

# 다중안테나 시스템에서 전송률 분할 다중 접속 기법의 하향링크 합전송률 최대화

이민우, 소재우\*  
서강대학교

mw2357@sogang.ac.kr, \*jwso@sogang.ac.kr

## Downlink Sum-Rate Maximization of RSMA Scheme in Multiple Antenna Systems

Minwoo Lee, Jaewoo So\*  
Sogang Univ.

### 요약

전송률 분할 다중 접속 (Rate Splitting Multiple Access; RSMA) 기술은 차세대 비직교 다중 접속 기술로 주목 받고 있다. RSMA 는 사용자 메시지를 common 메시지와 private 메시지로 분할하고 간섭을 부분적으로 디코딩하고 나머지를 잡음으로 처리한다. 본 논문에서는 6G 를 위한 MISO (Multiple-Input Single-Output) 시스템에서 하향링크 RSMA 기법의 합전송률 최대화를 목적으로 한다. 기존 연구에서는 단일 안테나 환경을 고려하였기 때문에 다중 안테나 기술이 필요한 5G 또는 6G 시스템에 적용하기 어렵다. 본 논문은 송신기와 수신기가 무선 채널 상태 정보를 알고 있을 때 RSMA 기법이 NOMA (Non-Orthogonal Multiple Access)와 SDMA (Spatial Division Multiple Access) 기법보다 합전송률을 향상시키는 것을 보인다.

### I. 서론

최근에 비직교 접속 기술, 간섭 관리 및 다중 액세스 전략에 대한 물리 계층 전송 패러다임으로 전송률 분할 개념을 기반으로 하는 전송률 분할 다중 접속 (Rate Splitting Multiple Access; RSMA)가 6G 에서 유망한 무선 다중 접속 기술로 주목받고 있다[1]. RSMA 는 사용자의 무선 채널 상태 및 요구사항에 따라 자원 유연성있게 배분 가능하게 하며 이 때문에 주파수 효율이 높은 다중 접속 기술이다. RSMA 기술은 사용자의 데이터를 common 메시지와 private 메시지로 분할하는 것이다. RSMA 하향링크에서 사용자의 common 메시지, private 메시지는 각각 common 데이터 스트림, private 데이터 스트림으로 인코딩 된다. RSMA 의 수신 동작을 살펴보면, 수신기에서 사용자는 모든 private 데이터 스트림을 간섭으로 여겨 common 데이터 스트림을 디코딩한다[2]. Common 메시지는 차례대로 SIC (Successive Interference Cancellation)를 통해 제거되며, 이후 private 데이터 스트림을 디코딩한다. 이는 종래 NOMA (Non-Orthogonal Multiple Access) 기법 및 SDMA (Spatial Division Multiple Access) 기법에서 사용되는 간섭 관리 전략과 차이점을 보인다. RSMA 는 간섭이 약하거나 강할 때 유연하게 common 및 private 데이터 스트림의 비율을 조절하여 NOMA 또는 SDMA 의 단점을 극복하는 특성을 갖는다[3].

본 논문에서는 다중 안테나 환경의 하향링크에서 송신기와 수신기가 무선 채널 상태 정보 (Channel State Information; CSI)를 알고 있을 때, RSMA 기법의 합전송률을 도출한다.

### II. 시스템 모델

MISO-RSMA 기반의 하향링크 시스템을 고려한다. 그림 1 과 같이  $N_t$ 개의 송신 안테나를 갖는 기지국이 한 개의 수신 안테나를 갖는  $K$  명의 사용자를 서비스하는 MISO 통신시스템을 고려한다. 그러면  $k$  번째 사용자의 수신 신호는 다음과 같다.

$$y_k = h_k^H x + n_k, \forall k \in K \quad (1)$$

여기서  $x$ 는 송신 신호,  $h_k$ 는 기지국에서  $k$  번째 사용자 간의 무선 채널 벡터, 그리고  $n_k$ 는 AWGN (Additive White Gaussian Noise)이다.

