



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2023년10월17일  
(11) 등록번호 10-2589838  
(24) 등록일자 2023년10월11일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
H04W 24/02 (2009.01) H04B 7/0452 (2017.01)  
H04W 24/08 (2009.01) H04W 76/20 (2018.01)
  - (52) CPC특허분류  
H04W 24/02 (2013.01)  
H04B 7/0452 (2013.01)
  - (21) 출원번호 10-2022-0097317
  - (22) 출원일자 2022년08월04일  
심사청구일자 2022년08월04일
  - (56) 선행기술조사문헌  
T. Demir, E. Björnson, and L. Sanguinetti,  
"Foundations of User-Centric Cell-Free  
Massive MIMO", 2021.  
(뒷면에 계속)
  - (73) 특허권자  
세종대학교산학협력단  
서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)
  - (72) 발명자  
송형규  
경기도 성남시 분당구 중앙공원로 17, 320-303(서현동, 한양아파트)
  - 유영환  
서울특별시 강남구 선릉로72길 26-16, 401호  
(뒷면에 계속)
  - (74) 대리인  
이강민, 안준형, 남승희
- 전체 청구항 수 : 총 8 항 심사관 : 최중화

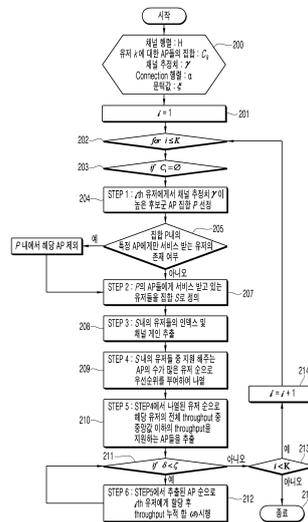
(54) 발명의 명칭 User-centric cell-free massive MIMO 모델에서의 효율적인 유저 서비스 방법

(57) 요약

본 발명은 하향링크 user-centric cell-free massive MIMO 모델에서 영역 내에 다수의 유저가 존재할 때 미지원 유저들을 효율적으로 없앨 수 있는 유저 지원 방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 영역 내 미지원 유저를 방지하면서 기존 유저들의 연결 및 처리량을 보장하기 위한 방법에 관한 것이다.

본 발명에 따르면, 다양한 환경 하에서 제시되는 방법이 적절하게 동작할 수 있으며 영역 내의 미지원 유저의 수를 효과적으로 줄임과 동시에 전체 시스템의 처리량과 계산량을 적절히 유지할 수 있다.

대표도 - 도4



(52) CPC특허분류

*H04W 24/08* (2013.01)

*H04W 76/20* (2018.02)

(72) 발명자

**오지혜**

서울특별시 광진구 광나루로 382, 아스하임4차  
1308호

**신범식**

서울특별시 도봉구 도봉로169가길 30, B-401(도봉  
동, 도봉하이츠)

**유승근**

강원도 원주시 봉화서부로 11, 104-1803

**응우옌 탄 빈**

서울특별시 광진구 동일로44길 5, 101호 (군자동)

**모하메드 아브랄 샤킬 세잔**

서울특별시 광진구 능동로25길54-9

(56) 선행기술조사문헌

오지혜 외 6인, "User-Centric Cell-Free Massive MIMO 모델에서 효율적인 사용자 지원 기법에 대한 연구," 2022년 한국통신학회 학술대회논문집, pp. 274-276, 2022.06.

KR1020210058661 A

KR1020120129567 A

KR1020140052704 A

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711152732
과제번호	IITP-2021-0-01816-002
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	정보통신기획평가원
연구사업명	대학ICT연구센터육성지원사업
연구과제명	메타버스 자율트윈 핵심기술 연구
기 여 율	33.4/100
과제수행기관명	세종대학교 산학협력단
연구기간	2022.01.01 ~ 2022.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1345347042
과제번호	2020R1A6A1A03038540
부처명	교육부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	이공학학술연구기반구축
연구과제명	자율지능무인비행체연구소
기 여 율	33.3/100
과제수행기관명	세종대학교
연구기간	2022.03.01 ~ 2023.02.28

