

# WBAN 환경에서 Co-channel 간섭 제거를 위한 연구

## A Study for Co-channel Interference Mitigation in WBAN System

최원석\*, 김정곤

W. S. Choi, J. G. Kim

### 요 약

본 논문은 2.4Ghz 대역을 사용하는 WBAN (Wireless Body Area Network) 환경에서 동일 채널을 사용하는 경우에 발생하는 간섭을 제거하기 위한 방법을 MMSE (Minimum Mean Square Error), OC (Optimal Combining), ML (Maximum Likelihood) 을 비교 분석하였으며, 또한 IEEE 802.15.6에서 정의된 시나리오 및 채널 모델에 대해서 분석하였다. 모의 실험결과 ML 알고리즘이 가장 우수한 성능을 나타내는 것을 알 수 있었다. 하지만 ML 과 OC 의 경우 간섭채널의 정보를 알아야 하기 때문에 MMSE 에 비해 복잡도가 크다는 단점이 있다. 그래서 WBAN 환경에 적용하는데 어려움이 있다. 따라서 복잡도와 성능사이에 적당한 trade-off 를 만족하는 간섭제거 알고리즘을 연구해야 할 것이다.

### ABSTRACT

In this paper, we analyze that co-channel interference mitigation algorithms MMSE (Minimum Mean Square Error), OC (Optimal Combining), ML (Maximum Likelihood) using 2.4Ghz in WBAN (Wireless Body Area Network) system. Also analyze that scenario and channel model by IEEE 802.15.6. ML gives the best performance for all simulation. ML and OC have high complexity than MMSE complexity, because these algorithms should be known channel information of interference users. So these algorithms are difficult to apply to WBAN. Therefore we will study the interference mitigation algorithm that should be accomplished trade-off of between efficiency and complexity

**Keyword** : WBAN, MMSE, Optimal Combining, ML

## 1. 서론

최근 U-헬스케어, 유비쿼터스와 같은 IT (Information Technology)-BT (Bio Technology) 융합 기술 분야의 관심이 높아지면서 WBAN (Wireless Body Area Network) 시스템에 대한 연

구가 활발하게 진행 중이다. WBAN 은 인체를 기준으로 인체 내부 및 인체로부터 3미터 이내의 무선 통신을 의미한다. 즉, 인체 내에 이식된 의료장치, 사람이 착용하는 옷이나 인체에 부착된 여러 디바이스를 상호 연결하는 새로운 유형의 무선통신이다[1].

IEEE 802.15.6 을 중심으로 물리계층, 데이터 링크계층, 네트워크 계층 및 응용 계층 등에 대한 표준화가 진행되고 있다. WBAN 은 응용 분야 및 장치의 위치에 따라 분류 할 수 있으며, 응용 분야별로 분류하면 혈압, 혈당을 측정해서 무선 통신하는 옷 등과 같이 입을 수 있는 것과 생체 부착 의료 BAN, 그리고 심전도, 근전도 등의 생체 신호를 측정하여 무선 통신하는 생체 삽입 BAN 인 의료 분야와 비디오, 오디오 및 모바일 전송을 위한 비 의료 분야로 나눌 수 있다. 또한 장치의 위치에 따라

접 수 일 : 2011.11.18

심사완료일 : 2011.12.26

게재확정일 : 2011.12.28

\* 최원석 : 한국산업기술대학교 전자공학과 석사과정

po0085@kpu.ac.kr (주저자)

김정곤 : 한국산업기술대학교 전자공학과 교수

jgkim@kpu.ac.kr (교신저자)

※ 본 연구는 지식 경제부 및 정보 통신 산업 진흥원의 IT 융합 고급 인력 과정 사업의 연구 결과로 수행 되었습니다. (NIPA-2011-C6150-1102-0001)

인체 내부 통신과 인체 표면 통신, 그리고 인체 외부 통신으로 분류 할 수 있다.

