



Channel Noise Estimation for MIMO-OFDM using Mask Function

Jaekwon Bang¹, Kwangmin Hyun²

¹*Department of Electronics and Computer Engineering, Hanyang University*

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

ABSTRACT

In wireless communication systems, the estimated noise variance is a significant parameter for SNR (Signal to Noise Ratio) estimation, estimation of channel impulse response, and MMSE (Minimum Mean Square Error) calculation. More accurately estimated noise variance provides better signal detection performance of systems. However the conventional noise estimation methods result in degradation of performance for the estimation when the noise power becomes higher than threshold value, especially with MMSE filter. In this paper, for more accurate noise estimation, a new noise estimation scheme is proposed by using mask function for FFT (Fast Fourier Transform) block in frequency domain at receiver. The mask function can reduce magnitude of side-lobes of channel response in time domain then it can estimate more accurate reference symbols. Through estimated reference symbols for channel estimation step, more accurate noise component can be estimated so we can obtain better performance of noise variance estimation. The accurately estimated noise variance value is used to calculate weighting matrix for MMSE filter. To prove that the systems using a new noise estimation scheme have better BER performance, we could analyze under several channel variations and compare BER performances for MIMO-OFDM (Multiple Input Multiple Output - Orthogonal Frequency Division Multiplexing) systems. BER performances using the proposed scheme are better than those using conventional noise estimation scheme under all channel situations.

© 2015 KKITS All rights reserved

KEYWORDS : MIMO-OFDM systems, Noise estimation, Noise variances, Minimum mean square error(MMSE), BER performances

ARTICLE INFO: Received 28 July 2015, Revised 14 August 2015, Accepted 14 August 2015.

*Corresponding author is with the Gangneung-Wonju National University, 150 Namwon-ro Wonju, 26403,

KOREA.

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

1. 서론

통신 기술의 발전에 따라 고품질의 음성서비스, 멀티미디어 서비스 등을 지원하며, 송/수신하는 데이터 양이 급증하고 있다. 이에 따라 데이터 전송률과 주파수 대역 효율을 향상시키기 위한 연구가 활발히 진행되어 왔다. 이러한 연구를 통해 다중 안테나를 사용하여 신호를 송/수신하는 다중 안테나(MIMO) 시스템과 여러 개의 반송파를 사용하는 다수 반송파 전송의 일종인 직교 주파수 분할 다중(OFDM) 시스템이 개발되었다[1-2].

MIMO-OFDM 시스템을 비롯한 모든 무선통신 시스템에서는 채널을 거쳐 잡음이 섞인 수신 신호로부터 잡음 전력을 계산하여 잡음을 추정하게 된다. 기존의 잡음 추정 기법은 수신기에서 하나의 OFDM 심볼에서 혼련 신호(Reference Signal : RS)를 제외한 나머지 데이터를 0으로 만든 후 IFFT를 수행하게 된다[3]. 그러나 이러한 과정을 통해 잡음 전력을 추정할 때, 수신된 신호의 잡음 전력이 임계 값(threshold)보다 크다면 잡음이 아닌 신호로 인식하여 잡음 추정하는데 있어 오류가 발생하게 된다. 이러한 오류는 최소 평균제곱오차(MMSE) 여파기를 사용하는 시스템에 있어 성능 열화를 발생시키므로 정확한 잡음만을 추정하는 기법이 중요하다.

본 논문에서는 기존의 잡음 추정 기법에 수신기에서 FFT를 수행하여 얻어진 주파수 영역의 신호에 mask 함수를 적용한 기법을 제안한다. Mask 함수가 적용된 수신된 신호로부터 시간 영역의 채널 응답을 계산하고, 이 응답을 기반으로 수신된 신호에서 잡음 신호의 전력에 평균을 취하여 잡음 전력을 추정할 수 있다. 이 기법은 기존의 잡음 추정 기법보다 좀 더 정확하게 혼련 신호와 잡음을 구별해 낼 수 있어 더 정확한 잡음 추정이 가능하다. 이러한 잡음 추정 기법을 통해 얻어진 잡음 분산

값으로 MMSE 여파기를 사용하는 시스템에서 BER 성능을 개선하기 위해 잡음 추정 방법을 제안하였다.

