



BER Performance of MIMO-OFDM Systems with I/Q Imbalances

Woojong Kim¹, Sang Kyu Park¹, Kwangmin Hyun²

¹Department of Electronics and Computer Engineering, Hanyang University

²Department of Information and Telecommunication Engineering, Gangneung-Wonju National University

ABSTRACT

In next-generation wireless communication systems, high-rate data transmission is required with the multimedia contents. MIMO-OFDM(Multiple Input Multiple Output – Orthogonal Frequency Division Multiplexing) with multi-level modulation and iterative decoding schemes is used to cope with the data traffic problem. But the performance of the communication system is affected by I/Q(In-phase/Quadrature) imbalance with imperfect practical circuits in noisy environment. In order to overcome the I/Q, amplitude and phase, imbalance, estimating noise variance is one of the important methods to enhance the system performance especially with MMSE(Minimum Mean Square Error) scheme. In this paper, we analyzed BER(Bit Error Rate) performances of MIMO-OFDM system with I/Q imbalance where we considered iterative decoding and MMSE scheme. The estimated noise variance value is used to calculate weighting matrix for MMSE filter. For MMSE, according to the amount of I/Q imbalance, it impacts on noise variance estimating performance, and larger the amount of I/Q imbalance leads to worse SNR resulting in performance degradation. If a specific threshold value of noise variance, to decide whether MMSE function is operated or not, is used. we can get better performance with simultaneous operation of iterative decoding and MMSE than without MMSE scheme depending on the amount of I/Q imbalance. The simulation results validate the proposed technique in BER performance.

© 2016 KKITS All rights reserved

KEYWORDS : MIMO-OFDM Systems, Noise Estimation, Noise variance, Minimum Mean Square Error(MMSE), BER performance

ARTICLE INFO: Received 27 March 2016, Revised 11 April 2016, Accepted 11 April 2016.

*Corresponding author is with the department of Information & Telecommunication Engineering, Gangneung-Wonju National University, 150 Namwon-ro

Heungupm Wonju, 26403, KOREA.
E-mail address: kamihyun@gwnu.ac.kr

1. 서론

최근 무선통신 분야에서는 통신 기술이 발전하면서 고품질의 음성서비스, 멀티미디어 서비스 등을 지원하게 되었다. 이에 따라 데이터 전송률과 주파수 대역 효율을 향상시키기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다[1, 2]. 이러한 연구를 통해 다중 안테나를 사용하여 신호를 송·수신하는 다중 안테나 (Multiple-Input Multiple-Output)시스템과 여러 개의 반송파를 사용하는 다수 반송파 전송의 일종인 직교 주파수 분할 다중화 (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 시스템이 개발되었다. 이 두 시스템을 결합한 시스템을 MIMO-OFDM 시스템이라 한다[3, 4].

MIMO-OFDM 시스템을 비롯한 대부분의 무선통신 시스템에서는 무선통신기기의 고 직접화 및 소형화를 위해 직접 변환 방식 (direct conversion)을 사용하는 무선 주파수 (radio frequency) 송·수신기를 사용한다. 이는 I/Q(Inphase-Quadrature) 진폭 및 위상 불균형 성분을 발생시킨다. 이렇게 이상적으로 생성되지 못한 I/Q 불균형은 신호의 불균형을 유발하고, OFDM 시스템에서 반송파의 직교성을 유지할 수 없으므로 I/Q 불균형의 영향으로 인해 성능 저하를 초래한다[5, 6].

본 논문에서는 I/Q 불균형에 따른 성능을 LTE 환경에서 터보 부호를 적용한 MIMO-OFDM 시스템의 성능을 분석한다. 또한, 채널 추정 단계에서 잡음 분산 추정을 통해 MMSE(Minimum Mean Square Error)의 사용을 위한 임계값을 결정하여 MMSE의 사용에 따른 성능을 비교한다. 잡음 추정을 통해서 혼련 신호검출이 가능하며 이를 통해서 더욱 송신 신호를 검출한다. MMSE는 가장 행렬을 수신 신호에 곱해주어 신호의 검출 성능을 높이지만 계산 복잡도는 증가하게 되는 trade-off를 갖게 된다 [7-9].

