

WBAN 환경에서 채널 추정 기반의 공용 채널 간섭 제거 기술

준회원 최 원 석*, 종신회원 김 정 곤**

A Study for Co-channel Interference Cancellation Algorithm with Channel Estimation for WBAN System Application

Won-seok Choi* Associate Member, Jeong Gon Kim** Lifeling Member

요 약

본 논문은 2.4GHz 대역을 사용하는 WBAN (Wireless Body Area Network) 환경에서 동일 채널을 사용하는 경우에 발생하는 간섭을 제거하기 위한 여러 간섭 제거 기술에 대해서 분석 하고 서로 비교, 평가 하였다. ML (Maximum Likelihood), OC (Optimal Combining) 그리고 MMSE (Minimum Mean Square Error) 방식이 후보 기술로 고려되었으며, 수신 성능과 구현 복잡도 사이의 trade-off 관점에서 서로 비교 하였다. IEEE 802.15.6 에서 제시 하는 채널 모델 및 간섭 시나리오를 적용하여 성능 평가를 수행한 결과, ML과 OC 알고리즘 등이 우수한 성능을 나타내는 것을 알 수 있었다. 하지만, ML과 OC의 경우 원하는 신호의 채널 정보뿐만 아니라 간섭 채널의 정보를 알아야 하기 때문에 채널을 추정하기 위한 구현 복잡도 및 추정 에러에 민감한 단점을 가지고 있게 된다. 한편, 실제 채널 추정을 수행 하여 성능 비교를 한 경우에는 MMSE와의 성능 격차가 많이 감소한 것을 볼 수 있었으며, 이에 따라, 저전력 및 소형화가 필요한 WBAN 환경에 적용하기 위해서는 성능과 복잡도 사이의 trade off를 고려한 간섭 제거 기술의 선택 및 연구가 중요할 것으로 판단된다.

Key Words : WBAN, 간섭제거, MMSE, Optimal Combining, Maximum Likelihood

ABSTRACT

In this paper, we analyze and compare several co-channel interference mitigation algorithms for WBAN application in 2.4 GHz ISM frequency bands. ML (Maximum Likelihood), OC (Optimal Combining) and MMSE (Minimum Mean Square Error) has been considered for the possible techniques for interference cancellation in view of the trade off between the performance and the complexity of implementation. Based on the channel model of IEEE 802.15.6 standard, simulation results show that ML and OC attains the lower BER performance than that of MMSE if we assume the perfect channel estimation. But, ML and OC have the additional requirement of implementation for his own and other users's channel estimation process, hence, besides the BER performance, the complexity of implementation and the sensitivity to channel estimation error should be considered since it requires the simple and small sized equipment for WBAN system application. In addition, the gap of detection BER performance between ML, OC and MMSE is much decreased under the imperfect channel estimation if we adopt real channel estimation process, therefore, in order to apply to WBAN system, the trade off between the BER performance and complexity of implemetation should be seriously considered to decide the best co-channel interference cancellation for WBAN system application.

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 IT 융합 고급인력과정 지원사업의 연구 결과로 수행되었습니다. (NIPA-2012-H0401-12-1007)

* 한국산업기술대학교 전자공학과 무선 통신 연구실(po0085@kpu.ac.kr)

** 한국산업기술대학교 전자공학과 무선 통신 연구실(jgkim@kpu.ac.kr) (° : 교신저자)

논문번호 : KICS2012-01-037, 접수일자 : 2012년 1월 31일, 최종논문접수일자 : 2012년 5월 7일

I. 서 론

최근 U-헬스케어, 유비쿼터스와 같은 IT (Information Technology)-BT (Bio Technology) 융합 기술 분야의 관심이 높아지면서 WBAN (Wireless Body Area Network) 시스템과 관련된 연구가 활발하게 진행 중이다. WBAN에 대한 인체를 기준하여 인체 내부 및 인체로부터 3미터 이내의 무선 통신을 의미한다. 즉, 인체 내에 이식된 의료 장치, 사람이 착용하는 옷이나 인체에 부착된 여러 장치를 상호 연결하는 새로운 유형의 무선 통신이다^[1].