WBAN 은 인체 내외 근거리 통신이며, 고 신뢰성을 요구하기 때문에 신호를 전송함에 있어 발생하는 여러 가지 간섭에 대해서 효율 적으로 억제하여 송신신호를 제대로 수신해야 할 필요가 있다. 따라서 WBAN 에서의 간섭 제거는 반드시 필요하다고 할 수 있다.

IEEE 802.15.6 에서 정의한 주파수 대역 중 본 논문에서는 의료용 대역을 제외하고 가장 활용도가 큰 공용으로 사용할 수 있는 2.4 GHz 대역과 UWB 대역으로 구분하여 분석을 하였으며, WBAN 을 2.4 GHz 대역을 통하여 통신을 한다고 가정하였을 경우 ISM 대역이기 때문에 다양한 이기종 프로토콜 (Bluetooth, WiFi 등)로 인해 간섭이 발생할 수 있으며, 이에 대한 내용의 관한 연구로 WBAN 과 전자레인지에서 발생하는 microwave 사이의 간섭을 분석한 논문[2], Zigbee 와 WiFi 를 사이에 발생하는 간섭의 영향을 나타낸 자료[3]를 통해서 이기종 네트워크로 인하여 발생하는 간섭이 심각한 간섭으로 작용하지 않는다는 연구가 있었으며, 또한 co-channel 에서 발생하는 간섭의 경우 2.4 GHz 대역을 이용할 경우 사람이 증가하면 증가할수록 다른 주파수에 비해서 더 큰 간섭으로 작용한다는 연구[4]를 통해서 이기종 네트워크의 통신보다 co-channel 의 간섭의 영향이 더 크다는 것을 알 수 있다. 따라서 2.4 GHz 를 사용하는 co-channel 환경에서의 간섭 제거를 하는 것은 중요한 이슈이다.

본 논문에서는 co-channel에서 발생하는 간섭을 효율적으로 제거하는 방법으로 기존의 무선통신에서 사용되는 MMSE (Minimum Mean Square Error)가 최소화 시키는 방식의 알고리즘, 간섭신호와 잡음신호의 공분산을 이용하여 가중치 벡터를 구하는 Optimal Combining 기술 그리고 송신신호의 모든 심볼값을 대입하여 Euclidian norm 이 최소가 되는 기술을 적용하여 시뮬레이션을 하였으며, 이를 통해서 결과를 분석하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 IEEE 802.15.6에서 정의된 채널모델의 구성, 3장은 간섭제거 기술을 적용하기 위한 시스템 모델 및 기존의 간섭제거 알고리즘을 설명하고 4장에서는 간섭제거 알고리즘을 시뮬레이션을 통하여 분석하였으며, 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

IEEE 802.15.6 에서는 WBAN 을 위한 채널 모델과 이에 따른 주파수 대역을 표준에서 결정[5] 하였는데 그 모델은 그림 1과 같다.

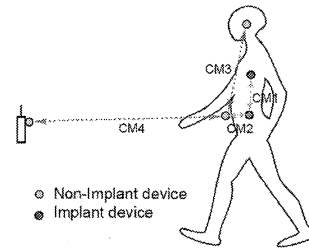


그림 1. IEEE 802.15.6 에서 정의한 채널 모델

그림 1은 IEEE 802.15.6 에서 정의한 채널 모델을 나타낸 구성도 이다. 채널 모델은 노드들의 위치에 따라 통신할 수 있는 모든 상황에 대해서 구성을 하였으며, 총 4가지 채널 모델이 구성되며, 4가지 채널 모델은 주파수 대역과 LOS (Line of Sight)와 NLOS (Non-LOS)에 따라서 분류되어 총 7 가지의 시나리오로 나누어진다. 그에 관한 자세한 내용은 표 1과 같다.