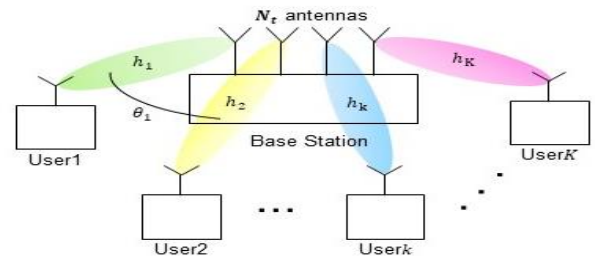


그림 1. RSMA 시스템 모델

RSMA 기법에서  $k$  번째 사용자의 메시지  $W_k$  는 common 메시지  $W_{c,k}$ 와 private 메시지  $W_{p,k}$ 로 분할된다. 전체 사용자들의  $W_{c,k}$ 는 common 데이터 스트림  $s_c$ ,  $W_{p,k}$ 는 private 데이터 스트림  $s_p$ 로 인코딩 된다.  $s_c$ 는  $p_c$  벡터에 의해 인코딩 되고  $s_k$ 는  $p_k$ 에 의해 인코딩 되어 송신 신호  $x$ 는 다음과 같다.

$$x = p_c s_c + \sum_k^K p_k s_k \quad (2)$$

여기서 기지국의 송신 전력은  $P_t$  로 제한되므로  $E\{\|x\|^2\} \leq P_t$  를 만족하여야 한다. 송신기와 수신기가 CSI 를 알고 있을 때,  $k$  번째 사용자의 common 데이터 스트림의 데이터 전송률  $R_{c,k}$ 와 private 데이터 스트림의 데이터 전송률  $R_{p,k}$ 는 다음과 같다.

$$R_{c,k} = \log_2\left(1 + \frac{|h_k^H p_c|^2}{\sum_{j \in K} |h_k^H p_j|^2 + \sigma_{n,k}^2}\right) \quad (3)$$

$$R_{p,k} = \log_2\left(1 + \frac{|h_k^H p_k|^2}{\sum_{j \in K, j \neq k} |h_k^H p_j|^2 + \sigma_{n,k}^2}\right) \quad (4)$$

모든 사용자가 common 데이터 스트림  $s_c$  를 디코딩하기 위해서 다음 조건을 만족하여야 한다.

$$R_c = \min\{R_{c,1}, \dots, R_{c,K}\} \quad (5)$$

그리고  $s_c$  가 전체  $K$  사용자의  $W_{c,1}, \dots, W_{c,K}$  를 모두 포함하기 때문에 사용자 간의  $R_c$  비율 분포는 메시지의 양에 의해 조정된다.  $C_k$  를  $W_{c,k}$  에 대한  $k$  번째 사용자의  $R_c$  부분이라고 하면 다음과 같다.

$$\sum_{k \in K} C_k = R_c \quad (6)$$

따라서,  $k$  번째 사용자의 데이터 전송률은 다음과 같다.

$$R_{k,total} = C_k + R_k. \quad (7)$$

### III. 합전송률 최대화 기법

가중치 벡터  $u = [u_1, u_2, \dots, u_K]$  가 주어졌을 때, 합전송률 최대화는 아래와 같다.

$$\max_{p, \bar{c}} \sum_{k=1}^K u_k (\bar{C}_k + \bar{R}_k) \quad (8a)$$

$$s.t. \bar{R}_{c,k} \geq \sum_{k=1}^K \bar{C}_k \quad (8b)$$

$$\bar{C}_k \geq 0, \forall k \quad (8c)$$

$$tr(pp^H) \leq P_t \quad (8d)$$

$$R_{k,total} \geq R_k^{th}, \forall k \quad (8e)$$

여기서  $p$  는 프리 코딩 벡터들의 합 벡터,  $P_t$  는 송신 전력,  $\bar{c}$  는 common 데이터 전송률의 부분인  $\bar{C}_k$  의 합 벡터이다.

수식 (8a)는 non-convex 문제이다. 본 논문에서는 최적화 문제를 해결하기 위해 CCP (Convex-Concave Procedure) 기법을 적용한다. Matlab CVX 프로그램을 이용하여 수식의 해가 수렴할 때까지 반복한다[4].

