

## WBAN 채널 특성과 전송 효율 분석

# Channel Characterization and Transmission Efficiency Analysis of Wireless Body Area Network

안병직 · 송성무\* · 김선우\* · 최재훈\*

Byoungjik Ahn · Seongmoo Song\* · Sunwoo Kim\* · Jaehoon Choi\*

### 요약

본 논문에서는 wireless body area network(WBAN) 채널을 분석하기 위해 실제 채널을 측정하고, 그것의 통계적 특성들을 조사하였다. On-/off-body 채널에서, 인체의 움직임을 고려하기 위해 대표적인 움직임들을 같이 측정하여 그 분석 결과들을 비교하였다. 또한, 세 종류의 신호 전송 기법을 제한된 Outage 확률을 가질 때 최소 소비 전력을 분석하여, 이론적인 총 전력 소비를 계산하였다. 그리고 채널 측정 데이터를 통해 이론과 실제의 차이를 분석하였다. 본 논문의 결과로 협력 통신을 통하여 전송 효율을 높일 수 있음을 알 수 있으며, 센서 노드의 부착 위치와 움직임이 신호 전송 전력에 어떠한 영향을 미치는지 확인할 수 있다.

### Abstract

This paper presents the real channel measurements and investigates their statistical characterization in wireless body area network(WBAN). In on-/off body channel, the measurements are performed with some representative human movements for considering human movements. Moreover, three signal transmission schemes with outage constraint are studied for getting total power consumption in each transmission scheme. Using the real channel measurements, between theoretical and realistic simulation are compared. This paper shows that power efficiency is improved through cooperative communication, and how much position of sensor node and human movement affect signal transmission power.

Key words : Wireless Body Area Network, Power Consumption, Cooperative Transmission, Channel Characterization

## I. 서론

최근, wireless body area network(WBAN)은 무선 통신 연구자들 사이에서 많은 관심을 받고 있다<sup>[1]</sup>. WBAN은 인체로부터 1에서 3미터 사이의 근거리, 저전력, 고신뢰성 무선 네트워크로 정의된다<sup>[1]</sup>. WBAN은 지금의 헬스-케어 서비스를 개선함과 동시

에 증가하는 비용을 획기적으로 감소시킬 수 있다. 이에 대해서는 IEEE 802.15.6 Task Group에서 논의 중에 있다.

인체 표면 또는 내/외부에 부착하는 센서 노드는 소비할 수 있는 에너지가 매우 적기 때문에 에너지 소비를 최소화하는 것이 WBAN 시스템에서 매우 중요한 이슈이다. 게다가 전송 파워를 줄이는 것은 인

「이 연구는 한국연구재단의 지원으로 연구되었음(No.2012-0003885, No.2012-0005655).」

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

\*한양대학교 융합전자공학부(Department of Electronic Engineering, Hanyang University)

· Manuscript received April 23, 2012 ; Revised May 29, 2012 ; Accepted June 26, 2012. (ID No. 20120423-049)

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

체에 미치는 전파의 부정적인 영향을 줄일 수 있다. 따라서 많은 연구 그룹은 WBAN에서의 에너지 효율화 방법에 대해 저전력 RF 송수신기 설계<sup>[2]</sup>, 네트워크 구조<sup>[3],[4]</sup>, 에너지 효율적인 MAC layer 프로토콜<sup>[5]</sup>, 인체 움직임을 고려한 전송 파워 제어<sup>[6]</sup> 등과 같은 연구를 하였다.

협력 전송 방법은 무선 네트워크에서 전송 효율을 증가시키며<sup>[7]</sup>, WBAN 채널에서 자주 발생하는 채널 페이딩을 개선시키는 방법이다. WBAN에서 릴레이와 다이버시티 방법을 적용하는 등의 다른 노력도 참고문헌 [3], [4], [8]에서 찾을 수 있다. 참고문헌 [4]의 저자는 WBAN에 다중 홉 전송 방법의 필요성을 증명하였지만, WBAN의 실제 채널 조건을 고려하지는 않았다. 참고문헌 [3]에서는 좀 더 실제적인 채널 모델링과 분석이 나타나 있지만, on-body WBAN 시스템만 제시하였다.

본 논문에서는 신체 표피나 외부에 있는 센서로부터 얻어지는 전송 정보가 요구되는 WBAN 시스템을 고려하였다. 세 가지 전송 방법과 그것들의 전력 효율을 비교·분석하였다. 특히, 실제 측정된 채널을 이용하여 여러 움직임 내에서의 각 전송 방법을 평가하였다.

본 논문의 개요는 다음과 같다. 섹션 II에서는 on/off-body 채널의 특성을 제시하였다. 섹션 III에서는 협력 전송 방법과 전송 효율성에 대해서 논의하였다. 마지막으로 섹션 IV와 V에서는 실험 결과와 결론을 제시하였다.

## II. On/Off-body 2.45 GHz 대역 채널 특성

### 2-1 측정 셋업

먼저 Rohde & Schwarz 사의 ZVB20 벡터 네트워크 분석기(VNA)를 사용하여 on/off-body WBAN 채널을 측정하였다. 이 VNA는 통신 링크의 파워 손실을  $S_{21}$ 이라는 파라미터를 통해 측정한다. 측정은 2.45 GHz 대역을 중심으로 100 MHz 범위를 100 kHz 단위로 측정하였으며, 전송 파워는 0 dBm(1 mW), 노이즈 플로어는 -100 dB로 설정하였다.

