

논문 2009-46TC-4-1

인접 셀 혹은 인접 섹터 간섭제거 능력을 갖는 MIMO-OFDM 수신 알고리즘

(MIMO-OFDM Receiver Algorithm with the Capability of Inter-cell or Inter-sector Interference Cancellation)

고 균 병*

(Kyun-Byoung Ko)

요 약

본 논문에서는 다중안테나 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 시스템에서의 인접 셀 혹은 인접 섹터 간섭제거 능력을 갖는 MIMO(Multi-Input Multi-Output) 수신 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 시간축에서의 Filtering 기법에 관한 기존의 연구와는 다르게 주파수 영역에 적용이 가능한 Pre-filtering 기법을 채널 추정을 위한 파일럿 심벌만을 이용하여 구현하였다. 또한 제안된 기법은 간섭성분이 MIMO(C-SM(Collaborative-Spatial Multiplexing)) 뿐만이 아니라 SIMO(Single-Input Multi-Output)이더라도 적용이 가능함을 이론적으로 검증하였다. 그리고 제안된 수신 알고리즘을 검증하기 위하여 IEEE 802.16e 표준의 UL-PUSC SR off에서의 모의실험을 수행하였다. 이를 통하여 제안된 알고리즘이 간섭 성분의 종류에 관계없이 적용이 가능함을 확인하였다. 또한 간섭 성분의 영향이 큰 경우에 대해서도 우수한 성능을 보장하여 시스템 Throughput 향상을 보장할 수 있음을 확인하였다.

Abstract

In this paper, the author presents the MIMO(Multi-Input Multi-Output) receiver algorithm with the capability of inter-cell or inter-sector interference cancellation over multi-antenna OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) systems. As contrast with the previous research dealing with the filtering scheme at the time domain, the proposed algorithm is presented as the pre-filtering scheme which can be applicable to the frequency domain. Note that the proposed one can be implemented only by pilot symbols which are used in the channel estimation. In addition, it is analytically confirmed that the proposed scheme can be applied for either MIMO(C-SM(Collaborative-Spatial Multiplexing)) interference or SIMO(Single-Input Multi-Output) interference. The proposed receiver algorithm is verified by simulations over UL-PUSC SR off in IEEE 802.16e standard. From simulation results, it is confirmed that the proposed one can be applicable regardless of the kind of interference. Furthermore, it is verified that the performance is guaranteed even under the severe effect of interference and the improvement of system throughput is guaranteed.

Keywords : OFDM, MIMO, C-SM, Inter-cell or Inter-sector Interference, Interference Cancellation

I. 서 론

Wibro 및 WiMAX의 기술 표준인 IEEE 802.16e는

* 평생회원, 충주대학교 정보제어공학과
(Information & Control Engineering at Chungju National University)

※ 이 논문은 2007년 정부(교육인적자원부)의 재원으로
한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임
(KRF-2007-331-D00278)

접수일자: 2009년2월9일, 수정완료일: 2009년4월1일

OFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiple Access)를 근간으로 한다^[2-3]. OFDMA 기술은 OFDM을 셀룰라 시스템으로 확장한 기술로써 인접 셀 간섭(혹은 인접 섹터 간섭)에 영향을 받는다. 또한, MIMO(Multi-Input Multi-Output) 기법이 적용될 경우에는 간섭 성분이 증가되어 이러한 문제점이 더욱 커지게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 여러 다양한 간섭제거 및 억제 기법들이 적용될 수 있다^[3]. 그러나 간섭이 존재하지 않는 상황에서의 최적 알고리즘인

ML(Maximum Likelihood) 알고리즘과 연계될 경우 복잡도가 증가되는 문제가 있으며 간섭 유무에 상관없이 안정적으로 동작시킬 수 있는 알고리즘이 필요하다.

인접 셀 간섭을 억제하기 위한 기존의 연구 참고문헌 [5~10]에서는 시간 영역에서의 Filtering 기법을 제안하거나 분석하고 있다. 시간 영역에서의 Filtering 기법에 관한 연구인 참고문헌 [5, 7~9]는 다중 경로 페이딩 채널에서의 간섭 억제 기법으로 주로 CDMA(Code Division Multiple Access) 시스템에 적용가능성이 큰 기술이다. 그러나 이러한 기존의 연구를 OFDM 시스템에 적용할 경우 파일럿 심벌외의 추가적인 학습 정보열의 전송을 필요로 하거나 OFDM 시스템이 갖는 장점인 주파수 Diversity를 얻지 못하는 단점이 있다^[5, 7~9]. 참고문헌 [12]에서는 MIMO 수신신호에 Pre-Filtering 기법을 적용하여 간섭신호 및 AWGN 성분의 합을 Whitening 시키는 방법을 제안하고 있다. 이 방법은 ML을 포함하는 기존의 MIMO 수신 알고리즘을 곧바로 적용할 수 있는 장점이 있다. 하지만 이 방법역시 간섭 성분의 채널 정보를 필요로 한다.