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1415181734
과제번호	00154678
부처명	산업통상자원부
과제관리(전문)기관명	한국산업기술평가관리원
연구사업명	시장선도를 위한 한국 주도형 K-Sensor 기술개발(R&D)
연구과제명	네트워크 기반 센서를 위한 커넥티드 지능센서 플랫폼 기술 개발
기 여 율	33.3/100
과제수행기관명	세종대학교산학협력단
연구기간	2022.04.01 ~ 2022.12.31

공지예외적용 : 있음

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

하향링크 user-centric cell-free massive MIMO 모델에서 다수의 AP들을 유저들에 할당하는 방법으로서,

미지원 유저를 지원하기 위한 후보군 AP들의 하위 집합인 집합  $P$ 를 AP 후보군 집합으로 선정하는 AP 후보군 집합 선정단계;

상기 선정된 AP 후보군 집합  $P$ 내의 AP에게서만 서비스 받는 유저의 존재 여부를 확인하는 유저 연결 AP 확인 단계;

상기 선정된 AP 후보군 집합  $P$ 내의 AP들에게 서비스 받고 있는 기존 유저들을 유저 하위 집합  $S$ 로 정의하는 유저 하위집합 설정단계;

상기 유저 하위 집합  $S$ 에 포함되는 각각의 하위집합 유저들과 이들 하위집합 유저들을 지원하는 AP들 사이의 채널 계인을 추출하는 AP 후보군 채널 계인 추출 단계;

상기 추출한 채널 계인을 기반으로, 상기 유저 하위 집합  $S$ 에 포함되는 하위집합 유저들 중 지원해주는 AP의 수가 가장 많은 순서로 우선순위를 부여하는 우선순위 부여 단계;

상기 부여된 유저들의 우선순위에 따라 가장 높은 순위의 유저부터 해당 유저와 연결된 AP들 중 중앙값 이하의 처리량을 지원하는 AP들을 연결후보 AP로 추출하는 연결 AP 선정단계;

상기 추출된 연결후보 AP들을 순서대로 미지원 유저에게 연결하는 미지원 유저 AP 연결단계;

를 포함하여 구성되는 AP 유저 할당 방법.

#### 청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 AP 후보군 집합  $P$ 선정 단계는,

미지원 유저와 AP들의 물리적 거리에 기반하여 소정의 거리 내에 존재하는 AP들을 AP 후보군 집합으로 선정하는 것을 특징으로 하는 AP 유저 할당 방법.

#### 청구항 3

제 1항 또는 2항에 있어서,

상기 유저 연결 AP 확인 단계 이후,

상기 집합  $P$ 내의 단일 AP에게서만 지원받는 유저가 존재하는 경우, 해당 AP를 집합  $P$ 에서 제외하여 기존 유저 연결 해제를 방지하는 연결 AP 후보군 제거단계:

를 추가로 포함하는 AP 유저 할당 방법.

#### 청구항 4

제 1항에 있어서,

상기 AP 후보군 채널 계인 추출 단계는,

상기 유저 하위 집합  $S$ 에 포함되는 유저 각각이 AP로부터 지원받는 처리량에 근거하여 채널 계인을 추출하는 것;을 특징으로 하는 AP 유저 할당 방법.

#### 청구항 5

제 1항에 있어서,

상기 유저 하위 집합  $S$  에 포함되는 유저들 중 지원해주는 AP의 수가 가장 많은 순서로 우선순위를 부여하는 단계는,

상기 하위 집합  $S$  에 포함되는 유저들과 이들 유저들을 지원하는 AP들 사이의 채널게인이 높은 순서로 우선순위를 부여하는 것;

을 특징으로 하는 AP 유저 할당 방법.

### 청구항 6

제 1항에 있어서,

상기 미지원 유저 AP 연결단계는,

기존 유저의 처리량을 가능한 한 손상시키지 않기 위해 연결된 AP의 수가 가장 많은 유저에서부터 연결 해제를 하고, 미지원 유저에게 연결하는 것

을 특징으로 하는 AP 유저 할당 방법.