송·수신 안테나로 그림 1의 패치 안테나를 사용하였다. 사용한 안테나의 규격은 기 평면이  $\lambda/4$ 이며,

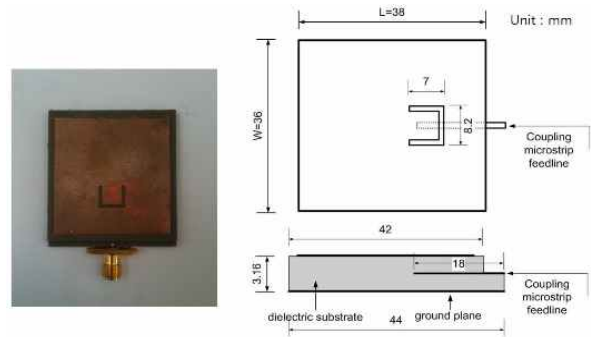


그림 1. WBAN 패치 안테나의 레이아웃  
Fig. 1. The layout of the 2.45 GHz microstrip monopole patch antenna.

안테나의 출력은 그림 1에 제시하였다. 신체에 부착한 -10 dB 안테나  $|S_{11}|$ 의 대역 너비는 2.45 GHz 대역에서 약 300 MHz이다. 테이블 I과 그림 2는 실험 환경과 안테나 위치를 보여준다. On-body 채널 측정을 위해서 안테나 중 하나는 인체 중 배꼽 부위에 위치시켰으며, 이 안테나는 다른 9개의 안테나로부터 측정된 신호를 받는다. 다음으로, off-body 채널 측정을 위해, 전송 안테나를 배꼽, 가슴, 무릎을 포함한 인체 표면 위에 송신 안테나들을 두고, off-body 수신 안테나를 전송 단으로부터 0.5에서 4 m까지 이격시키며 측정을 하였다.

### 2-2 경로 손실 특성화

송신 안테나와 수신 안테나 사이의 측정된  $S_{21}$ 을 통해 경로 손실량을 데시벨 단위로  $\Phi$ 라 나타내면, 다음 수식으로 나타낼 수 있다.

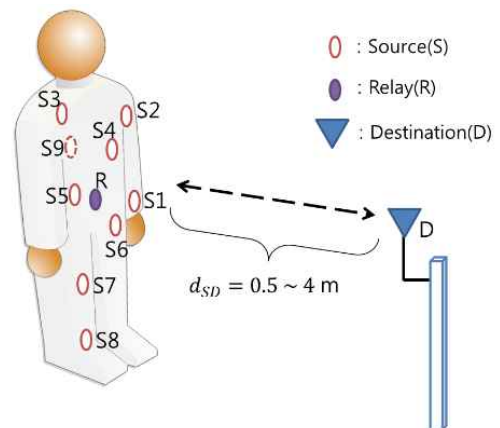
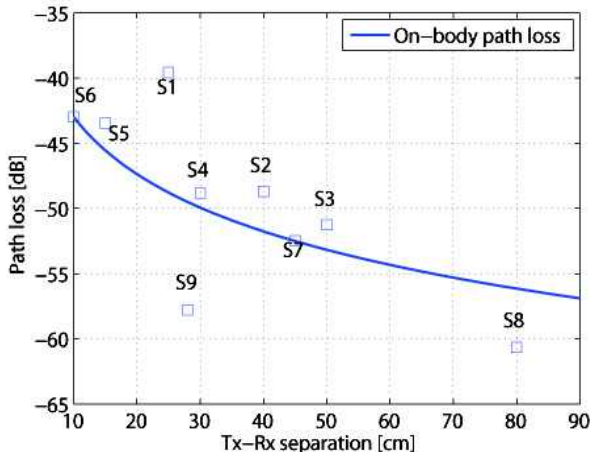


그림 2. 실험 셋팅과 안테나의 위치  
Fig. 2. Experiment setup and on/off-body antenna locations.

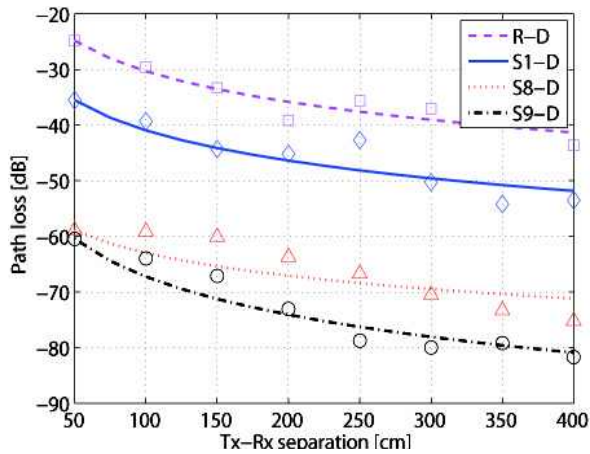
표 1. 안테나의 위치 및 표현

Table 1. Antenna locations and their symbols.

Symbol	Location	Symbol	Location
S1	Left wrist	S6	Lest pelvis
S2	Left upper arm	S7	Right knee
S3	Right shoulder	S8	Right ankle
S4	Heart	S9	Back
S5	Right rib	R	Navel



(a) On-body 안테나 위치에 따른 평균 경로 손실(가만히 서 있을 때)  
 (a) Average path losses at different antenna locations(standing still)



(b) Off-body 안테나와의 거리와 인체 노드 부착 위치에 따른 평균 경로 손실(가만히 서 있을 때)  
 (b) Average path losses for the off-body channels(standing still)

그림 3. on/off-body 평균 경로 손실  
 Fig. 3. on/off-body average path losses.

$$\Phi = \Phi_0 + 10n \log \frac{d}{d_0}. \quad (1)$$

여기서  $\Phi_0$ 은 기준 거리  $d_0$ 에서의 경로 손실을 의미하며,  $n$ 은 경로 손실 지수이다. 모든 측정은 세 가지의 대표적인 움직임에 대하여 무반사실에서 이루어졌다.