논문의 구성으로 2장에서는 다중안테나 시스템과 OFDM 시스템에 대하여 설명하고 본 논문의 시스템 모델을 정의한다. 3장에서는 MMSE 잡음 추정 기법에 대해 살펴보고, 4장에서는 I/Q 불균형과 잡음 분산과의 관계를 정의한다. 5장에서는 모의실험을 통해 성능을 분석하여 잡음 분산 값에 따라 MMSE 여파기의 사용 여부에 따른 성능 비교를 한다. 마지막으로 6장에서 결론을 맺는다.

2. 시스템 모델

2.1 다중 안테나 시스템

다중 안테나 시스템이란 송신단과 수신단에서 두 개 이상의 다중 안테나를 사용하는 시스템을 말한다. 이러한 시스템은 다수의 송신단 안테나와 수신단 안테나를 사용하며 전력과 주파수를 증가시키지 않고 안테나 수에 비례하는 채널 용량을 얻을 수 있는 장점이 있다. 또한, 각각의 송신 안테나로부터 독립적인 데이터를 동시에 고속으로 전송하여 공간 다중화 (spatial multiplexing)방식을 이용할 수 있다[10].

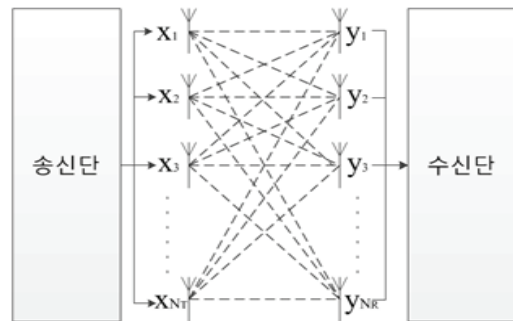


그림 1. MIMO 시스템 모델
Figure 1. MIMO system model

<그림 1>은 MIMO 시스템의 모델에 대한 그림이다. 본 논문에서는 MIMO 시스템 모델에서 N_t 개의 송신 안테나와 N_r 개의 수신 안테나를 사용하는 시스템을 다루게 된다. 이 때, 수신 신호는 다음과 같이 표현한다.

$$y = Hx + n \quad (1)$$

여기서 송신 신호 x 는 $N_t \times 1$ 행렬로 표현되고, N_t 개의 송신 안테나를 통해 송신된 신호를 나타낸다. 수신 신호 y 는 $N_r \times 1$ 행렬로 표현되고, N_r 개의 수신 안테나를 통해 수신된 신호를 나타낸다. 잡음 n 은 $N_r \times 1$ 행렬로 백색 부가 가우시안 잡음 (Additive White Gaussian Noise)을 나타낸다. 또한, H 는 $N_r \times N_t$ 의 채널 행렬로 각 송신 안테나에서 각 수신 안테나 사이의 채널 이득을 나타낸다. H 의 각 원소들은 i.i.d(independently and identically distributed)의 성질을 갖는다. 식 (1)을 행렬로 표현한 다중 안테나 시스템의 표현식은 식 (2)와 같다.

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_{N_r} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{1,1} & h_{1,2} & \dots & h_{1,N_t} \\ h_{2,1} & h_{2,2} & \dots & h_{2,N_t} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{N_r,1} & h_{N_r,2} & \dots & h_{N_r,N_t} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_{N_t} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ \vdots \\ n_{N_r} \end{bmatrix} \quad (2)$$

여기서 y_i 는 수신 신호, $h_{i,j}$ 는 채널 응답, x_j 는 송신 신호, n_i 는 잡음을 의미한다. 이때 i, j 는 $i = 1, \dots, N_r, j = 1, \dots, N_t$ 이다.