### 청구항 7

제 1항에 있어서,

상기 미지원 유저 AP 연결단계는,

상기 추출된 AP들을 순서대로 미지원 유저에게 연결하고 해당 미지원 유저의 처리량에 대한 누적 합을 산출하며,

상기 산출된 누적합을 소정의 문턱값  $\xi$  와 비교하여, 추출된 AP들을 다 연결하기 전에 문턱값  $\xi$  을 넘으면 더 이상의 미지원 유저에게 연결을 수행하지 않으며, 추출된 AP들을 다 연결하더라도 문턱값  $\xi$  를 넘지 못할 시 더 이상의 추가 연결 없이 다음 미지원 유저 탐색을 진행하는 것

을 특징으로 하는 AP 유저 할당방법.

### 청구항 8

제7항에 있어서,

상기 문턱값  $\xi$  는,

기존 네트워크 내의 지원받고 있던 유저들 각각에 대한 throughput의 중앙값인 것

을 특징으로 하는 AP 유저 할당 방법.

## 발명의 설명

### 기술 분야

[0001] 본 발명은 User-centric cell-free massive MIMO 모델에서 다수의 유저를 지원하기 위한 방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 하향링크 user-centric cell-free massive MIMO 시스템에서 미지원 유저의 수를 크게 줄임과 동시에 적절한 sum rate을 달성하기 위한 효율적인 유저 지원 방법에 관한 것이다.

### 배경 기술

[0003] 5G의 등장으로 인해 높은 data rate 지원이 가능해졌으나 mmWave대역의 전파 특성으로 인한 커버리지(coverage)의 한계가 수반되었다. 이를 극복하기 위한 방안으로 혁신적인 네트워크 모델인 cell-free massive MIMO가 제안되었다. Cell-free Massive MIMO 모델은 기존 셀룰러 모델과 달리 지리적으로 분산 분포된 access point (AP)들이 모든 유저들을 함께 지원하는 모델이다.

[0004] Cell-free Massive MIMO 모델은 기존 Massive MIMO의 channel hardening과 favorable propagation과 같은 이점들을 유지함과 동시에 주변 환경의 영향 및 shadow fading에 강하여 해당 영역 내의 모든 유저에게 균일한

spectral efficiency를 제공할 수 있다. 그러나 cell-free massive MIMO 모델은 현실적으로 운용하기에 너무 높은 복잡도를 지닌다는 한계를 지닌다. 이에 더욱 현실성 있는 운용을 위한 대안으로써 user-centric cell-free massive MIMO가 각광받고 있다.

[0005] User-centric 모델은 cell-free 모델의 실현 가능한 구현으로써, 실현 가능한 복잡도를 지니지만 각 AP별 지원 가능한 유저의 수가 제한된다는 한계를 지닌다. 이에 영역 내의 미지원 유저와의 연결을 생성하기 위해 미지원 유저에게서 가장 channel gain이 좋은 AP와 연결하는 방법이 제시된 바 있다.

[0006] 위 방법은 적은 수의 유저가 존재하는 경우에는 효과적으로 미지원 유저를 사라지게 할 수 있으나, 유저 수가 많은 환경에 적용할 경우 신규 연결 생성을 위해 기존 유저와의 연결을 해제하게 되는 문제점이 발생하게 된다.

### 선행기술문헌

#### 특허문헌

[0008] (특허문헌 0001) 한국등록특허 10-1161195

### 발명의 내용

#### 해결하려는 과제

[0009] 본 발명은 user-centric cell-free massive MIMO 모델내에서 다수의 유저가 존재할 때에도 모든 유저들에게 서비스를 제공할 수 있는 효율적인 유저 지원 방법을 제공하는데 목적이 있다. 또한 영역 내의 미지원 유저를 줄이면서 기존 유저와의 연결을 보장하고 적절한 sum rate 역시 유지할 수 있다.

#### 과제의 해결 수단

[0011] 본 발명은 하향링크 user-centric cell-free massive MIMO 모델에서 영역 내에 다수의 유저가 존재할 때 모든 유저들에게 서비스를 지원하기 위한 유저 할당 방법을 제시한다.

[0012] 본 하향링크 user-centric cell-free massive MIMO 모델에서의 유저당 처리량 (per-user throughput)의 분포 특성에 대한 관찰을 수행하고, 해당 관찰 결과를 적절한 유저 할당 수행의 근거로 삼는다. 분포 특성을 통해 임의의 유저에게 서비스를 제공하는 전체 AP들 중 상위 소수의 AP들 만이 해당 유저의 처리량의 대부분을 담당한다는 것을 확인할 수 있다.

