

인체 통신을 위한 5 MHz 대역 전자기파의
체내 신호 진폭 특성 분석

김 승 민 · 고 정 길

아주대학교 컴퓨터공학과

I. 서 론

최근 수년 간 웨어러블 디바이스들의 출시와 함께 Wireless Body Area Network(WBAN)에 대한 관심이 대두되고 있다. WBAN은 IEEE 802.15.6 표준^[1]에서 정의하며, 기존의 무선통신의 응용 이외에도 인체 통신 기반의 네트워크 형성도 고려되고 있다. 인체 통신은 사람의 신체가 전도체인 점을 이용하여 기존 통신과 다르게 공기나 전선을 매질로 하지 않고, 사람의 신체를 매질로 데이터를 송·수신하는 통신 기술이다. 신체를 매질로 사용하는 통신은 공기 중 전파에 비해 노이즈, 감쇠 등에 강하고, WBAN에서 신체 자체가 장애물이 되는 것을 방지할 수 있는 큰 장점을 가지고 있다. 하지만, 매질로 사용되는 인체는 그 성질이 모두 다르기 때문에, 통신 시 전자기파의 신호 패턴 또한 달라지며, Quality of Service(QoS)를 만족하기 위한 신체 특성에 따른 파라미터의 재정의가 필요하다. 기존 인체 통신 관련 연구에서 신체 부위별 혹은 체성분별 임피던스를 분석하거나, 주파수 대역별 신호 감쇠^[2] 특성을 분석한 연구들이 있었지만, 피부의 전기적 저항 특성을 나타내는 피부전기전도도(EDA), 체성분, 통신 기기간 거리 등을 고려한 연구는 미흡하였다.

이에 본 논문에서는 인체 통신 시 5 MHz 대역^[3]에서 QoS를 보장하기 위해 Capacitive coupling의 거리, 체성분, 피부전기전도도에 따른 신호 패턴을 분석한다. 10명의 피시험자를 대상으로 진행한 본 연구에서는 송·수신 노드를 인체의 각기 다른 위치에 설치하여 서로 다른 위치에서 보이는 신호의 특성을 분석한다.

II. 인체 통신

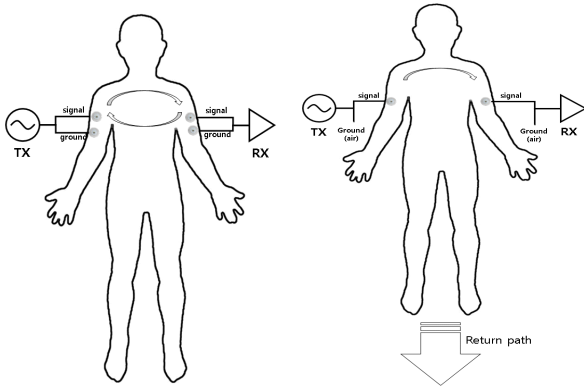
2-1 인체 통신 모델

인체 통신은 둘 이상의 송·수신기 단말이 피부 부착형 전극 등을 통해 인체 내에 직접 전자기파를 방출하며, 피부, 근육, 뼈 등 인체의 각 조직을 매질로 사용하는 상호 통신이 이뤄진다. 이때, 방출되는 전자기파의 주파수 대역마다 전자기파 에너지의 체내 흡수 혹은 체외 방출되는 양이 달라질 수 있으며, 전자기파가 여러 조직을 필연적으로 통과하기 때문에, 전극의 위치마다 채널 특성이 달라질 수 있다. 또한, 전극의 부착 방식에 따라 회로의 결합 방식이 달라지는데, 크게 Capacitive coupling, Galvanic coupling 두 가지 방식으로 나뉜다. 첫째로, Galvanic coupling은 두 송·수신기 간 Ground 전극을 신체에 붙여 신체를 하나의 전선처럼 사용한다. 두 번째로, Capacitive coupling 방식은 두 송·수신기 간 Ground 전극을 신체에 붙이지 않고 floating시켜 신체에 전자기장이 생기도록 유도하고, 전자기파는 Earth ground를 통해 방출된다. Galvanic coupling은 외부 간섭에 강한 특징을 가지지만, 전송 속도에 제한이 있고, Capacitive coupling은 속도가 빠른 반면, 외부 간섭에 영향을 많이 받는다. 인체 통신에서의 두 가지 coupling 모델은 [그림 1]과 같다. 좌측이 Galvanic coupling이며, 우측이 Capacitive coupling이다.