표 1. 각 시나리오에 따른 채널 환경

Scenario	Description	Frequency Band	Channel Model
S1	Implant to Implant	402-405 MHz	CM 1
S2	Implant to Body Surface	402-405 MHz	CM 2
S3	Implant to External	402-405 MHz	CM 2
S4	Body Surface to Body Surface (LOS)	135, 50, 400, 600, 900 MHz, 2.4, 3.1-10.6 GHz	CM 3
S5	Body Surface to Body Surface (NLOS)	135, 50, 400, 600, 900 MHz, 2.4, 3.1-10.6 GHz	CM 3
S6	Body Surface to External (LOS)	900MHz, 2.4,3.1-10.6GHz	CM 4
S7	Body Surface to External (NLOS)	900MHz, 2.4,3.1-10.6GHz	CM 4

## 2. IEEE 802.15.6 의 채널 모델

표 1의 주파수 대역에서 402-405MHz 의 경우 의료용 주파수 대역으로 신체 내부통신을 위해서 사용되며, 2.4GHz 는 ISM 대역으로 여러 가지 통신 프로토콜이 사용되는 주파수 대역과 중첩되어 사용되는 주파수 대역으로 간섭에 있어 가장 심각하게 작용될 수 있는 채널 대역이다. 마지막으로 3.1-10.6GHz 대역은 UWB (Ultra Wide Band)로 WBAN 에서 고용량, 고속의 데이터 송신을 원할 때 사용되는 주파수 대역이다.

본 논문은 의료용 대역을 사용하는 신체 내부 통신에서 발생하는 간섭시나리오 분석이 아닌 2.4GHz 대역을 사용하는 WBAN 노드가 신체에 부착되어 다른 신체에 부착된 노드와 통신할 때 발생하는 채널 모델인 CM3 에 대해서 분석하였다.

IEEE 802.15.6 에서 CM3 에 대하여 주파수 대역에 따른 power delay profile (PDP)과 pathloss 모델을 실험을 통해 분석하였는데 그에 따른 pathloss 모델은 다음과 같이 나타 낼 수 있다[6].

$$L_{path}(d) = a \log_{10} d + b + N [dB] \quad (1)$$

여기서  $d$  는 노드와 노드사이의 거리(mm)를 나타내며,  $a, b$  는 각 주파수 대역별로 그림 2와 같이 거리에 따른 pathloss 신호를 실제적인 실험을 통해서 구하였다. 그림 2에서 파란색 원은 거리에 따라 측정된 수신신호의 크기를 측정한 데이터 이고, 녹색 원은 무향실에서 측정한 데이터 값을 나타낸다. 실제적인 실험이 모든 실험에서 이루어 지지 않았기 때문에 모든 거리에서 pathloss 를 적용할 수 있도록 least square fitting 을 이용하여 직선의 방정식을 표현하기 위해서 사용된 값이  $a, b$  이다. 또한  $N$  은 잡음신호의 전력을 나타낸다.

2.4GHz 대역의 경우  $a$ 는 6.60,  $b$ 는 36.1 그리고  $N$  은 3.80dB 이다.

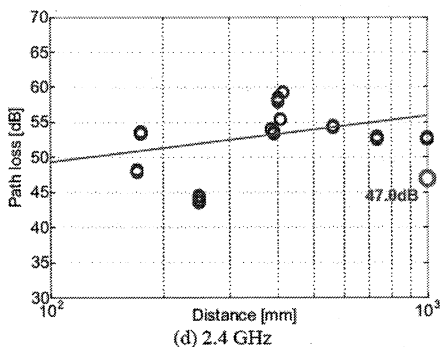


그림 2. 2.4 GHz 대역에서 실험을 통해 측정된 pathloss

PDP 의 경우 UWB 대역만 존재하고 나머지 대역은 존재하지 않는다. 따라서 UWB 대역에서의 PDP 는 다음과 같이 구성 할 수 있다[6].

$$h(t) = \sum_{l=0}^{L-1} a_l \exp(j\phi_l) \delta(t-t_l) \quad (2)$$

여기서  $a_l$  은 path 에 따른 크기를 나타내며,  $t_l$  은 각 path 의 도착 시간,  $\phi$  는 위상,  $L$  은 총 path 의 수 이다.

