

# 사용자가 밀집된 환경에서 energy efficiency 향상을 위한 NOMA-BF에 관한 연구

<sup>1,2</sup>유지희, <sup>1,2</sup>신경호, <sup>1,2</sup>서승환, <sup>1,2</sup>최성균, <sup>1,2</sup>송형규\*  
<sup>1</sup>세종대학교 정보통신공학과, <sup>2</sup>세종대학교 지능형드론융합전공

wlglm15974@naver.com, shinkh1000@naver.com, buffalo1997@naver.com, sk4753611@naver.com,  
\*songhk@sejong.ac.kr

## A Study on NOMA-BF for Enhancing Energy Efficiency in Dense User Environments

<sup>1,2</sup>Ji-Hee Yu, <sup>1,2</sup>Kyung-Ho Shin, <sup>1,2</sup>Seung-Hawn Seo, <sup>1,2</sup>Seong-Gyun Choi, <sup>1,2</sup>Hyoung-Kyu Song\*

<sup>1</sup>Department of Information and Communication Engineering and <sup>2</sup>Convergence Engineering  
for Intelligent Drone, Sejong University, Seoul, 209, Neungdong-ro 05006, Korea

### 요약

본 논문은 NOMA-BF (non-orthogonal multiple access beamforming)을 다중 군집 수신 무인이동체에 적용시키는 알고리즘을 제안한다. 상관도가 높은 두 수신 무인이동체를 하나의 클러스터로 형성하며 전력 비율을 달리 하여 동시에 지원하는 시스템을 기반으로 한다. Channel gain이 큰 수신 무인이동체의 채널을 활용하여 빔포밍 벡터를 설계하였고, 이때 Channel gain이 작은 수신 무인이동체의 성능을 보장하기 위해 채널의 상관도가 0.95 이상인 두 수신 무인이동체가 한 클러스터를 구성하도록 하였다. 또한 시스템 BER 성능을 보장하기 위해 두 수신 무인이동체 간의 전력 할당 비율을 적절하게 선택하였다. 제안한 기법은 기존의 codebook 기반의 빔포밍과 PZF 빔포밍과 비교했을 때, 더 적은 전력으로 동일한 수의 무인이동체를 지원하여 energy efficiency 성능을 향상시킬 수 있음을 시뮬레이션을 통해 확인하였다.

### I. 서론

무인이동체는 기존의 통신시스템을 보완하고 성능을 향상시켜 Fifth-generation(5G) 이상의 고속 무선 통신 시스템에서 중요한 역할을 할 것으로 예상된다. 그러나 무인이동체는 에너지 공급이 제한되어 있기 때문에 energy efficiency가 매우 중요하다[1]. 기존의 빔포밍 기법은 채널 상관도가 낮은 일반적인 환경에서 우수한 성능을 내는 기법이다. 본 연구에서는 채널의 상관도가 높은 다중 군집 수신 무인이동체를 지원하기 위해 중계 무인이동체에 NOMA-BF를 적용하여 기존 기법에 비해 낮은 전력으로 동일한 수의 무인이동체를 동시에 지원하는 알고리즘을 제안한다.

### II. 본론

#### A. 시스템 모델 및 NOMA-BF

본 논문에서는 송수신 모델로  $N_t$ 개의 안테나가 장착된 송신 무인이동체와  $N_r$ 개의 수신 안테나가 장착된  $N_u$ 대의 다중 무인이동체를 가정한다. 송신 무인이동체는 2대씩 근처에 있어 하나의 클러스터를 형성하고, Channel gain이 큰 수신 무인이동체는 strong user, Channel gain이 작은 수신 무인이동체는 weak user로 표현한다[2]. 송수신 무인이동체 간의 채널은 LOS (Line-of-Sight) 성분이 존재하는 라이시안 페이딩 채널이다. 클러스터 간의 채널은 독립적으로 나타나며 같은 클러스터에 있는 수신 무인이동체 간의 채널은 상관도가 높다고 가정한다. 송신 무인이동체는 동일한 클러스터에 있는 두 대의 수신 무인이동체에 보내고자 하는 신호를 결합하여 하나의 스트림으로 전송한다.

