

# 다중 사용자 상향링크 공간 변조 MIMO 시스템에서 OMP 알고리즘을 이용한 신호 검출에 관한 연구

김도선, 김동구

연세대학교

{kds1018, dkkim}@yonsei.ac.kr

## Signal detection with orthogonal matching pursuit algorithm in multi-user uplink spatial modulation MIMO systems

Doseon Kim, Dong Ku Kim

Yonsei Univ.

요약

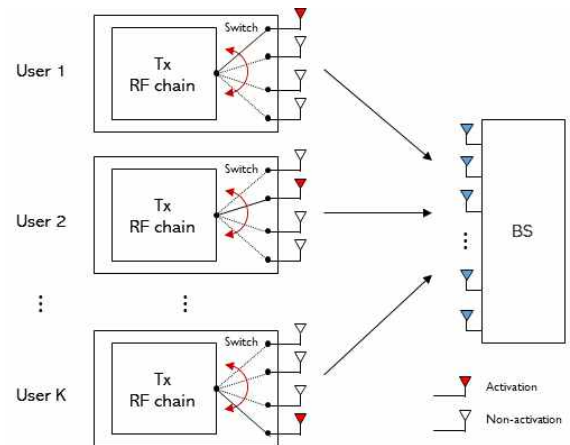
무선 통신 시스템에서 공간 변조 방식은 높은 스펙트럼 효율성과 복조시 낮은 복잡성으로 인해 자주 사용되는 전송 기술 중 하나이다. 본 논문에서는 여러 명의 사용자가 공간 변조된 희소 신호를 송신하는 환경에서 압축 감지 기반 Orthogonal Matching Pursuit(OMP) 알고리즘을 이용해 기존 제로 포싱 방식에 비해 향상된 성능으로 송신 신호를 추정하는 방법을 제안한다. 이에 수신 신호 대 잡음비(Signal to Noise Ratio, SNR)에 따른 Bit Error Rate(BER)로 분석한 모의실험을 통해 기존 방식보다 성능이 향상됨을 검증하였다.

### I. 서론

모바일 장치의 발전과 사물 인터넷의 광범위한 애플리케이션 사용에 따라 무선 통신 시스템은 대규모 기기간 연결에 있어 초고용량, 초저지연 등 좋은 성능을 보임과 동시에 상당한 양의 자원이 요구된다[1]. 이를 해결하기 위해 Multiple Input Multiple Output(MIMO) 기술은 오류 확률 감소 및 스펙트럼 효율성 증가와 같은 시스템 성능을 향상시킬 수 있어 5G 이동통신 시스템에서 자주 사용하고 있는 기술 중 하나이다. 그러나 MIMO 기술은 안테나 간의 채널 간 간섭, 높은 수신기 복잡성, 에너지 비효율성, 안테나 간의 동기화 등의 기술적 어려움이 있다. 최근에는 기존 MIMO 기술의 단점을 보완하여 다중 안테나를 활용하는 방법으로 공간 변조 기술이 제안되었다.

공간 변조 기술을 사용하면 전체 송신기 중 일부의 안테나를 활성화하고, 나머지 안테나를 사용하지 않고 데이터를 전송한다. 활성화된 안테나 인덱스를 통해 위상 천이 변조 심볼이나 직교 진폭 변조 신호 등의 디지털 정보를 담아 기지국으로 전송한다. 또한 공간 변조는 단순한 설계 방법으로 스펙트럼 효율성을 높일 수 있는 디지털 변조 방식이다[2]. 송신 안테나의 활성화와 비활성화를 통해 송신 신호 정보를 전달하는 동시에 무선 RF 체인의 수를 줄여 구현 비용을 절감하는 효과가 있다. 일반적으로 공간 변조된 송신 신호를 기지국에서 검출하는 방식으로 최대 가능도 검출 방식을 이용하였다. 그러나 각 사용자가 갖는 안테나 수가 증가함에 따라 복잡도가 지수적으로 증가한다는 단점이 있다. 이에 복잡도를 줄이기 위해 압축 감지 이론을 기반으로 공간 변조 기술을 사용하였다[3].

본 논문에서는 상향링크 다중 사용자 공간 변조 시스템에서 OMP 알고리즘을 이용해 송신 신호 추정 복잡도를 줄인 검출 기법을 제안한다. 이에 모의실험 결과는 제안된 기술이 기존 검출 기법인 제로 포싱에 비해 향상됨을 검증한다.