식 (2)의  $a_l$  은 Rician factor 와 지수적인 감소를 나타내는 파라미터  $\Gamma$ , 그리고  $\sigma_s$  의 평균 분포를 가지는  $S$  를 이용하여 구할 수 있으며 그 식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$10 \log_{10} |a_l|^2 = \begin{cases} 0 & l=0 \\ \gamma_0 + 10 \log \left( \exp \left( -\frac{t_l}{\Gamma} \right) \right) + S & l \neq 0 \end{cases} \quad (3)$$

식 (2),(3)을 기반 하여 실험을 통해 각 파라미터 를 구성하였으며, 그 결과 값은 다음과 같다.

평균  $t_l$ 은 1.85ns, 평균 path  $L$ 은 38.1 이며,  $a_l$ 을 구하기 위한 파라미터 값  $\gamma_0$  는 -4.60dB,  $\Gamma$  은 59.7 그리고  $\sigma_s$  는 5.02dB 이다.

### 3. WBAN 시스템 모델 및 간섭제거 알고리즘

#### 3.1 WBAN 에서의 co-channel 시스템 모델

송신 안테나와 수신 안테나의 경우 신체에 부착되어 있는 상태에서 간섭 노드들도 인체에 부착되어 있는 경우를 고려한 시스템 모델은 그림 3과 같이 구성되어 진다.

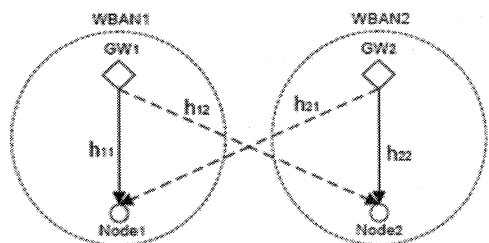


그림 3. WBAN 에서의 co-channel 환경

여기서 GW1 은 Node1 에게 송신을 하며, GW 2 는 Node 2 에게 송신을 한다. 여기서 GW1 의 신호

는 Node 2 에게 간섭으로 작용을 하며, Node 2 도 마찬가지로 GW2 의 신호가 간섭으로 작용된다.

$N$  명의 사용자가 있는 경우 사용자  $i$  의  $GW$  를  $GW_i$ , 사용자  $i$  의  $Node$  를  $Node_i$ , 그리고  $GW_i$  가 송신하는 신호를  $s_i$  로 나타낼 경우  $Node_i$  가 수신하는 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$r_i = h_{ii}s_i + \sum_{\substack{j \neq i \\ j=1}}^N h_{ji}s_j + n \quad (4)$$

식 (4)에서  $h_{ii}$  는  $GW_i$  와  $Node_i$  사이의 무선 채널,  $h_{ji}$  는  $GW_j$  와  $Node_i$  사이의 무선채널 환경을 나타낸다. 그리고  $n$  은 AWGN (Additive White Gaussian Noise) 를 나타낸다. 또한 식 (4)에서 복원할 신호는  $s_i$  이며, 나머지는 간섭신호가 된다.

### 3.2 간섭제거 알고리즘

#### 3.1.1 MMSE

Weiner-Hopf 를 이용한 알고리즘은 가중치 벡터를 이용하여 MMSE가 최소가 되도록 하는 알고리즘으로 MMSE 는  $E[(s_i - wr_i)^2]$  와 같이 표현할 수 있으며, 여기서 가중치 벡터  $w$  를 구하기 위해 Weiner-Hopf equation 을 이용하여 정리하면 다음과 같이 가중치 벡터를 구할 수 있다[7].

$$w = \gamma \Gamma^{-1} \quad (5)$$

여기서 위 첨자  $-1$  은 역행렬,  $\gamma$  는 송신신호  $s_i$  와 수신신호  $r_i$  의 cross correlation 을 나타내며 식 (6)과 같이 표현할 수 있다. 그리고  $\Gamma$  는 수신신호  $r_i$  의 auto correlation 을 나타내며, 식 (7)로 표현할 수 있다.