따라서 본 논문에서는 참고문헌 [12]의 Whitening 기법을 기존 표준^[2~3]의 변형 없이 채널 추정을 위한 파일럿 심벌만을 이용하여 구현할 수 있는 기법을 제안하도록 한다. 그리고 그 성능을 이동 통신 채널 환경에서 분석 및 검증하고자 한다.

II. MIMO-OFDM 시스템 모델

1. 역방향 시스템 전송 모델

IEEE 802.16e에서는 시스템에서 SIMO의 경우 다수의 수신 안테나를 이용한 인접 셀 혹은 인접 섹터간의 간섭성분을 제거하기 위한 방법으로는 수신 빔포밍 기법이 이용될 수 있으며 이는 ZF 혹은 MMSE 형태로 구현이 가능하다^[3]. 이러한 수신 빔포밍의 구현을 위해서는 부가적인 학습 정보열이 필요하지만 IEEE 802.16e에서는 채널 추정을 위해 할당된 파일럿 심벌을 이용할 수가 있다. 파일럿 심벌을 간섭제거 기법의 구현에 이용하기 위해서는 단말이 할당 받은 주파수 및 시간 자원이 간섭신호 성분의 그것과 일치해야만 한다. IEEE 802.16e에서는 'Band-AMC' 및 'UL PUSC w/ SR(Subchannel Rotation) off'의 두 가지 자원 할당 방법이 이에 해당한다^[2~3].

그림 1은 UL PUSC Subchannel의 최소단위에 해당

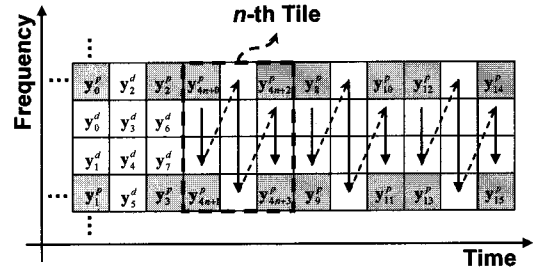


그림 1. UL-PUSC SR off에서의 UL 프레임 구조
Fig. 1. UL Frame structure for UL-PUSC SR off.

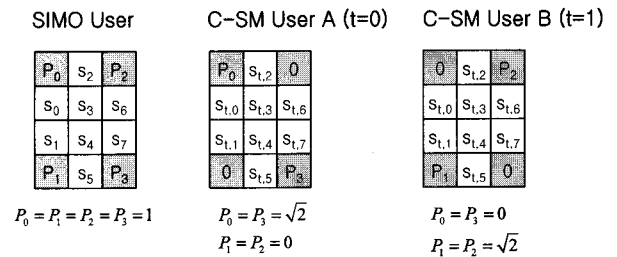


그림 2. Tile 내의 Pilot 패턴
Fig. 2. Pilot Pattern in Tile.

하는 Tile 구조와 SR(Subchannel Rotation) Off 시 연속적인 Tile의 구조도를 보여 준다(참고문헌 [3]의 8.4.8.1.5 절).

본 논문에서는 천천히 변화하는 주파수 선택적 다중 경로 페이딩 채널을 가정하여 채널의 시변 특성은 UL 프레임 구간 동안에 변화하지 않는다고 가정한다. UL-PUSC SR off의 자원 할당 방법은 천천히 변화하는 시변 채널에서 그림과 같이 할당되는 주파수축 영역이 시간축으로 변하지 않는다는 특징을 갖는다.

2. MIMO-OFDM 수신 신호 모델 및 기존의 Whitening 알고리즘

UL-PUSC C-SM 구조에서 주어진 Tile의 주파수 축과 시간축에서 채널 계수가 변하지 않는다고 가정할 때 0번째 Tile에서 $j(=0, 1, \dots, 7)$ 번째 수신 신호 $1 \times n_r$ 벡터는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \mathbf{y}_j^d &= \mathbf{H}_D \mathbf{s}_{D,j} + \sum_{i=0}^{I-1} \mathbf{H}_i \mathbf{s}_{i,j} + \mathbf{n}_j \\ &= \mathbf{H}_D \mathbf{s}_{D,j} + \mathbf{n}_{D,j} \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 $\mathbf{n}_j = [n_{0,j} \dots n_{N_r-1,j}]^T$ 는 $1 \times n_r$ 잡음 벡터로 $E[\mathbf{n}_{r,j} \mathbf{n}_{r,j}^H] = \sigma^2 \mathbf{I}$ 이고 N_r 는 수신 안테나 수이다. $\mathbf{s}_{D,j} = [s_{0,j} s_{1,j}]^T$ 는 원하는 신호 벡터이다.

