

제한된 위상 피드백 기반의 CoMP를 위한 프리코딩 기법

준회원 김태영*, 종신회원 윤은철*

A Limit-Phase-Feedback-based Precoding Technique for CoMP

Taeyoung Kim* Associate Member, Eun Chul Yoon*^o Lifelong Member

요약

본 논문에서는 Coordinated multi-point (CoMP) Coordinated scheduling/Coordinated beamforming (CS/CB) Precoding matrix indicator (PMI) 시나리오에서, 제한된 위상 피드백을 바탕으로 단말의 수신 Signal-to-interference-plus-noise ratio (SINR)을 최대화하는 송신기의 프리코더를 제안한다. 특히, 다중 셀 환경에서 외부 셀을 고려하여 기존 프리코딩 기법을 개선 한다. 먼저 서빙 셀의 신호를 최대화하는 프리코딩 행렬 뿐 아니라 협력 셀의 신호를 최소화하는 프리코딩 행렬을 설계하여 수신 SINR을 최대화한다. 또한 제한된 bits 피드백 조건에서 활용할 수 있는 PMI 기법을 제시한다. 끝으로 시뮬레이션을 통해 CoMP CS/CB PMI 시나리오 하에서 본 논문에서 제시된 프리코더의 성능을 평가하고 다른 프리코더의 성능과 비교한다.

Key Words : Coordinated Multi-point (CoMP), Precoding Matrix Indicator (PMI), Outercell interference, SINR maximization, Phase feedback

ABSTRACT

In this paper, a precoder based on limited phase feedback is proposed to maximize user's receive signal-to-interference-plus-noise ratio (SINR) in coordinated multi-point (CoMP) coordinated scheduling / coordinated beamforming (CS/CB) precoding matrix indicator (PMI) scenario. Most conventional precoding techniques based on limited phase feedback have been considered in a single-cell environment. However, considering neighboring cells in a multi-cell environment, we enhance the conventional precoding method. First, to maximize receive SINR, precoding matrices are designed to maximize the serving cell's signal and to minimize the coordinated cells' signal. Also, a precoder which can be used in a limited bit feedback condition is suggested. Finally, the proposed precoder's performance is evaluated and compared with some other precoding techniques by using simulation under the CoMP CS/CB PMI scenario.

I. 서론

무선 이동통신 시스템에서 송신 다이버시티 기법은 주로 다중 경로 페이딩 채널을 극복하기 위한 방안으로 사용된다. 송신단에서 수신기로부터의 피드백을 통하여 채널 정보를 알 수 있을 때, 다이버시티 이득을 높이는 방법으로서 Eigen-beamforming 기법을 사용

할 수 있다^[1]. 하지만 완전한 채널 정보의 피드백은 대역폭 측면에서 비효율적이다. 채널의 위상과 크기를 같이 전송하기 위해서는 피드백 오버헤드가 너무 클 수 있다. [2-4]에서는 피드백이 제한되었을 경우 위상을 피드백하여 성능을 개선할 수 있음을 보였다. [2]는 1bit-위상 피드백을 이용한 Quasi Orthogonal Space Time Block Code (STBC) 시스템에서 수신

* 이 논문은 2010년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임. (2010-0016214, 2010-0003080)

* 건국대학교 전자정보통신공학부 무선이동통신 연구실(eyoon@konkuk.ac.kr)