$$\gamma = E[\hat{s}_i r_i^T] \quad (6)$$

여기서 위 첨자  $T$  는 전치행렬,  $E$  는 기대값을 나타낸다. 그리고  $\hat{s}_i$  는 훈련 심볼을 통해서 구할 수 있다.

$$\Gamma = E[r_i r_i^T] \quad (7)$$

#### 3.1.2 Optimal Combining (OC)

OC 알고리즘도 MMSE 알고리즘과 마찬가지로 가중치 벡터를 수신신호와 곱해서 간섭을 제거하는 방식이다. 하지만 MMSE 알고리즘의 경우 MMSE 가 최소화가 되는 가중치 벡터를 구했지만 OC 의 경우 SINR (Signal to Interference plus Noise Ratio) 이 최대가 되도록 하는 알고리즘이다[8,9].

수신신호  $r_i$  와 가중치 벡터  $w$  를 곱하면 식 (8) 과 같이 표현 할 수 있다.

$$y = wr = w(h_i s_i + u) \quad (8)$$

여기서  $u$  는 간섭신호와 잡음신호를 합친 신호를 나타내며, 식 (8)을 SINR로 나타내면 다음과 같다.

$$SINR = \frac{E[|wh_i s_i|^2]}{E[|wu|^2]} \quad (9)$$

식 (9)에서 SINR이 최대가 되도록 하는 값을 얻기 위해서 슈바르츠 부등식을 이용하여 정리하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$SINR = \frac{E[|s_i|^2 |wh_i|^2]}{E[|wuu^T w|^2]} \leq \left| R^{-\frac{1}{2}} h_i \right|^2 \quad (10)$$

여기서  $R$  은  $u$  의 공분산을 나타내며, 식 (10)을 만족하는 가중치 벡터  $w$  는 다음과 같다.

$$w = R^{-1} h_i \quad (11)$$

$u$  는 송신 안테나와 수신 안테나가 알고 있는 훈련 심볼과 채널 응답을 통해서 구할 수 있다.

#### 3.1.1 Maximum Likelihood (ML)

ML 알고리즘은 송신 안테나에서 송신 할 수 있는 모든 심볼의 조합을 이용해서 신호를 검출 하는 방식이다[8].

$$\tilde{s}_i = \operatorname{argmin} \left\| r_i - \sum_{j=1}^N h_{ji} \bar{s}_j \right\|^2 \quad (12)$$

여기서  $\bar{s}_j$  는 송신 안테나에서 송신 가능한 모든 심볼들을 나타낸다.

ML 알고리즘은 최적의 성능을 내지만 모든 송신 가능한 심볼을 대입하여 계산하는 복잡도와 간섭의 영향을 주는 모든 채널 정보를 알고 있어야지만 신호 검출이 가능하기 때문에 복잡도가 크다는 단점이 있다.

#### 4. 모의 실험 및 결과

기존의 알고리즘들을 Matlab 시뮬레이션을 통하여 각 알고리즘의 검출 성능 비교를 위해 복호후의 BER (Bit Error Rate) 을 비교를 하였다. 모의 실험 설정을 표 2에 나타난 것처럼 IEEE 802.15.6 의 물리계층 파라미터 값으로 데이터 신호를 생성하고 간섭채널 환경을 구축 하였다.

간섭 채널 환경의 경우 송신 노드는 가슴에 위치시켰으며, 수신 노드는 허리에 위치하여 통신하는 것을 가정하여 거리는 모의실험 환경을 구축 하였다.