### IV. 모의 실험 결과

$N_t$  는 4 이고  $K$  는 3 인 MISO 시스템 환경에서 RSMA 성능을 평가한다. 사용자와 기지국 사이의  $h_k$  은 임의의 100 개중 3 개를 선택하여 설정하였다.  $h_k$  는 각각 i.i.d. (independent and identically distributed)이고 가우시안 분포,  $CN(0, \sigma_k^2)$  이다. 각 사용자들의 가중치 벡터는  $u_1 = 0.2, u_2 = 0.3, u_3 = 0.5$  로 고정한다. 즉,  $u_1 + u_2 + u_3 = 1$  이다.  $R_k^{th} = 0, k \in \{1, 2, 3\}$  로 하여  $k$  번째 사용자의 개별 전송률 제약이 존재하도록 하였다. 사용자가 랜덤하게 분포하기 때문에 완벽한 CSIT 채널 벡터를 각각  $h_1 = [1, 1, 1, 1]^H$ ,  $h_2 = \gamma_1 [1, e^{j\theta_1}, e^{j2\theta_1}, e^{j3\theta_1}]^H$ ,  $h_3 = \gamma_2 [1, e^{j\theta_2}, e^{j2\theta_2}, e^{j3\theta_2}]^H$  로 하였다.  $\gamma$  는 channel strength 이며  $\theta_k$  는 각각의 사용자 사이 각도로 하였다.  $\gamma_1 = 1, \gamma_2 = 0.3$  으로 고정시켰다.

RSMA 기법의 합전송률 성능을 NOMA, SDMA, DPC (Dirty Paper Coding)의 성능과 비교하였다. 그림 2 는 다중 접속 기법들의 성능을 보여주고 있다. DPC 는 최대 성능치를 보여주고 있으며, RSMA 기법에 다른 NOMA 와 SDMA 기법보다 성능이 우수함을 보인다. 또한 수신 SNR 이 클수록 더 우수한 성능을 보이는 것을 볼 수 있다.

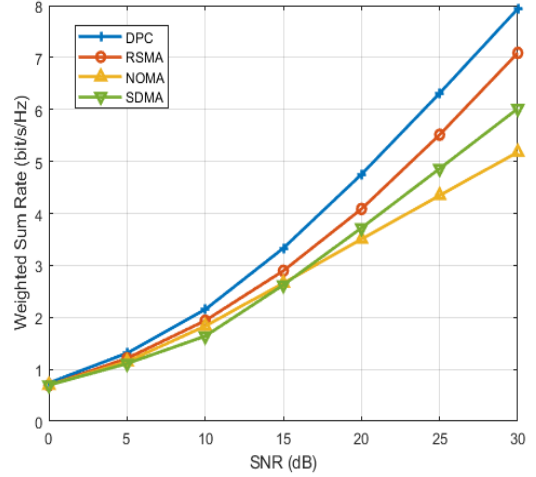


그림 2. 다중 접속 기법들의 합전송률

### V. 결론

본 논문은 RSMA 기법과 다른 다중 접속 기법들의 합전송률을 평가하였다. RSMA 기법은 SNR 이 30 dB 일 때, NOMA 기법과 SDMA 기법 보다 각각 약 27.1%, 약 15.7% 우수한 성능을 보였다. 그러나 실제 환경에서는 송신기와 수신기가 무선 채널 상태를 완벽히 알 수 없으므로 RSMA 성능 저하될 수 있다.

### ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2022R1F1A1062696). 본 논문의 교신저자는 소재우 임 (이메일: jwso@sogang.ac.kr)

### 참고 문헌

- [1] Y. Mao, O. Dizdar, B. Clerckx, R. Schober, P. Popovski, and H. V. Poor, "Rate-splitting multiple access: Fundamentals, survey, and future research trends," *IEEE Commun. Surveys & Tuts.*, vol. 24, no. 4, pp. 2073-2126, 4th Quart., 2022.
- [2] O. Dizdar, Y. Mao, W. Han, and B. Clerckx, "Rate-splitting multiple access: A new frontier for the PHY layer of 6G," in *Proc. IEEE Veh. Technol. Conf. (VTC-Fall)*, Nov. 18- Dec. 16, 2020, pp. 1-7.
- [3] Z. Yang, M. Chen, W. Saad, and M. Shikh-Bahaei, "Downlink sum-rate maximization for rate splitting multiple access (RSMA)," in *Proc. IEEE Int. Conf. Commun.*, Jun. 7-11, 2020, pp. 1-6.
- [4] M. Grant, S. Boyd, and Y. Ye, "CVX: Matlab software for disciplined convex programming", version 2.2, Jan. 2020. <http://cvxr.com/cvx>