각 on-body 안테나 위치에 따른 평균 경로 손실을 그림 3(a)에 나타내었다. 기준 거리를 0.1 m로 했을 때  $\Phi_0$ 가  $-42.97$  dB이었으며, 추세 곡선을 통해 경로 손실 지수  $n$ 은  $-2.11$ 이다.

그림 3(b)는 off-body 채널에서 서로 다른 on-body 송신 안테나로부터 off-body 수신 안테나 사이의 평균 경로 손실과 그 추세 곡선을 나타낸다. 수신 신호 전력을 확인하면 R-D 링크가 가장 적은 경로 손실을 보인다. 이는 R에 위치한 안테나가 D에 위치한 안테나와 송수신하는 데 있어 가장 적합한 위치에 있기 때문이다. 다른 송신 안테나들은 R에 비해 수신 안테나와 높이가 많이 차이가 나거나 추가적인 장애물이 있기 때문에 더 높은 경로 손실을 보인다. 이 추세 곡선들의 결과들은 표 2에 보였다.

채널 측정에서 인체 움직임을 고려할 때, 인체 웨도잉이나 안테나 극성의 잘못된 정렬로 인해 경로 손실은 크게는 20 dB가 감소한다. 이것은 경로 손실 모델을 나타내는 식 (1)에 나타나지 않는다. 그러나 이 같은 현상은 WBAN에서 통신 범위를 작게 만드는 데 상당한 영향을 끼친다. 그림 4는 시간이 변화함에 따라 다양한 동작으로 인한 on-body 채널의 정규화 된 경로 손실을 보여주고 있다. 반복되는 모양은 특정한 신체 동작의 반복과 큰 관계가 있다.

채널 측정치들을 Akaike Information Criterion(AIC) 통해 여러 알려진 확률 분포들과의 유사도를 평가하였다. AIC는 확률 분포들 간에 어떤 분포가 가장 확률적으로 비슷한 지를 나타내는 지수로 많이 사용된다. On/off-body 채널에서 small scale 페이딩의 가장

표 2. Off-body 채널의 추세선 정보  
 Table 2. Curve fitting on the off-body channels.

Links	Path loss exponent(n)	$\Phi_0$ (dB) at $d_0 = 0.5$ m
R-D	-1.8	-24.83
S1-D	-1.8	-35.50
S8-D	-1.3	-59.89
S9-D	-2.2	-60.44