논문번호 : KICS2011-08-355, 접수일자 : 2011년 8월 16일, 최종논문접수일자 : 2011년 9월 21일

Signal-to-noise ratio (SNR)을 향상시키는 프리코더를 제안하였다. [3]은 송신기가 4개인 시스템에서 제한된 위상 피드백을 이용하는 선형 프리코더를 제안하였다. 또한 1, 2bits 피드백 조건에서 설계된 선형 프리코더를 Alamouti-STBC 방법에 적용하였다. [4]는 송신기가 2개인 시스템에서 제한된 위상 피드백을 이용하는 선형 프리코더를 제안하였다. [4]에서 제시된 기법의 성능은 2 bits 피드백 조건에서 Switching Transmit Diversity기법의 성능보다 우수하면서 Tx-Maximal Ratio Combining (MRC)기법의 성능에 근접하였다. 위에서 언급된, 제한된 위상 피드백 기반의 프리코딩 기법들은 대부분 인접 셀을 고려하지 않은 단일 셀 환경에 국한된 기술들이었다. 다중 셀 환경에서 단말은 셀 경계로 갈수록 인접 셀 간섭의 영향을 크게 받을 수 있다. 인접 셀 간섭을 완화하기 위한 방법으로서 Dirty paper coding 기법, Zero-forcing 빔포밍 기법, Block diagonalization 기법 등을 고려할 수 있다^[5-7]. 이러한 기법들은 송신단에서 자기 자신의 채널 정보 뿐만 아니라 간섭 채널 정보까지 완전하게 수집해 이용해야 하므로 오버헤드가 크게 발생하는 문제점이 있다. 한편, LTE-Advanced와 IEEE-802.16m에서는 셀 경계 단말의 간섭 완화를 주 목적으로 하는 Coordinated multi-point (CoMP)를 표준의 주요 기술로 채택하였다. CoMP의 적용 방법으로서 Precoding matrix indicator (PMI)를 이용한 CoMP Coordinated scheduling/Coordinated beamforming (CS/ CB) PMI 시나리오가 존재한다^[8,9]. CoMP CS/ CB PMI를 적용하는 시스템은 자신의 셀 경계 단말에게 최고의 신뢰성을 보장하는 방식으로 데이터를 전송하는 ‘서빙 셀 (기지국)’ 과 외부셀 단말이 받는 간섭을 최소화하려는 방식으로 자신의 단말에게 데이터를 전송하는 ‘인접 협력 셀 (기지국)’으로 구성된다. 여기서 셀 경계 단말은 서빙 셀에게는 단말에게 빔을 형성하는 PMI를 추천하고 협력 셀에게는 빔을 제한하는 PMI를 추천하여 송신 과정에 반영함으로써 수신 신호를 향상시킬 수 있다.

본 논문에서는 CoMP CS/CB PMI 시나리오에서, [4]에 제시된 프리코더 구조를 사용해서 단말의 수신 Signal-to-interference-plus-noise ratio (SINR)를 최대화하는 제한된 위상 피드백 기반의 송신 프리코딩 기법을 제안한다. 셀 경계 단말은 수집한 채널 정보를 제한된 bit로 표현하여 송신기로 피드백함으로써 오버헤드의 크기를 줄일 수 있다. 먼저 서빙 셀의 신호를 최대화하는 프리코딩 행렬 뿐만 아니라 협력 셀의 수신 신호를 최소화하는 프리코딩 행렬을 설계하여 수

신 SINR을 최대화 한다. 또한 제한된 bits 피드백 조건에서 활용할 수 있는 프리코더를 제시한다. 끝으로 시뮬레이션을 통해 CoMP CS/CB PMI 시나리오 하에서 본 논문에서 제시된 프리코더의 성능을 평가하고 다른 프리코더의 성능과 비교한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2절은 시스템 모델을 기술한다. 제 3절은 제한된 위상 피드백 기반 프리코더를 설계한다. 제 4절은 시뮬레이션을 통해 본 논문에서 제시한 프리코더를 평가하고, 그 성능을 다른 프리코더의 성능과 비교한다. 마지막으로 제 5절은 본 논문의 결론을 제시한다.

본 논문에서는 다음과 같은 수식기호를 사용하도록 한다. 볼드체 소문자는 Column vector를 나타내고, 볼드체 대문자는 행렬을 의미한다. $(\cdot)^H$ 는 Conjugate transpose를 그리고 $\|\cdot\|_F^2$ 는 Frobenius norm을 나타낸다. $Re\{\cdot\}$ 는 복소수의 실수 부분을 나타낸다. 또한 $\angle\{\cdot\}$ 는 복소수의 위상각을 나타낸다.