2.2 I/Q 불균형이 고려된 OFDM 시스템

OFDM 시스템은 2차원 신호화 방식을 사용하기 때문에 위상 잡음, 크기 감쇄, 전력 증폭기

(power amplifier)의 비선형성 등과 같은 이유로 In-phase 성분과 Quadrature 성분의 불균형이 발생한다. OFDM 시스템을 비롯한 무선통신 시스템에서는 송신단의 최종 블록 및 수신단의 최초 블록에서는 직접 변환 (direct conversion)을 하게 된다. 이상적인 송·수신단의 경우, 직접 변환기에서 완벽하게 I/Q 불균형을 생성 및 복원할 수 있지만 현실적으로는 90° 위상 천이에서 생성된 불균형 성분 때문에 이상적인 직교를 유지할 수 없다[11, 12].

또한, 저역 통과 필터 (low pass filter)를 구성하고 있는 소자의 특성, 데이터의 길이 및 필터의 차수에 의해 성능에 영향을 받게 되고, 사용된 전달 함수 (transfer function)의 차수, 전력 증폭기의 비선형성, 그리고 안테나로 들어오는 잡음 및 다른 사용자로부터의 간섭에 영향을 받아 직교성이 유지되기 힘들다. <그림 2>는 송신단에서의 I/Q 불균형 모델을 나타낸 것이다.

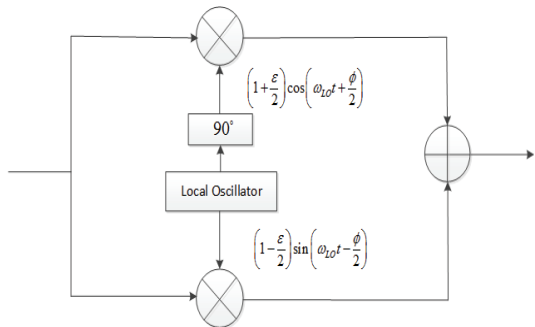


그림 2. 송신단의 I/Q 불균형 모델
Figure 2. I/Q imbalance model of transmitter

국부발진기에서 발생한 반송파로 인해 I/Q 불균형이 발생하게 된다. 진폭 오차(ϵ)와 위상 오차(ϕ) 때문에 완벽하게 직교를 이루지 못한다. 이렇게 영향을 받은 데이터들은 다른 데이터에 간섭을 일으키며 성능열화가 일어나게 된다.

3. 잡음 추정 기법

OFDM 시스템에서 하나의 OFDM 심볼 주기의 훈련 신호는 복소수 값을 가지는 신호로 변조된다. 여기서 변조된 훈련 신호들은 OFDM 심볼에서 각각의 부반송파에 실려서 보내지게 된다. 수신된 훈련 신호 y_{pilot} 는 식 (3)과 같이 표현된다.

$$y_{pilot} = Hx_{pilot} + n \quad (3)$$

여기서 x_{pilot} 은 OFDM 심볼의 훈련 신호이다. 다중 경로 채널은 병렬 시변 채널의 집합으로 변환될 수 있다. 각각의 훈련 부반송파를 통해 SNR(= E_b/N_0) 추정 값을 도출할 수 있고, 추정된 값은 모든 훈련 부반송파에 대해 평균을 취해 추정이 가능하다[13].

3.1 기존의 잡음 추정 기법

송신기에서는 훈련 신호와 데이터 신호를 전송한다. LTE 시스템에서는 일종의 격자 타입 구조의 훈련 신호 배열로 시간과 주파수 영역에서 주기적으로 훈련 신호가 배치된다. 훈련 신호는 한 개의 OFDM 심볼 주기 동안 주파수 영역에서 N_{pilot} 의 주기로 존재하는 것으로 가정한다. 주파수 영역에서의 하나의 OFDM 심볼은 식 (4)과 같이 표현된다.

