로 인체 내부 기관에 대한 영향 없이 송신 안테나와 수신 안테나 사이의 거리에 따른 수신 신호 세기 감쇠, 안테나의 성능에 따른 수신 신호 세기의 차이를 확인할 수 있다.

그림 3은 각 수신 안테나의 위치에 따른 수신 신호 세기를 나타낸 것이다. 그림 4의 1번부터 4번의 각 위치는 가슴 위쪽이다. 1번과 4번, 2번과 3번을 통해서 수신 안테나의 위치가 상반신 모형을 좌우로 나누었을 경우, 왼쪽에 해당하는 4번과 3번의 위치에서 수신 신호 세기가 더 큰 것을 확인할 수 있다. 1번과 2번 그리고 3번과 4번을 통해서 거리에 대한 수신 신호 세기의 감쇠 정도를 확인하였다. 1번과 2번은 각각 수신 신호 세기의 평균이 -23.4132 dBm, -19.4601 dBm으로 그 차이는 약 4 dBm이다. 3번과 4번의 경우는 -17.7742 dBm, -20.4291 dBm으로 거리에 따른 감쇠 정도가 약 3 dBm으로 거리에 대

표 1. 수신 신호 세기의 평균과 분산(상반신 모형)

Table 1. Average and variance of received signal power(upper body model).

안테나 위치	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
평균 [dBm]	-23.4132	-19.4601	-17.7742	-20.4291	-15.7197	-11.8623	-10.8182	-11.9416	-12.2785	-10.2153	-9.4353	-11.1319
분산 [dBm]	0.0003	0.0101	0.0066	0.0005	0.0072	0.0052	0.0052	0.0050	0.0057	0.0033	0.0030	0.0044

그림 4. 각 수신 안테나의 위치에서 수신 신호 세기(상반신 모형)

Fig. 4. Received signal power in each position of received antennas(upper body model).

한 감쇄 정도가 비슷한 것을 표 1로 확인할 수 있다. 나머지 다른 위치의 경우에서도 1번에서 4번의 위치에서 보여준 결과와 유사함을 그림 2와 표 1을 통해서 확인하였다. 인체의 영향이 없고, 동일한 매질을 갖는 상황에서 실험을 통해 안테나의 성능으로 인하여 왼쪽이 많게는 약 3 dBm, 적게는 약 1 dBm 수신 신호 세기가 강한 것을 확인하였다. 또한, 다른 영향이 없는 상태에서 거리에 따른 감쇄 정도는 평균적으로 약 3 dBm이다.

3-2 인체의 수신 신호 세기 특성

표 2. 인체 기관별 전도도 및 유전율^[18]Table 2. Properties of body tissues^[18].

기관 이름	전도도 [S/m]	유전율
피	2.5448	58.264
신장	2.4295	52.742
간	1.6864	43.035
근육	1.7388	52.729
위	2.2105	62.158
심장	2.2561	54.814
대장	2.0383	53.879

내부 신체 기관의 영향을 알아보기 위하여 움직임이 없는 앉은 자세로 실험을 진행하였다. 인체는 내부 매질이나 표 2와 같이 유전율, 전도도가 모든 기관에 따라 다르기 때문에, 인체의 각 기관 별 전파 흡수량이 다르다^{[13][14]}. 유전율과 전도도 이외에도 전파 흡수율에 영향을 주는 여러 요소가 존재한다^{[15]~[17]}. 그 중에서 주파수는 2.45 GHz로 고정하여 주파수의 영향은 배제하고, 유전율과 전도도가 다른 내부 기관이 안테나 수신 신호 세기에 미치는 영향을 통해 확인하였다.

표 3은 각 위치에서의 수신 신호 세기의 평균과 분산을 나타내며, 그림 5는 각 수신 안테나의 위치에 따른 수신 신호 세기를 비교한 것이다. 그림 5의 1번부터 4번까지를 보면 1번과 4번을 통해 왼쪽의 수신 신호 세기가 더 크다는 것을 알 수 있다. 이를 통해서 왼쪽의 수신 신호 세기가 더 크다고 가정하면 2번과 3번에서는 그 가정과 다르다. 이것은 3번의 위치에 심장이 존재하기 때문에, 3번에 위치한 수신 안테나의 수신 신호 세기가 감쇄되었다고 추정이 가능하다. 또한, 5번과 8번을 통해서 왼쪽의 수신 신호 세기가 더 큰 것을 확인하였고, 이를 통하여 7번에 위치한 수신 안테나의 수신 신호 세기가 6번보다 커야 하지만, 7번의 위치에 있는 위의 전파 흡수에 의하여 수신

표 3. 수신 신호 세기의 평균과 분산(인체)

Table 3. Average and variance of received signal power(human).

안테나 위치	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
평균 [dBm]	-35.6229	-33.0529	-33.7802	-31.1083	-27.9332	-25.3320	-34.9265	-24.5942	-22.8915	-21.2750	-20.5815	-21.5103
분산 [dBm]	0.0022	0.0020	0.0167	0.0013	0.0013	0.0008	0.0069	0.0004	0.0095	0.0071	0.0065	0.0069

그림 5. 각 수신 안테나의 위치에서 수신 신호 세기(인체)
Fig. 5. Received signal power in each position of received antennas(human model).