이하 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 MIMO-OFDM 시스템에 대하여 설명하고, 3장에서는 기존의 잡음 추정 기법과 mask 함수를 적용한 잡음 추정 기법에 대해 설명한다. 4장에서는 모의 실험을 통해 MMSE 여파기를 이용한 BER 성능을 알아보고, 5장에서 결론을 맺는다.

2. MIMO-OFDM 시스템

다중 안테나 시스템은 송·수신단에서 다중의 안테나를 사용하여 신호를 송·수신한다. 이 시스템은 여러 개의 안테나를 사용함에 따라 전력과 주파수의 증가 없이 안테나 수에 비례하는 채널 용량을 얻을 수 있는 장점을 갖는다. 또한, 각 송신 안테나로부터 독립적인 데이터를 동시에 전송함으로써 고속으로 데이터를 전송하는 공간 다중화(spatial multiplexing)의 방식을 이용할 수 있다. 다음의 <그림 1>은 MIMO 시스템의 기본적인 구조이다.

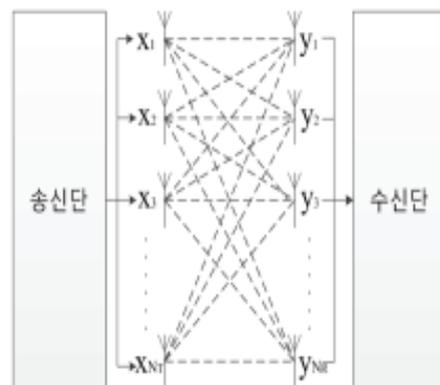


그림 1. MIMO 시스템 모델
Figure 1. MIMO system model

MIMO 시스템의 수신신호 \mathbf{y} 는 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$\mathbf{y} = \mathbf{H}\mathbf{x} + \mathbf{n} \quad (1)$$

여기서 \mathbf{x} 는 N_t 개의 송신 안테나를 통해 송신된 신호를 나타내고, \mathbf{n} 은 N_r 개의 수신 안테나를 통해 수신된 신호를 나타낸다. 또한, \mathbf{H} 는 각 송신 안테나에서 각 수신 안테나 사이의 채널 이득을 나타내고, 각 원소들은 i.i.d (independently and identically distributed)의 성질을 갖는다.

OFDM 전송방식은 다중 반송파 시스템에서 대역 효율이 뛰어난 방식이다. 주파수 대역에서 반송파들이 직교성을 유지한 상태로 겹쳐지게 위치시켜 채널 간 간섭(inter-carrier interference : ICI)을 제거할 수 있다. 또한, OFDM 시스템에서는 IFFT(inverse fast Fourier Transform)를 통해 낮은 전송률로 전송하므로 상대적으로 심볼 주기가 길어져 전송 채널의 왜곡에 의해 발생하는 인접 심볼 간 간섭(inter symbol interference : ISI)에 강한 특성을 갖는다[4].

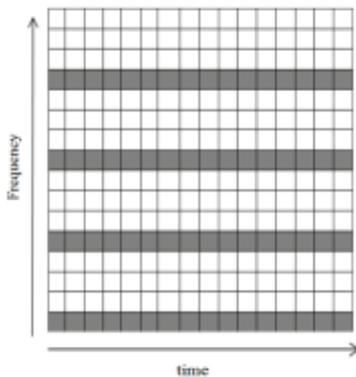


그림 2. 블록 타입 pilot 배열
Figure 2. Block type pilot arrangement

수신된 신호는 채널에 의해 왜곡되는데 원래의

신호를 복원하기 위해서 채널 값을 추정하고 보간 기법을 통해 보상한다. 각 부 반송파는 독립적이고 직교성을 유지하는 것으로 가정하였다. 직교성이 유지된다면 각 부반송파 성분이 채널의 주파수 응답과 신호의 곱으로 표현이 가능하다.

