

# 주파수 분할 이중화 대용량 다중입출력 시스템을 위한 채널 피드백 감소 기법

김승년\*, 심병호<sup>o</sup>

## A Channel Feedback Compression Technique for FDD Massive MIMO Systems

Seungnyun Kim\*, Byonghyo Shim<sup>o</sup>

### 요 약

본 논문에서는 FDD 대용량 다중입출력 시스템을 위해 채널 피드백을 감소시키는 기법을 제안하고자 한다. 제안하는 기법은 채널의 다중경로요소 중 핵심적인 일부를 선택하여 피드백함으로써 채널 피드백 과정에서 발생하는 데이터 전송률 감소를 획기적으로 감소시켰으며 이를 실험결과를 통해 확인하였다.

**Key Words** : FDD, Massive MIMO, Angle reciprocity, Feedback compression, Path selection

### ABSTRACT

In this paper, we propose a feedback compression technique for FDD massive MIMO systems. By choosing a few essential propagation paths and only feed back the path gains of chosen paths, the proposed scheme can minimize the sum-rate loss of channel feedback over the conventional schemes.

### I. 서 론

대용량 다중입출력 시스템은 미래 이동통신의 기술의 핵심으로써 전송효율을 획기적으로 증가시킬 것으

로 예상된다. 이러한 대용량 다중입출력 시스템으로부터 기대되는 전송효율의 혁신적인 증가를 달성하기 위해서는 정확한 채널정보를 습득하는 것이 매우 중요하다. 현 이동통신 시스템의 대부분을 차지하고 있는 주파수 분할 (FDD) 시스템에서는 사용자가 하향링크 채널을 추정하고 이를 기지국에 피드백 해주는 형태로 이루어진다<sup>[1]</sup>. 이때, 채널 피드백의 양이 안테나 개수에 선형적으로 비례하기 때문에 대용량 다중입출력 시스템에서는 채널정보 피드백을 위해 엄청난 피드백 오버헤드가 발생한다<sup>[2]</sup>. 따라서 FDD 기반 대용량 다중입출력 시스템에서는 피드백 오버헤드를 감소시키는 기법이 필수적이다<sup>[3]</sup>.

본 논문에서는 채널의 다중경로요소를 선택적으로 피드백하는 기법을 제안하고자 한다. 최근 연구에 따르면 신호 전파의 제한된 산란환경 때문에 다중경로요소의 숫자가 대용량 안테나의 숫자보다 작다는 사실이 밝혀졌다<sup>[4]</sup>. 이를 이용하면 FDD 기반 대용량 시스템에서 채널의 다중경로요소를 피드백함으로써 피드백 오버헤드를 현저히 감소시킬 수 있다. 또한 FDD 시스템에서도 상향링크와 하향링크의 각도정보가 비슷하다는 각도상호성을 이용하여 기지국은 각도 정보를 직접 추정하고 사용자는 경로 이득만을 피드백한다. 제안하는 기법의 차별성은 기존의 채널 피드백 감소 기법들이 채널 벡터를 부분적으로 피드백함으로써 차원감소효과만을 얻는 반면, 제안하는 기법은 경로 정보 중에서 데이터 전송률 합을 최대화 하는 일부의 경로를 직접 선택하여 피드백함으로써 부분적 채널 피드백으로 인한 데이터 전송률 감소를 최소화한다는 점이다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어있다. 서론에 이어 본론에서는 II장에서 시스템 모델을 설명한다. 또한 III장에서 제안하는 채널 피드백 감소기법을 소개하며 IV장에서는 실험결과를 설명한다. 마지막으로 V장에서는 결론을 맺는다.

### II. 시스템 모델

본 논문에서는 균등하게 배열된  $N$ 개의 선형안테나 시스템을 가지는 기지국과 단일 안테나를 가지는  $K$ 개의 사용자로 이루어진 시스템을 가정하였다. 채널

\* 본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소가 지원하는 미래전투체계 네트워크기술 특화연구센터 사업의 일환으로 수행되었습니다.(UD1160070BD)

• First Author : (ORCID:0000-0001-6435-9029)Seoul National University, INMC, snkim@islab.snu.ac.kr, 학생회원

o Corresponding Author : (ORCID:0000-0001-5051-1763)Seoul National University, INMC, bshim@snu.ac.kr, 중신회원

논문번호 : 201908-167-A-LU, Received August 23, 2019; Revised September 24, 2019; Accepted September 25, 2019

모델은 아래와 같이  $P$ 개의 경로로 이루어진 다중경로 채널 모델을 사용하였다<sup>3)</sup>.

$$\mathbf{h}_k = \sum_{i=1}^P g_{k,i} \mathbf{a}(\theta_{k,i}) = \mathbf{A}_k \mathbf{g}_k \quad (1)$$