표 2. WBAN 모의실험을 위한 파라미터

파라미터	값
간섭 사용자의 수	3
변조방식	Differential BPSK
pathloss	$6.60 \log_{10}(d) + 36.1 + 3.80 (dB)$
주파수 대역	2.4GHz
노드 사이 거리	40cm
사용자 간격	2m

그림 3은 채널 추정이 완벽히 이루어진 상태에서의 기존의 알고리즘인 MMSE, OC, ML 을 비교한 그래프이다. 그림 3에서 receiver 는 간섭제거 알고리즘을 쓰지 않고 신호를 검출 한 경우를 나타낸다. 여기서 ML 알고리즘을 적용한 BER 성능이 OC에 비해서 약 2 dB 정도 높은 성능을 보였으며, MMSE보다 약 4 dB 정도 향상된 성능을 내는 것을 볼 수 있다. 이를 통해 ML 알고리즘이 가장 우수한 성능을 보이는 것을 알 수 있다.

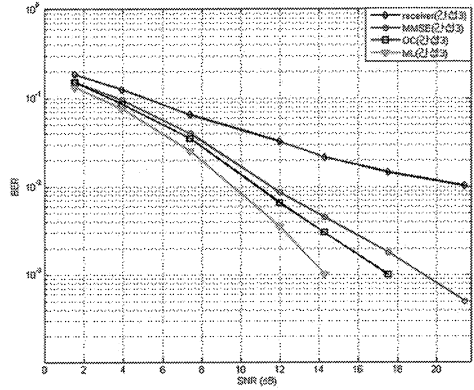


그림 3. 알고리즘 성능 비교 (perfect channel)

그림 4는 완벽하게 채널 추정을 한 결과와 완벽하지 않은 상태의 채널 추정을 한 결과를 비교한 그래프를 나타내며, 점선으로 표시된 그래프가 채널 추정이 완벽하지 않은 경우의 BER 성능을 나타낸다.

그림 4를 통해 채널 추정이 완벽하게 되지 않아도 ML 의 성능이 가장 우수하다는 것을 확인 할 수 있었다. 그리고 MMSE 와 OC 의 성능을 비교해보면 채널 추정이 완벽한 경우 OC 가 약 1 dB 정도 성능이 좋았지만 채널 추정이 완벽하지 않은 경우 0.5 dB 정도의 차이로 채널추정이 완벽했을 때에 비해서 성능이 떨어진 것을 확인할 수 있다. 그 이유는 MMSE 는 자기신호의 채널만 추정하면 되는 반면 OC 는 다른 간섭 사용자의 채널도 다 추정을 해야 하기 때문이다.

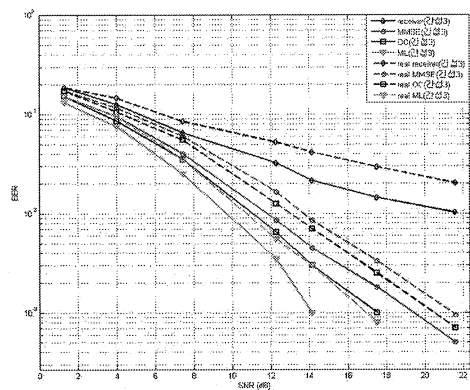


그림 4. 채널 추정에 따른 알고리즘 성능 비교

#### 5. 결론

본 논문은 2.4Ghz 주파수 대역을 사용하는 WBAN 환경에서 간섭제거를 위한 알고리즘을 수신기에 적용시켜 시뮬레이션을 통해 성능을 분석하였

으며, 또한 IEEE 802.15.6 에서의 채널 모델구성을 분석하였다.