채널 추정 단계에서 채널 값은 송신기와 수신기에서 모두 알고 있는 pilot 심볼에 의해 추정될 수 있다[5-7]. Pilot 심볼이 송신되고 채널 성분과 곱해지므로 수신 측에서는 채널 값을 추정할 수 있게 된다. 일반적으로 pilot 심볼을 배열하는 방법에는 블록 타입, comb 타입 등이 있다.

<그림 2>의 블록 타입 pilot 배열은 모든 부반송파에서 pilot 신호를 포함한 OFDM 심볼은 주기적으로 전송된다[6]. 이 pilot 신호를 이용하여 시간에 따라 시간 영역 보간이 이루어지고, 시변 채널 특성을 추적하기 위해 pilot 신호의 주기는 동기 시간(coherence time)보다 작거나 같아야 한다.

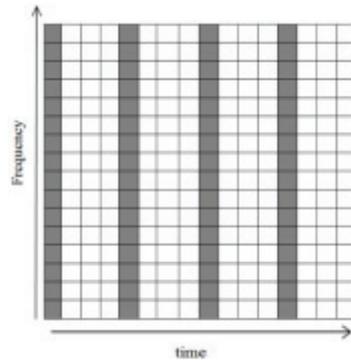


그림 3. Comb 타입 pilot 배열
Figure 3. Comb type pilot arrangement

<그림 3>의 comb 타입 pilot 배열은 모든 OFDM 심볼에서 시간적으로 위치한 부반송파에 pilot 신호가 위치한다. 이 pilot 신호를 통해 주파수 영역의 보간이 이루어진다 [8-9]. 주파수 선택성을 추적하기 위해 pilot 심볼의 주기는 최대 지연 확산(maximum delay spread)보다 작거나 같아야 한다.

3. Mask 함수를 적용한 잡음 추정 기법

3.1 ML Algorithm

Pauluzzi는 MS SNR 추정기를 AWGN과 시변 선형 채널에서 M진 PSK 신호에 대해 확장 시켰다 [10]. i 번째 수신 안테나에서 수신된 신호의 N 개의 샘플로부터 ML SNR 추정기의 출력 $\hat{\rho}_{i,ML}$ 은 식 (2)와 같다.

$$\hat{\rho}_{i,ML} = \hat{S}_{i,ML} / \hat{N}_{i,ML} \quad (2)$$

여기서 $\hat{N}_{i,ML}$ 은 i 번째 수신 안테나에서 N 개의 샘플을 통해 추정된 평균 잡음 전력을 의미하고 식 (3)과 같이 쓸 수 있다.

$$\hat{N}_{i,ML} = \left[\frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \text{Re} \left\{ y_i(k,n) - \sum_{j=0}^N \hat{h}_{ij}^*(k,n) x_{ij,pilot}^* \right\} \right]^2 \quad (3)$$

3.2 LTE 시스템의 잡음 추정 기법

3.2.1 기존의 잡음 추정 알고리즘

송신기에서는 pilot과 데이터 신호 모두를 전송한다. LTE 시스템에서는 일종의 격자 타입 구조의 pilot 배열로 시간과 주파수 영역에서 모두 주기적으로 pilot 신호가 위치하고 이는 <그림 4>에 나타내었다. Pilot 신호는 한 개의 OFDM 심볼 주기 동안 주파수 영역에서 N_p 의 주기로 위치한다.