[0013] 이에 상위 AP들은 기존 유저에게 고정하고, 그 이하의 AP들을 미지원 유저에게 서비스를 제공할 수 있는 후보로 삼는다. 또한 미지원 유저에게 할당되는 후보군들은 일정 거리 이내에 존재하는 AP들에게서 미지원 유저 측에서 channel gain이 높은 순으로 반복 할당되며, 미지원 유저에게 지원되는 data rate을 누적적으로 합산한다.

[0014] 전체 네트워크 상에 존재하는 유저들의 평균 throughput 이상이 될 경우 반복을 중단하고 다음 미지원 유저 탐색에 들어간다. 본 발명에서 제시되는 방법은 기존 유저와의 연결 및 적절한 수준의 data rate을 보장하는 것을 최우선으로 삼으며, 현실적인 복잡도 유지를 위해 AP당 지원 가능한 최대 유저의 수는 각 AP에 장착된 안테나의 수로 제한한다.

#### 발명의 효과

[0016] 본 발명에 따르면, 다수의 유저가 존재하는 user-centric cell-free massive MIMO 모델에서 기존 유저의 연결 및 data rate을 보장함과 동시에 영역 내 미지원 유저의 수를 크게 줄일 수 있다. 본 발명에 따라 구축된 유저 지원 방법은 기존의 cell-free massive MIMO와 달리 현실적인 구현을 가능하게 하며 user-centric cell-free massive MIMO 모델에서의 유저 지원 한계를 해결할 수 있다. 또한 시스템 내에서 다양한 환경 하의 sum rate 성능 및 per-user throughput에 대한 CDF 성능 또한 적절히 유지할 수 있다.

#### 도면의 간단한 설명

[0018] [도 1]은 본 발명에 따른 user-centric cell-free massive MIMO 시스템에서 다수의 유저가 존재하는 무선 통신 시스템의 전체적인 구성을 도시한 도면이다.

[도 2]는 본 발명에 따른 [도 1]환경에 기반한 임의의 유저 당 지원받는 per-user throughput(유저 당 처리량)의 분포를 도시한 도면이다.

[도 3]은 본 발명에 따른 [도 2]에 대한 임의의 유저 당 전체 per-user throughput의 합과 해당 유저를 지원하는 전체 AP를 지원 data rate을 기준으로 내림차순 정렬했을 때, 전체 AP 수의 중앙값 이하의 AP들의 지원을 제한 후의 per-user throughput 합에 대한 비교를 도시한 도면이다.

[도 4]는 본 발명에 따른 기존 유저 지원 보장 및 미지원 유저에 대한 AP 할당 과정의 실제 알고리즘을 보여주는 도면이다.

[도 5]는 본 발명에 따른 user-centric cell-free massive MIMO 모델 및 비교 모델 당 발생하는 미지원 유저의 수에 대한 시뮬레이션 결과를 보여주는 도면이다.

[도 6]은 본 발명에 따른 user-centric cell-free massive MIMO 모델 및 비교 모델 당 sum rate 성능에 대한 비교 결과를 다양한 환경 하에 영역 내 유저 수 변화에 따라 보여주는 도면이다.

[도 7]은 본 발명에 따른 user-centric cell-free massive MIMO 모델 및 비교 모델 당 나타나는 per-user throughput에 대한 CDF 시뮬레이션 결과를 보여주는 도면이다.