신호 세기를 감쇄시킨다고 추정한다. 따라서 7번에 위치한 수신 신호 세기가 상대적으로 많이 약한 것을 확인하였다. 그림 5의 9번에서 있어서 12번에서는 인체 기관(장)이 대칭적으로 존재하기 때문에 거리에 따른 수신 신호 세기의 손실만 존재한다. 따라서 수신 안테나에서 배꼽에 위치한 송신 안테나로부터 그림 5와 같은 형태로 수신 신호 세기를 받는다.

또한 내부 장기의 영향은 경로 손실보다 더 큰 영향을 주는 것을 그림 5를 통해 알 수 있다. 송신 안테나의 위치가 가운데에 있다는 점을 생각하면 2, 3, 6, 7번의 위치의 수신 신호의 세기가 1, 4, 5, 8번에 비하여 커야 하지만,

그렇지 않고 오히려 7번(위)의 경우, 수신 신호 세기가 -34.9265 dBm으로 5번의 수신 신호 세기 -27.9332 dBm 보다 작은 것을 알 수 있다.

3-3 인체와 상반신 모델의 수신 신호 세기 특성 비교

각 안테나의 위치 별 수신 신호 세기의 평균값을 인체의 경우와 상반신 모델의 경우에 대해 비교하였다. 그림 6은 각 모델별 수신 신호 세기의 평균을 표준화하여 나타낸 것이다. 모든 지점에서 인체 내부 기관이 존재하지 않는 상반신 모델의 경우, 인체 모델에 비하여 수신 신호 세기가 약 10 dBm 정도 큰 것을 알 수 있다. 특히 7번(위)의 경우, 상반신 모델의 수신 신호 세기가 인체 모델의 수신 신호 세기에 비하여 약 24 dBm 정도 큰 것을 실험 결과를 통해 확인하였다(표 1, 3 참고). 전반적으로 인체 모델과 상반신 모델 두 경우 모두 12번 지점으로 갈수록 송신 안테나와의 거리가 가까워지기 때문에 평균 수신 신호 세기 값이 커진다. 거리에 따른 수신 신호 세기의 감쇄 정도를 예상할 수 있으며, 인체 모델과 상반신 모델 두 경우, 모두 송신 안테나와의 거리가 가장 멀리 있으면서 오른쪽에 위치한 1번의 경우 가장 작은 평균 수신 신호 세기를 보이며, 송신 안테나와의 거리가 가장 가까운 거리에 있으면서 왼쪽에 존재하는 11번의 경우 가장 큰 평균 수신 신호 세기를 갖는다.

1번에서 4번의 경우, 신체 기관이 없고 모든 부위의 매질이 동일한 상반신 모델의 경우, 거리에 따른 감쇄만 존재하여 3번 지점에서 가장 큰 수신 신호 세기를 갖는 반면에, 인체 모델의 경우 심장이 위치한 3번 지점에서 수신 신호 세기가 상대적으로 약하다. 5번에서 8번의 경우, 상반신 모델에서는 앞선 1번에서 4번의 수신 신호 세기 형태와 유사한 형태(7번에서 가장 큰 수신 신호 세기)를 갖는 것을 그림 6을 통해 확인할 수 있다. 하지만 인체 모델의 7번 지점은 신체 기관(위)의 영향을 많이 받아 수신

그림 6. 각 지점별 인체와 상반신 모델 수신 신호 세기 비교
Fig. 6. Comparison of human model and phantom model for each position of Rx antennas.

신호 세기가 많이 감쇄된 것으로 나타난다. 반면에 9번에서 12번의 경우에는 신체 기관 소장과 대장이 전체적으로 있기 때문에 수신 신호 세기 형태가 상반신 모델과 인체 모델 모두 유사한 형태를 갖는 것으로 확인된다. 인체의 경우, 송신 안테나와의 거리에 의한 신호 세기 감쇄보다 인체의 구조적 특징에 의한 신호 세기 감쇄가 안테나의 수신 신호 세기에 큰 영향을 미치는 것을 본 실험 결과를 통해 알 수 있다. 또한, 상반신 모델과 인체 모델 비교 실험을 통해 인체가 안테나의 수신 신호 세기에 미치는 감쇄 정도를 확인하였다.

IV. 결 론

본 논문에서는 On-body 시스템에서 표면 지향 안테나

를 사용하여 인체의 비대칭적 구조 및 특성이 안테나의 수신 신호 세기에 미치는 영향에 대하여 분석하였다. 인체의 전파 흡수로 인해 인체 모델의 안테나 수신 신호 세기가 상반신 모델과 비교하여 평균적으로 약 10 dBm 정도 작은 것으로 나타났다. 특히 심장과 위가 있는 곳에서 상반신 모델과 인체 모델의 수신 신호 세기가 큰 차이를 보였다. 이를 통해 인체의 구조적 특징이 안테나의 수신 신호 세기에 미치는 영향을 확인하였다. 향후 실험에서 인체의 구조적 특성을 파악하고 이에 따라 안테나의 성능에 미치는 영향을 고려한 설계가 필요하며 신체 기관의 내부 매질이나 전도도, 유전율과 같은 특성에 대해 파악하여야겠다. 또한, 다양한 인체 모델을 이용한 실험과 더불어 인체 모델 시뮬레이션을 통한 각 기관별 차이가 안테나에 미치는 영향에 대한 파악이 필요하다.