II. 시스템 모델

그림 1은 2개의 송신 안테나를 갖는 2개의 기지국과 N개 수신 안테나를 갖는 셀 경계 단말로 구성된 CoMP CS/CB PMI 하향링크 시스템을 보여준다. BS₁은 단말에게 desired 신호를 보내는 서빙 셀이고, BS₂는 단말에게 서빙 셀과 협력하여 간섭 신호를 완화시키는 인접 협력 셀이다. 만약 CoMP CS/CB가 3개 이상의 기지국들로 구성되었을 경우는 한 개 기지국이 서빙 셀 (BS₁)이고 나머지 기지국들은 모두 협력 셀이라고 가정한다.

CoMP CS/CB PMI 하향링크 시스템의 동작 시나리오는 다음과 같다^{[10][11]}. 단말은 서빙 셀로부터의 채널 뿐만 아니라 협력 셀로부터의 채널도 함께 추정한다

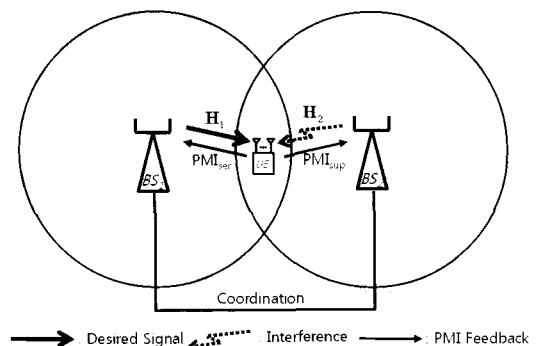


그림 1. 2개의 기지국으로 구성된 CoMP 하향링크 시스템

다. 단말은 추정된 채널 정보를 사용해 수신 SINR을 높일 수 있는 서빙 셀의 프리코딩 인덱스 (PMI_{ser})와 협력 셀의 프리코딩 인덱스 (PMI_{sup})를 찾아낸다. 그리고 단말은 선택된 PMI_{ser}와 PMI_{sup}을 각 기지국에 피드백 한다. 서빙 셀과 협력 셀은 피드백 정보를 전송과정에 반영하여 단말의 수신 성능을 향상시킬 수 있다.

본 논문에서는 2개의 송신 안테나를 갖는 M개 기지국 (BS_k : k=1,2,...,M)과 N개의 수신 안테나를 갖는 셀 경계 단말로 구성된 CoMP CS/CB PMI 하향링크 시스템을 가정한다. 이 경우 단말의 수신 신호를 다음과 같이 표현 할 수 있다.

$$y = H_1 w_1 s_1 + \sum_{i=2}^M H_i w_i s_i + n, \quad (1)$$

$$H_k = [h_{k1} \quad h_{k2}] \quad (k = 1, \dots, M).$$

여기서 $H_k \in \mathbb{C}^{N \times 2}$ ($k = 1, \dots, M$)는 단말과 BS_k 사이의 가우시안 채널 벡터이다. 각각의 채널 계수는 i.i.d.인 가우시안 분포($\sim CM(0,1)$)를 갖는다. $\Psi \subset \mathbb{C}^{2 \times 1}$ 을 프리코더를 구성하는 프리코딩 벡터의 집합이라 정의할 때, $w_k \in \Psi$ ($k = 1, \dots, M$)는 BS_k의 프리코딩 벡터이다. $s_1, s_i \in \mathbb{C}^{1 \times 1}$ ($i = 2, \dots, M$)는 각각 desired 신호와 간섭 신호 송신 심볼이고, 각각의 심볼 평균 전력은 E_s 이다. $n \in \mathbb{C}^{N \times 1}$ 은 잡음이면서 각 원소는 가우시안 분포($\sim CM(0, N_0)$)를 갖는다. 이때, E_s/N_0 를 평균 SNR로 정의한다.

수신 신호의 평균 수신 SINR를 다음과 같이 정의한다

$$SINR = \frac{E\left\{ \|H_1 w_1\|_F^2 \right\} \cdot SNR}{E\left\{ \sum_{i=2}^M \left(\|H_i w_i\|_F^2 \right) \right\} \cdot SNR + 1}. \quad (2)$$

송신기에서는 H_k ($k = 1, \dots, M$)에 대한 정보를 이용하여, 수신 SINR을 향상시키도록 w_k ($k = 1, \dots, M$)를 설계한다.