IEEE 802.15.6 을 중심으로 물리계층, 데이터 링크계층, 네트워크계층 및 응용계층 등에 대한 표준화가 진행되고 있다. WBAN은 응용 분야 및 장치의 위치에 따라 분류할 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 BAN인 의료 분야와 비디오, 오디오 및 모바일 전송을 위한 비 의료 분야로 나눌 수 있다. 또한 장치의 위치에 따라 인체 내부 통신과 인체 표면 통신, 그리고 인체 외부 통신으로 분류할 수 있다.

WBAN은 인체 내의 근거리 통신이며, 고 신뢰성을 요구하기 때문에 신호를 전송함에 있어 발생하는 여러 가지 간섭을 효율적으로 억제하여 송신 신호를 제대로 수신해야 할 필요가 있다. 따라서 WBAN에서의 간섭 제거는 반드시 필요하다고 할 수 있다.

기존에 2.4GHz 주파수 대역에서의 간섭 제거 및 완화에 대한 연구로 무선 LAN과 ZigBee간 주파수 간섭에 대한 실험으로 네트워크 채널 간섭의 개선 연구에 대한 논문^[2], WiFi와 Bluetooth 환경의 거리에 따른 실험을 통한 주파수 간섭 영향 하에서의 ZigBee의 동작 정도 실험 논문^[3], ZigBee 네트워크에서의 간섭 제거를 채널 호핑 기법을 통하여 자원 낭비 및 패킷 손실을 최소화하는 방법^[4], LBT (Listen Before Talk)를 통한 채널 간 간섭 완화 연구 자료^[5], 2.4GHz 주파수 대역에서의 채널간 간섭 제거 및 완화에 대한 연구가 얼마나 중요한지를 나타내고 있으며, 앞으로도 이러한 간섭 제거에 대한 연구가 계속 진행되어야 한다.

본 논문에서는 IEEE 802.15.6 에서 정의한 주파수 대역 중 의료용 대역을 제외하고 가장 활용도가

크며 공용으로 사용할 수 있는 2.4GHz 대역의 채널 간섭에 대하여 분석 하였다. WBAN을 2.4GHz 대역을 통하여 통신을 한다고 가정하였을 경우 ISM 대역에 속하므로 다양한 이기종 프로토콜 (Bluetooth, WiFi)로 인해 간섭이 발생할 수 있다. 이에 관한 연구로 WBAN과 전자레인지에서 발생하는 전자파 사이의 간섭을 분석한 논문^[6], Zigbee와 WiFi 사이에 발생하는 간섭의 영향을 나타낸 자료^[7]를 통해서 이기종 네트워크로 인하여 발생하는 간섭이 같은 채널을 사용할 때 발생하는 간섭에 비해서 적은 영향을 보인다는 것을 알 수 있었다. 같은 채널을 사용함으로써 발생하는 간섭의 경우 2.4GHz 대역을 이용할 때의 간섭이 다른 주파수 대역에 비해서 더 큰 간섭으로 작용한다는 연구^[8]를 통해서 이기종 네트워크에 따른 간섭보다 같은 채널을 사용할 때 발생하는 간섭의 영향이 더 크다는 것을 알 수 있었다. 따라서 2.4GHz 대역에서 같은 채널을 사용할 때 발생하는 간섭 환경에서 간섭 제거를 하는 것은 중요한 이슈이다.

본 논문에서는 같은 채널을 사용함으로써 발생하는 간섭을 효율적으로 제거하는 방법으로 기존의 무선 통신에서 사용되는 MMSE (Minimum Mean Square Error)를 최소화 시키는 방식의 알고리즘, 간섭신호와 잡음신호의 공분산을 이용하여 가중치 벡터를 구하는 최적 결합 (Optimal Combining; OC)기술 그리고 송신신호의 모든 심볼 값을 대입하여 노름 (norm)값이 최소가 되는 기술을 적용하여 모의실험을 하였으며, 이를 통해서 산출된 결과를 분석하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II 장에서는 IEEE 802.15.6 에서 정의된 채널모델의 구성에 대해 언급하였으며, III 장은 간섭 제거 기술을 적용하기 위한 시스템 모델 및 기존의 간섭 제거 알고리즘을 설명하였다. IV 장에서는 간섭 제거 알고리즘을 시뮬레이션을 통하여 분석하였으며, 마지막으로 V 장에서 결론을 맺는다.