$$X(k) = \begin{cases} \sqrt{P}, & \text{if } k \bmod N_{pilot} = 0 \\ S(k), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

여기서 P 는 훈련 신호의 전력을 의미하고, $S(k)$ 는 k 번째 부반송파의 데이터 신호를 의미한다. $X(k)$ 는 IFFT(inverse fast Fourier transform) 과정을 통해 시간영역의 신호로 바뀐다. 채널을 거쳐 수

신된 신호는 FFT(Fast Fourier Transform) 과정을 통해 주파수 영역의 신호로 다시 변형된다. 수신된 신호 $Y(k)$ 는 식 (5)와 같이 표현할 수 있다.

$$Y(k) = \begin{bmatrix} H_{00}(k) & H_{01}(k) \\ H_{10}(k) & H_{11}(k) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_0(k) \\ X_1(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} N_0(k) \\ N_1(k) \end{bmatrix} \quad (5)$$

여기서 $H_{ij}(k)$ ($i, j = 0, 1$)는 주파수 영역에서의 채널 응답을 의미한다. $N_i(k)$ ($i = 0, 1$)는 i 번째 수신 안테나에서의 i.i.d Complex AWGN를 의미한다. Complex AWGN은 $N_i(k) = N_{i,I}(k) + jN_{i,Q}(k)$ 로 표현할 수 있다. 여기서 $N_{i,I}(k)$ 는 Complex AWGN의 in-phase 성분을 나타내고, $N_{i,Q}(k)$ 는 quadrature 성분을 나타낸다[14].

수신기의 잡음 추정을 위해서 훈련 신호를 포함하는 OFDM 심볼에서 파일럿 신호를 제외한 신호들을 제거한 후 IFFT 과정을 수행하여 신호의 최대 전력을 측정한다. 이때 측정된 신호를 실제 신호로 판단한다. 이러한 과정을 통해서 잡음 전력의 평균을 구해 잡음 추정을 할 수 있다.

3.2 MMSE 알고리즘

MMSE 알고리즘에서는 수신된 신호의 샘플로부터 MMSE SNR 추정값 $\hat{\rho}_{i,MMSE}$ 를 식 (6)과 같이 쓸 수 있다.

$$\hat{\rho}_{i,MMSE} = \hat{S}_{i,MMSE} / \hat{N}_{i,MMSE} \quad (6)$$

여기서 $\hat{N}_{i,MMSE}$ 은 i 번째 수신 안테나에서 추정된 평균 잡음 전력을 의미한다. $\hat{S}_{i,MMSE}$ 은 추정된 평균 신호 전력을 의미하며 식 (7)과 같이 표현할 수 있다.

$$\hat{S}_{i,MMSE} = \frac{1}{T} \sum_{n=0}^{N-1} |y_i(k,n)|^2 - \hat{N}_{i,MMSE} \quad (7)$$

만약 추정된 채널을 알고 있다면, MMSE 알고리즘은 어떠한 채널에 대해서도 적용할 수 있는데 잡음의 추정은 채널 추정의 영향을 받는다. 만약 채널 추정이 정확하게 되지 않는다면 SNR 추정기의 성능 역시 나빠지게 된다[15].

4. 추정된 잡음에 따른 MMSE 여파기 사용

본 장에서는 MMSE 여파기를 이용하기 위해 앞에서 추정된 잡음 전력을 통해 성능을 비교한다. MIMO-OFDM 시스템을 비롯한 모든 무선통신 시스템에서는 송신된 신호가 채널을 거쳐 백색 부가 잡음이 더해지게 되고, 채널 추정 단계에서 이 잡음의 전력을 계산하여 잡음을 추정하게 된다. 기존의 잡음 추정 기법은 수신기에서 하나의 OFDM 심볼에서 기준 훈련 신호 (reference signal)를 제외하 나머지 데이터를 0으로 만든 후 IFFT을 수행하게 된다. 그러나 이러한 과정을 통해 잡음 전력을 추정할 때에는 전력이 임계값 (threshold)보다 클 경우, 신호로 인식하여 잡음을 추정하는데 있어 오류가 발생하게 된다. 이러한 오류는 시스템의 성능 열화를 발생시키므로 잡음만을 추정하는 기법은 중요하다. 따라서 MMSE 여파기를 사용하여 잡음을 추정한다. <그림 3>은 MMSE 여파기를 사용하는 수신기의 블럭도를 나타낸다.