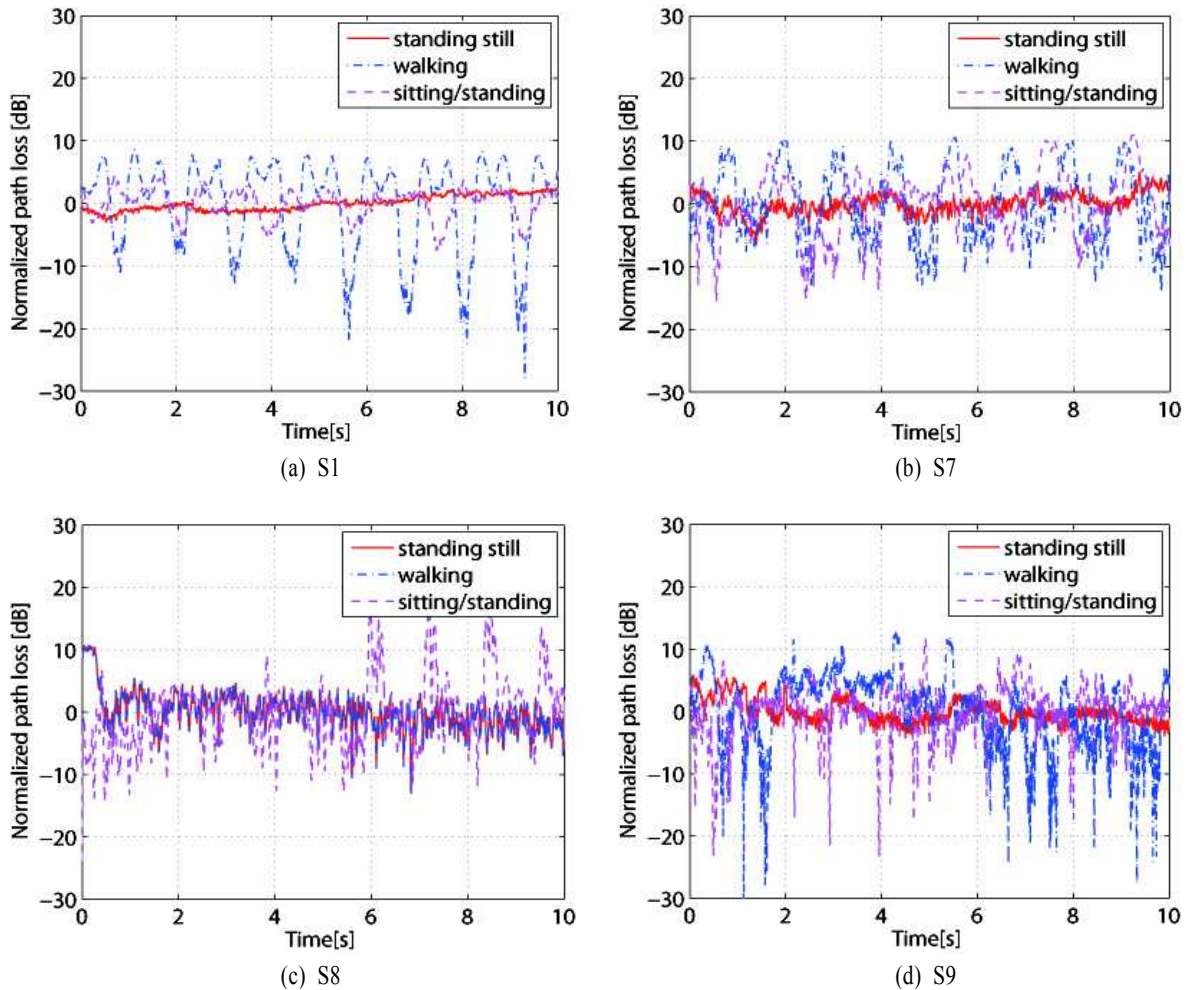


그림 4. On-body 채널에서 인체 움직임에 따른 정규화 된 경로 손실

Fig. 4. Time variations of the normalized path losses for on-body channels due to human movements.

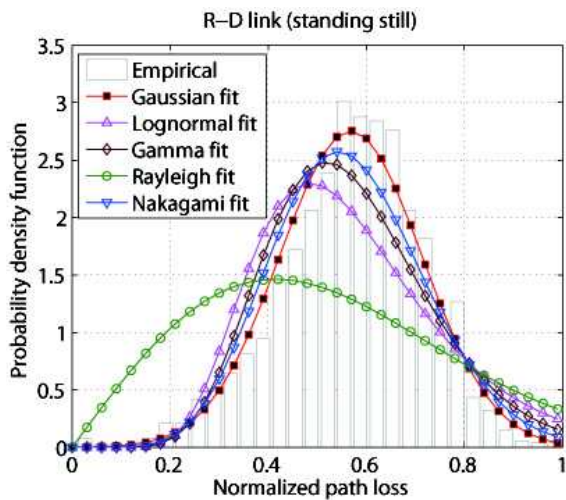


그림 5. 실험 측정값들의 정규화 값들과 확률 분포 추정

Fig. 5. Histogram of the normalized path loss samples and probability distribution fits.

적절한 분포는 가우시안 분포임을 그림 5에서 나타내었다. 모든 데이터들을 [0,1] 사이로 정규화 하였으며, 다음 섹션에서 선택한 가우시안 확률 분포를 채널 페이딩 계수를 모델링하는 것에 사용할 것이다.

### III. 전송 효율 분석

#### 3-1 시스템 모델과 전송 기법

on-body 센서들로부터 의료 정보를 모아 off-body 수신 단으로 전송하는 WBAN 시스템을 생각해 보자. 단, 이 시스템에는 세 개의 노드(source, relay, destination)만 존재한다고 가정하자. 전송 소비 전력 뿐 아니라 송수신 단말의 내부 회로 소비 전력도 고려할 것이다. Source 노드는 인체 피부 위에 있으며, Relay 노드는 배꼽에 고정한다. Destination 노드는

인체로부터 0.5에서 4 m까지 떨어져 있으며, 노드의 높이는 1 m이다. 그림 2에 보이는 것처럼 on-body와 off-body 링크를 갖고 있는 시스템이다. 이 네트워크에서 세 가지 전송 기법을 사용하였다.

- 1) 직접 전송(DT) : Source 노드는 Destination 노드에게 신호를 직접 전송한다.
- 2) 협력 전송 I(CT-I): Source 노드는 Relay 노드로, Relay 노드는 Destination 노드로 신호를 전송한다. 이 기법에서는 Source 에서 Destination 으로 직접 링크는 존재하지 않는다.
- 3) 협력 전송 II(CT-II): 이 기법은 두 단계로 나뉜다. 첫 단계에서는 Source 노드는 신호를 브로드 캐스트한다. Relay 노드와 Destination 노드 둘 다 신호를 받는다. 만약 Destination 노드에서 제대로 신호를 받는다면 Destination 노드는 acknowledgement(ACK)를 전송한다. 만약 제대로 받지 못한다면, negative acknowledgement (NACK)를 전송한다. Relay 노드는 NACK를 받으면 첫 단계에서 받았던 신호를 두 번째 단계에서 전송한다.

ACK와 NACK를 전송하는 데에 필요한 소비 전력은 무시 가능하다고 가정하고, 모든 전송 파워는 같은 것으로 고려한다.

### 3-2 Outage 확률과 기대 총 소비 전력

무선 시스템에서 노드  $i$ 에서 보낸 신호를 노드  $j$ 에서 받았을 때 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$y_{ij} = \sqrt{P_t \Phi_{ij}} h_{ij} x + n \quad (2)$$

여기서  $P_t$ 는 전송 신호 전력,  $\Phi_{ij}$ 는 식 (1)에서 언급했던 두 노드 사이의 경로 손실,  $x$ 는 단위 전력일 때의 전송 데이터,  $n$ 은 분산  $N_0$ 를 갖는 부가 백색 가우시안 잡음(AWGN)이다.  $h_{ij}$ 는 단위 분산을 갖는 가우시안 랜덤 변수인 노드  $i$ 와 노드  $j$  사이의 채널 페이딩 계수이다. Outage 확률은 다음과 같이 정의된다.

$$\Pr_{out} = \Pr(\lambda \leq \beta) \quad (3)$$

여기서  $\lambda_{ij}$ 는 노드  $i$ 와 노드  $j$  사이의 수신 SNR이고,  $\beta$ 는 outage 문턱 값이다. 식 (2)에서 수신 신호  $\lambda_{ij}$ 는

다음과 같이 주어진다.

$$\lambda_{ij} = \frac{|h_{ij}|^2 \Phi_{ij} P_t}{N_0} \quad (4)$$

이제 각 전송 기법마다 outage 확률과 최소 소비 전력을 의논해 보자.