송신단에서 IFFT를 통해 시간 영역의 신호로 바뀐 pilot 신호는 채널을 통해 각 수신 안테나로 수신되고, 이 신호는 수신기에서 FFT를 거쳐 주파수 영역의 신호로 다시 변형된다. 수신된 신호 $\mathbf{Y}(k)$

는 식 (4)와 같이 표현할 수 있다.

$$\mathbf{Y}(k) = \begin{bmatrix} Y_0(k) \\ Y_1(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_{00}(k) & H_{01}(k) \\ H_{10}(k) & H_{11}(k) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_0(k) \\ X_1(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} N_0(k) \\ N_1(k) \end{bmatrix} \quad (4)$$

여기서 $H_{ij}(k)$ ($i, j = 0, 1$)는 주파수영역에서의 채널응답을 의미하고, $N_i(k)$ ($i = 0, 1$)는 i 번째 수신 안테나에서의 AWGN을 의미한다. 따라서 수신기에서는 잡음 추정을 위해 pilot 신호를 포함하고 있는 하나의 OFDM 심볼에서 pilot 신호를 제외한 나머지 데이터를 0으로 만든 후, IFFT를 다시 한 번 수행한다. 이 신호를 통해 최대 전력에서 정해진 α ($\alpha < 1$) 배 만큼의 전력을 실제 신호로 판단하고, 나머지는 잡음으로 판단하여 잡음 전력을 추정할 수 있다.

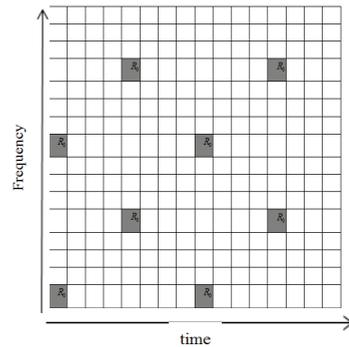


그림 4. LTE 시스템의 pilot 신호 배열
Figure 4. Pilot signal arrangement for LTE system

3.2.2 Mask 함수를 이용한 잡음 추정 알고리즘

본 논문에서는 수신기에서 FFT를 통해 변형된 주파수 영역의 신호에 mask 함수를 적용하여 더 정확한 잡음 전력을 추정하는 기법을 제안한다. 하나의 OFDM 심볼의 시간과 주파수

영역에서 주기적으로 전송된 pilot 신호는 각 수신 안테나에서 수신되고, 수신된 pilot 신호들은 잡음 전력 추정을 위해 collect 블록에서 모아지게 된다. 이 collect 블록은 잡음 전력만의 추정을 위해 전송된 pilot 신호들만 따로 모으는 역할을 한다. 이렇게 모아진 신호에 시간 영역에서 채널 응답의 side lobes를 줄이는 역할을 하는 mask 함수를 주파수 영역에서 곱해준다. Mask 함수가 적용되어 i 번째 수신 안테나에서 수신되는 신호 $Z_{i,M}(k)$ 는 식 (5)와 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} Z_{i,M}(k) &= \sqrt{P} \sum_{j=0}^1 M_i(k) H_{ij}(kN_p) + M_i(k) N_i(kN_p) \\ &= \sqrt{P} \sum_{j=0}^1 H_{ij,M}(k) + N_{i,M}(k) \end{aligned} \quad (5)$$

여기서 $H_{ij}(kN_p)$ 는 j 번째 송신 안테나에서 i 번째 수신 안테나 사이의 채널 이득을 주파수 영역에서 표현한 것을 의미한다.

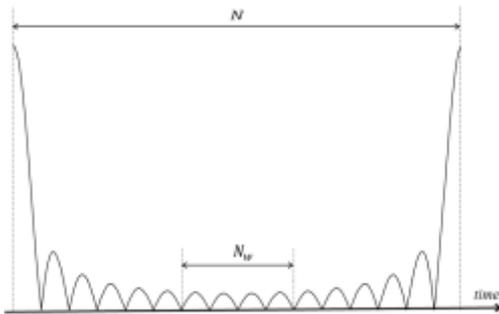


그림 5. $h_{ij,M}(n)$ 과 $n_{i,M}(n)$ 의 전력 분포의 예
Figure 5. An example of power distribution for $h_{ij,M}(n)$ and $n_{i,M}(n)$

잡음 전력의 크기를 추정하기 위해서는 $Z_{i,M}(k)$ 을 IFFT하여 시간 영역의 응답을 구해야한다.

