

낮은 복호화 복잡도를 가지는 시공간 격자상 부호의 확장성 있는 설계

김경민, 이용훈

한국과학기술원 전자전산학과 전기 및 전자공학 전공
yohlee@ee.kaist.ac.kr

Scalable Design of Space-Time Trellis Code with Low Decoding Complexity

Kyungmin Kim and Yong H. Lee

* Division of Electrical Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST).

요 약

송신 안테나의 개수에 확장성 (scalable) 있는 시공간 코드를 (space-time code) 설계하는 것은 매우 어려운 문제이다. 본 논문에서는 임의의 송신 안테나 개수에 적용 가능한 새로운 방식의 시공간 격자상 부호를 (space-time trellis codes: STTC) 소개한다. 큰 constellation 크기를 갖는 STTC를 간단하게 구성하기 위해서, 작은 constellation 크기를 가지는 단위 코드들을 조합하여 구성하였다. 단위 코드로써는 QPSK STTC를 사용하였다. 기존의 STTC와는 달리, 제안된 방법에서는 search space가 constellation 크기나 송신 안테나 개수에 대해 지수적으로 증가하지 않는다는 특징이 있다. 또한, 계산 복잡도를 줄이기 위해 간섭 신호 완화 (interference mitigation) 기법을 이용한 실제적인 방법을 제안한다. 모의실험은 두 개의 송신 안테나와 여러 다른 개수의 수신 안테나를 가지는 경우들에 대해, 주파수 효율이 4 bits/s/Hz 이고, slow Rayleigh fading 채널에 대한 결과들을 비교한다.

I. 서론

다중 입출력 (multiple-input multiple-output: MIMO) 시스템 설계는 참조 논문들 [1]-[5]에서 볼 수 있듯이 지속적으로 연구가 이루어 지고 있다. 지금까지의 연구 활동들은 주로 송신 안테나 개수가 고정되어 있을 경우에 대해 시공간 부호를 (space-time code) 최적화 하는 것에 집중되어 왔다. 참조 논문 [2]에서 보듯이, 일반적으로 송신 안테나의 개수가 증가함에 따라 부호 설계를 위한 search space가 지수적으로 증가한다. 이 점 때문에 송신 안테나의 개수가 많은 경우에 대해서는 STTC의 설계가 매우 어려워지게 된다. 또한, 그러한 시스템에서 문제가 되는 복호화 (decoding) 복잡도는 부호의 실제적인 적용을 어렵게 만드는 주요 요인이기도 하다. 한편, 시공간 블록 부호는 (space-time block codes: STBC) 비교적 간단한 복호화 복잡도를 가지고 있으며 [6], 격자상 부호와 (trellis codes) [3] 결합해서 사용할 때 우수한 성능을 나타낸다는 장점이 있다. 그러나, 이러한 코드들에서도 시스템의 송신 안테나 개수가 변함에 따라 STBC의 설계 역시 변화 하여야 한다. 더욱이 full rate 최대 다이버시티 (maximum diversity) 직교 부호들은 몇몇의 제한된 경우들에 대해서만 적용 가능하다는 제약이 있다. 결과적으로, 중요한 점은 복호화 복잡도가 송신 안테나 개수에 따라 증가하지 않으면서 송신안테나 개수에 확장성 (scalable) 있는 시공간 부호를 설계해야 한다는 것이다.

최근 우리는 constellation 크기나 송신 안테나 개수에 따라 search space가 지수적으로 증가하지 않으면서 임의의 $n \times m$ MIMO 시스템에 적용 가능한 새로운 STTC 설계 방법을 소개하였다 [7]. 이는 작은 constellation 크기를 갖는 STTC 부호화기들의 출력들을 조합하여, 결과적으로 한 심볼 주기 동안에 하나의 송신 안테나로부터 하나 이상의 심볼들을 전송시키는

방법이다. 성능을 더욱 향상시키기 위해서 시스템에 임의성을 (randomness) 추가하였는데, 이로써 가상 채널이라고 할 수 있는 추가 채널 경로가 형성 되었다. 실제 물리적 채널 경로에 임의성을 추가하는 방법들은 과거에 기 보고된 내용으로써 [8]-[10] 이러한 방식들의 주요 목적은 채널에 더 큰 변화를 (fluctuation) 주는 것이라고 할 수 있다. 본 논문에서 우리는 실제 채널에 임의성을 추가하는 새로운 방법을 제안한다. 목적은 MIMO 시스템의 효과적인 다이버시티를 얻는 것이며, 느린 페이딩 (slow fading) 채널에서 최대 부호화 이득 및 다이버시티 이득을 얻기 위한 최적 조건을 추출 하였다.

본 논문에서는 또한 연속적인 간섭 신호 제거기법을 [11] 이용하여 제안된 STTC를 복호화하기 위한 계산면에서 효율적인 방법을 소개한다. 이 방법은 임의의 송신 안테나 개수에 대해서도 부호화기의 수정 없이 그대로 적용 가능하다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저, II 장에서는 시스템 모델과 느린 레일리 페이딩 (slow Rayleigh fading) 채널에 대한 제안된 STTC 설계에 대해 다룰 것이다. III 장에서는 낮은 복호화 복잡도를 갖는 STTC 설계 방법이 제안되며, IV 장에서는 제안된 알고리즘의 성능을 STBC의 성능과 비교하고 V 장에서 결론을 맺겠다.

II. 시스템 모델과 랜덤화 기법

본 논문에서는 각각 n 개와 m 개의 송수신 안테나를 사용하는 무선 통신 시스템을 고려한다. 송신 안테나 i 에서 수신 안테나 j 로의 채널 경로 이득은 복소 차원당 (complex dimension) 평균 0과 분산 0.5를 가지는 복소 정규분포 (Gaussian) 확률 변수로서 $h_{i,j}$ 라고 나타내며 이들 사이는 통계적으로 서로 독립임을 가정한다. 또한 한 프레임 내에서는 변하지 않는 quasi-static Rayleigh fading 환경을 가정한다. 시간 t 에서 안테나