- 1) 직접 전송: Source 노드에서 다른 중간 노드 없이 destination 노드와 통신한다. 따라서 outage는 오직  $\lambda_{SD} \leq \beta$ 일 때 일어난다.  $h_{SD}$ 가 노드  $S$ 와  $D$  사이의 채널 계수일 때,  $|h_{SD}|^2$ 는 단위 평균을 갖는 exponential 분포를 따른다. 따라서 직접 전송의 outage 확률은 다음 식으로 정의된다.

$$\Pr_{out} = \Pr(\lambda_{SD} \leq \beta) = 1 - \exp\left(-\frac{N_0 \beta}{P_t \Phi_{SD}}\right) \quad (5)$$

직접 전송일 때 총 소비 전력은

$$P_{total} = P_t + P_{ct} + P_{cr} \quad (6)$$

이고, 여기서  $P_{ct}$ 와  $P_{cr}$ 는 각각 송신 단과 수신 단의 회로 소비 전력이다. 참고문헌 [10]에서 언급했듯이 송신 단에서 총 소비 전력은  $P_{ct}$ 와  $P_t$ 로 이루어진다. 총 소비 전력을 최소화하는 것은 요구되는 outage,  $\gamma$ 를 만족시켜야 한다. 따라서 우리는 다음 최적화 문제를 만들 수 있다.

$$\min_{P_t} P_{total}(P_t) \text{ such that } \Pr_{out} \leq \gamma \quad (7)$$

식 (5)의  $\Pr_{out}$ 을 식 (7)에 적용하면, 최적화된  $P_t^*$ 는 다음 식 (8)을 통해 얻을 수 있다.

$$P_t^* = -\left(\frac{N_0 \beta}{\ln(1-\gamma) \Phi_{SD}}\right) \quad (8)$$

결론적으로, 직접 전송에서 최소 총 소비 전력은 다음과 같다.

$$P_{total}^* = -\left(\frac{N_0 \beta}{\ln(1-\gamma) \Phi_{SD}}\right) + P_{ct} + P_{cr} \quad (9)$$

- 2) 협력 전송 I: 두 링크 S-R과 R-D가 존재한다. 이 기법에서는 두 링크 중 하나의 링크만이라도 심각한 웨도잉이나 페이딩을 겪게 된다면 전송은 실패한다.

S-R 링크의 분석은 직접 전송 기법에서 S-D 링크와 동일하다. S-R 링크의 outage 확률은

$$\Pr_{out(SR)} = 1 - \exp\left(-\frac{N_0\beta}{P_t\Phi_{SR}}\right). \quad (10)$$

R-D 링크의 outage 또한 비슷하게 구할 수 있다.

$$\Pr_{out(RD)} = 1 - \exp\left(-\frac{N_0\beta}{P_t\Phi_{RD}}\right) \quad (11)$$

CT-I의 outage는 S-R과 S-D 링크 둘 중 하나가 실패할 때 발생한다. 따라서 CT-I의 outage 확률은 다음과 같다.

$$\Pr_{out,I} = \Pr_{out(SR)} + (1 - \Pr_{out(SR)})\Pr_{out(RD)} \quad (12)$$

따라서 CT-I의 총 소비 전력의 기대 값은

$$E[P_{total}] = (P_t + P_{ct} + P_{cr})\Pr_{out(SR)} + (2P_t + 2P_{ct} + 2P_{cr})(1 - \Pr_{out(SR)}). \quad (13)$$

식 (13)에는 두 이벤트가 포함되어 있다. 첫 번째 이벤트는 S-R 링크가 outage인 경우이고, 두 번째 이벤트는 S-R 링크가 outage가 아닌 경우이다. Relay 노드가 신호를 제대로 받았다고 가정할 때, destination 노드로 전달한다. 이것은 다음과 같은 전송 신호 전력인  $P_t$  하나의 변수로 이루어진 최적화 문제로 만들 수 있다.

$$\min_{P_t} E[P_{total}(P_t)] \text{ such that } \Pr_{out,I} \leq \gamma. \quad (14)$$

식 (14)의 최적화 결과는 라그랑지안 기법과 Mathworks 사의 MATLAB의 fmincon이라는 비선형 함수의 최소값을 찾는 함수를 통해 도출하여, 그림 6에 나타내었다.

- 3) 협력 전송 II: 이 섹션의 처음 말했던 것처럼, 협력 전송 II는 두 단계로 이루어진다. 이 기법의 outage는 두 경우에 발생한다. 첫 번째 경우는 첫 번째 단계에서 S-D 링크와 S-R 링크 둘 다 실패할 경우이다. 두 번째 경우는 첫 단계에서 S-D 링크가 실패하고, S-R 링크는 성공했으나, 두 번째 단계에서 R-D 링크가 실패했을 경우이다. 두 번째 단계에서 Source 노드는 아무런 작동을 하지 않는다. 따라서 CT-II의 outage 확률은

$$\Pr_{out,II} = \Pr_{out(SD)}\Pr_{out(SR)} + \Pr_{out(SD)}(1 - \Pr_{out(SR)})\Pr_{out(RD)} \quad (15)$$