[그림 1] 공간 변조 기반 상향링크 시스템 모델

### II. 시스템 모델

본 논문에서는 [그림 1]과 같이 상향링크 다중 사용자 MIMO 네트워크에서의 공간 변조 시스템 모델을 가정한다. 각 사용자는  $N_t$  개의 송신 안테나를 갖고 기지국은  $N_r$  개의 수신 안테나를 갖는다. 그리고 전체 사용자는  $K$  명이며 각 사용자는  $N_t$  개의 송신 안테나 중 1개를 활성화시켜 RF 체인과 연결해 성상도 신호를 송신한다. 공간 변조 모델을 기반으로 한 정보는 직교 진폭 변조 심볼로 전송될 뿐만 아니라 각 채널 사용에 대해 두 개의 활성화 안테나 인덱스를 선택하여 전송된다. 일반적으로 송신 안테나 수와 신호 성상도가 고려된 공간 변조의 스펙트럼 효율은 다음과 같다.

$$S_{SM} = \log_2 \left( \frac{N_t}{K} \right) + K \log_2 M \quad [\text{bpcu}] \quad (1)$$

압축 감지 기반 OMP 알고리즘 과정	
1. 입력	채널 행렬 $\mathbf{H}$ , 수신 신호 $\mathbf{y}$ , 사용자 수 $K$ , 잡음 분산 $\sigma^2$
2. 출력	검출 송신 신호 $\hat{\mathbf{x}}$ , 활성화된 송신 안테나 인덱스 $L$
3. 초기화	오차율 $r_0 = \mathbf{y}$ , 활성 송신 안테나 인덱스 $A_1 = l_1$
4. 업데이트	$k = 1 : K$
	활성화된 안테나 인덱스 집합 업데이트
	$L_k = \text{argsort}(\mathbf{H}^H \mathbf{y}) = [l_1, l_2, \dots, l_K]$
	$A_k = A_{k-1} \cup \{l_k\}$
	송신 신호 성상도 추정
	$\tilde{\mathbf{s}}_k = (\mathbf{H}_{A_k}^H \mathbf{H}_{A_k})^{-1} \mathbf{H}_{A_k}^H \mathbf{y}$
	오차율
	$r_k = \mathbf{y} - \mathbf{H}_{A_k} \tilde{\mathbf{s}}_k$
	송신 신호 검출
	$\hat{\mathbf{x}} = [(\mathbf{H}_A^H \mathbf{H}_A + \sigma^2 \mathbf{I}_{KN})^{-1} (\mathbf{H}_A^H \mathbf{y})]$

[표 1] 압축 감지 기반 OMP 알고리즘

수식 (1) 중 우변의 첫 번째 로그는 활성 안테나 인덱스를 통해서 전송되는 것을 의미하고, 두 번째 로그는 활성화된 안테나를 통해 송신되는 신호 성상도를 의미한다. 일반적으로 단일 사용자에서 신호 성상도를 전송하는 시스템에서의 스펙트럼 효율은  $K \log_2 M$  인 것에 비해 공간 변조를 사용함으로써 스펙트럼 효율이 증가한 것을 확인 할 수 있다. 이에  $k$ 번째 사용자가  $N_i$ 개의 송신 안테나 중  $i$ 번째 활성화된 송신 안테나를 통해 전송되는 신호는 수식 (2)와 같이 표현할 수 있다.

$$\mathbf{x}_k = [\underbrace{0 \dots 0}_{i-1} \quad \mathbf{s}_i \quad \underbrace{0 \dots 0}_{N_i-i}]^T \quad (2)$$

수식 (2)로 구성된 송신 신호가 가우시안 채널을 통과한 후 기지국에서 수신된 신호를 이용하여 수식 (3)과 같이 각 사용자별 활성화된 안테나 인덱스 정보와 전송한 송신 신호를 검출한다.

$$\langle \hat{\mathbf{x}}_k, i \rangle = \arg \min_{\mathbf{x}, i} \|\mathbf{y} - \mathbf{H} \mathbf{x}_k\|_2^2 \quad (3)$$