III. 제한된 위상피드백 기반 프리코더 설계

3.1 제한 없는 피드백에서 수신 SINR을 향상시키기 위한 피드백 위상의 유도

본 논문에서는 [4]에서 제시했던 프리코더 구조를

사용하여 수신 SINR을 최대화하는 프리코더를 설계하도록 한다. 프리코더의 구조는 다음과 같다.

$$w_k = \begin{bmatrix} 1 \\ e^{j\theta} \end{bmatrix} \quad (k = 1, \dots, M). \quad (4)$$

표기상의 편의를 위하여 H_k 에 대한 실질적인 채널을 다음과 같이 정의한다.

$$h_{ek} = H_k w_k = h_{k1} + e^{j\theta} h_{k2} \quad (5)$$

h_{ek} 의 Frobenius norm 제곱은 채널의 유효 에너지를 의미한다. h_{ek} 의 Frobenius norm 제곱을 다음과 같이 Phase θ 에 관한 함수로 나타낼 수 있다.

$$f(\theta) = \|h_{ek}\|_F^2 = \|h_{k1}\|_F^2 + \|h_{k2}\|_F^2 + 2|h_{k1}^H h_{k2}| \cdot \cos(\theta + \angle(h_{k1}^H h_{k2})). \quad (6)$$

수신기에서는 송신기로부터 h_{k1} 와 h_{k2} 정보를 수집하여 $f(\theta)$ 를 최대화 하거나 최소화하는 Phase θ 를 구할 수 있다. 그리고 송신기는 수신기에서 구한 Phase θ 를 피드백받아서 수신 SINR을 최대화하는데 사용할 수 있다. 즉, 단말은 서빙 셀(BS₁)의 $\|h_{e1}\|_F^2$ 를 최대화하는 θ_{max} 을 그리고 협력 셀(BS_i : $i = 2, \dots, M$)의 $\|h_{ei}\|_F^2$ ($i = 2, \dots, M$)을 최소화하는 θ_{min} 을 계산한다. 그리고 계산된 위상을 각 셀에게 피드백하고 각 셀들은 피드백 받은 위상들을 이용함으로써, 단말의 수신 SINR을 향상시키는 것이다. 서빙 셀(BS₁)에 해당하는 $\|h_{e1}\|_F^2$ 를 최대화하는 θ_{max} 그리고 협력 셀(BS_i : $i = 2, \dots, M$)에 해당하는 $\|h_{ei}\|_F^2$ ($i = 2, \dots, M$)을 최소화하는 θ_{min} 을 구하면 다음과 같다.

$$\theta_{max} = -\angle(h_{11}^H h_{12}), \quad \theta_{min} = \pi - \angle(h_{i1}^H h_{i2}). \quad (7)$$

참고적으로, θ_{max} 을 (3)에 대입하여 구한 프리코더를 서빙 셀에서 사용하고 θ_{min} 을 (3)에 대입하여 구한 프리코더를 협력 셀에서 이용함으로써 최대화된 평균 수신 SINR을 SINR_{max}이라고 정의하면, SINR_{max}을 다음과 나타낼 수 있다.

$$\text{SINR}_{\text{max}} = \frac{\text{E}\left\{\|h_{11}\|_F^2 + \|h_{12}\|_F^2 + 2|h_{11}^H h_{12}|\right\} \cdot \text{SNR}}{\text{E}\left\{\sum_{i=2}^M \|h_{i1}\|_F^2 + \|h_{i2}\|_F^2 - 2|h_{i1}^H h_{i2}|\right\} \cdot \text{SNR} + 1} \quad (8)$$

