

# 셀-탈피 초-다수 안테나 시스템에서 헝가리안 알고리즘을 이용한 파일럿 할당 방법

조세영, 홍승은

한국전자통신연구원

## (Pilot allocation method using Hungarian algorithm in cell-free massive MIMO system)

Seyoung Cho, Seungeun Hong

Electronics and Telecommunications Research Institute

### 요 약

Cell-Free massive MIMO(CF-mMIMO) 시스템에서 채널상태정보(Channel Status Information, CSI)는 필수이며, 이는 Access Point(AP)와 User Equipment(UE)간의 파일럿 전송을 통해 획득된다. fronthaul 용량 제약으로 인해 파일럿 재사용이 불가피하며, 이는 파일럿 오염을 야기한다. 적절하게 설계된 파일럿 할당 알고리즘은 시스템 성능을 향상시킬 수 있다. 본 논문은 CF-mMIMO 시스템에서 CSI 획득을 위한 파일럿 할당 알고리즘에 대해 소개한다.

### ABSTRACT

In Cell-Free massive MIMO (CF-mMIMO) systems, Channel State Information (CSI) is essential, which is obtained through pilot transmission between the Access Point (AP) and the User Equipment (UE). Due to fronthaul capacity constraints, pilot reuse is inevitable, leading to pilot contamination. Appropriately designed pilot allocation algorithms can enhance system performance. This paper introduces pilot allocation algorithms for CSI acquisition in CF-mMIMO systems.

**키워드** : 셀-탈피 초-다수 안테나 시스템, 파일럿 할당, 파일럿 오염

**Key Words** : Cell-Free massive MIMO systems, pilot allocation, pilot contamination

## I. 서론

CF-mMIMO 시스템은 셀 중심에 위치한 mMIMO의 안테나 어레이를 보다 작은 안테나 수를 갖는 다수의 AP(Access Point)들로 분할하여 셀 영역에 임의로 분산 배치하고, 주어진 복수의 셀을 포함하는 영역에서 고밀집 분산 배치된 AP들에게 베이스밴드 하위 기능을 부여하고, AP들을 프론트홀 링크를 통해 하나의 ‘중앙처리유닛(CPU)’에 연결하여, 단일 CPU로 하여금 고밀집 분산 배치된 AP들 간의 협력을 통해 개별 사용자를 서비스하는 기술이다. 시스템에서 채널상태 정보(CSI)는 사용자와 AP간의 파일럿 전송을 통해 획득된다. 그러나 시간 및 주파수 영역의 자연적인 채널 변동에서 오는 충분한 수의 직교 파일럿 시퀀스의 부족은 사용자가 파일럿 자원을 재사용하도록 강요하여 파일럿 오염을 야기한다.

단일 AP가 서비스하는 사용자의 수를 직교 파일럿 시퀀스 개수 ( $\tau_p$ )로 제한하여,  $\tau_p$ 의 사용자들에게 직교 파일럿을 할당하고, 각 사용자의 마스터 AP를 선정하여, AP측면에서 최소 파일럿 간섭이 발생하도록 co-pilot을 할당하는 방식이 제안되었다. 이 방식은 Co-pilot 할당 반복 단계에서 아직 할당되지 않은 사용자들과의 간섭이 고려되지 않아, 후 순위로 파일럿을 할당 받는 사용자들의 성능 열화가 발생할 수 있다.

## II. 본론

본 발명은 이를 해소하기 위한 CF-mMIMO 시스템에서 사용할 파일럿 할당 방법에 대한 방식을 제시한다. 다항식 복잡도가 있는 이분 그래프에서 가중 매칭 문제를 해결하는데 사용되는 알고리즘인 헝가리안 알고리즘을 이용하여, 후 순위 사용자들에게 적절하게 co-pilot을 할당한다. 각 사용자와 AP간의 대규모 채널 이득 값을 이용하여 파일럿 오염도를 계산하여 헝가리안 알고리즘의 가중 입력으로 사용한다.

가장 먼저 각 유저와 AP 사이의 대규모 채널 이득을 계산한다. 잡음 전력으로 나눈 채널 이득을 계산한다. 종래 기술과의 성능을 비교하기 위해, 동일한 환경에서 시험하며, 계산된 대규모 채널 이득이 가장 큰 AP를

기준으로 파일럿 오염도를 계산한다. 파일럿을 할당할 그룹과 이외의 그룹으로 나누어, 그룹 내 사용자와 그룹 외의 사용자들 간의 파일럿 오염도를 계산하여, 그 값을 헝가리안 알고리즘의 가중 입력으로 사용한다. 여기서 얻어진 결과에 따라, 최적의 파일럿을 사용자에게 할당한다.