II. IEEE 802.15.6 기반 전송 채널 모델

IEEE 802.15.6 에서 WBAN을 위한 채널 모델과 이에 따른 주파수 대역을 표준에서 결정하였는데 그 모델은 그림 1과 같다^[9].

그림 1은 IEEE 802.15.6 에서 정의한 채널 모델을 나타낸 구성도이다. 채널 모델은 노드들의 위치에 따라 통신할 수 있는 모든 상황에 대해 구성하

였으며, 총 4가지 채널 모델이 구성된다. 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 1 과 같다.

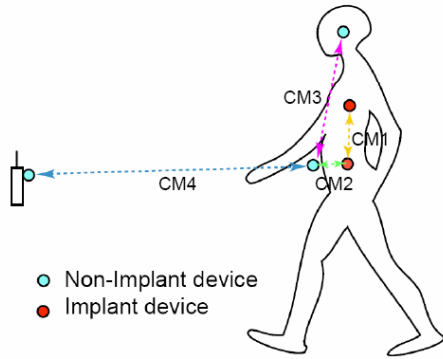


그림 1. IEEE 802.15.6에서 정의한 채널 모델
Fig. 1. Channel model of IEEE 802.15.6

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

표 1. 802.15.6의 채널 시나리오
Table 1. List of scenarios in 802.15.6

| 시나리오 | 설명 | 주파수 대역 | 채널 모델 |
|------|-------------------|--|-------|
| S1 | 신체내부와 신체내부 | 402-405 MHz | CM 1 |
| S2 | 신체내부와 신체외부 | 402-405 MHz | CM 2 |
| S3 | 신체내부와 외부 | 402-405 MHz | CM 2 |
| S4 | 신체외부와 신체외부 (LOS) | 13.5, 50, 400, 600, 900 MHz, 2.4, 3.1-10.6 GHz | CM 3 |
| S5 | 신체외부와 신체외부 (NLOS) | 13.5, 50, 400, 600, 900 MHz, 2.4, 3.1-10.6 GHz | CM 3 |
| S6 | 신체외부와 외부 (LOS) | 900 MHz, 2.4,3.1-10.6 GHz | CM 4 |
| S7 | 신체외부와 외부 (NLOS) | 900 MHz, 2.4,3.1-10.6 GHz | CM 4 |

본 논문은 의료용 대역을 사용하는 신체 내부 통

신에서 발생하는 간섭시나리오 분석이 아닌 2.4GHz 대역을 사용하는 WBAN 노드가 신체에 부착되어 다른 신체에 부착된 노드와 통신할 때 발생하는 채널 모델인 CM3에 대해서 분석하였다. IEEE 802.15.6 에서 CM3의 주파수 대역 중 2.4GHz 대역의 다른 pathloss모델을 실험을 통해 분석하였으며 이에 따른 pathloss모델은 다음과 같이 나타 낼 수 있다^[10].

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

여기서 d 는 노드와 노드사이의 거리(mm), a, b 는 least square fitting을 위한 상수 그리고 N 은 잡음신호의 전력을 나타내며 표 1^[10]에 제시되는 각 주파수 대역에 따른 파라미터 값을 참조하면 본 논문에서 고려하고 있는 2.4 GHz 대역에 대한 각 파라미터 값은 a 는 6.60, b 는 36.1 그리고 N 은 3.80 dB 로 결정 할 수 있을 것이다.

표 2. 각 주파수 대역별 파라미터
Table 2. Parameters of pathloss models

| 파라미터 | 각 주파수 대역폭에 따른 값 | | | | |
|-----------------|-----------------|---------|---------|---------|------|
| | 400M Hz | 600M Hz | 900M Hz | 2.4G Hz | UWB |
| a | 3.00 | 16.7 | 15.5 | 6.60 | 19.2 |
| b | 34.6 | -0.45 | 5.38 | 36.1 | 3.38 |
| σ_N [dB] | 4.63 | 5.99 | 5.35 | 3.80 | 4.40 |

III. WBAN 시스템 모델 및 간섭 제거 알고리즘

3.1. WBAN에서 같은 채널을 사용하는 경우의 시스템 모델

송신 안테나와 수신 안테나가 신체에 부착되어 있는 상태에서 간섭 노드들도 신체에 부착되어 있는 경우를 고려한 시스템 모델은 그림 3과 같이 구성된다.