3.2 제한된 피드백에서 피드백 위상의 선택

앞 절에서는 제한 없는 피드백 조건에서 서빙 셀의 프리코더와 협력 셀의 프리코더가 사용할 θ_{max} 와 θ_{min} 을 유도하였다. 본 절에서는 제한된 피드백 조건 하에서 프리코더를 설계할 수 있도록, 앞에서 유도한 θ_{max} 와 θ_{min} 을 양자화하는 방법을 제시한다. 단말은 제한된 피드백 조건에 맞추어 양자화된 θ_{max} 와 θ_{min} 을 서빙 셀과 협력 셀에 각각 피드백하고 서빙 셀과 협력 셀은 피드백된 위상 정보를 이용해 프리코더를 설계함으로써 수신 단말에서의 SINR 성능을 향상시킬 수 있다.

단말과 서빙 셀 사이에 n bits 피드백이 주어진다고 할 때, 단말은 전체 위상 2π 를 2^n 개의 구간으로 다음과 같이 균일하게 나눌 수 있다.

$$\Theta_r = \left\{ \theta \mid \frac{r \cdot 2\pi}{2^n} \leq \theta \leq \frac{(r+1) \cdot 2\pi}{2^n} \right\} \quad (9)$$

$(r=0,1,\dots,2^n-1)$.

식 (9)에서 위상 영역 Θ_r 의 중간값은 다음과 같다.

$$\frac{(2r+1) \cdot \pi}{2^{n-1}} \quad (10)$$

단말은 임의의 θ_{max} 가 Θ_r 에 속한 경우, 위상 영역 Θ_r 의 중간값에 해당하는 index 만을 피드백할 수 있다. 단말과 기지국은 식 (10)에 나타난 2^n 개의 Θ_r 중간값과 해당 index들로 구성된 table을 미리 공유한다. 단말은 θ_{max} 가 속한 Θ_r 의 중간 값을 가르키는 PMI_{ser}을 table에서 찾아 기지국으로 전송한다. 기지국은 피드백 받은 PMI_{ser}을 통해 table에서 Θ_r 의 중간 값을 찾는다. 기지국은 찾아낸 Θ_r 의 중간 값을 식 (4)에 대입해 프리코딩 행렬을 구한다. 이러한 과정은 단말과 협력 셀 사이에도 마찬가지로 적용할 수 있다. 단, 단말과 협력 셀 사이에서는 θ_{max} 와 PMI_{ser} 대신 θ_{min} 과 PMI_{sup}을 사용한다.

그림 2는 서빙 셀과 협력 셀에 각각 2 bits 씩 피드백이 주어졌을 때, 전체 위상 구간이 $\Theta_0, \Theta_1, \Theta_2, \Theta_3$ 으

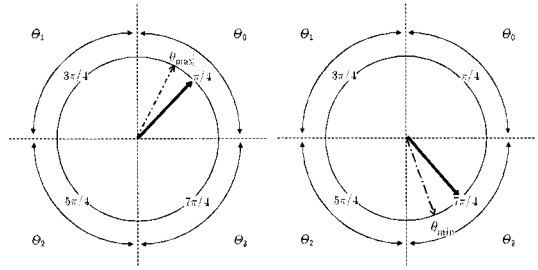


그림 2. 피드백양이 θ_{max} 와 θ_{min} 에 각각 2bits 씩 할당될 때, 양자화된 위상 피드백 선택

로 나누어짐을 보여준다. 예를 들어 서빙 셀과 협력 셀이 사용할 이상적인 θ_{max} 와 θ_{min} 이 그림 2에 주어진 바와 같다면, 단말은 Θ_0 과 Θ_3 의 중간 위상인 $\pi/4$ 와 $7\pi/4$ 를 서빙 셀과 협력 셀에게 피드백한다.

표 1과 표 2는 단말과 서빙 셀 사이에 그리고 단말과 협력 셀 사이에 각각 1, 2 bits 씩 피드백이 할당되었을 때, 임의의 θ_{max} 와 θ_{min} 조건에 대해서 본 논문에서 제시한 방식으로 양자화된 피드백 위상과 그에 상응하는 PMI를 선택하는 방식을 나타낸 것이다.