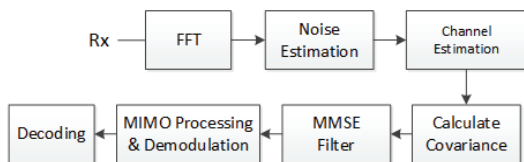


그림 3. MMSE 여파기를 포함한 수신기의 블럭도
Figure 3. Diagram of a receiver including an MMSE filter

수신단에서는 정해진 기준 훈련 신호를 수신 받아 잡음 및 채널 값을 추정할 수 있다. 수신된 신호의 잡음은 식 (8)과 같이 표현할 수 있고, 이 잡음을 통해 분산 값을 추정할 수 있게 된다.

$$n = y - Hx_{RS} \quad (8)$$

여기서 x_{RS} 는 기준 훈련 신호를 의미한다. I/Q 불균형의 정도에 따라 수신된 신호의 잡음 분산을 계산할 수 있다. <표 1>은 I/Q 불균형에 따른 잡음 분산을 나타낸다.

표 1. 진폭 및 위상 불균형에 따른 잡음 분산 값
Table 1. Noise variance value for I/Q Imbalance

	$\epsilon = 0$ $\phi = 0^\circ$	$\epsilon = 0.2$ $\phi = 5^\circ$	$\epsilon = 0.4$ $\phi = 10^\circ$
σ_n^2	1	1.135	1.376

진폭 및 위상 오차로 인하여 잡음 분산 값이 1.35 이상일 경우 SNR측면에서 1 dB 이상 열화가 생기기 때문에, 잡음 분산 값 1.35를 MMSE 여파기의 사용을 위한 임계값으로 설정하였다. 즉, 잡음 분산이 1.35 이상 일 때에는 MMSE 여파기를 사용하여 성능 열화를 줄일 수 있다. MMSE 여파기의 가중 행렬 (weighting matrix)은 mean square error가 최소가 되는 행렬을 의미한다. 가중 행렬 W' 은 식 (9)와 같이 표현할 수 있다.

$$W' = H^H \left(H H^H + \frac{\sigma_n^2}{\sigma_x^2} I \right)^{-1} \quad (9)$$

여기서 σ_n^2 은 수신된 신호의 잡음 분산이며 σ_x^2 은 훈련 신호의 분산을 의미한다. MMSE 여파기에

서는 가중 행렬을 통해 수신된 신호에 곱하게 된다. 여파기를 통과하여 출력된 신호 \hat{y} 는 식 (10)과 같이 표현할 수 있다.

$$\hat{y} = W'y \quad (10)$$

5. 모의실험 결과와 분석

5.1 Flat fading에서의 I/Q 불균형

Flat fading 환경에서 I/Q 위상 불균형 및 진폭 불균형을 고려한 MIMO-OFDM 시스템에서 터보 부호를 이용한 반복 복호를 수행할 때, MMSE 여파기의 영향에 대하여 BER 성능 시뮬레이션을 하였다. <표 2>는 시뮬레이션을 위한 여러 파라미터이다.

표 2. 모의실험 파라미터
Table 2. Parameters for simulation

Interleaver size	1792 bits
Modulation	QPSK
Code rate	1/3
Channel Model	Flat Fading + AWGN
Maximum iterations	12
Number of Tx antennas	2
Number of Rx antennas	2

<그림 4>, <그림 5>는 QPSK 변조 방식으로 수신 안테나와 송신 안테나를 각각 2개 사용하여 부호율 1/3로 부호화 하였을 때, flat fading 채널에서 I/Q 불균형이 발생하였을 때의 비트 오류 확률의 성능을 보여준다.