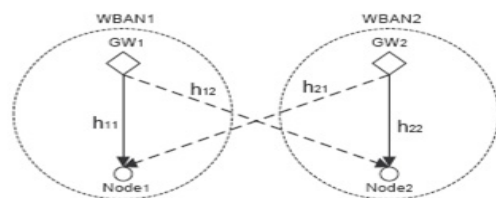


그림 3. 같은 채널을 사용하는 경우의 WBAN 모델
Fig. 3. Co-channel model in WBAN

여기서 GW1은 Node1에 송신하며, GW2는 Node2에 송신한다. 여기서 GW1의 신호는 Node2에 간섭으로 작용하며, Node1에도 마찬가지로 GW2의 신호가 간섭으로 작용된다.

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

$$r_i = h_{ii}s_i + \sum_{\substack{j \neq i \\ j=1}}^N h_{ji}s_j + n \quad (2)$$

식 (2)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)을 나타낸다. 또한 식 (2)에서 복원할 신호는 s_i 이며, 나머지는 간섭신호가 된다.

3.2. 간섭제거 알고리즘

3.2.1. MMSE

MMSE는 가중치 벡터를 이용하여 MMSE가 최소가 되도록 하는 알고리즘으로 $E[(s_i - \mathbf{w}r_i)^2]$ 와 같이 표현할 수 있다. 여기서 가중치 벡터 \mathbf{w} 를 구하기 위해 Weiner-Hopf equation을 이용하여 정리하면 다음과 같이 가중치 벡터를 구할 수 있다^[11].

$$\mathbf{w} = \gamma \Gamma^{-1} \quad (3)$$

여기서 위 첨자 $^{-1}$ 은 역행렬, γ 는 송신신호 s_i 와 수신신호 r_i 의 상호 상관을 나타내며 식 (4)와 같이 표현할 수 있다. 그리고 Γ 는 수신신호 r_i 의 auto correlation을 나타내며, 식 (5)로 표현할 수 있다.

$$\gamma = E[\hat{s}_i r_i^T] \quad (4)$$

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

$$\Gamma = E[r_i r_i^T] \quad (5)$$

3.2.2. OC

OC 알고리즘도 MMSE 알고리즘과 마찬가지로 가중치 벡터를 수신신호와 곱해서 간섭을 제거하는 방식이다. 하지만 MMSE 알고리즘의 경우 MMSE가 최소화 되는 가중치 벡터를 구했지만 OC의 경우 SINR (Signal to Interference plus Noise Ratio)이 최대가 되도록 하는 알고리즘이다^[12,13].

수신신호 r_i 와 가중치 벡터 \mathbf{w} 를 곱하면 식 (6)과 같이 표현할 수 있다.

$$y = \mathbf{w}r_i = \mathbf{w}(h_i s_i + u) \quad (6)$$

여기서 u 는 간섭신호와 잡음신호를 합친 신호를 나타내며, 식 (7)을 SINR로 나타내면 다음과 같다.

$$SINR = \frac{E[|\mathbf{w}h_i s_i|^2]}{E[|\mathbf{w}u|^2]} \quad (7)$$

식 (7)에서 SINR이 최대가 되도록 하는 값을 얻기 위해서 슈바르츠 부등식을 이용하여 정리하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$SINR = \frac{E[|s_i|^2 |h_i|^2]}{E[|\mathbf{w}u u^T \mathbf{w}^T|^2]} \leq \left| \mathbf{R}^{\frac{1}{2}} h_i \right|^2 \quad (8)$$

여기서 \mathbf{R} 은 u 의 공분산을 나타내며, 식 (8)을 만족하는 가중치 벡터 \mathbf{w} 는 다음과 같다.

$$\mathbf{w} = \mathbf{R}^{-1} h_i \quad (9)$$

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

3.2.3. ML

ML 알고리즘은 송신 안테나에서 송신할 수 있는 모든 심볼의 조합을 이용해서 신호를 검출하는 방식이다^[12].

$$\tilde{s}_i = \arg \min \left\| r_i - \sum_{j=1}^N h_{ji} \tilde{s}_j \right\|^2 \quad (10)$$

여기서 \bar{s}_i 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 있어야만 신호 검출이 가능하기 때문에 복잡도가 크다는 단점이 있다.