알고리즘 수행 방법 및 절차

- ① 임의의 사용자를 선정해, 사용자 기준 Best AP를 선택한다.
- ② Best AP를 기준으로 (임의의 UE를 포함한 직교 파일럿의 개수만큼) high rank UE를 선정한다.
- ③ 선정되지 않은 나머지 사용자들에게 (최소한한번) 시리얼한 직교 파일럿을 순차적으로 할당한다.
- ④ 헝가리안 그룹 내의 각 사용자와 선정되지 않은 나머지 사용자들 사이의 파일럿 오염도를 계산한다. (선정되지 않은 나머지 UE들 중 copilot 사용자들 간의 파일럿 오염도를 계산한다.)
- ⑤ 파일럿 오염도를 기반으로 한 헝가리안 알고리즘을 이용하여 파일럿을 할당한다.

## III. 실험

임의의 사용자 k에 대해 가장 큰 채널 이득을 가지는 AP를 선정한 다음, 해당 AP를 기준으로 임의의 사용자 k를 포함, 직교 파일럿 시퀀스 개수( $\tau_p$ ) 만큼 high rank 사용자를 선정한다. 선정되지 않은 사용자들에게 최초 시리얼 한 직교 파일럿 시퀀스를 할당한다. 앞서 선정된 high rank 사용자들과 선정되지 않은 사용자들 사이의 파일럿 오염도를 계산한다. 이는 해당 AP에서 대규모 채널 이득의 차이로 계산한다. 이렇게 계산된 파일럿 오염도를 기반으로 헝가리안 매칭 알고리즘을 이용하여 최적의 파일럿을 찾아 할당한다.

그림 1 K=40, AP=100, spectrum efficiency  
Fig. 1. K=40, AP=100, spectrum efficiency

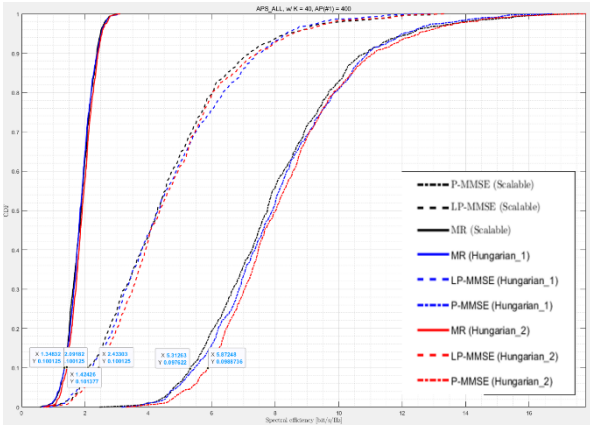
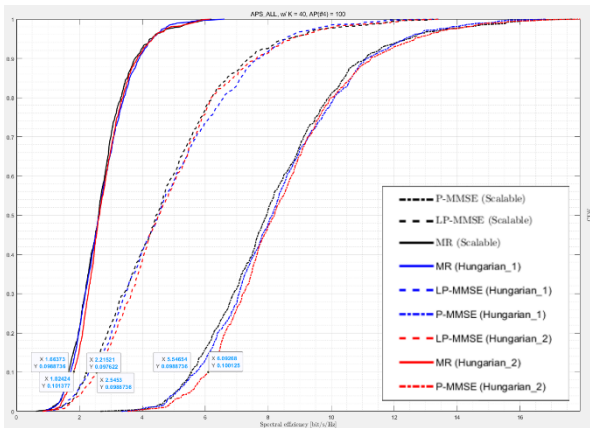


그림 1.  $K=40, \Delta P=100$  스펙트럼 효율성  
 Fig. 1.  $K=40, AP=400$ , spectrum efficiency.



#### IV. 결론

CF mMIMO 시스템에서, 종래 기술에 비해 동일한 환경에서 파일럿 할당 방식의 차이만으로 성능 향상을 이끌어 낼 수 있다

#### ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 “오픈랜 지능화를 위한 5G NR 무선 지능화 제어 기술 개발” 과제의 일환으로 수행하였음.

#### References

[1] Stefano Buzzi, Carmen D’Andrea, "Pilot Assignment in Cell-Free Massive MIMO Based on the Hungarian Algorithm", IEEE WIRELESS COMMUNICATIONS LETTERS, VOL. 10, NO. 1, JANUARY 2021.

[2] Emil Björnson, Luca Sanguinetti, "Scalable Cell-Free Massive MIMO Systems", IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS, VOL. 68, NO. 7, JULY 2020