여기서  $\Pr_{out(SD)} = 1 - \exp\left(-\frac{N_0\beta}{P_t\Phi_{SD}}\right)$ 이고,  $\Pr_{out(RD)}$ ,  $\Pr_{out(SR)}$  은 전 섹션에 정의하였다. CT-II의 총 소비 전력의 기댓값은 다음 식으로 설명할 수 있다.

$$E[P_{total}] = (P_t + P_{ct} + 2P_{cr})(1 - \Pr_{out(SD)}) + (P_t + P_{ct} + 2P_{cr})\Pr_{out(SD)}\Pr_{out(SR)} + (2P_t + 2P_{ct} + 3P_{cr}) \times \Pr_{out(SD)}(1 - \Pr_{out(SR)}) \quad (16)$$

식 (16)의 오른쪽 항의 첫 번째 구문은 S-D 링크가 outage가 아닐 경우이다. 이 때 총 소비 전력은 직접 전송과  $P_{cr}$ 을 제외하고 동일하다.  $P_{cr}$ 은 relay 노드의 회로 전력이 첫 번째 단계에서 추가로 소비되기 때문이다. 두 번째 구문은 S-D 링크와 S-R링크 둘 다 outage일 경우이다. S-R 링크가 fail 되기 때문에, relay 노드를 통한 전송은 일어나지 않는다. 마지막 구문은 S-D 링크가 outage이지만, S-R 링크가 outage가 아닌 경우이다. CT-II의 최적화 문제는 식 (17)과 같다.

$$\min_{P_t} E[P_{total}(P_t)] \text{ such that } \Pr_{out,II} \leq \gamma. \quad (17)$$

식 (17)의 최적화 문제의 결과도 식 (14)와 마찬가지로 방법을 통해 구하였다.

다음 섹션에서는 각 전송 기법에 의한 최적화된 전송 전력의 결과를 나타내고, 실제 소비 전력과 비교한다.

#### IV. 시뮬레이션과 실험적 결과

이번 섹션에서는, 각 전송 기법에 대한 전체 소비 전력을 비교한다. outage 제한으로 할 때 최적화(최소화)된 전송 전력  $P_t^*$ 는 수학적 최적 기법을 통해 구해졌다. 시뮬레이션 파라미터들은 다음과 같이 정하였다.  $N_0 = -90$  dBm,  $\gamma = 0.01$ ,  $n = 2.5$ ,  $\beta = 10$  dB,  $P_{ct} = 20$   $\mu$ W, 그리고  $P_{cr} = 50$   $\mu$ W이다. 두 가지 시나리오를 고려해 보자. 첫 번째 시나리오는 relay 노드가 source 노드와 destination 노드 중간 지점에 위치했을 경우이다. 두 번째 시나리오는 relay 노드가 source 노드에  $d_{SR} = 0.1 d_{SD}$  비율로 이동했을 경우이다.

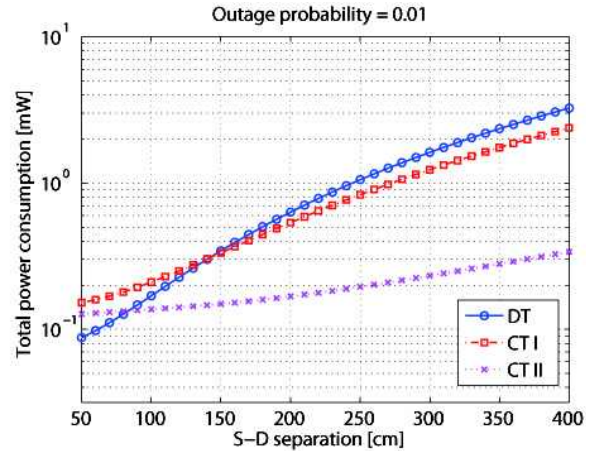
그림 6 은 S-D 사이의 거리가 0.5에서 4 m일 때 각 전송 기법에 대한 최적화된 총 소비 전력을 표시하였다. CT-II의 우수한 성능은 두 시나리오 모두에서 잘 나타난다. 그 이유는 S-D 링크와 S-R-D 링크 모드 이용하기 때문이다. Source와 destination 노드의 중간에 있는 relay 노드를 사용할 수 있을 때 CT-I을 사용하는 것이 DT를 사용하는 것보다 전력 소비 관점에서 좀 더 효율적이다. 그러나 만약 relay 노드가 source 노드에 더 가깝다면 CT-I의 효율은 DT보다도 떨어진다. 왜냐하면 source 노드와 relay 노드의 전송 파워가 동일한 값이라면, source 노드는 R-D 링크에 의해 결정된 많은 양의 파워를 불필요하게 소비하기 때문이다. 따라서 S-D 거리가 매우 작다면, DT가 더욱 효율적이다.

이제 우리는 섹션 II에 나타냈던 실제 채널 정보를 섹션 III에서 설명한 신호 전송 효율의 최적화 공식에 사용할 것이다. 서로 다른 source의 위치와 움직임을 고른 네 대표적인 on-body 측정 데이터를 사용하여 각각의 거리와 그 각 거리에 따른 경로 손실 값들을 통해 전송 소비 전력을 계산하였으며, 입력한 측정 데이터의 구체적인 시나리오는 표 3에 나타내었다. relay 노드는 그림 2처럼 R로 표시한다. 섹션 II에서 확률들을 세운 실제 데이터들은 각 시나리오마다 각 링크에 대하여 outage 확률  $Pr_{out}$ 을 계산하였다.