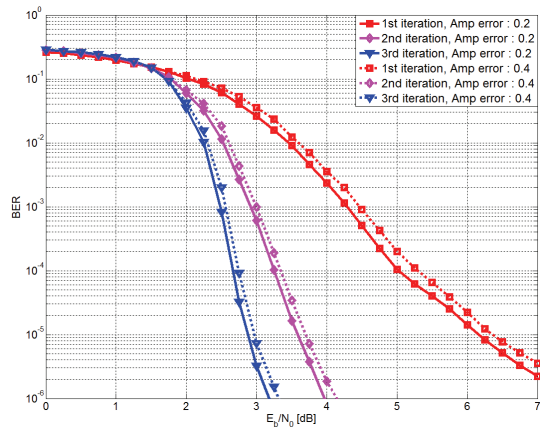


그림 4. Flat fading 환경에서 진폭오차에 따른 BER ($\epsilon = 0.2, 0.4, \phi = 0^\circ$)

Figure 4. BER performance Flat fading channel when $\epsilon = 0.2, 0.4, \phi = 0^\circ$

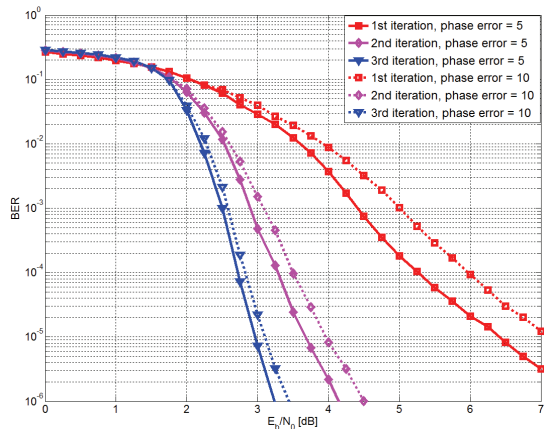


그림 5. Flat fading 환경에서 위상오차에 따른 BER ($\epsilon = 0, \phi = 5^\circ, 10^\circ$)

Figure 5. BER performance Flat fading channel When $\epsilon = 0, \phi = 5^\circ, 10^\circ$

5.2 MMSE 여파기 사용에 따른 BER

채널 추정 단계에서 I/Q 불균형이 $\epsilon = 0.4, \phi = 10^\circ$ 인 경우 MMSE 여파기 사용 여부에 따른 성능은 <그림 6>과 같다. 이때 잡음 분

산 값은 1.35 이상이다. 1회 복호 시 MMSE 여파기를 사용하지 않을 경우, BER 10^{-4} 을 얻기 위해 SNR이 약 6.3dB로 나타난다. 이는 I/Q 불균형이 없을 경우의 SNR과 비교하여 약 1.3dB의 성능 열화가 발생하게 된다. 하지만 MMSE 여파기를 사용할 경우에는 SNR이 약 6dB로 약 0.3dB의 성능 이득을 얻을 수 있다.

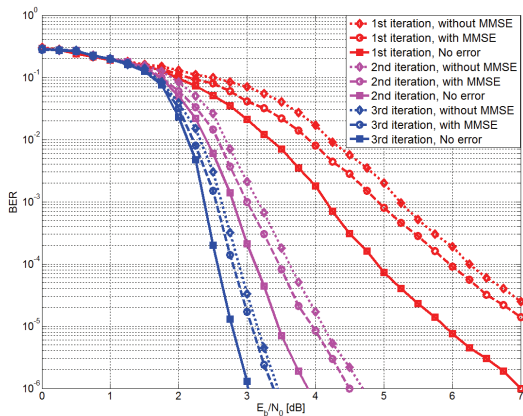


그림 6. MMSE 여파기를 사용 여부에 따른 BER 성능
Figure 6. BER performance compared to MMSE filter

반복을 함에 따라 성능 차이는 어느 정도 극복이 되지만 3회 반복 복호 후 결과를 보면 I/Q 불균형이 없는 경우에 비하여 약 0.3~0.4dB 정도의 성능 열화가 보이며, MMSE의 영향에 대해서는 약 0.1dB 정도의 성능 개선이 이루어짐을 알 수 있다.