클러스터  $n$ 의 전송 신호  $x_n$ 은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$x_n = \sqrt{\alpha_{n,1}} q_{n,1} + \sqrt{\alpha_{n,2}} q_{n,2} \quad (1)$$

$\alpha_{n,i}$ 는 클러스터  $n$ 의 무인이동체  $i$ 의 전력 할당 값이고  $\alpha_{n,1} + \alpha_{n,2} = 1$ 을 만족한다.  $q_{n,i}$ 는 무인이동체  $i$ 의 신호이고  $\mathbb{E}\{q_{n,i}\} = 1$ 을 만족한다. 송신 무인이동체는 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)으로 데이터를 전송한다.  $k$ 번째 부반송파에 대하여 클러스터  $n$ 의  $i$ 번째 수신 무인이동체가 수신한 신호는 다음과 같이 표현된다.

$$y_{n,i}[k] = h_{n,i}[k] \sum_{j=1}^N \sqrt{p_j} F_j[k] s_j[k] + n_{n,i}[k] \quad (2)$$

식 (2)에서  $h_{n,i}[k] \in \mathbb{C}^{N_r \times N_t}$ 는  $k$ 번째 부반송파에 대하여 송신 무인이동체와 클러스터  $n$ 의  $i$ 번째 수신 무인이동체 간의 채널을 나타낸다.  $p_j$ 는 클러스터  $j$ 의 송신 전력이며 각 클러스터의 송신 전력은 동일하다.  $s_j[k]$ 는 클러스터  $j$ 의  $k$ 번째 부반송파 OFDM 심볼이다.  $n_{n,i}[k]$ 는 잡음으로 AWGN (Additive White Gaussian Noise)를 가정한다.  $F_j[k]$ 는 클러스터  $j$ 의 ZF (Zero-Forcing) 빔포밍 벡터이며 클러스터 내의 strong user 채널을 활용하여 설계한다. 각 클러스터에서 strong user의 채널 행렬은  $H_{str} = [h_{1,str}^H, \dots, h_{N,str}^H]^H$ 과 같이 표현되고,  $h_{n,str}$ 은 클러스터  $n$ 에서 strong user의 채널을 나타낸다.

수신 무인이동체는 아날로그 콤바이너를 사용해 신호를 추정한다.

$$\hat{s}_{n,i}[k] = w_{n,i}^H y_{n,i}[k] \quad (3)$$

식 (3)에서 아날로그 콤바이너  $w_{n,i} \in \mathbb{C}^{N_r \times 1}$ 는 다음과 같다.

$$w_{n,i} = \left( \frac{1}{\sqrt{N_r}} \right) \exp(-j \frac{2\pi}{\lambda} d \sin\theta \sin\phi [0, \dots, N_r - 1]) \quad (4)$$

식 (4)에서  $\lambda, d, \theta, \phi$  는 각각 신호의 파장, 안테나 간 거리, AOA(Angle of arrival), ZOA (Zenith Angles of Arrival)이다. strong user의 아날로그 콤바이너 행렬은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$W_{str} = \begin{pmatrix} w_{1,str} & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & w_{N,str} \end{pmatrix} \in \mathbb{C}^{N_u N_r \times N} \quad (5)$$

strong user의 채널  $H_{str}$  과 아날로그 콤바이너  $W_{str}$  를 활용하여 식 (6) 과 같이 effective channel을 도출하고 이를 활용하여 식 (7)과 같이 ZF 빔포밍 벡터를 설계할 수 있다.

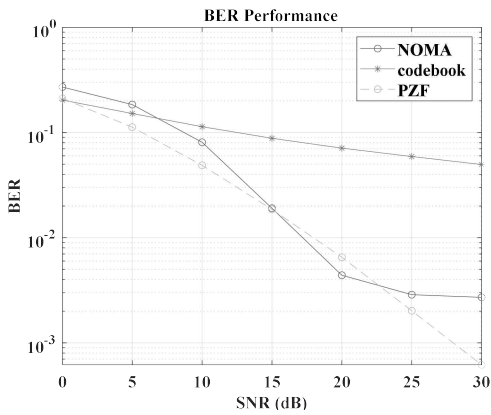
$$H_{eff} = W_{str}^H H_{str} \in \mathbb{C}^{N \times N_i} \quad (6)$$

$$F = H_{eff}^H (H_{eff} H_{eff}^H)^{-1} \in \mathbb{C}^{N_i \times N} \quad (7)$$

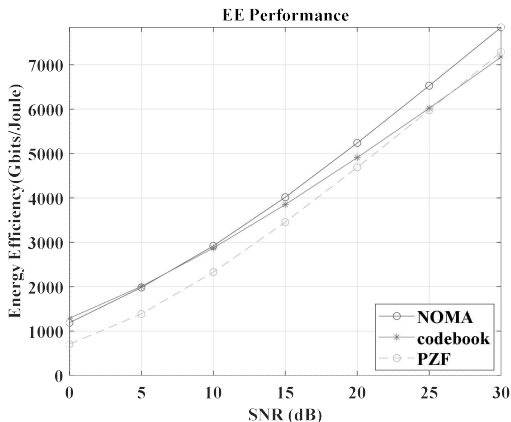
하지만 식 (7)과 같이 설계한 빔포밍 벡터는 strong user의 채널을 활용하여 설계했기 때문에 클러스터 내 weak user는 다른 클러스터의 간섭뿐만 아니라 같은 클러스터 내의 strong user의 신호 성분 또한 간섭으로 작용한다. 따라서 weak user의 신호 품질에 영향을 주게 되고 이를 보강하기 위해서 본 연구에서는 상관도가 0.95 이상인 수신 무인이동체를 같은 클러스터에 포함한다.