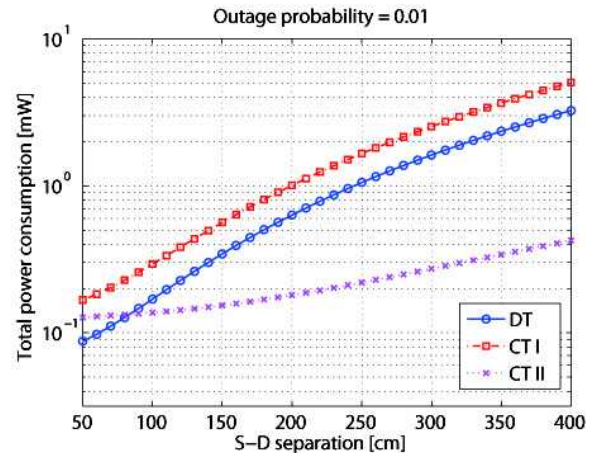
그림 6과 7의 결과들은 다음 인수들에 의해 만들어졌다.  $d_{SD}$ 가 1 m보다 작을 때, DT는 가장 간단하고 효율적인 전송 기법이다. 하지만  $d_{SD}$ 가 커지면, DT의 소비 전력은 확연히 커지고 비효율적으로 된다. 이런 경우, CT-II가 가장 효율적인 기법이 된다. 시뮬레이션 결과인 그림 6과 실제 채널을 통해 얻은 그림 7 사이의 가장 대표적인 다른 결과는 S9 노드

표 3. 네 가지 시나리오  
Table 3. Exemplary scenarios.

Source node	Distance from source to relay	Movement
S1	25 cm	Standing still
S1	25 cm	Walking
S1	25 cm	Sitting/standing
S9	28 cm	Standing still



(a) 최적화된 총 소비 전력  
 $d_{SR}=0.5 \quad d_{SD}, \gamma=0.01, n=2.5$   
(a) Optimal total power consumptions  
 $d_{SR}=0.5 \quad d_{SD}, \gamma=0.01, n=2.5$



(b) 최적화된 총 소비 전력  
 $d_{SR}=0.1 \quad d_{SD}, \gamma=0.01, n=2.5$   
(b) Optimal total power consumptions  
 $d_{SR}=0.1 \quad d_{SD}, \gamma=0.01, n=2.5$

그림 6. 최적화된 총 소비 전력

Fig. 6. Optimal total power consumption.

일 때를 제외하고는 CT-I과 CT-II의 소비 전력이 그림 6과 다르게 실제로는 꽤 비슷해진다는 점이다. 따라서 실제 채널의 일반적인 환경에서는 CT-I이 CT-II보다 간단하므로 좋은 대체 전송 기법이 될 수 있다. 거의 대부분의 경우 CT-II이 최적의 성능을 보이나, 두 단계로 보내는 전송과 ACK/NACK 프로세싱이 요구되기 때문에, 다른 기법들보다 좀 더 복잡하다. S9로부터 R로 전송되는 것은 인체의 등에 있기 때문에 몸통을 관통해야 한다. 그 결과, S9와 R