IV. 모의실험 및 결과

기존의 알고리즘들을 각 알고리즘의 검출 성능 비교를 하기 위해 Matlab 시뮬레이션을 통하여 복호후의 BER (Bit Error Rate)을 비교하였다. 모의실험 설정을 표 3에 나타낸 것처럼 IEEE 802.15.6의 물리계층 파라미터 값으로 데이터 신호를 생성하고 간섭채널 환경을 구축하였다. 송신노드는 가슴에 위치시키고, 수신노드는 허리에 위치시켜 통신하는 것을 가정하여 가슴과 허리 사이의 거리를 구하였으며 이를 식 (1)에 대입하여 측정된 환경으로 모의실험을 하였다.

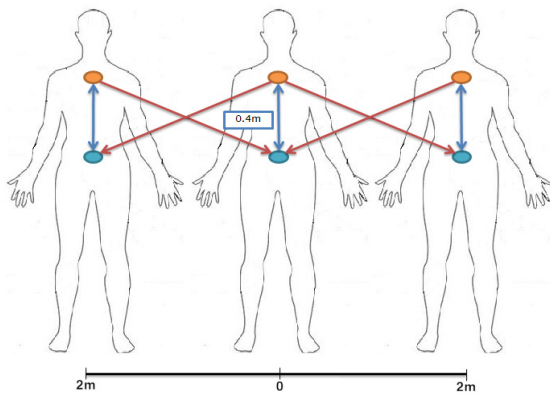


그림 4. 모의실험 환경
Fig. 4. The simulated environment

그림 4와 같이 모의실험 환경을 가정하여 Matlab 시뮬레이션을 구현하였다. 그림 4와 같이 가슴에 부착된 송신노드와 허리에 부착된 수신노드의 간격은 40cm로 가정하고, 자신의 송신노드와 다른 사람의 송신노드의 거리를 2m로 가정을 하였다. 파란색의 화살표는 자신의 송신노드와 수신노드의 무선 채널 환경을 말하며, 붉은색 화살표는 서로 다른 사람의 수신노드로의 간섭신호를 나타낸다.

표 3. WBAN 모의실험을 위한 파라미터
Table 3. Parameters for WBAN simulation

| 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 5는 채널 추정이 완벽히 이루어진 상태에서의 기존의 알고리즘인 MMSE, OC, ML을 비교한 그래프이다. 그림 5에서 receiver는 간섭제거 알고리즘을 쓰지 않고 신호를 검출한 경우를 나타낸다. 여기서 ML 알고리즘을 적용한 BER 성능이 OC에 비해서 약 2 dB정도 높은 성능을 보였으며, MMSE 보다 약 4 dB정도 향상된 성능을 내는 것을 볼 수 있다. 이를 통해 ML 알고리즘이 가장 우수한 성능을 보이는 것을 알 수 있다.

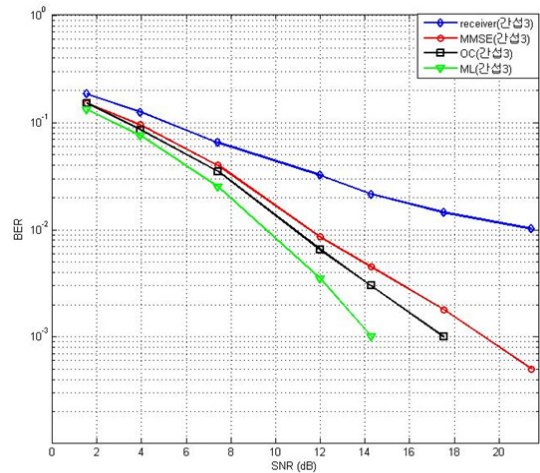


그림 5. 각 알고리즘의 BER 성능
Fig. 5. BER performance of each algorithm

그림 7은 완벽하게 채널 추정을 한 결과와 완벽하지 않은 상태의 채널 추정을 한 결과를 비교한 그래프이며, 점선으로 표시된 그래프는 채널추정이 완벽하지 않은 경우의 BER 성능을 나타낸다.

