

# 코드워드 양자화를 고려한 Steepest Descent 코드북 최적화 기법

김명석, 신명철, 이충용  
연세대학교 전기전자공학과  
brightstone@csp.yonsei.ac.kr

## Optimizing Codebook for Quantized Precoder Using Steepest Descent Method Considering Codeword Quantization

Myoung-Seok Kim, Myeongchoel Shin, Chungyong Lee  
Dept. of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei University

### 요 약

본 논문은 제한된 피드백으로 다이버시티 이득과 어레이 이득을 얻을 수 있는 양자화 전처리기에 사용되는 코드북을 steepest descent 기법을 이용하여 최적화하는 방법을 제시하였다. 코드북은 다중 안테나 간 채널이 형성하는 공간을 최대한 균일하게 양자화하는 Grassmanian packing 과 관계가 있다. 이는 코드북의 코드워드 간 상관도를 최소화함으로써 가능하며, 최소화를 위해 steepest descent 기법을 이용하였다. 또한 본 논문은 최적화 코드북을 양자화 전처리의 송수신단 메모리에 저장하기 위해 필요한 코드워드 양자화 기법과 이에 따라 발생하는 양자화 오차를 고려한 최적화 방법을 제시하였다. 이러한 방법으로 최적화된 코드북은 코드워드 간 최대 상관도가 작아져 양자화 전처리의 비트오차 성능을 향상시킨다.

### I. 서론

다중 안테나 시스템에는 송신단에서 순시적인 채널 정보를 획득하고 이를 이용해 고품질의 심볼이 전송될 수 있도록 송신 전처리를 수행하는 페루프 시스템이 있다[1]. 이 시스템은 채널의 순시적인 상황에 맞추어 심볼을 전송하기 때문에 채널의 순시적인 페이딩 현상을 효율적으로 극복할 수 있으며, 추가적으로 다중 안테나를 통한 어레이 이득을 획득할 수 있다. 이러한 페루프 시스템의 대표적인 예로써 최적결합전송 기법, 고유벡형성 기법 등이 알려져 있으며 많은 연구를 통해 이들이 다중 안테나 시스템에서 얻을 수 있는 최대의 다이버시티 이득과 어레이 이득을 획득할 수 있음이 알려져 있다[2].

페루프 다중 안테나 시스템이 우수한 성능을 가짐에도 불구하고 이를 구현하기 위해 현실적으로 해결해야 하는 문제가 있다. 일반적인 통신 시스템은 송수신 안테나 간 채널이 동일하지 않으므로 송신 안테나에서 하향 링크의 순시적인 정보를 획득하는 것은 사실상 불가능하다. 따라서 송신 안테나가 채널 정보를 얻기 위해서는 수신단에서 추정된 채널 정보를 송신단으로 피드백 해야 한다. 그러나 피드백 채널의 대역이 제한되어 있는 상황에서 순시적인 채널 정보를 넘겨주는 것은 불가능하다. 결과적으로 채널 정보를 줄이기 위한 채널 정보 압축 기법이 사용되어야 하며, 이를 위한 기법으로 양자화된 채널 정보를 이용해 송신단에서 심볼을 전처리하는 양자화 전처리 기법이 있다[3]. 양자화 전처리 기법은 다중 안테나 간 채널이 형성하는 공간을 가능한 균일하게 양자화하여 코드북을 형성한 후 이를 송수신단이 공유함으로써 코드북의 인덱스만으로 채널 정보를 전송한다. 이러한 양자화 전처리 기법은 코드북의 크기가 충분히 클 경우, 송신단에서 정확한 정보를 알고 있는 최적결합전송, 고유벡형성 기법과 근사한 성능을 낼 수 있다.

양자화 전처리에 사용하는 코드북은 채널이 형성하는 공간을 가능한 균일하게 양자화하는 Grassmanian packing 과 연관된다. 현실적으로 채널이 형성하는 공간을 균일하게 모사하는 모든 코드워드의 조합(코드북)을 탐색하는 것은 불가능하므로 기존의 코드북 설계 방법은 제한된 영역만을 탐색하거나 기존에 찾아진 코드북을 Householder 연결과 Householder 확장 연산을 이용하여 이루어진다[5]. 이렇게 설계된 코드북의 코드워드 간 상관도나 코달 거리 분포는 일정하지 않고, 이는 코드북이 최적화 되어 있지 않음을 뜻한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문은 기존 코드북의 코드워드 간 최대 상관도를 steepest descent 기법을 이용하여 최소화하는 방향으로 최적화하는 방안을 제시하였다.

또한 코드북을 메모리에 저장하기 위해 필요한 코드워드 양자화 기법을 제시하고, 이에 따라 발생하는 양자화 오차를 최소화하도록 코드북 최적화 기법을 개선시켰다.

### II. Steepest Descent 코드북 최적화 기법

코드북 최적화는 코드워드 간 최대 상관도(1)를 줄이는 방향으로 이루어진다.

$$\sigma^*(CB(N_t, N_s, L)) = \max_{1 \leq i < j \leq 2^L} \sqrt{\langle \Phi_i, \Phi_j \rangle} \quad (1)$$

$$\text{where } \langle A \rangle = \sum_{i,j} \{A\}_{i,j}^2$$

$N_t$ 는 송신 안테나 수,  $N_s$ 는 스트림 수,  $L$ 은 코드워드 인덱스의 비트 수,  $\Phi_i$ 는  $i$  번째 코드워드,