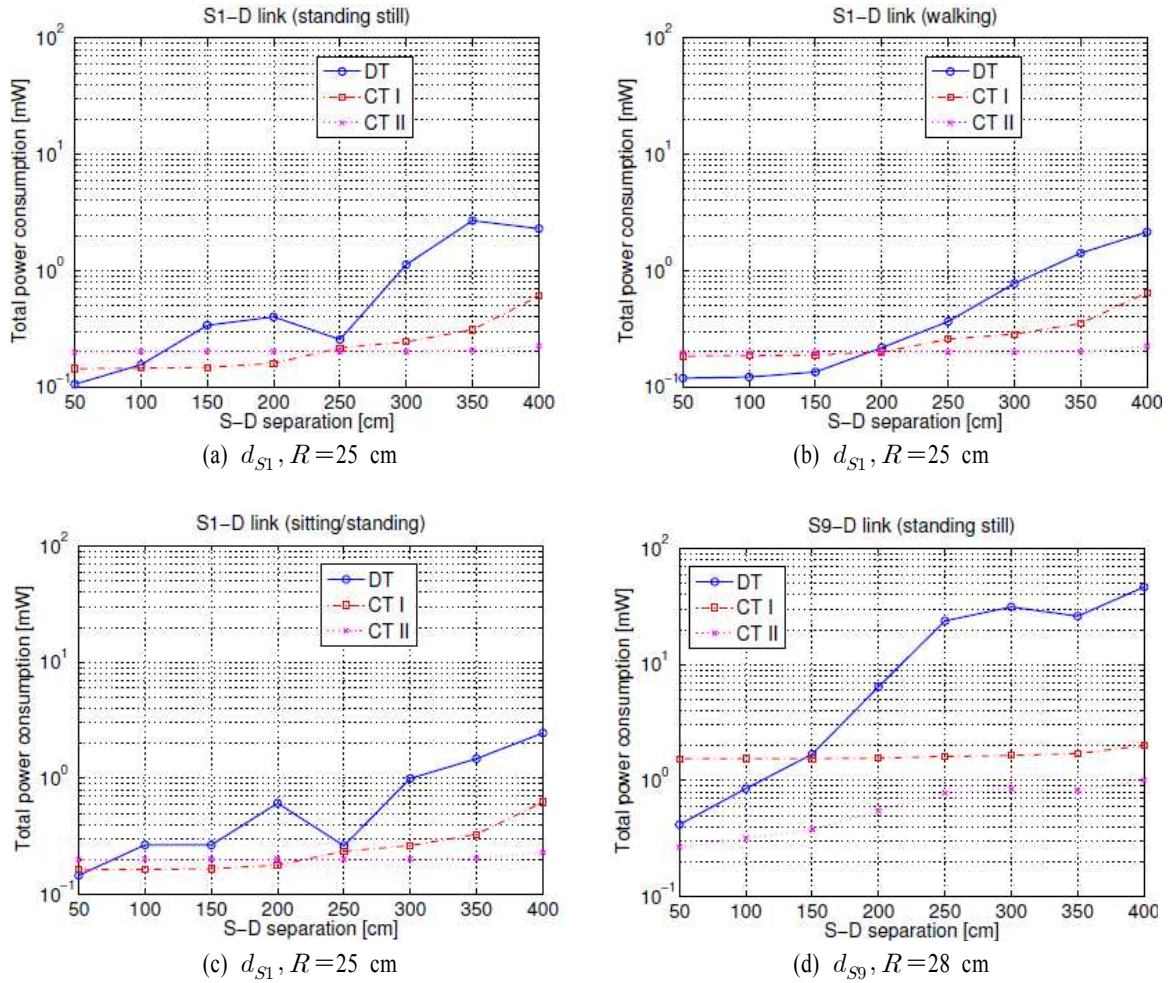


그림 7. 움직임을 고려한 실제 채널 측정값을 통해 구한 최적화 된 총 소비 전력( $\gamma=0.01$ )  
 Fig. 7. Total power consumptions optimized with real channel measurements with consideration of particular human movements( $\gamma=0.01$ ).

사이의 거리가 짧아도( $d_{S9,R}=28$  cm) 그것의 채널은 매우 안 좋다. 따라서이 경우에는 좀 더 정교한 CT-II를 선택해야 한다.

### V. 결 론

본 논문에서 우리는 on/off-body WBAN 시스템에 대해서 조사하였다. 실제 채널 측정값들과 그들의 통계적 특성을 인체 움직임과 관련하여 나타내었다. 세 전송 기법들은 on-body 안테나에서 off-body 안테나로 의료 정보들을 전송하기 위해 고려되었다. 세 전송 기법들의 총 전송 전력을 outage 제한을 고려하여 최적화하였다. 본론에서 보였듯이 짧은 거리에서는 DT가 가장 효율적이었다. 그러나 채널 페이딩이나 웨도잉이 심각해지면, CT-II 가 가장 좋은 성능

을 보인다. 그렇다 할지라도, 실제 채널 측정 수치로 구한 실험적 결과로 볼 때, 비교적 구현이 간단하고 현실적 환경에서는 CT-I이 CT-II를 대체할 만한 좋은 수단이 되는 것을 알 수 있다.

### 참 고 문 헌

[1] H. Cao, V. Leung, C. Chow, and H. Chan, "Enabling technologies for wireless body area networks: A survey and outlook", *IEEE Commun. Mag.*, vol 47, no. 12, pp. 84-93, Dec. 2009.  
 [2] J. Ryckaert, C. Desset, A. Fort, M. Badaroglu, V. De Heyn, P. Wambacq, Van der Plas, S. Donnay, B. Van Poucke, and B. Gyselinckx, "Ultrawide-band transmitter for low-power wireless body area net-



- work: design and evaluation", *IEEE Trans. Circuit Syst. I*, vol. 52, no. 12, pp. 2515-2525, Dec. 2005.
- [3] Y. Chen, J. Teo, J. Lai, E. Gunawan, K. S. Low, C. B. Soh, and P. Rapajic, "Cooperative communications in ultra-wideband wireless body area networks: Channel modeling and system diversity analysis", *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 27, no. 1, pp. 5-16, Jan. 2009.
- [4] 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.
- [5] O. Omeni, A. Wong, A. Burdett, and C. Toumazou, "Energy efficient medium access protocol for wireless medical body area sensor networks", *IEEE Trans. Biomedical Circuits and Systems*, vol. 2, no. 4, pp. 251-259, Dec. 2008.
- [6] S. Xiao, A. Dhamdhere, V. Sivaraman, and A. Burdett, "Transmission power control in body area sensor networks for healthcare monitoring", *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 27, no. 1, pp. 37-48, Jan. 2009.
- [7] A. Sendonaris, E. Erkip, and B. Aazhang, "User cooperation diversity-part I: System description", *IEEE Trans. Commun.*, vol. 51, no. 11, pp. 1927-1938, Nov. 2003.
- [8] A. Natarajan, B. de Silva, K.-K. Yap, and M. Motani, "To hop or not to hop: Network architecture for body sensor networks", in *Proc. 6<sup>th</sup> IEEE Annu. Conf. Sensor, Mesh Ad Hoc Commun, Netw.*, Rome, Italy, pp. 1-9, Jun. 2009.
- [9] H. Akaike, "A new look at the statistical model identification", *IEEE Trans. Autom. Control*, vol. 19, no. 6, pp. 716-723, Dec. 1974.
- [10] G. de Oliveira Brante, M. Kakitani, and R. Souza, "Energy efficiency analysis of some cooperative and non-cooperative transmission schemes in wireless sensor networks", *IEEE Trans. Commun.*, vol. 59, no. 10, pp. 2671-2677, Oct. 2011.
- [11] A. K. Sadak, W. Yu, and K. J. R. Liu, "On the energy efficiency of cooperative communications in wireless sensor networks", *ACM Transactions on Sensor Networks*, vol. 6, pp. 5:1-5:21, Jan. 2010.

## 안 병 직



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

## 송 성 무



2006년 3월~현재: 한양대학교 융합  
전자공학부 학사과정  
[주 관심분야] 인체 무선 통신

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

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