여기서  $g_{k,i} \sim CN(0,1)$ 는 경로 이득 그리고  $\theta_{k,i}$ 는 입사각을 나타낸다. 또한  $\mathbf{a}(\theta)$ 는 방향벡터를 나타낸다. 종합적으로 채널의 다중경로요소는  $\{g_{k,i}, \theta_{k,i}\}$ 로 정의한다. 주목할 점은  $\theta_{k,i}$ 는 주파수에 독립적인 변수들이므로 상향링크와 하향링크가 공유할 수 있는 다중경로요소이고  $g_{k,i}$ 는 주파수에 종속적인 변수들이므로 사용자로부터 피드백 받아야 하는 요소이다.

### III. 선택적 경로이득 피드백 기법

본 절에서는 제안하는 선택적 경로이득 피드백 기법을 소개한다. 제안하는 기법에서 경로 인덱스 집합을  $A_k$ 라고 할 때 기지국과 사용자  $k$  사이의 프리코딩 벡터는 다음과 같이 정의된다<sup>4)</sup>.

$$\mathbf{w}_k = \mathbf{A}_{A_k} \overline{\mathbf{g}_{A_k}} \quad (2)$$

이때  $\mathbf{A}_{A_k}$ 와  $\overline{\mathbf{g}_{A_k}}$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} \mathbf{A}_{A_k} &= [\mathbf{a}(\theta_{k,i}), i \in A_k] \\ \mathbf{g}_{A_k} &= [g_{k,i}, i \in A_k] \\ \overline{\mathbf{g}_{A_k}} &= \frac{\mathbf{g}_{A_k}}{\|\mathbf{g}_{A_k}\|} \end{aligned} \quad (3)$$

(2)에서 정의한 프리코딩 벡터를 사용하여 기지국은 다음과 같은 송신 신호  $\mathbf{x}$ 를 전송한다.

$$\mathbf{x} = \sum_{k=1}^K \mathbf{w}_k s_k \quad (4)$$

이때  $s_k$ 는 사용자  $k$ 에 대한 데이터 심볼이다. 그러면 사용자  $k$ 가 받는 수신 신호  $y_k$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} y_k &= \mathbf{h}_k^H \mathbf{x} + n_k \\ &= \mathbf{h}_k^H \mathbf{w}_k s_k + \sum_{j \neq k} \mathbf{h}_k^H \mathbf{w}_j s_j + n_k \\ &= \mathbf{g}_k^H \mathbf{A}_k^H \mathbf{A}_{A_k} \overline{\mathbf{g}_{A_k}} s_k + \sum_{j \neq k} \mathbf{g}_k^H \mathbf{A}_k^H \mathbf{A}_{A_j} \overline{\mathbf{g}_{A_j}} s_j + n_k \end{aligned} \quad (5)$$

여기서  $n_k$ 는 가우시안 잡음이다. 이때, 대용량 안테나 시스템에서 서로 다른 채널벡터가 수직한 특성을 활용하면  $y_k$ 는 다음과 같다<sup>2)</sup>.

$$y_k = \mathbf{g}_{A_k}^H \overline{\mathbf{g}_{A_k}} s_k + n_k \quad (6)$$

이에 따른 사용자  $k$ 의 데이터 전송률은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} R_k &= \log_2 \left( 1 + \frac{1}{\sigma_n^2} \mathbb{E} \left[ |\mathbf{g}_{A_k}^H \overline{\mathbf{g}_{A_k}}|^2 \right] \right) \\ &= \log_2 \left( 1 + \frac{1}{\sigma_n^2} \mathbb{E} \left[ \|\mathbf{g}_{A_k}\|^2 \right] \right) \\ &= \log_2 \left( 1 + \frac{1}{\sigma_n^2} |A_k| \right) \end{aligned} \quad (7)$$

따라서 전체  $K$  사용자의 데이터 전송률의 합을 최대화하도록 총  $L$ 개의 피드백 자원을 할당하는 최적화 문제는 다음과 같이 나타난다.

$$\begin{aligned} \max_{\{A_k\}} & \sum_{k=1}^K R_k \\ \text{s.t.} & R_k \geq R_{k,\min}, k = 1, \dots, K \\ & \sum_{k=1}^K |A_k| = L \end{aligned} \quad (8)$$

주목할 점은 대용량 안테나 시스템의 특성으로 인해 데이터 전송률은 경로 인덱스 집합이 아니라 경로 인덱스 집합의 원소 수의 함수라는 점이다. 식 (7)에서 얻은 데이터 전송률 식을 대입하면 최적화 문제는 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \max_{\{A_k\}} & \sum_{k=1}^K \log_2 \left( 1 + \frac{1}{\sigma_n^2} |A_k| \right) \\ \text{s.t.} & |A_k| \geq \sigma_n^2 2^{R_{k,\min} - 1}, k = 1, \dots, K \\ & \sum_{k=1}^K |A_k| = L \end{aligned} \quad (9)$$

