

제한된 피드백을 가지는 다중사용자 다중안테나 시스템에서 벡터 양자화 기법과 스칼라 양자화 기법의 성능 비교

*고경준 **이정우

서울대학교

*smuff@wspl.snu.ac.kr

Comparison between Vector quantization and Scalar quantization in multiuser MIMO systems with limited feedback

*Ko, Kyeongjun **Lee, Jungwoo

Seoul National University

요약

다중사용자 다중안테나 시스템은 높은 성능 이득을 가지기 때문에 현재 활발히 연구가 진행되고 있다. 그러나 다중사용자 시스템은 필연적으로 간섭이 발생하게 된다. 송신단이 각 수신단의 채널 정보를 완전히 알면 기존의 간섭제거 기법으로 완벽히 간섭을 제거할 수 있지만 제한된 피드백 환경에서는 그럴 수 없다. 제한된 피드백 환경에서는 채널을 양자화 해야 되는데 양자화 기법으로는 벡터 양자화와 스칼라 양자화 기법이 있다. 일반적으로는 벡터 양자화가 스칼라 양자화 보다 성능이 더 좋다고 알려져 있다. 본 논문에서는 벡터 양자화와 스칼라 양자화의 성능을 비교하고 그 차이가 어느 정도 되는지 실험결과를 통해서 알아보겠다.

1. 서론

다중사용자 다중안테나 시스템은 다중사용자 단일안테나 시스템보다 더 높은 성능을 가진다고 알려져 있다[1]. 그러나 다중사용자 다중안테나 시스템에서는 필연적으로 사용자 간의 간섭이 발생하게 된다. Dirty Paper Coding (DPC)은 이런 간섭신호를 제거하는 최적의 비선형 프리코딩 기법이다[2]. 그러나 그것은 송신단이 수신단의 완벽한 채널을 알아야 되고 인코딩 방법이 상당히 복잡하기 때문에 실제 시스템에 적용하기는 상당히 어렵다.

이런 시스템의 복잡도를 줄이기 위해 많이 사용되는 선형 프리코딩 기법이 Zero Forcing (ZF)과 Block Diagonalization (BD)이다 [2],[3]. ZF나 BD는 DPC에 비해서 성능은 조금 떨어지지만 복잡도가 상당히 줄어드는 특성을 가진다. 그러나 ZF나 BD가 높은 성능을 가지기 위해서는 DPC와 마찬가지로 송신단이 상당히 정확한 각 수신단의 채널을 알아야 된다.

실제 시스템에서는 여러 환경적인 제약 조건 때문에 송신단이 수신단의 채널 정보를 완벽히 아는 것이 불가능하다. 시간 분할 듀플렉스 (TDD) 시스템에서는 sounding을 이용해서 꽤 정확한 채널을 알 수 있지만 주파수 분할 듀플렉스 (FDD) 시스템에서는 업, 다운링크의 주파수 대역이 다르기 때문에 채널 정보를 양자화 해서 송신단에 보내야 된다.

채널을 양자화하는 방법은 크게 두 가지가 있다. 벡터 양자화 기법과 스칼라 양자화 기법이다. 벡터 양자화 기법은 채널 자체를 양자화 시켜서 코드북화 한 것이고 스칼라 양자화 기법은 채널 성분을 각각 양자화 하는 방법이다. 일반적으로 벡터 양자화 기법이 스칼라 양자화 기법보다 더 좋은 성능을 가진다고 알려져 있다.

본 논문에서는 제한된 피드백 비트를 가지는 다중사용자 다중안테나 시스템에서 벡터 양자화 기법과 스칼라 양자화 기법의 성능을 비교한다.

본 논문의 나머지 부분은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서 ZF와 벡터 양자화 기법, 스칼라 양자화 기법에 대해 설명하고 3장에서 실험 결과를 통해 벡터 양자화 기법과 스칼라 양자화 기법의 성능을 비교한다. 그리고 마지막으로 4장에서 결론을 맺는다.

2. 배경이론 설명

가. Zero-Forcing Beamforming

ZF는 각 수신단이 하나의 스트림을 받을 때 사용한다. ZF는 먼저 송신단이 정보를 전달할 사용자를 선택한 다음에 다음과 같이 각 사용자의 채널의 블록을 쌓는다.

$$\hat{H} = \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ \vdots \\ h_K \end{bmatrix}$$

그런 다음에 유사 역행렬을 다음과 같이 구한다.

$$T = \text{normalize}(\hat{H}^\dagger (\hat{H}\hat{H}^\dagger)^{-1})$$

따라서 i 번째에 선택된 사용자의 프리코딩 벡터 V_i 는 T 의 i 번째 열이 된다.

나. 벡터 양자화 기법

벡터 양자화 기법에는 여러 가지가 있다. 본 논문에서는 그 중에서도 랜덤 벡터 양자화 기법을 사용한다. 본 논문에서 벡터 양자화 기법은 피드백 비트수에 맞게 채널을 랜덤하게 생성해서 그것을 코드북의 코드워드로 사용한다.