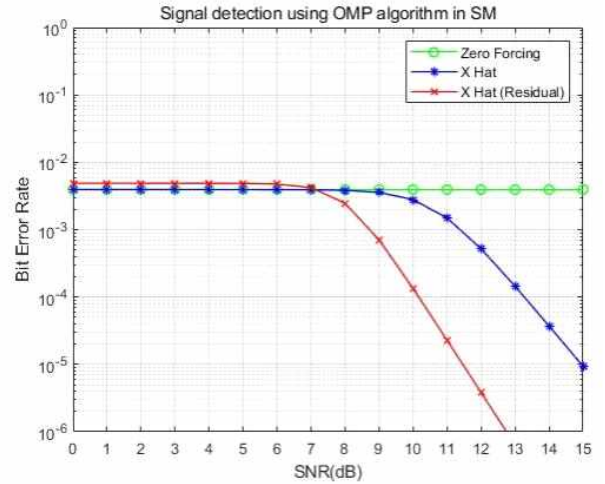
송신 안테나 수와 수신 안테나 수가 증가함에 따라 송신 신호 검출에 사용되는 계산량이 지수적으로 증가함에 따라, 계산량을 줄이기 위해 압축 감지 기법을 사용한다. [표 1]과 같은 과정으로 압축 감지 기법 중 OMP 알고리즘을 사용하여 활성화된 안테나 인덱스에 해당하는 채널 벡터만을 이용하여 송신 신호를 추정한다.

### III. 모의실험 성능 결과 및 분석

해당 파트에서는 본 논문에서 제안한 압축 감지 기반 OMP 알고리즘을 이용해 송신 신호를 검출한 방법과 기존 제로 포싱 방식을 이용해 송신 신호를 검출한 방법 간의 SNR에 따른 BER 비교를 모의실험을 통해 성능 검증한다.

[그림 2]를 통해 확인 할 수 있듯이 비교 대상의 관점은 기존 제로 포싱을 통한 검출 방식과 제안 방식 간의 성능 비교, 제안 방식 중 오차율 업데이트를 한 번만 했을 때와 1000번 반복했을 때의 성능 비교 두 가지로 볼 수 있다.

우선 첫 번째 관점에 대한 분석은 기존 방식인 제로 포싱에 비해 압축 감지 기반 OMP 알고리즘을 사용해서 송신 신호 검출하였을 때에 대한 BER 성능 비교이다. [그림 2]에서 초록색 그래프와 파란색, 빨간색 그래프와 비교해 보았을 때 BER 성능이 향상되었다는 것을 확인할 수 있다.



[그림 2] 제안 방법과 기존 송신 신호 검출 방법 간의 BER 비교

두 번째 관점으로 OMP 알고리즘을 사용하는 과정에서 오차율 업데이트를 한 번만 했을 때와 1000번 반복하여 송신 신호 검출에 오차율 업데이트를 적용했을 때 성능을 비교한다. [그림 2]에서 파란색 그래프와 빨간색 그래프를 통해 여러 번 반복하여 오차율 업데이트를 한 BER 성능이 향상된 것을 확인 할 수 있다.

### IV. 결론

본 논문에서는 다중 사용자 상향링크 공간 변조 MIMO 시스템에서 압축 감지 기반 OMP 알고리즘을 이용해 송신 신호 검출하는 연구를 진행하였다. 이에 제안한 기법이 기존 제로 포싱 방법을 통해 송신 신호를 검출하는 것보다 BER 측면에서 향상된 성능을 보임을 모의실험을 통해 검증하였다. 본 성능 결과를 기반으로 추후에는 활성화되는 안테나 수를 증가시키거나 송신 신호의 성상도를 증가시킨다면 좀 더 확장된 알고리즘을 도출할 것으로 예측된다.

### ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2021 년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임. (No.2018-0-00170, 이동채간가상 현실을 위한 5G 이동통신 기술 연구)

### 참 고 문 헌

- [1] M. Wen et al., "A Survey on Spatial Modulation in Emerging Wireless Systems: Research Progresses and Applications," in IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 37, no. 9, pp. 1949-1972, Sept. 2019.
- [2] R. Y. Mesleh, H. Haas, S. Sinanovic, C. W. Ahn and S. Yun, "Spatial Modulation," in IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 57, no. 4, pp. 2228-2241, July 2008.
- [3] J. Park, B. C. Jung, Tae-Won Ban and Jong Min Kim, "Signal detection with parallel orthogonal matching pursuit in multi-user spatial modulation systems," 2016 Eighth International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN), 2016, pp. 371-373.