

셀룰러 협력 시스템에서 사용자 구분에 따른 Fingerprint DB를 이용한 빔 선택 방법

심윤아, 신승석, 조지훈, 김규남*, 문상미**, 황인태
전남대학교, *한국알프스, **나사렛대학교

sya8325@naver.com, ssskit7@naver.com, 216981@jnu.ac.kr, kyunam.kim@kr.alps.com, moonsm@kornu.ac.kr, and hit@jnu.ac.kr

Beam Selection Method using Fingerprint DB according to User Classification in Cellular-Connected Systems

Yuna Sim, Seungseok Sin, Jihun Cho, Kyunam Kim*, Sangmi Moon**, and Intae Hwang
Chonnam National Univ., *Alps Electric Korea Co., Ltd., **Korea Nazarene Univ.

요약

UAV (Unmanned Aerial Vehicle)는 높은 고도와 이동성의 특징 때문에, NR (New Radio) 시스템의 핵심 요소로 주목받고 있지만 높은 고도의 UAV는 높은 LOS (Line-Of-Sight) 확률로 다른 셀 간 간섭의 영향을 크게 받을 수 있다. 이에 본 논문에서는 간섭의 영향을 줄이고, 전송 효율을 최대화할 수 있도록 최적의 빔을 선택하는 알고리즘을 제안한다. 제안 알고리즘은 크게 두 단계로 구성된다. 본 논문에서 제시한 사용자 타입에 맞게 필요한 정보를 저장하는 사용자 위치 기반 핑거프린트 데이터베이스 (Fingerprint Database)를 구축하는 과정과 협력적 빔 선택 과정으로 나뉜다. 성능 분석 지표로는 신호 대 간섭 및 잡음 비율의 누적 분포 함수 (SINR CDF, Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio Cumulative Distribution Function)를 사용하였다.

I. 서론

UAV (Unmanned Aerial Vehicle)는 높은 고도와 이동성의 특징 때문에, NR (New Radio) 시스템의 핵심 요소로 주목받고 있다. 실제로 UAV는 유연성과 이동성의 특징 때문에 다양한 상황에서 활용되고 있다 [1]. 하지만, 높은 고도의 UAV는 LOS (Line-Of-Sight) 확률이 높아지면서 다른 BS나 UE로부터 셀 간 간섭의 영향을 받을 확률이 높아진다. 이에 간섭의 영향을 줄이기 위해, 전송 효율을 최대화할 수 있도록 최적의 빔을 선택하는 다양한 방법의 빔 선택 알고리즘이 연구되고 있다. 이에 본 논문에서는 UAV 지원 셀룰러 협력 시스템에서 사용자의 위치에 따른 핑거프린트 데이터베이스 (Fingerprint Database)를 이용해, 본 논문에서 제시한 사용자 타입에 맞게 최적의 빔을 선택하는 알고리즘을 제안한다.

II. 본론

1. 셀룰러-협력 다운로드 시스템 모델 및 채널 모델

본 논문에서는 멀티 셀 환경에서 지상의 기지국 (T-BS, Terrestrial-Base Station)이 지상의 사용자 (T-UE, Terrestrial-User Equipment) 및 항공의 사용자 (UAV-UE, Unmanned Aerial Vehicle-User Equipment)를 지원하는 NR 다운로드 시스템을 고려한다 [2]. 각각의 셀마다 하나의 T-BS를 배치하고, 하나의 T-BS는 다수의 T-UE 및 UAV-UE를 지원하는 다운로드 시스템을 고려한다. [3], [4], [5].

본 논문에서는 3GPP 기반의 UAV 채널 모델을 적용하는데, T-BS와 UE 사이에는 공간 채널 모델 (SCM, Spatial Channel Model)을 적용한다 [3], [5]. SCM 모델을 활용할 경우 상황에 맞게 채널 파라미터를 설정해야 하는데, 본 논문에서는 UMa-AV 시나리오를 고려한다. 자세한 모델 설명은 3GPP 참고 문헌에 나와 있으므로 본 논문에서는 생략한다 [3], [5].

2. 위치 기반 핑거프린트 데이터베이스를 이용한 협력적 빔 선택 방법

본 논문에서는 셀의 가장자리에 있는 T-UE 혹은 높은 고도의 UAV-UE가 다른 셀로부터 간섭의 영향을 덜 받을 수 있도록, 최적의 빔을 선택하는 알고리즘을 제안한다.

본 논문에서 제안하는 알고리즘은 크게 두 단계로 나뉜다.

먼저 UE를 지상의 사용자, T-UE와 항공의 사용자 UAV-UE로 나눈다.