References

- [1] 전재성, 안병직, 김선우, 최재훈, "WBAN Off-Body 채널에서 안테나 편파의 영향 분석", 한국전자과학회논문지, 24(2), pp. 144-151, 2013년 2월.
- [2] 안병직, 송성무, 김선우, 최재훈, "WBAN 채널 특성과 전송 효율 분석", 한국전자과학회논문지, 23(8), pp. 985-994, 2012년 8월.
- [3] M. O. Munoz, R. Foster, and Y. Hao, "On-body channel measurement using wireless sensors", *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, vol. 60, no. 7, Jul. 2013.
- [4] A. Michalopoulou, A. Alexandridis, K. Peppas, T. Zervos, F. Lazarakis, K. Dangakis, and D. I. Kaklamani, "Statistical analysis for on-body spatial diversity communications at 2.45 GHz", *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, vol. 60, no. 8, Aug. 2012.
- [5] Z. H. Hu, Y. I. Nechayev, P. S. Hall, C. C. Constantinou, and Y. Hao, "Measurement and statistical analysis of on-body channel fading at 2.45 GHz", *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 6, pp. 612-615, 2007.
- [6] K. Li, K. Honda, and K. Ogawa, "Shadowing fading BER characterization of BAN antennas based on realistic walking models", in *Proc. 7th Intl. Symp. on Med. Info.*

and Comm. Tech.(ISMICT), 2013.

- [7] K. Minseok, J. Takada, "Experimental investigation and modeling of shadow fading by human movement on body surface propagation channel", *IEEE AP-S Intl. Symp.*, Jun. 2009.
- [8] X. Huang, H. Shan, and X. Shen, "On energy efficiency of cooperative communications in wireless body area networks", in *Proc. IEEE WCNC*. 2011.
- [9] S. Hara, D. Anzai, K. Yanagihara, K. Takizawa, and K. Hamaguchi, "A cooperative transmission scheme for real-time data gathering in a wireless body area network", *IEEE 22nd Intl. Symp. on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, 2011.
- [10] K. Wangchuk, M. Kim, and J. Takada, "Cooperator selection in 2.4 GHz on-body wireless body area network", in *Proc. 7th Intl. Symp. on Med. Info. and Comm. Tech.(ISMICT)*, 2013.
- [11] J. Tak, J. Choi, "Circular-ring patch antenna with higher order mode for on-body communications", *Microwave and Optical Technology Letters(MOTL)*, unpublished.
- [12] [Online], Available: <http://www.speag.com/products/em-phantom/whole-body/posable-phantom-popeye/>
- [13] Q. Yu, O. P. Gandhi, M. Aronsson, and D. Wu, "An

automated SAR measurement system for compliance testing of personal wireless devices", *IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility*, vol. 41, no. 3, pp. 234-245, Aug. 1999.

- [14] P. Gajsek, W. D. Hurt, J. M. Ziriaux, and P. A. Mason, "Parametrci dependence of SAR on permittivity values in a man model", *IEEE Trans. on Biomedical Engineering*, vol. 48, no. 10, pp. 1169-1177, Oct. 2001.
- [15] X. Liu, H. J. Chen, Y. Alfadhil, X. Chen, C. Parini, and D. Wen, "Conductivity and frequency dependent specific absorption rate", *Journal of Applied Physics*, vol. 113, pp. 074902-074910, Feb. 2013.
- [16] G. Kang, O. P. Gandhi, "Effect of dielectric properties on the peak 1- and 10-g SAR for 802.11 a/b/g frequencies 2.45 and 5.15 to 5.85 GHz", *IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility*, vol. 46, no. 2, pp. 268-274, May 2004.
- [17] W. D. Hurt, J. M. Ziriaux, and P. A. Mason, "Variability in EMF permittivity values: Implications for SAR calculations", *IEEE Trans. on Biomedical Engineering*, vol. 47, no. 3, pp. 396-401, Mar. 2000.
- [18] IFAC, [Online], Available: <http://niremif.ifac.cnr.it>

전 재 성

2012년 2월: 숭실대학교 정보통신전자공학전공 (공학사)
 2012년 3월~현재: 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 석사과정
 [주 관심분야] 인체 무선 통신, LTE

최 재 훈

1980년: 한양대학교 전자공학과 (공학사)
 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

김 선 우

1999년: 한양대학교 전자전기공학부 (공학사)

2002년: 미국 University of California, Santa Barbara 전기공학과 (공학석사)

2005년: 미국 University of California, Santa Barbara 전기공학과 (공학박사)

2005년 3월~현재: 한양대학교 융합전자

공학부 조교수

[주 관심분야] Wireless Positioning System, 수중음향통신, Global Positioning System, MIMO 레이더