이 최적화 문제는  $|A_k|$ 가 자연수라는 조건을 제외하면 간단한 볼록최적화 문제로서 다양한 볼록최적화 기법을 통해 해결할 수 있다<sup>5)</sup>. 따라서 제안하는 기법에서는 각  $|A_k|$ 을 0 이상의 실수로 가정하여 최적화 문제를 해결한 다음 얻어진 해에 반올림을 취하는 접근방식을 사용하였다.

#### IV. 실험 결과

본 절에서는 제안하는 선택적 경로이득 피드백 기법의 시뮬레이션 결과를 제시한다. 비교 기법으로는 기존의 maximum ratio transmission (MRT) 기법을 사용하는 채널 피드백 기법을 사용하였다. 또한 채널 양자화 기법은 random vector quantization (RVQ) 코드북 기법을 사용하였다<sup>[6]</sup>. 실험 파라미터로  $N=32$ ,  $K=4$ , 그리고  $L=64$ 을 사용하였다. 채널 양자화 비트 수는  $B=6, 12$ 를 사용하였다. 또한 채널 정보가 양자화없이 완벽히 기지국에 전송되는 상황에서도 실험을 수행하여 데이터 전송률의 상한을 얻었다. 다중 경로요소는 3GPP LTE 기준에 따라 설정하였다.

그림 1은 잡음 분산  $\sigma_n^2$ 의 변화에 따라 제안하는 선택적 경로이득 피드백 기법의 데이터 전송률 합계를 나타낸 것이다. 이때 송신 전력은 4W로 고정하였다. 제안하는 선택적 경로이득 피드백 기법이 기존 채널 피드백 기법에 비해 성능이 뛰어난 것을 확인할 수 있다. 구체적으로, 모든 영역에서 제안하는 기법은 기존 기법에 대해 4 bps/Hz 이상의 데이터 전송률 이득을 가지고 있음을 확인하였다.

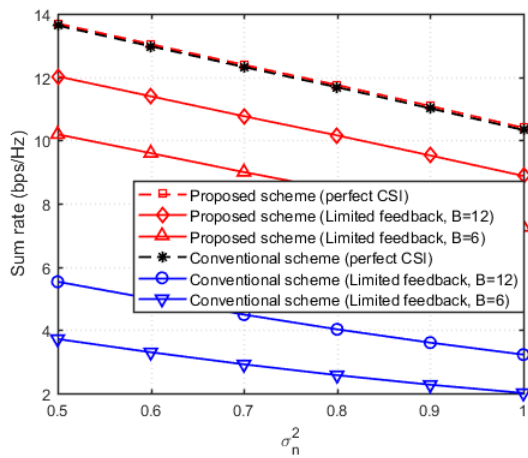


그림 1. 선택적 경로이득 피드백 기법의 데이터 전송률 합계 성능 그래프  
 Fig. 1. Sum-rate performance of the proposed selective path gain information feedback technique

#### V. 결론

본 논문에서는 선택적 경로이득 피드백을 사용하여 채널 피드백 오버헤드를 감소시키는 기법을 제안하였다. 제안하는 기법은 기존 채널 피드백 기법과 비교하여 훨씬 적은 피드백 비트수로 더 좋은 성능을 보임을 실험결과를 통해 확인하였다.

#### References

- [1] B. Shim and B. Lee, "Evolution of MIMO technology," *J. KICS*, vol. 38, no. 8, pp. 712-723, 2013.
- [2] H. Ji, Y. Kim, J. Lee, E. Onggosanusi, Y. Nam, J. Zhang, B. Lee, and B. Shim, "Overview of full-dimension MIMO in LTE-advanced pro," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 55, no. 2, pp. 176-184, 2017.
- [3] B. Lee, J. Choi, J.-Y. Seol, D. J. Love, and B. Shim, "Antenna grouping based feedback compression for FDD-based massive MIMO systems," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 63, no. 9, pp. 3261-3274, 2015.
- [4] S. Kim, J. Choi, and B. Shim, "Feedback reduction for beyond 5G cellular systems," in *Proc. IEEE ICC*, Shanghai, China, May 2019.
- [5] M. Grant and S. Boyd, "CVX: Matlab software for disciplined convex programming," version 2.1, Dec. 2018.
- [6] N. Jindal, "MIMO broadcast channels with finite rate feedback," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 52, no. 11, pp. 5045-5059, 2006.