모의실험 결과 ML 알고리즘이 가장 우수한 성능을 보이는 것을 확인 할 수 있었으며, 채널추정의 상태에 따라 OC 와 MMSE 의 성능 차이가 줄어드는 것을 확인 할 수 있었다. 이러한 결과가 의미하는 것은 간섭제거 알고리즘이 채널 정보를 이용하여 간섭제거를 하기 때문에 다른 사용자들의 정보를 정확히 알아야한다는 문제점이 존재한다. 또한 알고리즘에 따른 복잡도를 보면 ML 과 OC 의 경우 자신의 송신 노드뿐 아니라 간섭을 주는 노드의 채널정보까지 추정해야하기 때문에 간섭을 주는 사용자의 정보까지 추가적으로 구해야하는 문제점이 있다. MMSE 의 경우 자신의 채널정보만 알면 구할 수 있지만 성능이 가장 낮은 결과를 보이는 것을 확인 할 수 있었다. 하지만 WBAN 의 경우 인체에 부착되어 통신하는 환경이기 때문에 노드의 크기는 작아야 하며, 또한 수신기에 적용하는 알고리즘의 복잡도도 낮아야한다. 따라서 간섭을 주는 사용자들의 채널 정보를 알지 못하는 상태에서 간섭을 제거하는 방식이나 채널 추정이 아닌 간섭신호의 전력만을 측정하여 간섭을 제거할 수 있는 방식 등 복잡도와 효율사이의 적당한 trade-off 를 만족하는 알고리즘을 연구해야 할 것이다.

**참 고 문 헌**

[1] 이형수, "WBAN 주파수 분배동향 및 주파수 대역 제안", 한국통신학회지, 제25권, 제2호, pp.6-10, 2008.

[2] M. Motani, Y. kok-kiong, A. Natarajan, B. de Silva, S. Hu, and K. C. Chua, "Network Characteristics of Urban Environments for Wireless BAN", *Biomedical Circuit and System Conference*, pp.179-182, Nov. 2007.

[3] Crossbow, "Avoiding RF Interference Between WIFI and Zigbee", *Crossbow Technical Report*.

[4] S. L. Cotton., W. G. Scanlon, and P. S. Hall., "A Simulated Study of Co-Channel Inter-BAN Interference at 2.45GHz and 60GHz", *Wireless Technology Conference*, pp.61-64, Sept. 2010.

[5] IEEE 802.15.6 TG, *Channel Model for Body Area Network (BAN)*, July 2010.

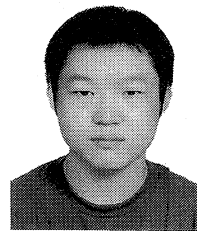
[6] IEEE 802.15.6 TG, *Channel Models for WBANs -NICT*, Nov. 2008.

[7] P. V. Reddy, and V. Ganapathy, "Performance of

Multi User Detector based receivers for UWB body area networks", *10th International Conference on HealthCom*, pp.227-231, July 2008.

[8] D. Bladsjo, A. Furuskar, S. Javerbring, and E. Larsson, "Interference cancellation using antenna diversity for EDGE-enhanced data rates in GSM and TDMA/136", *Vehicular Technology Conference*, pp.9156-1960, Sep. 1999.

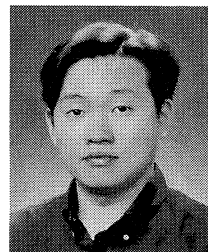
[9] J. H. Winters, "Optimum combining in digital mobile radio with cochannel interference", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol.33, no.4, pp.144-155, 1984.



**최 원 석**

2009년 2월 한국산업기술대학교 전자공학과 졸업 (학사)  
 2009년 3월 - 현재 한국산업기술대학교 정보통신 (석사과정)

관심분야 : 협력통신, 다중안테나기술, 간섭제거기법, WBAN 통신기술



**김 정 군**

1991년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업 (학사)  
 1993년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업 (석사)

1998년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업 (박사)  
 1998년 6월 - 1999년 5월 미국 University of Hawaii 전자공학과 Post-Doc  
 1999년 6월 - 2001년 4월 LG Telecom 차세대 통신 연구소 선임 연구원  
 2001년 5월 - 2003년 2월 삼성전자 통신 연구소 표준 연구팀 책임연구원  
 2010년 2월 - 2011년 2월 미국 USC 전기공학과 Visiting Scholar  
 2003년 3월 - 현재 한국산업기술대학교 전자공학과 부교수

관심분야 : 4G 이동통신, MIMO, 셀룰러시스템, 협력통신, WBAN 구현 및 응용기술