$H_D = [h_0 \ h_1]$ 는 $2 \times n_r$ 채널 벡터로, h_0 와 h_1 는 0번째와 1번째 C-SM 사용자의 채널을 각각 나타낸다. 또한 새로운 잡음 성분은 $n_{D,j} = \sum_{i=0}^{I-1} H_i s_{i,j} + n_j$ 으로 표현된다. 여기서, $s_{i,j}$ 및 H_i 는 i 번째 인접 셀 혹은 인접 섹터의 간섭성분 및 채널 벡터를 각각 나타낸다. 간섭 성분은 SIMO 간섭 혹은 MIMO 간섭이 될 수 있다.

상기 식에서 간섭 성분이 존재할 경우($I > 0$) $n_{D,j}$ 는 백색 잡음(white noise)이 아니다. 따라서 $2 \times n_r$ MIMO 시스템의 일반적인 수신알고리즘을 적용이 최적의 성능을 보장하지는 못한다. 따라서 상기 식에 Whitening Process라는 신호 처리 기법을 적용할 필요가 있다. 이를 위하여 우선 $n_{D,j}$ 의 통계 특성을 다음과 같이 유도한다.

$$R(n_{D,j}) = E[n_{D,j} n_{D,j}^H] = \sum_{i=0}^{I-1} H_i H_i^H + \sigma^2 I \quad (2)$$

Cholesky Decomposition을 통해 $\hat{R}(n_D) = LL^H$ 을 만족하는 Nonsingular 행렬 L 을 구한다. 그리고 L^{-1} 를 이용해 다음을 얻는다.

$$\overline{y}_j = L^{-1} y_j^d = \overline{H}_D s_{D,j} + \overline{n}_D \quad (3)$$

여기서 $\overline{H}_D = L^{-1} H_D$ 이고 $\overline{n}_D = L^{-1} n_{D,j}$ 이다. 또한 $R(\overline{n}_D) = I$ 를 만족하므로 잡음 \overline{n}_D 는 백색 잡음을 알 수 있다. 따라서 일반적인 수신 알고리즘을 적용하는 것이 가능하다.

그러나 L^{-1} 즉 $R(n_D) = LL^H$ 을 구하기 위해서는 인접 섹터 혹은 인접 셀 간섭 성분의 채널 H_i 를 알아야만 한다. 하지만 Closed-form MIMO 기법을 사용하지 않는 일반적인 경우 H_i 에 대한 정보를 이용할 수 없다. 본 논문에서는 PSAM(pilot symbol assisted modulation)기반의 IEEE 802.16e 표준에서 추가적인 정보를 이용하지 않고 Pilot 심벌만을 이용하는 기법을 제안하도록 한다.

III. 간섭 제거 능력을 갖는 MIMO-OFDM 수신 알고리즘

1. UL-PUSC Tile 내의 파일럿 패턴 및 채널 추정 알고리즘

그림 2는 Tile 내의 파일럿 패턴을 보여준다. 상향링크의 경우 단일 사용자(그림 좌측)를 지원하거나 두 사용자(그림 가운데 및 우측)를 지원하는 것이 가능하다. 이러한 각 경우에 대한 파일럿 배치는 그림과 같다.

MIMO의 경우 즉, Tile 내에 C-SM (Collaborative-Spatial Multiplexing) 사용자가 존재할 경우의 수신 파일럿은 다음과 같다.

$$y_j^p = H_D P_{D,j} + \sum_{i=0}^{I-1} H_i P_{i,j} + n_j \quad (4)$$

여기서 $j = 0, \dots, 3$ 이다. 그리고 Tile 내에서의 채널 추정값 $\hat{H}_D = [\hat{h}_0 \ \hat{h}_1]$ 는 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} \hat{h}_0 &= \frac{1}{2\sqrt{2}} (y_0^p + y_3^p) \\ &= h_0 + \frac{1}{2\sqrt{2}} \sum_{j=0,3} \left(\sum_{i=0}^{I-1} H_i P_{i,j} + n_j \right) \end{aligned} \quad (5-1)$$

$$\begin{aligned} \hat{h}_1 &= \frac{1}{2\sqrt{2}} (y_1^p + y_2^p) \\ &= h_1 + \frac{1}{2\sqrt{2}} \sum_{j=1,2} \left(\sum_{i=0}^{I-1} H_i P_{i,j} + n_j \right) \end{aligned} \quad (5-2)$$

2. PASM 기반의 Whitening Process 기법

본 절에서는 채널 추정을 위한 파일럿 신호 정보만을 사용하여 $R(n_D)$ 를 계산하는 방법을 설명한다.