셀 경계 단말에게 간섭을 완화시키는 프리코더를 사용하는 협력 셀은, 선택된 프리코더를 통해 높은 수신 성능을 보이는, 단말을 선택적으로 스케줄링 함으로써 전체 시스템의 용량이 저해 되지 않도록 할 수 있다.

표 1. 1 bit 피드백 조건에서 단말의 PMI_{ser}과 PMI_{sup}의 선택 절차

Condition	Selected Phase	INDEX (PMI _{ser})	Condition	Selected Phase	INDEX (PMI _{sup})
$0 \leq \theta_{\text{max}} \leq \pi$	$\frac{\pi}{2}$	0	$0 \leq \theta_{\text{min}} \leq \pi$	$\frac{\pi}{2}$	0
$\pi \leq \theta_{\text{max}} \leq 2\pi$	$\frac{3\pi}{2}$	1	$\pi \leq \theta_{\text{min}} \leq 2\pi$	$\frac{3\pi}{2}$	1

표 2. 2 bits 피드백 조건에서 단말의 PMI_{ser}과 PMI_{sup}의 선택 절차

Condition	Selected Phase	INDEX (PMI _{ser})	Condition	Selected Phase	INDEX (PMI _{sup})
$0 \leq \theta_{\text{max}} \leq \frac{\pi}{2}$	$\frac{\pi}{4}$	0	$0 \leq \theta_{\text{min}} \leq \frac{\pi}{2}$	$\frac{\pi}{4}$	0
$\frac{\pi}{2} \leq \theta_{\text{max}} \leq \pi$	$\frac{3\pi}{4}$	1	$\frac{\pi}{2} \leq \theta_{\text{min}} \leq \pi$	$\frac{3\pi}{4}$	1
$\pi \leq \theta_{\text{max}} \leq \frac{3\pi}{2}$	$\frac{5\pi}{4}$	2	$\pi \leq \theta_{\text{min}} \leq \frac{3\pi}{2}$	$\frac{5\pi}{4}$	2
$\frac{3\pi}{2} \leq \theta_{\text{max}} \leq 2\pi$	$\frac{7\pi}{4}$	3	$\frac{3\pi}{2} \leq \theta_{\text{min}} \leq 2\pi$	$\frac{7\pi}{4}$	3

IV. 정량적 분석

본 논문의 시뮬레이션에서는 제한된 피드백 조건하에서 동작하는, 기지국 2개($M=2$)와 셀 경계 단말로 구성된 CoMP CS/CB 하향링크 시스템을 고려한다. 기지국은 4 QAM 변조를 사용하며, 안테나 별 송신 신호는 평균전력 1을 갖는다고 가

정한다. 또한 채널은 서빙 셀과 협력 셀 모두 i.i.d. 이면서 평균은 0이고 분산은 1인 가우시안 채널을 사용한다고 가정한다. 시뮬레이션에서는 다음 기법들의 성능을 비교한다.

- Tx-MRC : MISO 시스템에서 최적의 성능을 보인다고 알려져 있는 기법이다^[4]. 완전한 채널 정보를 프리코더의 설계에 사용하는 반면 외부 셀의 간섭은 프리코더의 설계에 반영하지 않는다.
- Previous Method : [12]에서 제시된 프리코딩 기법이다. [12]는 제한된 2, 3 bits 피드백과 2개의 송신 안테나를 갖는 단일 셀 시스템을 위해 본 논문과는 다른 프리코더를 제안하였다.
- Proposed Method : 본 논문에서 제안하는 임의의 n bits 피드백 프리코딩 기법이다. n bits로 제한된 피드백이란 서빙 셀과 협력 셀 각각이 n bits 피드백을 사용함을 의미한다.