### B. 시뮬레이션 결과

본 논문의 시뮬레이션은 다음과 같은 환경을 가정하고 진행하였다. 송신 무인이동체와 수신 무인이동체의 안테나 수는 각각 16개와 4개이며, 수신 무인이동체의 개수는 4개이다. 데이터 스트림의 수는 4개이고, 부반송파 개수는 2048개이다. 변조 기법으로는 QPSK를 사용하였으며 Rician fading 채널의 3개의 다중 경로로 시뮬레이션을 진행하였다. 또한 strong user의 전력 할당 값  $\alpha$  는 0.15이다.



[그림 1] 빔포밍 기법에 대한 SNR에 따른 BER 성능



[그림 2] 빔포밍 기법에 대한 SNR에 따른 energy-efficiency 성능 비교

NOMA-BF을 적용할 때 송신 전력은  $P = 50mW$ 이며 codebook 기반의 빔포밍과 PZF 빔포밍의 송신 전력은  $P = 100mW$ 이다. codebook 기반의 빔포밍은 양자화된 빔을 형성하여 선택하기 때문에 최적의 빔을 선택할 수 없다. 따라서 BER 성능이 다른 기법에 비해서 열화된다. PZF는 빔포밍 이득을 최대화 하는 아날로그 빔을 생성하기 때문에 수신 신호의 품질이 가장 좋아 BER 성능이 우수하다. NOMA-BF는 상관도가 높은 수신 무인이동체를 같은 클러스터에 묶을수록 weak user의 신호 품질이 상승하기 때문에 BER 성능이 좋아진다. 본 시뮬레이션 환경에서는 각 클러스터의 상관도가 0.95이상인 수신 무인이동체를 선택하여 지원했다. 상관도가 떨어지는 수신 무인이동체를 같은 클러스터로 묶어 지원하면 BER 성능은 떨어진다.

### III. 결론

본 논문에서는 충분하게 전력을 사용할 수 없는 환경에 있는 다중 군집 무인이동체의 에너지 효율 향상을 위하여 NOMA-BF 기법을 제안하였다. NOMA-BF은 다른 빔포밍 기법보다 적은 전력을 소모하여 동일한 수의 무인이동체를 지원하여 다른 빔포밍 기법에 비해 energy-efficiency가 높다. 또한 RF 채널의 수 또한 다른 기법에 비해서 적게 사용하기 때문에 빔포밍 계수를 설계할 때 적은 복잡도를 달성하여 낮은 지연을 달성할 수 있다.

### ACKNOWLEDGMENT

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Education(2020R1A6A1A03038540). 이 논문은 2020년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2020R1A6A1A03038540). This work was supported by Institute of Information & communications Technology Planning & Evaluation (IITP) under the metaverse support program to nurture the best talents (IITP-2024-RS-2023-00254529) grant funded by the Korea government(MSIT). 본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 정보통신방송혁신인재양성(메타버스융합대학원)사업 연구 결과로 수행되었음(IITP-2024-RS-2023-00254529). This research was supported by the MSIT(Ministry of Science and ICT), Korea, under the ITRC(Information Technology Research Center) support program(IITP-2023-2021-0-01816) supervised by the IITP(Institute for Information & Communications Technology Planning & Evaluation). 본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학ICT연구센터육성지원사업의 연구결과로 수행되었음 (IITP-2023-2021-0-01816).

### 참고 문헌

- [1] S. Ahmed, M. Z. Chowdhury and Y. M. Jang, "Energy-Efficient UAV Relaying Communications to Serve Ground Nodes," in IEEE Communications Letters, vol. 24, no. 4, pp. 849-852, April 2020, doi: 10.1109/LCOMM.2020.2965120.
- [2] B. Kimy et al., "Non-orthogonal Multiple Access in a Downlink Multiuser Beamforming System," MILCOM 2013 - 2013 IEEE Military Communications Conference, San Diego, CA, USA, 2013, pp. 1278-1283, doi: 10.1109/MILCOM.2013.218.