MIMO(C-SM)의 경우 추정된 채널값 \hat{h}_0 및 \hat{h}_1 을 수신 파일럿에서 제거함으로써 다음을 얻는다.

$$\begin{aligned} y_j^p - \hat{h}_0 P_{D,j} &= (h_0 - \hat{h}_0) P_{D,j} + \sum_{i=0}^{I-1} H_i P_{i,j} + n_j \\ &\approx \sum_{i=0}^{I-1} H_i P_{i,j} + n_j = n'_{D,j} \Big|_{j=0,3} \end{aligned} \quad (6-1)$$

$$\begin{aligned} y_j^p - \hat{h}_1 P_{D,j} &= (h_1 - \hat{h}_1) P_{D,j} + \sum_{i=0}^{I-1} H_i P_{i,j} + n_j \\ &\approx \sum_{i=0}^{I-1} H_i P_{i,j} + n_j = n'_{D,j} \Big|_{j=1,2} \end{aligned} \quad (6-2)$$

여기서 근사화된 결과는 채널 추정에 의한 오차를 무시할 때 얻을 수 있다. 또한 파일럿 정보열에 대해 평균을

취하여 $R(n_D)$ 를 다음과 같이 근사화시킬 수 있다.

$$R(n_D) \approx \hat{R}(n_D) = \frac{1}{4} \sum_{j=0}^3 n'_{D,j} (n'_{D,j})^H \quad (7)$$

즉 앙상블 평균을 샘플 평균으로 근사화시키는 것이다. 이러한 근사화의 정확도는 샘플 평균의 개수에 의존하게 되며 UL-PUSC SR off의 경우 주파수축 상으로 연속적으로 존재하는 타일에 대해 수행될 수 있다.

3. 샘플 평균으로 근사화된 $\hat{R}(n_D)$ 의 타당성

인접 셀 혹은 인접 섹터 간섭은 SIMO 사용자 혹은 MIMO(C-SM) 사용자일 수 있다. 또한 MIMO의 경우 C-SM 사용자가 1명 혹은 2명이 존재할 수도 있다. 따라서 각각의 경우에 대해 $\hat{R}(n_D)$ 을 샘플 평균으로 근사화시키는 방법의 타당성을 살펴본다.

(1) 인접 셀/인접 섹터 간섭이 SIMO인 경우

인접 셀 혹은 인접 섹터 간섭이 SIMO인 경우 채널 벡터 \mathbf{H}_i 는 $1 \times n_r$ 채널 벡터로 $\mathbf{H}_i = [h_{i,0}]$ 가 되고 Tile 내의 파일럿 심벌 전력은 $|P_{i,j}|_{j=0,1,2,3}^2 = 1$ 이다. 따라서 AWGN 잡음을 무시할 때 원하는 신호 성분의 채널 추정값을 제거한 신호는 다음과 같다.

$$n'_{D,j} \approx \mathbf{H}_i P_{i,j} \Big|_{j=0,1,2,3} \quad (8)$$

따라서 근사화된 상관 함수는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \hat{R}(n_D) &= \frac{1}{4} \sum_{j=0}^3 n'_{D,j} (n'_{D,j})^H = \frac{1}{4} \sum_{j=0}^3 h_{i,0} P_{i,j} P_{i,j}^* h_{i,0}^H \\ &= h_{i,0} \left(\frac{1}{4} \sum_{j=0}^3 P_{i,j} P_{i,j}^* \right) h_{i,0}^H = h_{i,0} h_{i,0}^H = R(n_D) \end{aligned} \quad (9)$$

(2) 인접 셀/인접 섹터 간섭이 MIMO(C-SM)인 경우

인접 셀 혹은 인접 섹터 간섭이 MIMO인 경우는 C-SM 사용자가 1명인 경우와 2명인 경우로 나누어 고려할 수 있다.

우선 C-SM 사용자가 1명인 경우를 고려하면 채널 벡터 \mathbf{H}_i 는 $1 \times n_r$ 채널 벡터로 $\mathbf{H}_i = [h_{i,0}]$ 가 되고 Tile 내의 파일럿 심벌 전력은 $|P_{i,j}|_{j=0,3}^2 = 2$ 이고 $|P_{i,j}|_{j=1,2}^2 = 0$ 이다. 따라서 AWGN 잡음을 무시할 때

원하는 신호 성분의 채널 추정값을 제거한 신호는 다음과 같다.

$$n'_{D,j} \approx \begin{cases} h_{i,0} P_{i,j} & |_{j=0,3} \\ 0 & |_{j=1,2} \end{cases} \quad (10)$$