$Z_{i,M}(k)$ 의 시간 영역의 신호 $z_{i,M}(n)$ 은 식 (6)과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} z_{i,M}(n) &= IFFT \{ Z_{i,M}(k) \} \\ &= \sqrt{P} \sum_{j=0}^1 h_{ij,M}(n) + n_{i,M}(n) \end{aligned} \quad (6)$$

이를 시간에 따른 전력의 그림으로 표현하면 <그림 5>와 같다.

<그림 5>에서 $n = 0$ 과 $n = N-1$ 근처에서 $h_{ij,M}(n)$ 의 대부분의 전력이 위치해 있고, $n_{i,M}(n)$ 은 모든 시간에 걸쳐 분포해 있는 것을 볼 수 있다. 이를 통해 잡음 전력만이 존재할 확률이 높은 $n = N/2$ 을 중심으로 정해진 윈도우(window) 이 크기 N_w 만큼 샘플을 취한 후, N_w 안에 포함되는 $z_{i,M}(n)$ 의 전력을 구함으로써 잡음 전력을 추정할 수 있다. i 번째 수신 안테나에서 추정된 잡음 전력은 식 (7)과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} \hat{P}_{i,noise} &= \frac{N^2}{K} \left(\frac{1}{N_w} \sum_{n=(N-N_w)/2}^{(N+N_w)/2-1} \|z_{i,M}(n)\|^2 \right) \\ &= \frac{N^2}{K} \left(\frac{1}{N_w} \sum_{n=(N-N_w)/2}^{(N+N_w)/2-1} \left\| \sqrt{P} \sum_{j=0}^1 h_{ij,M}(n) + n_{i,M}(n) \right\|^2 \right) \end{aligned} \quad (7)$$

3.2.3 추정된 잡음을 통한 MMSE 여파기

MMSE 여파기에서는 채널 추정단계에서 얻어진 잡음 추정을 통해 수신된 신호와 가장 행렬의 곱셈 연산을 한다. MMSE 여파기의 가장 행렬은 식 (8)과 같이 표현할 수 있다.

$$\mathbf{W}' = \mathbf{H}^H \left(\mathbf{H}\mathbf{H}^H + \frac{\sigma_n^2}{\sigma_x^2} \mathbf{I} \right)^{-1} \quad (8)$$

그러므로 MMSE 여파기의 가중행렬에는 추정된 잡음 분산 값이 포함되어 있으므로 추정된 잡음 분산 값에 따라 시스템의 성능이 다르게 나타난다.

4. 모의실험 결과와 분석

MMSE 여파기를 사용하는데 있어 잡음 추정 기법에 따른 시스템의 비트 오류 확률(BER) 성능을 여러 채널 환경에서 시뮬레이션을 통해 비교해본다. <표 1>은 시뮬레이션을 위한 여러 파라미터 값을 나타낸다.

표 1. 모의실험 파라미터
Table 1. Parameters for simulation

Modulation	QPSK
Number of subcarriers	1024
Channel Model	AWGN, One path Rayleigh, Two path Rayleigh
Number of transmit antennas	2
Number of receive antennas	2
Window size	128

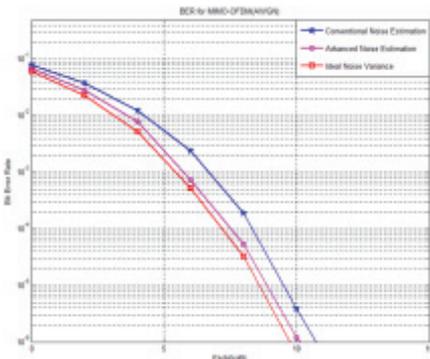


그림 6. AWGN 채널 환경에서 잡음 추정 기법에 따른 BER성능
Figure 6. BER performance with noise estimation schemes under AWGN channel

<그림 6>, <그림 7>, 그리고 <그림 8>은 여러 채널 환경에서 여러 잡음 추정 기법을 통해 추정된 잡음 분산 값으로 MMSE 여파기를 사용한 시스템의 BER 성능을 나타낸다.