[도 8]은 본 발명에 따른 user-centric cell-free massive MIMO 모델 및 비교 모델 당 유저 수의 증가에 따라 결과적으로 남아있는 미지원 유저의 수에 대한 시뮬레이션 결과를 막대 그래프를 통해 보여주는 도면이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0019] 1. 종래 기술
- [0020] Cell-free massive MIMO 모델에서는 모든 AP들이 영역 내에 존재하는 모든 유저들을 지원하는 것이 일반적이다. AP의 수를  $L$  이라고 하고 영역 내 유저의 수를  $K$  로 표현하기로 할 때, 기존 cell-free massive MIMO 모델에서는  $L \gg K$  의 대소 관계가 가정되어 유저의 수에는 큰 지장을 받지 않도록 설계되었으나  $L$  의 값이 cellular massive MIMO에서와 같이 다소 높은 수 (ex.64, 128, 256, ...)로 설정되기 때문에 높은 계산 복잡도를 수반한다. 또한 cell-free massive MIMO 모델은 유저의 수가 증가할수록 시스템의 복잡도 역시 그에 비례하여 증가하기 때문에 유저 수가 조금만 늘어나더라도 현실적으로 구현하기에 어려운 기술에 해당한다.
- [0021] 이에 반해, user-centric massive MIMO 모델은 모든 AP들이 모든 유저를 지원하지 않고 각 AP당 지원 가능한 유저의 수가 제한되거나 혹은 환경에 따라 선택적으로 달라질 수 있다. 그러므로 기존 cell-free massive MIMO 모델에 비해 유저의 수가 늘어나더라도 전체 모델 내의 복잡도는 일정 수준으로 유지될 수 있으며 이에 실현 가능한 cell-free 모델에 해당한다.
- [0022] 도 1은 하향링크 user-centric cell-free massive MIMO 모델을 나타내는 도면이다. 기존의 cell-free massive MIMO 모델과 동일하게 모델 내의 AP(100)들은 logical unit인 central processing unit(CPU)(110)과 직접적 혹은 간접적으로 fronthaul(120)을 통해 연결 되어있으며 CPU들 간의 연결은 optical cable(130)이 사용된다고 가정한다. 또한 도면상의 도시는 없으나 각 AP에서는 하향링크 데이터 전송 시 매우 간단한 conjugate beamforming(CB) precoding을 사용한다.
- [0023] 본 발명에서는 도 1에서와 같이 각 AP(100)에서 지원할 수 있는 최대 유저의 수를 제한한다. 해당 도 1에서는 AP 당 지원 가능한 최대 유저의 수를 2명으로 가정한 상황이 나타나 있다. User-centric cell-free massive MIMO 모델은 앞선 설명과 같이 구현의 현실성을 위해 각 AP(100)가 모든 유저(140)를 지원하지 않으므로 이에 모델 내에서는 미지원 유저(150)가 발생할 수 있으며 이는 영역 내 유저의 수가 증가할수록 더욱 빈번히 발생한다.
- [0024] 이에 본 발명에서는 도 1과 같은 모델 내에서 발생하는 미지원 유저(150)에게 효율적으로 서비스를 제공하기 위한 방법을 제시한다.
- [0026] 2. 본 발명에 따른 전체 시스템 모델 및 Spectral Efficiency
- [0027] 2.1 네트워크 모델 및 채널 모델
- [0028] 본 발명에서는 각 AP(100)당 지원 가능한 유저의 수를 AP(100)당 장착된 안테나 수로 제한한 user-centric

cell-free massive MIMO 모델을 고려한다. 해당 모델 내에는  $N$  개의 안테나가 장착된  $L$  개의 AP가 존재하며  $K$  명의 단일 안테나 유저가 있다고 가정한다. 또한 AP와 유저 사이의 operation은 time division duplexing(TDD)으로 가정한다. 해당 네트워크 모델의 각각의 coherence block  $\tau_c$  는 다음 수학적 식 1과 같이 세 개의 페이즈 구간으로 표현된다.

**수학적 식 1**

$$\tau_c = \tau_p + \tau_d + \tau_u$$

$\tau_p$  는 상향링크 파일럿 전송을 통한 채널 추정 구간(이하 채널추정),  $\tau_d$  는 하향링크 데이터 전송 구간,  $\tau_u$  는 상향링크 데이터 전송 구간을 의미한다.

본 발명에서는 flat fading 채널을 가정하므로 AP  $l$  과 유저  $k$  사이의 채널을  $h_{lk}$  로 표현하며  $h_{lk} = \sqrt{\beta_{mk}} g_{mk}$  로 정의된다. 여기서  $\beta_{mk}$  는 large scale fading을 나타내며  $g_{mk}$  는 small scale fading으로  $g_{kl} \sim N_{\mathbb{C}}(0,1)$  (Complex Normal Distribution)를 만족한다.