그러므로 근사화된 상관 함수는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \hat{R}(n_D) &= \frac{1}{4} \sum_{j=0}^3 n'_{D,j} (n'_{D,j})^H = \frac{1}{4} \sum_{j=0,3} h_{i,0} P_{i,j} P_{i,j}^* h_{i,0}^H \\ &= h_{i,0} \left(\frac{1}{4} \sum_{j=0,3} P_{i,j} P_{i,j}^* \right) h_{i,0}^H = h_{i,0} h_{i,0}^H = R(n_D) \end{aligned} \quad (11)$$

다음으로는 C-SM 사용자가 2명인 경우를 고려하면 \mathbf{H}_i 는 $2 \times n_r$ 채널 벡터로 $\mathbf{H}_i = [h_{i,0} \ h_{i,1}]$ 가 되고 Tile 내의 파일럿 전력은 $|P_{i,j}|_{j=0,\dots,3}^2 = 2$ 이다. 따라서 AWGN 잡음을 무시할 때 원하는 신호 성분의 채널 추정값을 제거한 신호는 다음과 같다.

$$n'_{D,j} \approx \begin{cases} h_{i,0} P_{i,j} & |_{j=0,3} \\ h_{i,1} P_{i,j} & |_{j=1,2} \end{cases} \quad (12)$$

그러므로 근사화된 상관 함수는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \hat{R}(n_D) &= \frac{1}{4} \sum_{j=0}^3 n'_{D,j} (n'_{D,j})^H \\ &= \frac{1}{4} \sum_{j=0,3} h_{i,0} P_{i,j} P_{i,j}^* h_{i,0}^H + \frac{1}{4} \sum_{j=1,2} h_{i,1} P_{i,j} P_{i,j}^* h_{i,1}^H \\ &= h_{i,0} \left(\frac{1}{4} \sum_{j=0,3} P_{i,j} P_{i,j}^* \right) h_{i,0}^H + h_{i,1} \left(\frac{1}{4} \sum_{j=0,3} P_{i,j} P_{i,j}^* \right) h_{i,1}^H \\ &= h_{i,0} h_{i,0}^H + h_{i,1} h_{i,1}^H = R(n_D) \end{aligned} \quad (13)$$

식 (9), (11) 및 (13)을 통하여 인접 셀 혹은 인접 섹터 간섭이 SIMO이거나 단일 사용자 C-SM이거나 혹은 두 명의 C-SM인 경우에 상관없이 파일럿 신호에 대해 원하는 신호 성분의 채널 추정 값을 제거한 파일럿 샘플에 대해 평균을 취함으로써 $R(n_D)$ 의 근사화된 값 $\hat{R}(n_D)$ 을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

4. 제안된 수신기 구조

그림 3은 제안된 수신기 구조를 나타낸다. 수신 신호는 Control channel의 정보를 이용해 시간동기를 맞추고 수신 신호에 IFFT를 수행함으로써 수신 신호를 주

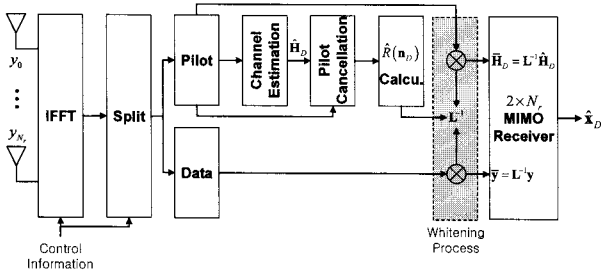


그림 3. UL-PUSC SR off에서의 제안된 수신기 구조
Fig. 3. Proposed receiver structure for UL-PUSC SR off.

과수축으로 변환시킨다. 그리고 Control Information을 통해 SIMO 또는 단일 C-SM 혹은 복수의 C-SM 사용자가 주어진 Tile 내에 존재함을 확인하고 수신 알고리즘을 수행하게 된다.

그림 1은 UL OFDMA 심벌이 15개인 경우 앞 3심벌이 Control channel에 사용되고 나머지 12 심벌이 Data 전송에 사용될 때를 UL-PUSC SR off에 대해 나타내고 있다. 따라서 주파수 축의 f 번째 Tile Index에 대해 시간축으로 4개의 Tile이 존재한다. 이에 대한 수신기 동작을 블록별로 설명하면 다음과 같다.

(1) 채널 추정(Channel estimation)

상기 그림의 채널 추정 블록에서는 파일럿 심볼을 이용한 채널 추정 블록으로 주파수축의 f 번째, 시간축의

표 1. IEEE 802.16e Simulator 변수
Table 1. Parameter of IEEE 802.16e Simulator.