그림 3은 수신안테나 개수가 1개인 단말에 대해 ($N=1$), 위에서 언급한 프리코더의 BER 성능을 비교한 것이다. 그결과를 보면, 3 bits 피드백 Previous Method는 Tx-MRC보다 성능이 열화됨을 알 수 있다. 1 bit 피드백 Proposed Method를 Tx-MRC와 비교했을 때 SNR이 낮은 구간에서는 두 성능이 비슷했지만, SNR이 2 dB이상일 때는 Proposed Method가 더 우

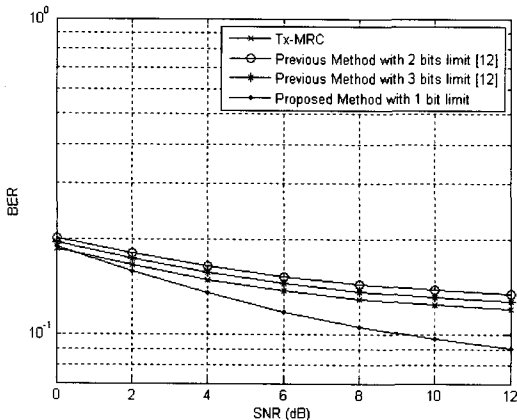


그림 3. 제시된 기법을 사용한 단말($N=1$)의 BER 성능과 다른 기법들을 사용한 단말의 BER 성능 비교

수한 성능을 보이며, SNR이 커질수록 더 큰 성능차가 발생함을 확인할 수 있다.

그림 4는 수신안테나 개수가 1개 및 3개인 단말들에 대해 ($N=1,3$), Proposed Method의 BER 성능을 피드백 bits수를 변경하면서 비교한 것이다. 그림 4에서 2 bits 피드백을 사용하는 경우는 1 bit 피드백을 사용하는 경우에 비해 BER 성능이 향상됨 확인할 수 있다. 마찬가지로 3 bits 피드백을 사용하는 경우는 2 bits 피드백을 사용하는 경우에 비해 BER 성능이 향상됨을 확인할 수 있다. 하지만 피드백 bits 양이 증가할수록 BER 성능 향상의 폭은 점차 감소한다. 특히 4 bits 피드백을 사용한 경우는 피드백 bits양에 제한이 없는 경우와 거의 비슷한 성능을 보이고 있다. 여기서 제한 없는 피드백을 고려한 경우는 식 (7)에서 구한 θ_{max} 와 θ_{min} 을 양자화 없이 사용한 경우를 나타낸다. 피드백 bits 수가 증가할수록 성능은 우수해지지만, 많은 bits의 사용은 시스템에 오버헤드를 발생시킬 수 있으므로 피드백 bits와 성능 사이에 적절한 trade off가 필요함을 알 수 있다.

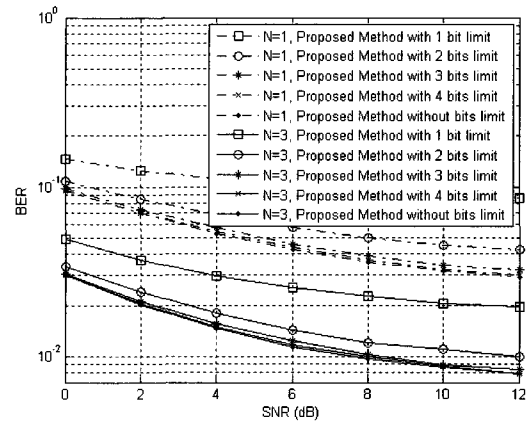


그림 4. 제시된 기법을 사용함에 있어서 피드백 양에 따른 단말($N=1,3$)의 BER 성능 비교

V. 결론

본 논문에서는 CoMP CS/CB PMI 시나리오에서 제한된 위상 피드백과 인접 셀 간섭을 고려하여 단말의 수신 SINR을 최대화하는 프리코더를 제안하였다. 본 논문에서는 피드백 정보로서 피드백 위상 정보를 사용하였고, 이를 채널의 Frobenius norm 제곱을 최대화 혹은 최소화하는데 이용하였다. 또한 제한된 피드백 조건을 위해 피드백 위상을 양자화 하는 방법과 프리코딩 행렬의 설계 방법을 제시하였다. 설계된 프

리코더를 다중 셀 시나리오에 적용한 결과, 기존의 방법에 비해 상당한 성능 향상을 얻을 수 있음을 확인하였다. 끝으로 피드백 bit 양에 따른 성능을 조사하였으며, 4 bits 이상을 피드백에 사용한 경우의 성능은 제한 없는 bits를 사용한 경우의 성능과 거의 유사함을 확인하였다.