이하에서는, 채널 추정 구간 및 하향링크 데이터 전송 구간에 대하여 설명한다. 본 발명은 하향링크 user-centric cell-free massive MIMO 모델을 다루므로 상향링크 데이터 전송 구간에 대한 설명은 포함하지 않는다.

2.2 상향링크 파일럿 전송을 통한 채널 추정

본 발명에서는 MMSE estimator를 이용한 채널 추정을 적용한다. 파일럿에 대해 다음과 같이  $\sqrt{\tau_p} \phi_k \in \mathbb{C}^{\tau_p \times 1}$  로 정의할 때,  $\tau_p$  는 파일럿 전송 길이를 의미하고  $\phi_k$  는 유저  $k$  에 대한 파일럿 시퀀스를 나타내며 파워는  $\|\phi_k\|^2 = 1$  로 정의된다. 이 때 AP 과 수신하는 유저  $k$  가 전송한 파일럿 신호는 아래 수학적 식 2로 표현된다.

**수학적 식 2**

$$y_{p,l} = \sqrt{\tau_p \rho_p} \sum_{k=1}^K h_{lk} \phi_k + \omega_{p,l}$$

여기서  $\rho_p$  는 파일럿의 전력을 의미하고  $\omega_{p,l}$  는 AP<sub>l</sub> 에서 수신 시 발생하는 잡음에 해당하며 independent and identically distribution (i.i.d.) 및  $N(0,1)$  (Complex Normal Distribution) 를 따른다.

AP<sub>l</sub> 은 위 수학적 식 2에서 수신 받은 신호를 통해 로컬로 추정치를 계산한다. 아래 수학적 식 3은 AP<sub>l</sub> 의 추정 신호를 의미한다.

**수학적 식 3**

$$\begin{aligned} \tilde{y}_{p,lk} &= \phi_k^H y_{p,l} \\ &= \sqrt{\tau_p \rho_p} h_{lk} + \sqrt{\tau_p \rho_p} \sum_{k' \neq k} h_{lk'} \phi_k^H \phi_{k'} + \omega_{p,l} \end{aligned}$$

[0039] 본 발명에 사용되는 MMSE estimator에서는 위 수학적 식 3에서 얻어지는 추정치를 적용한다. 이에 최종적으로 얻어지는 AP<sub>l</sub>과 유저 *k* 사이의 채널 추정치는 아래 수학적 식 4와 같이 표현된다.

**수학적 식 4**

$$\hat{h}_{lk} = \frac{\mathbb{E}\{\tilde{y}_{p,lk}^* h_{lk}\}}{\mathbb{E}\{|\tilde{y}_{p,lk}|^2\}} \tilde{y}_{p,lk} = t_{lk} \tilde{y}_{p,lk},$$

$$\text{where } t_{lk} \triangleq \frac{\sqrt{\tau_p \rho_p} \beta_{lk}}{\tau_p \rho_p \sum_{k'=1}^K \beta_{lk'} |\boldsymbol{\varphi}_k^H \boldsymbol{\varphi}_{k'}|^2 + 1}$$

[0040]

[0041] 이어지는 2.3에서는 수학적 식 4를 통해 구해진 채널 추정치를 사용하여 하향링크 데이터 전송에 대해 설명한다.

[0043] 2.3 하향링크 데이터 전송

[0044] 본 발명에서는 user-centric cell-free massive MIMO 모델에서의 하향링크 데이터 전송을 다룬다. 모든 AP들은 하향링크 데이터 전송 시 precoding으로 conjugate beamforming (CB)를 적용한다. 아래 수학적 식 5는 AP<sub>l</sub>이 유저 *k*에 대해 전송하는 신호  $x_l$  을 표현한다.