2-2 인체 통신 시 전자기파의 특성

인체통신 시 전자기파는 신체의 여러 요소에 따라서 동일한 사람일지라도 매질로 하는 각 조직마다 다른 감쇠 특성을 가진다. 크게 피부, 근육, 뼈의 각기 다른 밀도와 이온농도 등의 영향으로 인하여 임피던스의 값이 다르다. 또한, 사람마다 신체 조직의 이온 농도, 각 조직의 총합 무게 등이 각각 다르므로, 전극 간 거리 혹은 위치 등으로 채널 모델을 간단히 정리하기 어렵다. 피부의 전기전도도를 나타내는 피부전기전도도(EDA) 또한 땀샘의 분비 활동에 의해 실시간으로 변화하므로, 피부전기전도도의 수치에 따라 감쇠 특성

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소가 지원하는 미래전투체계 네트워크기술 특화연구센터 사업의 일환으로 수행되었습니다(UD160070BD).



[그림 1] 인체통신 coupling 모델

이 달라질 가능성이 존재한다.

송·수신 신호의 파형의 차이를 보기 위하여 피 실험자의 몸에 전극을 붙여 실험을 진행하였다. 송신 신호의 주파수는 5 MHz로 설정하였으며, 회로의 결합 방식은 Capacitive coupling 방식으로 진행하였다. Floating Ground로 인한 Ground 차이는 수신측 전극에 Transformer를 연결하여 제거하였다. 생성된 송신 신호와 수신 신호 파형의 차이는 [그림 2]와 같다. 위의 사진은 입력 신호이고, 아래의 사진은 양팔의 상완이두근 부위에 전극 부착 후의 파형이다. 진폭 특성을 알아보기 위하여, 출력 시 전압 레벨의 이득을 계산하였다. 이득 계산법은 식 (1)과 같다.

$$Gain = 20 \log \left(\frac{V_{in}}{V_{out}} \right) \quad (1)$$

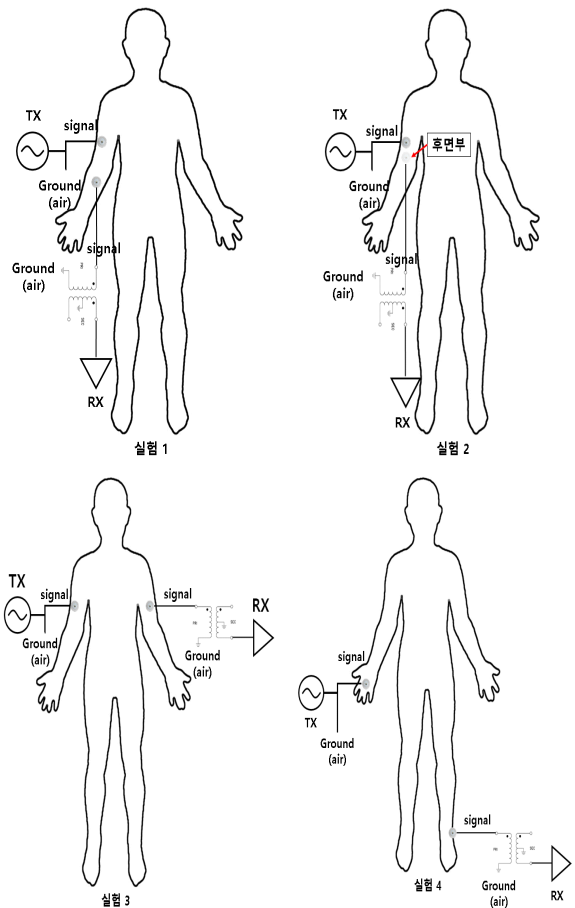
Ⅲ. 실험 결과 및 분석

3-1 실험 환경

신체 요소 별 신호 감쇠 특성 분석을 위하여 10명의 실험 참가자를 모집했다. 모두 성인 남성이며, 실험 환경은 [그림 3]과 같다. 송신 신호의 생성은 Raspberry Pi 3을 이용하여 GPIO pin의 전압 레벨 변경으로 만들었으며, 신호의 중심 주파수는 5 MHz로 설정했다. 해당 주파수는 참고문헌 [3]을 참고하여 설정하였다. 총 4부위에 전극을 붙여 실험을 진행했으며, 부착한 송·수신 전극의 위치는 다음과 같다. 1) 좌상완이두근 및 좌전완근, 2) 좌상완이두근의 위측 및 아래