다. 스칼라 양자화 기법

본 논문에서 스칼라 양자화 기법은 Lloyd max 알고리즘을 사용한 다[4]. Lloyd max 알고리즘은 training sample을 가지고 nearest neighbor (NN) 조건과 centroid 조건을 반복해서 사용해서 경계값과 대푯값을 찾아내는 방법이다. NN 조건은 다음과 같다.

$$a_i = \frac{1}{2}(\hat{x}_i + \hat{x}_{i+1})$$

여기서 a_i 는 i 번째 경계값이고 \hat{x}_i 는 i 번째 대푯값이다. 그리고 centroid 조건은 다음과 같다.

$$\hat{x}_i = \frac{\int_{a_{i-1}}^{a_i} x f_s(x) dx}{F_s(a_i) - F_s(a_{i-1})}$$

여기서 $F_s(x)$ 는 랜덤 변수 x 의 cdf이다.

3. 실험 결과

본 논문에서는 송신 안테나의 수가 4, 수신 안테나의 수가 2, 전체 사용자의 수가 30인 시스템에서 벡터 양자화와 스칼라 양자화의 성능을 비교했다. 그리고 수신 안테나 결합 기법을 사용해서 각 사용자의 스트림의 개수가 1이 되도록 하였다.

그림 1은 피드백 비트수가 16비트일 때 벡터 양자화 기법과 스칼라 양자화 기법의 채널용량 비교이다. 일반적으로 알려진 것과 같이 벡터 양자화 기법이 스칼라 양자화 기법보다 성능이 더 좋다는 것을 알 수가 있다. 특히 SNR이 높아질수록 성능 차이가 더 많이 나는 것을 볼 수가 있다.

그림 2는 비슷한 채널용량을 가지게 하도록 하는 벡터 양자화 기법과 스칼라 양자화 기법의 피드백 비트수의 비교이다. 그림에서 보면 24 비트의 스칼라 양자화 기법이 18 비트의 벡터 양자화 기법과 성능이 비슷함을 알 수가 있다. 즉 벡터 양자화 기법을 사용하면 스칼라 양자화 기법에 비해 많은 비트수를 절약할 수 있음을 알 수가 있다.

4. 결론

본 논문에서는 다중사용자 다중안테나 시스템에서 벡터 양자화 기법과 스칼라 양자화 기법의 성능을 비교하였다. 실험 결과를 보면 벡터 양자화 기법이 스칼라 양자화 기법보다 훨씬 큰 채널 용량을 가지는 것을 알 수가 있다. 그리고 벡터 양자화 기법이 스칼라 양자화 기법보다 비슷한 성능을 나타내기 위해 훨씬 많은 피드백 비트수를 절약할 수 있는 것을 알 수가 있다.

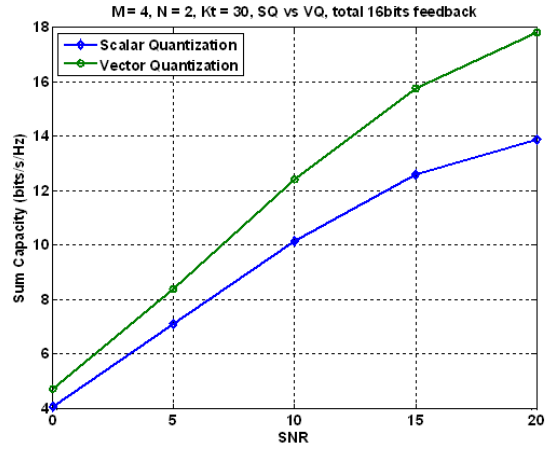


그림 1. 피드백 비트수가 16일 때 벡터 양자화 기법과 스칼라 양자화 기법의 채널 용량 비교

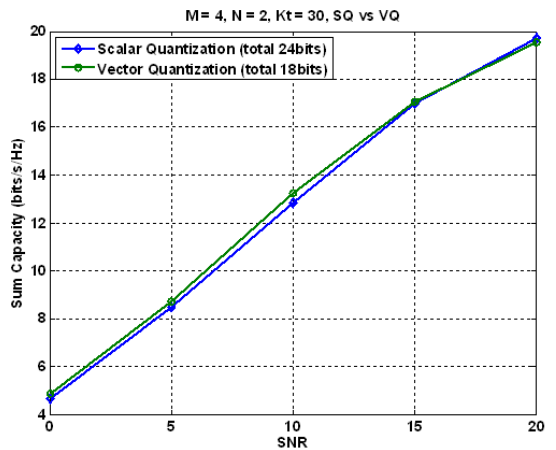


그림 2. 벡터 양자화 기법과 스칼라 양자화 기법이 비슷한 채널 용량을 가지도록 하는 피드백 비트수의 비교

참고문헌

- [1] N. Jindal and A. Goldsmith, "Dirty-paper coding versus TDMA for MIMO broadcast channels," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 51, no. 5, pp. 1783-1794, 2005.
- [2] C. B. Peel, B. M. Hochwald, and A. L. Swindlehurst, "A vector perturbation technique for near capacity multiantenna multiuser communication - part 1: channel inversion and regularization," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 49, no. 7, pp. 1691-1706, Jul. 2003.
- [3] Q. H. Spencer, A. L. Swindlehurst, and M. Haardt, "Zero-forcing methods for downlink spatial multiplexing in multiuser MIMO channels," *IEEE Trans. on Signal Process.*, vol. 52, no. 2, pp. 20-24, 2004.
- [4] J. G. Proakis, *Digital communications*, 4th ed. McGrawHill, 2001.