**수학적 식 5**

$$x_l = \sqrt{\rho_d} \sum_{k=1}^K \eta_{lk}^{1/2} \hat{h}_{lk}^* q_k$$

[0045]

[0046] 위 수학적 식 5에서  $\rho_d$  는 AP<sub>l</sub>의 하향링크 파워를 의미하며  $\hat{h}_{lk}^*$  는 앞선 2.2에서 구해진 채널 추정치를 사용하여 CB precoding을 적용하는 것을 나타낸다. 전송하는 신호를 의미한다.  $q_k$  는 유저 *k*에게 전송되는 데이터 심볼을 의미하며  $\mathbb{E}\{|q_k|^2\} = 1$  로 파워에 대한 제약이 존재한다. 위 수학적 식 5에서  $\eta_{lk}$  는 AP<sub>l</sub>과 유저 *k* 사이의 파워 컨트를 계수에 해당하며 이는 아래 수학적 식 6과 같은 조건을 만족한다고 가정한다.

**수학적 식 6**

$$\eta_{lk} = \left( \sum_{k'=1}^K \alpha_{lk'} \gamma_{lk'} \right)^{-1}$$

$$\text{s.t. } \sum_{k=1}^K \eta_{lk} \gamma_{lk} \leq 1, \text{ for all } l,$$

$$\gamma_{lk} \triangleq \mathbb{E}\{|\hat{h}_{lk}|^2\} = \sqrt{\tau_p \rho_p} \beta_{lk} t_{lk}$$

[0047]

[0048] 위의 수학적식들을 통해 하향링크 데이터 전송에서 유저  $k$ 가 최종적으로 수신하게 되는 신호는 아래 수학적식 7로 표현할 수 있다.

수학적식 7

$$r_{d,k} = \sum_{l=1}^L h_{lk} x_l + \omega_{d,k}$$

$$= \sqrt{\rho_d} \sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^K \eta_{lk}^{1/2} h_{lk} \hat{h}_{lk}^* q_k + \omega_{d,k}$$

[0049]

[0050] 본 발명에서는 모든 AP가 모든 유저들을 지원하지 않는 것이 가정이므로 아래 수학적식 8과 같은 연결 행렬  $\mathbf{a}$ 를 정의한다.

수학적식 8

$$a_{lk} = \begin{cases} \mathbf{I}_N & \text{if } l \in C_k \\ \mathbf{0}_N & \text{if } l \notin C_k \end{cases}$$

[0051]

[0052] 위 수학적식 8은 임의의 AP<sub>l</sub>과 유저  $k$  사이의 연결 여부를 결정하는 연결 행렬로써, 만일  $a_{lk}$ 의 값이 0이면 해당 AP와 유저는 미 연결 상태이며, 1일 경우 연결된 상태에 해당함을 표현한다. 또한 수학적식 8에서  $C_k$ 는 유저  $k$ 를 지원하는 AP들의 집합을 의미한다. 본 발명에서는 연결 행렬  $\mathbf{a}$ 를 이어지는 수학적식 9에 적용한다.

수학적식 9

$$R_{d,k}^{uc} = \log_2 \left( 1 + \frac{N^2 \rho_d \left( \sum_{l=1}^L \eta_{lk}^{1/2} \gamma_{lk} \alpha_{lk} \right)^2}{N^2 \rho_d \sum_{k \neq k}^K \left( \sum_{l=1}^L \eta_{lk}^{1/2} \gamma_{lk} \alpha_{lk} \frac{\beta_{lk}}{\beta_{lk}} \right)^2 + |\Phi_k^H \Phi_k|^2 + N \rho_d \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \eta_{lk} \gamma_{lk} \alpha_{lk} \beta_{lk} + 1} \right)$$

[0053]

[0054] User-centric cell-free massive MIMO 모델에서의 최종적인 하향링크 spectral efficiency는 위 수학적식 9로 표현할 수 있다. 이는 기존 cell-free massive MIMO에서와 동일한 개형을 갖추되, 연결 행렬  $\mathbf{a}$ 로 인해 특정 유저에 대한 지원 여부가 결정된다는 특징을 지닌다.

[0055] 3. 본 발명의 사용자 연결 절차

[0056] 본 발명에서는 도 2에 도시한 것과 같은 처리량 분포 기반하여 효율적인 유저 지원 방법을 제시한다. 도 2는 도 1의 모델 환경에 기반한 임의의 유저 당 지원받는 per-user throughput(유저 당 처리량)의 분포를 도시한 도면이다.