참 고 문 헌

[1] A. Paulraj, R. Nabar, and D. Gore, *Introduction to Space-Time Wireless Communications*. Cambridge, U.K.: Cambridge Univ. Press, 2003.

[2] J. Kim, S. Ariyavistakul, "Optimum 4-Transmit-Antenna STBC/SFBC with Angle Feedback and a Near-Optimum 1-Bit Feedback Scheme," *IEEE Commun. Lett.*, Vol.11, No.11, pp.868-870, Nov. 2007

[3] I. Choi, J.K. Kim, H. Lee, I. Lee, "Alamouti-codes based four-antenna transmission schemes with phase feedback," *IEEE Commun. Lett.*, Vol.13, No.10, pp.749-751, Oct. 2009

[4] A. Ismail, S. Sezginer, J. Fiorina, H. Sari, "A Simple and Robust Equal-Power Transmit Diversity Scheme," *IEEE Commun. Lett.*, Vol.15, No.1, pp.37-39, Jan. 2011

[5] H. Weingarten, Y. Steinberg, and S. Shamai (Shitz), "The capacity region of the Gaussian multiple-input multiple-output broadcast channel," *IEEE Trans. Inf. Theory*, Vol.52, No.9, pp.3936-3964, Sep. 2006.

[6] O. Somekh, O. Simeone, Y. Bar-Ness, A. Haimovich, "Distributed Multi-Cell Zero-Forcing Beamforming in Cellular Downlink Channels," in *Proc. IEEE Global Telecommun. Conf. (Globecom)*, pp.1-6, Nov. 27 2006-Dec. 1 2006

[7] S. Shim, J. S. Kwak, R. W. Heath, Jr., and J. G. Andrews, "Block diagonalization for multi-user MIMO with other-cell interference," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, Vol.7, No.7, pp.2671-2681, July 2008.

[8] R1-094144, CATT, "Considerations on Spatial Domain Coordination in LTE-A," *3GPP RAN*

WG1 #58bis, Oct. 2009

[9] Dongguk Lim, et al., "PMI Restriction for the downlink Closed-loop MIMO," *IEEE C802.16m-08/430r1*, July 2008.

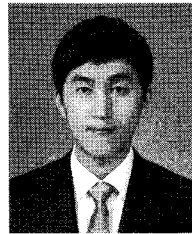
[10] Lingjia Liu, et al., "Multi-cell MIMO Schemes for IEEE 802.16m," *IEEE C802.16m-08/632*, July 2008.

[11] L. Falconetti, C. Hoymann, "Codebook based Inter-Cell Interference Coordination for LTE," *Personal Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), 2010 IEEE 21st International Symposium on*, Vol., No., pp.1769-1774, 26-30 Sep. 2010

[12] D. Love, R. Heath, and T. Strohmer, "Grassmannian beamforming for multiple-input multiple-output wireless systems," *IEEE Trans. Inf. Theory*, Vol.49, No.10, pp.2735-2747, Oct. 2003.

김 태 영 (Taeyoung Kim)

준회원



2010년 2월 건국대학교 전자공학부 공학사

2010년 3월~현재 건국대학교 전자정보통신공학부 석사과정
<관심분야> Multi-user MIMO, 통신신호처리, 펌토셀

윤 은 철 (Eun Chul Yoon)

종신회원



1993년 2월 연세대학교 공학사
1995년 2월 연세대학교 공학석사
1995년~2000년 삼성전자 네트워킹사업부 책임연구원

2006년 미국 스탠포드대학 전기공학과 공학박사

2006년~2008년 삼성전자 통신연구소 책임연구원

2008년~현재 건국대학교 전자공학부 조교수

<관심분야> 이동통신, 무선통신시스템 설계, 홈 네트워킹, 협력 다이버시티