항목	변수 값
Bandwidth	8.75 MHz
FFT Size	1024
Sampling Frequency	10 MHz
CP Duration	128 samples/115.2 μ sec
OFDM Symbol Duration	1152 samples/144 μ sec
No. of OFDM Symbol	42 (DL:UL=27:15) UL Control= 3, UL Data=12
UL Subchannel	UL-PUSC SR off
TTG	188 μ sec
RTG	60 μ sec

표 2. 모의실험 환경
Table 2. Simulation Environment.

항목	변수 값
Channel Model	Independent Rayleigh Fading
MIMO channel	Rich-scattering
No. of multipath	4
SIR(dB)	-3~15 dB
No. of Interference	1~3
Modulation	QPSK, 16QAM

n 번째 Tile에 대해 다음의 동작을 수행한다.

$$\hat{h}_{n,0} = \frac{1}{2\sqrt{2}} (y_{4n+0}^p + y_{4n+3}^p) \quad (14-1)$$

$$\hat{h}_{n,1} = \frac{1}{2\sqrt{2}} (y_{4n+1}^p + y_{4n+2}^p) \quad (14-2)$$

이러한 채널 추정은 $n = 0, 1, 2, 3$ 에 대하여 수행된다.

(2) 파일럿 신호 제거(Pilot Cancellation)

앞서 추정된 채널 정보를 이용하여 파일럿 수신신호에서 파일럿 신호를 제거한다. 시간축의 n 번째 Tile에 대한 동작은 다음과 같다.

$$n_{D,4n+j} = \begin{cases} y_{4n+j}^p - \hat{h}_{n,0} \sqrt{2} & j=0,3 \\ y_{4n+j}^p - \hat{h}_{n,1} \sqrt{2} & j=1,2 \end{cases} \quad (15)$$

(3) $\hat{R}(n_D)$ 의 계산 ($\hat{R}(n_D)$ Calculation)

시간축의 Tile 들에 대해 평균을 취함으로써 간섭 신호와 AWGN의 합에 대한 상관 함수 근사값을 다음과 같이 구한다.

$$\hat{R}(n_D) = \frac{1}{4} \sum_{n=0}^3 \left[\frac{1}{4} \sum_{j=0}^3 n_{D,4n+j} n_{D,4n+j}^H \right] \quad (16)$$

(4) Whitening Process

$\hat{R}(n_D) = LL^H$ 을 만족하는 Nonsingular 행렬 L 을 구하고 다음을 수행한다.

$$\begin{aligned} \overline{H}_n &= L^{-1} H_n \\ \overline{y}_{8n+j}^d &= L^{-1} y_{8n+j}^d \end{aligned} \quad (17)$$

여기서 $n = 0, 1, \dots, 3$ 이고 $i = 0, 1, \dots, 7$ 이다.

(5) $2 \times N_r$ MIMO 수신 알고리즘

UL C-SM의 수신을 위한 일반적인 MIMO 수신 알고리즘을 적용한다. 본 논문에서는 ML 알고리즘을 사용하였다.

IV. 모의실험 결과

본 논문에서는 제안된 기법의 성능을 검증하기 위하여 표 1의 변수들을 사용한 IEEE 802.16e 표준에 따른

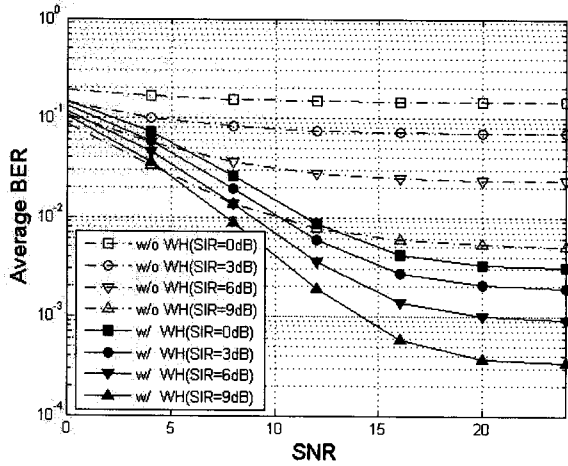


그림 4. SNR에 따른 BER 성능 비교 (QPSK, 2x4 MIMO, 2 Interf.[C-SM], SIR=0~9dB)
 Fig. 4. BER performance comparison with respect to SNR (QPSK, 2x4 MIMO, 2 Interf.[C-SM], SIR=0~9dB).