6. 결 론

터보 부호가 적용된 MIMO-OFDM 시스템에서 반복 복호와 MMSE를 고려하여 I/Q 불균형 정도에 따른 BER 성능을 모의실험을 통해 측정하였다. 채널 및 잡음 추정을 통해 얻은 잡음 분산 값을 MMSE 여파기의 사용 여부를 결정하기 위한 임계값으로

적용하였다. 잡음 분산 값이 임계값 보다 클 경우에는, MMSE 여파기를 사용하면 복잡도가 증가하게 되지만 BER 성능은 개선할 수 있다. 따라서 반복 복호를 사용하는 MIMO-OFDM 시스템에서 I/Q 불균형으로 인해 시스템의 성능이 열화될 경우, 잡음 분산 추정 후에 MMSE 여파기를 사용하면 성능 열화를 완화시킬 수 있다.

References

- [1] G. L. Stuber, J. R. Barry, S. W. Maclaughlin, L. Ye, M. A. Ingram, and T. G. Pratt, *Broadband MIMO-OFDM wireless communications*, Proceeding of IEEE, vol. 92, no. 2, pp. 271-294, Feb. 2004.
- [2] A. Maltsev, R. Maslennikov, and A. Khoryaev, *Comperative analysis of spatial covariance matrix estimation methods in OFDM communication systems*, Proceeding of IEEE Symposium on Signal Processing and Information Technology, pp. 551-555, Aug, 2006.
- [3] B. Shim, and B. Lee, *Evolution of MIMO technology*, KOREA INFORMATION AND COMMUNICATIONS SOCIETY, Vol. 38, No. 8, pp. 712-723, Aug. 2013.
- [4] J. Hou, and J. Liu, *A novel channel estimation algorithm for 3GPP LTE downlink system using joint time-frequeuncy two-dimensional iterative wiener filter*, Proceeding of IEEE International Conference on Communication Technology, pp. 289-292, Nov. 2010.
- [5] A. Goldschmidt, S. A. Jafar, N. Jindal, and S. Vishwanath, *Capacity limits of MIMO channel*, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 21, No. 5, pp.

- 684-702, Jun. 2003.
- [6] A. Tarighat, and R. Bagheri, *Compensation schemes and performance analysis of IQ imbalances in OFDM receivers*, IEEE Transactions on Signal Processing, Vol. 53, No. 8, pp. 3257-3268, Aug. 2005.
- [7] P. S. Bhanubhai, M. G. Shajan, and U. D. Dalal, *Performance of turbo encoder and turbo decoder for LTE*, International Journal of Engineering and Innovative Technology, Vol. 2, No. 6, pp. 125-128, Oct. 2012.
- [8] C. Berrou, A. Glavieux, and P. Thitimajshima, *Near shannon limit error-correcting coding and decoding : turbo-codes*, IEEE Transactions on Communications, Vol. 44, No. 10, pp. 1261-1271, Oct. 1996.
- [9] S. Benedetto, and G. Montorsi, *Design Of parallel concatenated convolutional codes*, IEEE Transactions on Communications., Vol. 44, No. 5, pp. 591-600, May 1996.
- [10] J-K. Bang, and K-M. Hyun, *Channel noise estimation for MIMO-OFDM using mask function*, Journal of Knowledge Information Technology and Systems, Vol. 10, No. 4, pp. 485-492, Aug. 2015.
- [11] S-K. Park, and D-W. Yoon, *An alternative expression for the symbol error probability of MPSK in the presence of I/Q unbalance*, IEEE Transactions on Communications Vol. 52, No. 12, pp. 2079-2081, Dec. 2004.
- [12] C. Liu, *Impacts of I/Q imbalance on QPSK-OFDM-QAM detection*, IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 44, No. 3, pp. 984-989, Aug. 1998.
- [13] S. Boumard, *Novel noise variance and SNR estimation algorithm for wireless MIMO OFDM systems*, Proceeding of IEEE Global Communications Conference Exhibition & Industry Forum, Vol. 3, pp. 1330-1334, Dec. 2003.
- [14] R. Fukane, and L. Sahare, *Role of noise estimation in enhancement of noisy speech signals for hearing aids*, Proceeding of IEEE Computational Intelligence and Communication Networks, pp. 648-652, Oct. 2011.
- [15] V. Savaux, F. Bader, and Y. Louët, *A joint MMSE channel and noise variance estimation for OFDM/OQAM modulation*, IEEE Transactions on Communications, Vol. 63, No. 11, pp. 4254-4266, Nov. 2015.