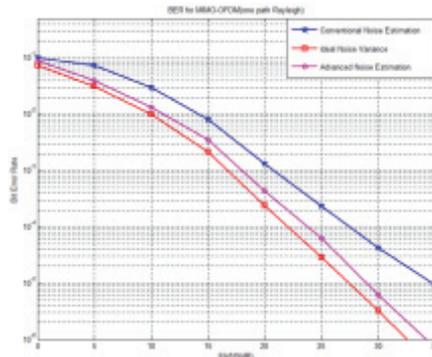


그림 7. One path Rayleigh 환경에서 잡음 추정에 따른 BER성능
Figure 7. BER performance with noise estimation schemes under one path Rayleigh channel

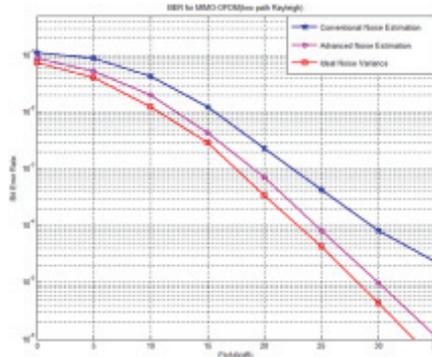


그림 8 Two path Rayleigh 환경에서 잡음 추정에 따른 BER성능
Figure 8. BER performance with noise estimation schemes under two path Rayleigh channel

기존의 잡음 분산 추정 기법, mask 함수를 사용한 잡음 추정 기법, 그리고 잡음 분산을 알고 있다는 가정 하에 AWGN의 잡음 분산을 MMSE 여파기에 넣어 계산한 경우의 성능을 각 채널 환경에서 비교하였다. One path Rayleigh 채널 환경에서는 $P_b = 10^{-4}$ 을 얻기 위해 E_b/N_0 가 약 27.5 dB를 필요

로 하므로 기존의 잡음 분산 추정 기법에 비해 약 3.5 dB의 성능 이득을 얻을 수 있었다. 또한, Two path Rayleigh 채널 환경에서는 $P_b = 10^{-4}$ 을 얻기 위해 기존의 잡음 추정 기법에 비해 약 5 dB정도의 SNR 이득을 얻을 수 있었다. 이러한 SNR 이득은 채널환경에 관계없이 높은 SNR 영역으로 갈수록 성능 이득이 더 커지는 성향을 나타낸다.

5. 결 론

MIMO-OFDM 시스템을 비롯한 무선 통신 시스템은 잡음 전력에 따라 채널 추정 파라미터가 달라진다. 또한 MMSE 여파기를 사용하는 경우 시스템의 성능에도 영향을 미치므로 잡음 전력 추정이 중요하다. LTE 시스템에서는 자원 격자 구조의 정해진 훈련 신호를 통해 잡음을 추정하게 된다. 그러나 IFFT를 수행하여 잡음 전력이 임계값보다 크면 신호로 인식하여 잡음을 추정하는데 있어 오류가 발생하게 된다. 그러므로 잡음 전력을 정확하게 추정하는 기법은 시스템의 성능에 있어 중요하다.

본 논문에서는 수신기의 FFT 블록을 거친 주파수 영역의 신호에 mask 함수를 적용한 기법을 통해 잡음 분산을 추정하였다. 이러한 기법을 통해 추정된 잡음 분산을 MMSE 여파기를 사용하여 성능을 분석하면, 기존의 잡음 추정 기법에 비해 같은 비트 오류 확률을 얻기 위해 SNR 측면에서 성능 이득을 얻을 수 있었다. 이러한 성능 이득은 높은 SNR 영역으로 갈수록 크게 나타나게 된다. 또한, mask 함수를 적용한 기법은 어떠한 채널 환경에서도 적절한 mask 함수와 윈도우의 크기를 결정하면 비교적 정확한 잡음 추정을 할 수 있으므로 효율적인 사용이 기대된다.