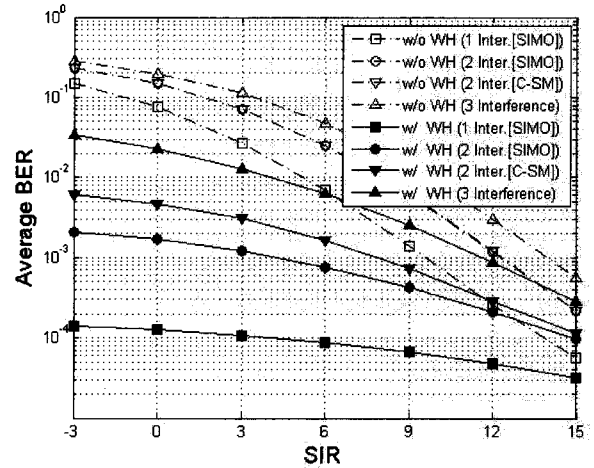


그림 6. SIR에 따른 BER 성능 비교 (QPSK, 2x4 MIMO, SNR=15dB)
 Fig. 6. BER performance comparison with respect to SIR (QPSK, 2x4 MIMO, SNR=15dB).

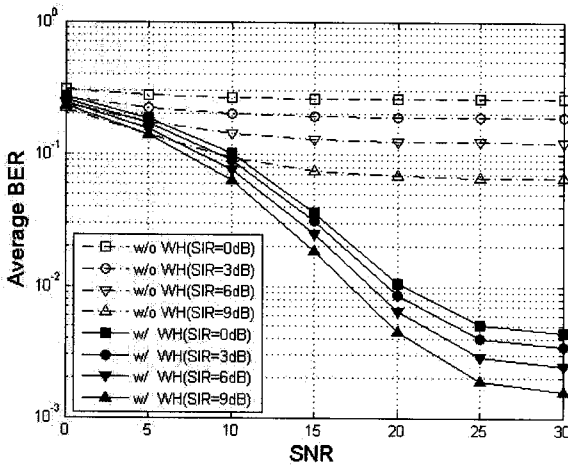


그림 5. SNR에 따른 BER 성능 비교 (16QAM, 2x4 MIMO, 2 Interf.[C-SM], SIR=0~9dB)
 Fig. 5. BER performance comparison with respect to SNR (16QAM, 2x4 MIMO, 2 Interf.[C-SM], SIR=0~9dB).

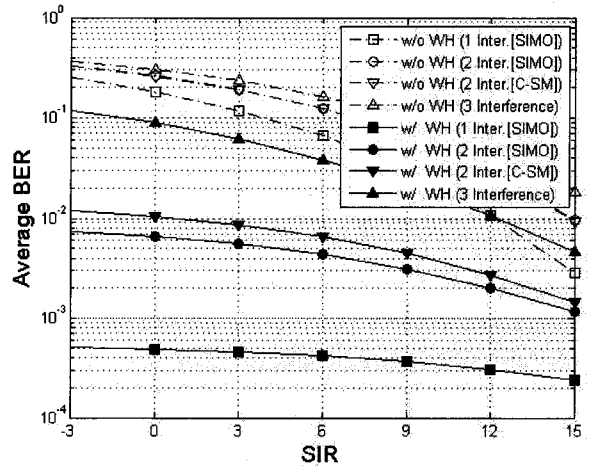


그림 7. SIR에 따른 BER 성능 비교 (16QAM, 2x4 MIMO, SNR=15dB)
 Fig. 7. BER performance comparison with respect to SIR (16QAM, 2x4 MIMO, SNR=15dB).

모의실험을 수행하였다. 표 2는 채널 및 기타 모의실험 환경을 나타낸다. 또한 성능 분석을 위해 UL 프레임 구간동안 채널의 상태가 변화하지 않는 의사 정적 채널을 가정하였다.

결과 그림 4와 6에서는 SNR에 따른 BER 성능을 QPSK 및 16QAM에 대해 각각 비교하고 있다. 그림의 결과를 통해 인접 셀 및 인접 섹터의 간섭이 2명의 C-SM 사용자로 존재하는 않는 경우 Whitening Process를 통하여 간섭성분을 제거함으로써 우수한 성능을 얻을 수 있음을 알 수 있다. SIR=0dB 인 경우 두

간섭 성분(두 C-SM 사용자)의 신호 전력과 원하는 신호 성분의 전력이 동일한 경우로 간섭 성분과 원하는 신호 성분이 기지국과 동일한 거리에 있는 경우이다. 즉 셀 가장 자리의 동일 위치에 위치할 때 간섭 성분이 존재하더라도 통신이 가능함을 알 수 있다. 또한 SIR=3dB 인 경우는 간섭 성분의 신호 전력과 원하는 신호 성분의 전력의 약 반에 해당한다. 이는 원하는 신호 성분은 셀 중간에 위치하고 간섭 성분은 셀 가장 자리에 위치하는 환경으로 이해할 수 있다. 이러한 경우는 SIR=0dB 에 비해 우수한 환경이지만 제안된 기법을 적용하지 않는 경우 10^{-2} 이하의 BER 성능을 얻을 수

없다. 하지만 제안된 수신 기법을 통하여 10^{-3} 이하의 BER 성능을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