I/Q 불균형이 있는 MIMO-OFDM 시스템의 BER 성능

김우종¹, 박상규¹, 현광민²

¹한양대학교 전자컴퓨터통신공학부

²국립강릉원주대학교 정보통신공학과

요 약

최근 무선통신 기술에서 급증하고 있는 데이터 트래픽 요구량에 대처하기 위해 다중 안테나 기술(Multiple-Input Multiple-Output : MIMO)과 Orthogonal Frequency Division Multiplexing(OFDM) 기술이 결합된 MIMO-OFDM 시스템이 널리 사용되고 있다. 하지만 무선통신 시스템에서 위상 잡음, 크기 감쇄, 전력 증폭기의 비선형성에 의해 국부 발진기(local oscillator)에서 In-phase 성분과 Quadrature 성분의 불균형이 발생한다. 이러한 불균형이 발생하게 되면 송신된 신호가 이상적인 정상도 위치에 수신되지 않아 비트 오류 확률(Bit Error Rate : BER)이 커지게 된다. 본 논문에서는 이러한 I/Q 불균형이 존재하는 상황에서 터보 부호를 적용한 MIMO-OFDM 시스템의 BER 성능을 모의실험 결과를 통해 분석한다. 이를 위해 현재 쓰이고 있는 LTE 환경에서 모의실험을 수행하였다. 또한, 채널 추

정 단계에서 잡음 추정을 통해 얻어진 잡음 분산 값으로 MMSE 여파기의 사용 여부를 위한 임계값(threshold)을 결정한다.



Woojong Kim received the B.S. degree in electronics and communication engineering from SoonChunHyang University in 2014. He is currently a master's student in electronics engineering at Hanyang University, Seoul, Korea. His research interests are in the areas of wireless communications systems and MIMO.

E-mail address: fire63@nate.com



Sang Kyu Park received the B.S. degree from Seoul National University, Korea, in 1974, the M.S. degree from Duke University, U.S.A. in 1980, and the Ph.D. degree from the University of Michigan, U.S.A. in 1987, all in Electrical Engineering. From July 1976 to October 1978, he was a research Engineer at Agency for Defense Development, Korea. From August 1990 to August 1991, he was a visiting Scholar at the University of Southern California, U.S.A. Since March 1987, he has been with the Department of Electronics and Computer engineering at Hanyang University, Korea, where he is currently a Professor. His research interests are in the areas of communications theory, wireless communications, mobile communications, spread spectrum communications, and secure communications.

E-mail address: skpark@hanyang.ac.kr



Kwangmin Hyun received the Ph.D. from the Division of Electrical and Computer Engineering at Hanyang University in 2004. Since, March 2005, he has been with the department of Information and Telecommunication Engineering at Gangneung-Wonju National University, Korea. His research interests are in the areas of communications theory, wireless communications, mobile communications, MIMO, and communication signal processing.

E-mail address: kamihyun@gwnu.ac.kr