셀의 중심 부분과 가장자리 부분의 넓이 비가 1:1이 되는 임계 반지름을 기준으로, 임계 반지름 안의 공간을 cell-center space라 구분하고, 바깥의 공간은 cell-edge space라 구분한다. 따라서 각 공간 안에 있는 UE를 각각 cell-center UE, cell-edge UE로 구분한다. 이때, cell-edge UE의 경우에는 간섭의 영향을 많이 받으므로 핑거프린트 데이터베이스를 구축할 때 최적의 빔 관련 정보 뿐만 아니라 간섭 관련 정보까지 함께 저장한다. 핑거프린트 데이터베이스 예시는 표 1과 같다.

다음은 구축한 데이터베이스를 기반으로 셀 간 간섭 완화를 위해 협력하여 최적의 빔을 선택하는 과정이다. UE의 경우 내장된 높은 수준의 GPS (Global Positioning System) 때문에 위치 정보를 쉽게 활용할 수 있다. 그리고, T-BS는 받은 UE의 위치 정보를 핑거프린트 데이터베이스에 측정된 위치 정보와 대조해 매칭시킨다.

매칭 과정이 완료되면, 그 위치에 대응하는 핑거프린트 데이터베이스가 결정되고, 데이터베이스에 저장된 서빙 셀 ID 및 최적의 빔 ID를 활용할 수 있다. 또한, 간섭의 영향을 크게 받는 cell-edge UE의 경우에는 성능을 향상시키기 위해 간섭 관련 정보를 교환하는 JT (Joint Transmission) 방식을 활용하는데, 본 논문에서는 이와 같은 방법을 ‘Coop. 방식’이라 지칭한다. Coop. 방식을 적용했을 때의 SINR은 수식 (1)과 같고, Coop. 방식을 적용하지 않은 SINR은 수식 (2)와 같다.

$$SINR_{Coop.} = \frac{\sum_{c \in C} 10^{\xi_c/10}}{(\sum_{i \in B} 10^{\xi_i/10}) - \sum_{c \in C} 10^{\xi_c/10} + N_0} \quad (1)$$

$$SINR_{non-Coop.} = \frac{10^{\xi_b/10}}{(\sum_{i \in B} 10^{\xi_i/10}) - 10^{\xi_b/10} + N_0} \quad (2)$$

3. 모의실험 성능 분석

그림 1은 제안 알고리즘을 적용하기 전, cell-center UE와 cell-edge UE의 비율에 따라서 간섭의 영향을 받는 정도를 파악하기 위해 진행한 모의 실험 결과이다. 각 Graph에 따라서 사용한 섹터 별 UE의 숫자는 표 2와 같다. 표 2를 보면 Graph 1에서 Graph 3으로 갈수록, cell-edge 영역에

표 1. 핑거프린트 데이터베이스 예시

Table 1. Fingerprint database example.

| UAV-UE | | | | | | T-UE | | | | | | | | | |
|-------------|-----|-------------|------------------------|------------------------|-----|------------------------|------------------------|-------------|-----------|-------------|------------------------|------------------------|-----|------------------------|------------------------|
| cell-center | | | cell-edge | | | cell-center | | | cell-edge | | | | | | |
| P_1 | ... | P_A | P_{A+1} | | ... | P_{A+n} | | p_1 | ... | p_B | p_{B+1} | | ... | p_{B+T} | |
| B_1^{opt} | ... | B_A^{opt} | B_{A+1}^{opt} | | ... | B_{A+n}^{opt} | | b_1^{opt} | ... | b_B^{opt} | b_{B+1}^{opt} | | ... | b_{B+T}^{opt} | |
| | | | \tilde{C}_{A+1}^{L1} | \tilde{B}_{A+1}^{L1} | ... | \tilde{C}_{A+n}^{L1} | \tilde{B}_{A+n}^{L1} | | | | \tilde{c}_{B+1}^{L1} | \tilde{b}_{B+1}^{L1} | ... | \tilde{b}_{B+T}^{L1} | \tilde{b}_{B+T}^{L1} |
| | | | \tilde{C}_{A+1}^{L2} | \tilde{B}_{A+1}^{L2} | ... | \tilde{C}_{A+n}^{L2} | \tilde{B}_{A+n}^{L2} | | | | \tilde{c}_{B+1}^{L2} | \tilde{b}_{B+1}^{L2} | ... | \tilde{c}_{B+T}^{L2} | \tilde{b}_{B+T}^{L2} |

위치한 UE의 숫자가 줄어드는 것을 볼 수 있다. cell-edge 영역이 cell-center 영역에 비해 간섭의 영향을 많이 받기 때문에, Graph 1이 Graph 3에 비해 더 좋지 않은 성능을 보임을 확인할 수 있었다.