[그림 2] 입력, 출력 신호 비교



[그림 3] 실험 환경

<표 1> 실험참가자 신체 정보

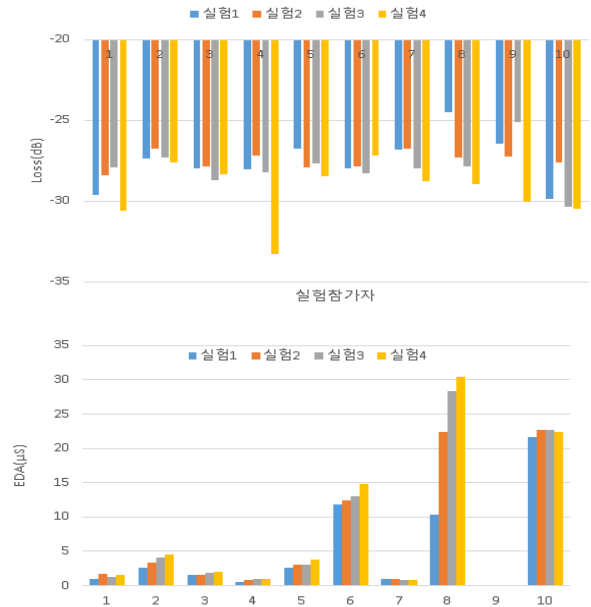
시험자	키 (cm)	몸무게 (kg)	BMI	수분량 (kg)	무기질량 (kg)	단백질량 (kg)
1	174	96.7	31.9	46.6	4.45	12.7
2	178	82.9	26.2	42.7	4.11	11.8
3	174	75.3	24.9	41.3	3.86	11.1
4	179	76.0	23.7	42.9	4.03	11.6
5	176	69.6	22.5	42.2	3.97	11.3
6	176	122.9	39.7	51.9	4.82	14.1
7	169	69.2	24.2	37.4	3.41	10.1
8	180	81.3	25.0	44.5	4.32	12.0
9	170	62.0	21.5	35.3	3.25	9.4
10	180	97.5	30.1	48.0	4.68	13.1

<표 2> 실험참가자 전극 간 거리 정보

시험자	거리 1(cm)	거리 2(cm)	거리 3(cm)	거리 4(cm)
1	20	11	72	184
2	19	11	67	181
3	14	9	70	189
4	14	9	78	198
5	15	9	70	187
6	15	11	77	191
7	14	9	68	191
8	12	9	75	192
9	12	8	68	189
10	14	11	78	204

측, 3) 좌상완이두근 및 우상완이두근, 4) 좌측 손등 및 우측 복사뼈 상단이며, 부착된 전극의 위치는 각 실험번호와 매핑된다. [그림 3]은 실험 3의 전극 배치를 나타낸다.

각 실험참가자의 부위별 전극 간 거리 값은 <표 1>과 같다. 전극 간 거리는 모두 직선 거리를 측정하였으며, 각 위치별 거리는 <표 2>와 같고, 거리의 단위는 cm이다. 선행 실험과 같이 Ground의 차이를 제거하기 위해 MABA-011040 transformer가 연결된 수신 전극을 오실로스코프에 연결하였다. 이와 더불어 EDA 데이터 수집을 위해, Empatica 사의 Empatica E4 wristband를 팔목에 차고 실험을 진행하였으며,

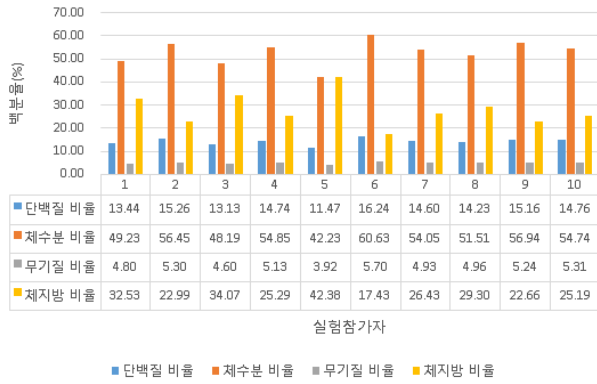


[그림 4] 감쇠 정도 및 피부전도도(EDA) 실험결과

피시험자 개개인의 체성분 분석을 별도의 기기를 통해 진행하였다.