채널 추정을 위해 5개의 심볼마다 하나씩 훈련 심볼을 삽입하여 훈련 심볼들 간의 위상 변화와 진폭 변화를 측정하였다. 훈련 심볼들 사이에 있는 데이터 심볼의 위상과 진폭의 변화에 대해 선형 보간법을 이용하여 채널추정을 할 수 있도록 하였다. 그림 6은 훈련 심볼의 위치를 나타낸 그림으로 검은

색이 혼란 심볼, 흰색이 데이터 심볼을 나타낸다.

V. 결 론

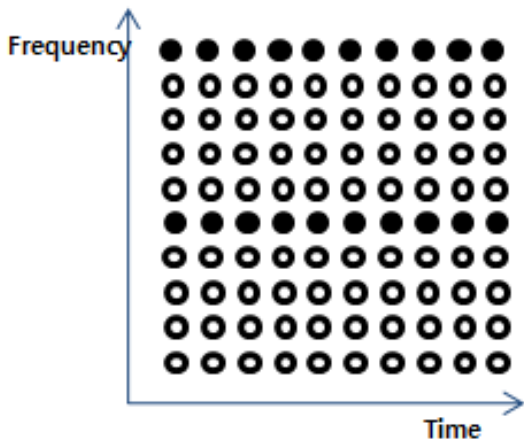


그림 6. 채널 추정을 위한 훈련심볼의 위치
Fig. 6. Training sequence for channel estimation

그림 7을 통해 채널 추정이 완벽하게 되지 않아도 ML의 성능이 가장 우수하다는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 MMSE와 OC의 성능을 비교해보면 채널 추정이 완벽한 경우 OC가 약 1dB 정도 성능이 좋았지만 채널 추정이 완벽하지 않은 경우 0.5dB 정도의 차이로 채널 추정이 완벽했을 때에 비해서 성능이 떨어진 것을 확인할 수 있다. MMSE는 원하는 신호의 채널만 추정하면 되는 반면 OC는 다른 간섭 사용자의 채널도 모두 추정해야 하기 때문이다.

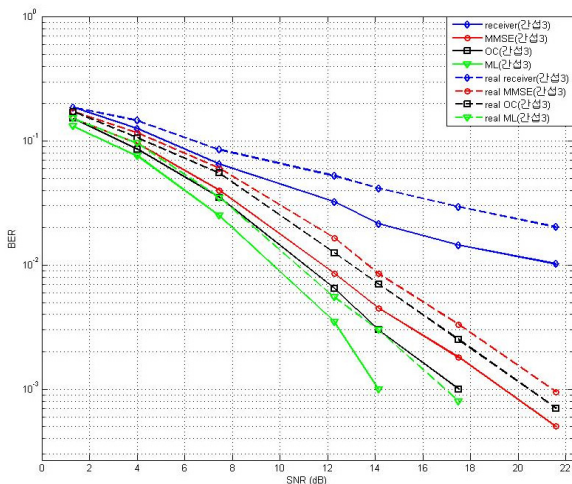


그림 7. 채널 추정에 따른 각 알고리즘 BER 성능
Fig. 7. BER performance of each algorithm according to channel estimation

본 논문에서는 2.4GHz 주파수 대역을 사용하는 WBAN 환경에서 간섭제거를 위한 알고리즘을 수신기에 적용시켜 시뮬레이션을 통해 성능을 분석하였으며, IEEE 802.15.6 에서의 채널 모델 구성을 분석하였다.