References

- [1] A. Goldschmidt, S. A. Jafar, N. Jindal, and S. Vishwanath, *Capacity limits of MIMO channel*, IEEE Journal on Selected Areas Communications, Vol. 21, No. 5, pp. 684-702, 2003.
- [2] S. Hara, and R. Prasad, *Overview of multicarrier CDMA*, IEEE Communications Magazine, Vol. 35, No. 12, pp. 126-133, 1997.
- [3] J. Hou and J. Liu, *A novel channel estimation algorithm for 3GPP LTE downlink system using joint time-frequency two-dimensional iterative wiener filter*, in Proceeding IEEE ICCT, pp. 289-292, 2010.
- [4] R. Prasad, *OFDM for wireless communications*, Artech House, London, 2004.
- [5] J. Rinne, and M. Renfors, *Pilot spacing in orthogonal frequency division multiplexing systems on practical channels*, IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 42, No.4, pp. 959-962, 1996.
- [6] R. Negi, and J. Cio, *Pilot tone selection for channel estimation in a mobile OFDM systems*, IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 44, No.3, pp. 1122-1128, 1998.
- [7] R. V. Nee and R. Prasad, *OFDM for wireless multimedia communications*, Artech House, Norwood, 2000.
- [8] M. H. Hsieh and C. H. Wei, *Channel estimation for OFDM systems based on comb-type pilot arrangement in frequency selective fading channels*, IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 44, No. 1, pp. 217-225, 1998.

- [9] B. Song, L. Gui, and W. Zhang, *Comb type pilot aided channel estimation in OFDM Systems with transmit diversity*, IEEE Transactions on Broadcast, Vol. 52, pp. 50-57, 2006.
- [10] D. R. Pauluzzi and N. C. Beaulieu, *A comparison of SNR estimation techniques for the AWGN channel*, IEEE Transactions on Communications Vol. 48, No. 10, pp. 1681-1691, 2000.



Jackwon Bang received the B.S. degree in electronics and communication engineering from Hanyang University, Ansan, Korea, in 2012. 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: bjk7119@nate.com

MASK 함수를 이용한 MIMO-OFDM의 채널 잡음 추정 기법

방재권¹, 현광민²

¹한양대학교 전자컴퓨터통신공학부

²국립강릉원주대학교 정보통신공학과

요 약

본 논문에서는 최근 무선통신 분야에서 연구가 활발히 진행되고 있는 MIMO-OFDM 시스템에서 잡음 분산을 더 정확하게 추정하기 위한 기법을 제안하였다. MIMO-OFDM 시스템을 비롯한 대부분의 무선통신 시스템에서 추정된 잡음 분산 값은 시스템의 검출 성능에 있어 중요한 역할을 하게 된다. 그러므로 정확한 잡음 분산 추정을 통해 시스템의 성능을 향상시킬 수 있다. 기존의 잡음 추정 기법에 Mask 함수를 적용하여 더 정확한 훈련 신호를 검출할 수 있고, 이를 통해 잡음 성분만을 추정할 수 있으므로 더 정확한 잡음 분산 추정이 가능하다. 이렇게 추정된 잡음 분산 값은 MMSE 여파기의 가중치 행렬 연산에 필요로 하게 되므로 더 정확하게 추정된 잡음 분산을 이용하는 시스템의 BER 성능은 기존의 잡음 추정 기법을 사용하는 시스템의 BER 성능보다 좋다. 또한, SNR 측면에서 성능 이득을 가져오게 되고, 높은 SNR 영역으로 갈수록 더 큰 성능 이득을 얻을 수 있다.



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: kami Hyun@gwnu.ac.kr