결과 그림 6과 7에서는 SIR에 따른 BER 성능을 QPSK 및 16QAM에 대해 각각 비교하고 있다. 그림의 결과를 통하여 인접 셀 및 인접 섹터의 간섭이 존재하는 환경에서 제안된 수신기법이 우수한 성능을 나타냄을 확인할 수 있다. 특히 16QAM의 경우 단말이 높은 SNR에 따라 16QAM을 할당 받는다 할지라도 실제 Data 전송시에 SIR이 6~9dB의 우수한 채널 환경에서도 10^{-2} BER 성능을 얻지 못하게 된다. 이는 전체 시스템 Throughput을 저하시키는 요인이 된다. 반면에 제안된 수신 기법을 통하여 두 간섭성분이 SIR=0dB인 열악한 환경에서도 10^{-2} BER 성능을 얻을 수 있음을 알 수 있다. 이는 UL C-SM에서 16QAM의 할당을 통한 시스템 Throughput 향상을 얻을 수 있음을 의미하는 것으로 이해할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 차세대 다중안테나 통신 시스템인 OFDM 시스템에서의 인접 셀 혹은 인접 섹터 간섭제거 능력을 갖는 MIMO 수신 알고리즘을 제안하였다. 특히 시간축에서의 Filtering 기법에 관한 기존의 연구와는 다르게 주파수 영역에 적용이 가능한 Pre-filtering 기법을 이론적으로 분석하고 개발된 IEEE 802.16e Simulator를 통하여 그 성능을 검증하였다.

모의실험 결과를 통하여 제안된 기법은 MIMO (C-SM) 뿐만 아니라 SIMO에서도 적용이 가능하며 특히 간섭 성분의 종류에 관계없이 적용이 가능함을 확인하였다. 또한 간섭 성분의 영향이 큰 경우에 대해서도 우수한 성능을 보장하여 시스템 Throughput 향상을 보장할 수 있음을 확인하였다.

참 고 문 헌

[1] G. J. Forchini and M. J. Gans, "On Limits of Wireless Communications in a Fading Environment when Using Multiple Antennas," *IEEE Wireless Personal Comm.*, pp. 311-335, 1998.
 [2] WiMAX Forum Web-cite, "http://www.wimaxforum.org/technology/downloads/"
 [3] IEEE P802.16e/D5: Air Interface for Fixed and

Mobile Broadband Wireless Access Systems. Amendment for Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands

- [4] S. Verdu, *MULTIUSER DETECTION*, CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS, 1998.
 [5] Tugnait, J.K., "Blind estimation and equalization of MIMO channels via multidelay whitening," *IEEE Selected Areas in Comm.*, vol. 19, Issue 8, pp. 1507-1519, Aug. 2001.
 [6] Fukawa, K., Yamada, Y., Suzuki, H., and Suyama, S., "A MIMO-OFDM maximum likelihood reception scheme in cochannel interference environments," *IEEE VTC 2004-Spring*, vol. 4, pp. 1849-1853, 17-19 May 2004.
 [7] Chtourou, S., Visoz, R., and Berthet, A.O., "Whitened matched filtering versus channel shortening for ST-BICM over MIMO ISI channel," *IEEE VTC 2004-Spring*, vol. 2, pp. 628-632, 17-19 May 2004.
 [8] Naofal Al-Dhahir, "FIR Channel-Shortening Equalizers for MIMO ISI Channels," *IEEE Trans. on Comm.*, vol. 49, no. 2, pp. 213-218, Feb. 2001.
 [9] Yiteng Huang, Benesty, J., and Jingdong Chen, "Separating ISI and CCI in a two-step FIR Bezout equalizer for MIMO systems of frequency-selective channels," *IEEE ICASSP '04*, vol. 4, pp. 797-800, 17-21 May 2004.
 [10] Taiwan Tang and Robert W. Heath, "Space-Time Interference Cancellation in MIMO-OFDM Systems," *IEEE Trans. on Vehicular Tech.*, vol. 54, no. 5, pp. 1802-1816, Sep. 2005.
 [11] 황근철, 최승윤, 김재권, 유철우, "다중 안테나 시스템에서 공간 멀티플렉싱 방식의 검출 장치 및 방법," 특허출원번호/일자: 10-2005-0071239/2005.08.04.
 [12] Ye (Geoffrey) Li, Jack H. Winters, and Nelson R. Sollenberger, "MIMO-OFDM for wireless communications: signal detection with enhanced channel estimation," *IEEE Trans. on Comm.*, vol. 50, no. 9, pp. 1471-1477, Sep. 2002.

저 자 소 개

고 균 병(평생회원)

대한전자공학회 논문지

제45권 TC편 제8호 참조.

<주관심분야 : 이동통신, MIMO, 적응신호처리>