3-2 실험 결과

실험참가자의 경로 손실 및 EDA는 [그림 4]와 같다. 감쇠 값을 위해 저장된 파형의 V_{rms} (Root Mean Square Voltage) 전압의 감쇠 정도를 계산했으며, EDA 값은 실험 파형을 저장한 시점을 기준으로 직전 및 직후 데이터의 평균값으로 계산하였다. 실험 결과, EDA 값은 사람마다 큰 차이를 보인 반면, 전압 레벨 감쇠의 정도는 그 차이가 아주 미미하여 EDA 값과 신호 진폭 특성과는 관련이 적은 것으로 판단된다. 예를 들어, 참가자 10의 EDA는 총 실험참가자 중 두 번째로 높지만 가장 높은 감쇠 결과를 보였으며, 참가자 9는 가장 낮은 EDA를 보인 반면, 감쇠는 두 번째로 낮게 나왔다. 이는 Capacitive coupling의 특징으로 return path가 체외로 방출되는 형태를 지니기 때문인 것으로 보인다. 각 실험별 신호 감쇠의 평균은 다음과 같다. 실험 1) -27.5 dB, 실험 2) -27.4 dB, 실험 3) -27.9 dB, 실험 4) -29.4 dB. 또한, 실험별 표준편차는 제일 가까운 거리에서 0.28, 먼 거리의 실험에서 3.2를 보였다. 이에, 진폭의 감쇠는 거리와 비례하



[그림 5] 실험참가자 체성분 비율

가 증가하는 것으로 보이며, 편차 또한 커지는 경향성을 보인다.

이런 경향성을 바탕으로 봤을 때 인체 통신 모듈 제작 시 통신 거리에 따른 신호 감쇠 및 그 편차를 고려하여 제작할 필요가 있음을 확인할 수 있다. 또한, 참가자들의 체성분 수치와 감쇠 특성 부분에서도 일관되지 않은 결과가 나타났다. 체성분별 임피던스는 뼈, 지방, 피부, 근육, 혈관 순으로 높지만^[2], 실험참가자의 무기질량, 체지방량, 체수분량, 단백질량의 몸무게 대비 비율과 신호 경로 손실 간의 상관도가 매우 낮은 것으로 보인다. 실험 참가자의 체성분 비율은 [그림 5]와 같으며, 각 실험참가자의 체성분 비율이 평균 감쇠 비율과 관련이 없이 분포되어 있는 것을 볼 수 있다. 체성분의 질량 또한 크게 연관성이 없어 보이는데, 몸무게 122.9 kg인 참가자 6의 신호 감쇠 수치가 몸무게 90 kg대인 참가자 1, 9의 신호 감쇠 수치보다 낮은 점을 들 수 있다. 해당

≡ 필자소개 ≡

김 승 민



2016년 2월: 아주대학교 정보컴퓨터공학과 (공학사)

2016년~현재: 아주대학교 컴퓨터공학과 석사과정

[주 관심분야] RF-based Localization, Intra-body Communication

고 정 길



2007년 2월: 고려대학교 컴퓨터학과 (공학사)

2012년 5월: Johns Hopkins University 컴퓨터과 학과 (공학박사)

2012년 6월~2015년 8월: 한국전자통신연구원 선임연구원

2015년 8월~현재: 아주대학교 소프트웨어학과 조교수

[주 관심분야] 모바일 컴퓨팅, 임베디드 시스템

결과로, 사람 고유의 체성분 비율보다 전극의 부착 위치에 따른 신체 구성요소의 임피던스 차이, 또는 신체 부위별 부피, 질량, 신체 부위의 털의 양 등의 눈에 보이는 몸의 구성 요소들이 연관성이 높은 것으로 판단된다.

IV. 결 론

본 논문에서는 인체 통신을 위한 5 MHz 대역 전자기파의 체내 신호 감쇠 특성 분석을 수행하였다. 체내 신호 감쇠 특성은 부착한 전극 위치에 따라 전극 간 거리와의 연관성을 보인다. 피부전도도 및 체성분 수치와의 연관성은 낮은 것으로 보이고, 이는 Galvanic coupling 시 달라질 수 있는 것으로 보인다. 추정된 신호 감쇠 특성은 추후 신체의 움직임에 따른 분석, 체내 데이터 통신 실측, 통신 상태에 영향을 주는 또 다른 요소 식별 등의 연구에 도움이 될 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] 802.15.6-2012 - IEEE Standard for local and metropolitan area networks - Part 15.6: Wireless Body Area Networks.
- [2] K. Y. Yazdandoost, R. Kohno, "Wireless communications for body implanted medical device", *2007 Asia-Pacific Microwave Conference*, 2007.
- [3] K. Hachisuka, A. Nakata, T. Takeda, K. Shiba, K. Sasaki, H. Hosaka, and K. Itao, "Development of wearable intra-body communication devices", *Sensors and Actuators A: Physical*, vol. 105, no. 1, pp. 109-115, 2003.