모의실험 결과 ML 알고리즘이 가장 우수한 성능을 보이며, 채널추정의 상태에 따라 OC와 MMSE의 성능 차이가 줄어드는 것을 확인할 수 있었다. 이는 OC나 ML의 경우 간섭을 주는 사용자의 채널 정보를 알고 있어야 정확한 간섭제거를 할 수 있기 때문이다. 또한 알고리즘에 따른 복잡도 측면에서 보면 ML과 OC의 경우 자신의 송신노드뿐 아니라 간섭을 주는 노드의 채널정보까지 추정해야 하기 때문에 간섭을 주는 사용자의 정보까지 추가적으로 구해야 하는 문제점이 있다. 따라서 간섭을 주는 사용자의 훈련 심볼을 수신 노드에서 알고 있어야만 간섭 사용자의 채널을 추정할 수 있게 된다. MMSE는 자신의 채널정보만 알면 구할 수 있지만 성능이 가장 낮은 결과를 보이는 것을 확인할 수 있었다. 하지만 WBAN의 경우 인체에 부착되어 통신하는 환경이기 때문에 노드의 크기가 작아야 하며, 또 수신기에 적용하는 알고리즘의 복잡도도 낮아야 한다. 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 효율 사이의 적당한 trade-off를 만족하는 알고리즘을 연구해야 할 것이다. 더욱이 2.4GHz 대역은 무선랜, 블루투스 등의 많은 간섭신호가 존재하는 환경이기 때문에 간섭제거를 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

References

- [1] H. Lee, "A Trend on Frequency Allocation and the Proposal of Frequency band for WBAN", *Information and Communication Magazine*, Vol. 25, No. 2, pp. 6-10, 2008.
- [2] M. Moon, M. Kim, M. Kang, I. Kim, M. Lee, "A Study on the Improvement of Zigbee based Network Interference", *Review of Korean Society for Internet Information* Vol. 3, No. 2, pp. 551-556, 2007.

[3] B. Woo, J. Jang, S. Bae, D. Lee, S. Shin, S. Oh, J. Kim, "A Test of Zigbee Function in Future Wi-Fi and Bluetooth Based Frequency Interference Environment", *2006 Korea Computer Congress*, Vol. 33, No. 1(A), pp. 181-183, 2006.

[4] J. Sohn, K. Jeong, "A Channel Hopping Scheme of Zigbee Network for WLAN based Frequency Interference Cancellation", *2011 Korea Computer Congress*, Vol. 38, No. 1(A), pp. 369-372, 2011.

[5] W. Lee, "An Efficient Channel Management for Wireless BAN", *Review of Korean Society for Internet Information*, Vol. 9, No. 4, pp. 37-47, 2008.

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

[7] Crossbow, "Avoiding RF Interference Between Wi-Fi and Zigbee", *Crossbow Technical Report*.

[8] S. L. Cotton., W. G. Scanlon, 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.

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

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

[11] P. V. Reddy, V. Ganapathy, "Performance of Multi User Detector based receivers for UWB body area networks", *10th International Conference on Health Communication*, pp. 227-231, July 2008.

[12] D. Bladsjo, A. Furuskar, S. Javerbring, 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.

[13] J. H. Winters, "Optimum combining in digital mobile radio with co-channel

interference", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 33, No. 4, pp. 144-155, August 1984.

최 원 석 (Won-seok Choi)



준회원

2009년 2월 한국산업기술대학교
전자공학과 졸업
2012년 2월 한국산업기술대학교
전자공학과 석사
<관심분야> 협력 통신, MIMO,
간섭 제거 기술

김 정 곤 (Jeong Gon Kim)



종신회원

1991년 2월 한국과학기술원
전기 및 전자공학과 졸업
1993년 2월 한국과학기술원
전기 및 전자공학과 석사
1998년 2월 한국과학기술원
전기 및 전자공학과 박사
1998년 6월~1999년 5월 미국
University of Hawaii 전자
공학과 Post-Doc.
1999년 6월~2001년 4월 LG Telecom 차세대 통
신 연구소 선임연구원
2001년 5월~2003년 2월 삼성전자 통신 연구소
표준 연구팀 책임연구원
2003년 3월~현재 한국산업기술대학교 전자공학
과 부교수
<관심분야> 4G 이동통신, MIMO, 셀룰러 시스템,
협력 통신, WBAN 구현 및 응용기술