표 2. 그림 1에서 사용한 섹터 별 UE의 숫자

Table 2. The number of UEs per sector used in figure 1.

| | T-UE | | UAV-UE | |
|---------|--------|------|--------|------|
| | center | edge | center | edge |
| Graph 1 | 4 | 12 | 4 | 12 |
| Graph 2 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| Graph 3 | 12 | 4 | 12 | 4 |

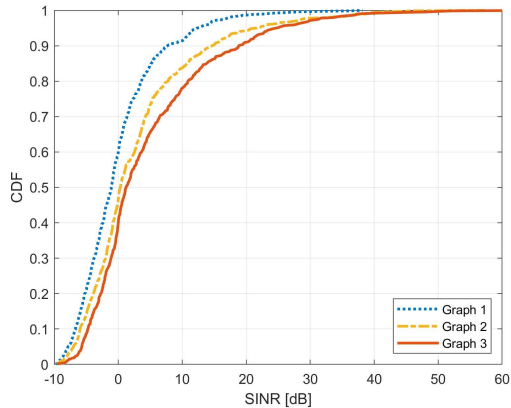


그림 1. center UE와 edge UE의 비율에 따른 SINR CDF

Fig. 1. SINR CDF according to the ratio of center UE and edge UE.

그림 2는 제안 알고리즘을 적용하기 전, UAV-UE의 숫자에 따른 간섭의 영향을 받는 정도를 파악하기 위해 진행한 모의실험 결과이다. 각 Graph에 따라서 사용한 섹터 별 UE의 숫자는 표3과 같다. 표 3을 보면 Graph 1에서 Graph 3으로 갈수록, UAV-UE의 숫자가 줄어드는 것을 볼 수 있다. UAV-UE는 고도가 높아질수록 LOS 확률이 높아져 간섭의 영향을 많이 받기 때문에, Graph 1이 Graph 3에 비해 더 좋지 않은 성능을 보임을 확인할 수 있었다.

표 3. 그림 2에서 사용한 섹터 별 UE의 숫자

Table 3. The number of UEs per sector in figure 2.

| | T-UE | | UAV-UE | |
|---------|--------|------|--------|------|
| | center | edge | center | edge |
| Graph 1 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| Graph 2 | 12 | 12 | 4 | 4 |
| Graph 3 | 16 | 16 | 0 | 0 |

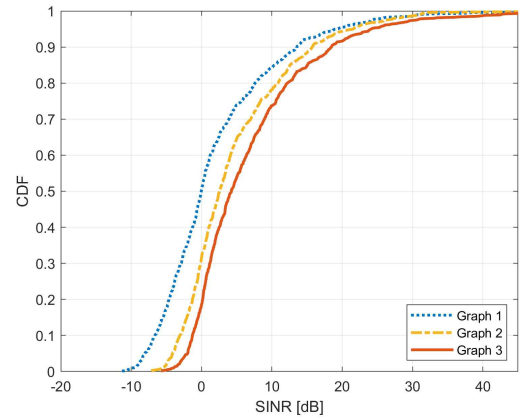


그림 2. UAV-UEs의 숫자에 따른 SINR CDF

Fig. 2. SINR CDF by number of UAV-UEs.

III. 결론

본 논문에서는 UAV 지원 셀룰러 협력 시스템에서 위치 기반의 핑거프린트 데이터베이스를 이용한 협력적 빔 선택 알고리즘 방식을 제안하였다. 실제로 시스템 레벨 시뮬레이션을 이용해 제안 알고리즘을 적용하기 전 UAV-UE와 cell-edge UE에 미치는 간섭의 영향을 확인할 수 있었다. 추후 연구에서, 다양한 시나리오에서 제안 알고리즘을 적용했을 때 개선되는 성능을 확인할 계획이다.

ACKNOWLEDGMENT

“이 성과는 2020년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (2020RI1A1A1A01073948).” “이 성과는 2021년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (2021RIA2C10050 58).” “본 논문(저서)은 교육부 및 한국연구재단의 4단계 BK21 사업 (혁신인재 양성사업)으로 지원된 연구임 (관리번호 51999 91714138).” “본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 지역지능화혁신인재양성사업의 연구결과로 수행되었음 (IITP-2022-RS-2022-00156287).” “본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 ICT혁신인재4.0 사업의 연구결과로 수행되었음 (IITP-2022-RS-2022-00156385).”

참고 문헌

- [1] S. Zhang, Y. Zeng, and R. Zhang, “Cellular-enabled UAV communication: A connectivity-constrained trajectory optimization perspective,” IEEE Trans. Commun. vol. 67, no.3, pp.2580–2604, Mar. 2019.
- [2] IEEE 802.16m-08/004r2: IEEE 802.16m Evaluation Methodology Document (EMD).
- [3] 3GPP, “3rd Generation Partnership Project; Enhanced LTE support for aerial vehicles,” TR 36.777 V15.0.0, Jan. 2018.
- [4] 3GPP, “3rd Generation Partnership Project; 3D channel model for LTE,” TR 36.873 V12.7.0, Dec. 2017.
- [5] 3GPP, “3rd Generation Partnership Project; channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz,” TR 38.901 V16.1.0, Nov. 2020.