[0057] 도 2에서는 임의의 4명의 유저를 선발하였을 때, 각각의 유저에게 AP들이 지원하는 처리량의 분포를 나타낸다. 도 2는 네 명의 유저에 대하여 지원하는 AP들의 처리량 별 분포를 보인 것인데, 유저 2를 예를 들어 설명하면, 지원받는 모든 AP들로부터 0.3355 BPS의 처리량 지원을 받고 있으며, 처리량의 중앙값 이상의 처리량을 지

원하는 AP들의 처리량이 0.3275 BPS 임을 보인다.

- [0058] 즉, 도 2의 네 명의 유저의 분포 결과를 통해 특정 유저에게 지원되는 처리량의 대부분은 지원하는 처리량이 큰 소수의 AP들에 의해 구성되는 것을 확인할 수 있다. 또한 유저의 전체 처리량의 평균 값이 각 AP마다 제공하는 서비스 양의 중앙값보다 훨씬 크게 나타난다는 것을 알 수 있다. 이는 결국 다수의 처리량 하위 AP들은 해당 유저의 전체 처리량에 미치는 영향이 적다는 것을 의미한다.
- [0059] 도 3은 도 2의 관찰 결과에 기반하여 각 유저 별로 연결된 AP들 중 제공받는 처리량을 기준으로 중앙값 이하의 AP들과의 연결을 해제하였을 때 나타나는 전체 처리량의 변화에 대한 비교를 보여준다.
- [0060] 도 3에서는 총 10명의 임의의 유저에 대한 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 각 유저별로 좌측의 그래프 L은 처음 연결 되어있던 모든 AP들에게서 지원받았을 경우의 전체 처리량을 나타내며 우측의 그래프 R은 중앙값 이하의 처리량을 제공하는 AP들과의 연결을 해제한 후의 전체 처리량을 나타낸다. 각 사용자에서 그래프 L과 그래프 R의 진폭변화가 크지 않은 것으로부터, 도 2에서 보였던 관찰 결과와 상통하게, 도 3에서도 처리량이 높은 상위의 AP들이 전체 처리량의 대부분을 차지하는 것이 확인된다.
- [0061] 이하, 본 발명에서 제시하는 효율적인 유저 지원 방법들 도 4의 순서도에 제시하였다. 이후 본 발명에 따른 절차의 설명은 도 4에 표기된 부호에 따라 순서를 따른다.
- [0062] 순서도의 (200)에서는 초기 연결 상태에 대한 정보를 나타낸다. 채널 행렬  $H$ 는 2.1에서 정의된 채널에 해당하며  $C_k$ 는 유저  $k$ 를 지원하는 초기 AP들의 집합을 나타낸다.  $\gamma$ 와  $\alpha$ 는 각각 2.3에서 구한 채널 추정치의 전력 값과 연결 행렬을 의미하고 문턱값  $\xi$ 는 전체 네트워크 내의 유저들의 처리량 중 중앙값에 해당하는 처리량 값을 나타낸다.
- [0063] 상기 문턱값  $\xi$ 의 선정 기준은, 기존 네트워크 내의 지원받고 있던 유저들 각각에 대한 처리량(throughput)의 중앙값으로 선정되는데, 이는 합리적인 기준 설정을 위해 전체 네트워크의 처리량 수준에 맞추어 미지원 유저에 대한 서비스 제공 수준을 결정하기 위한 방법이다.
- [0064] 이후 도 4의 (201)-(202) 단계에 따라 유저에 대해 순서대로 미지원 여부를 확인한다. 만일 특정 유저에 대해 미지원 유저라고 판단될 경우, 즉 (203)에 따라 해당 유저를 지원하는 AP의 집합의 원소가 존재하지 않을 시 STEP 1(204)로 넘어간다. (204)에서는 해당 미지원 유저에 대해 채널 추정치의 전력 값  $\gamma$ 가 높은 후보군 AP 집합으로서의  $P$ 를 정의한다. 해당 후보군의 범위는 미지원 유저의 위치 기준으로 소정의 거리 내에 존재하는  $\frac{L}{4}$ 개 또는  $\frac{L}{2}$ 개의 AP로 설정할 수 있다. 본 발명에서는  $\frac{L}{4}$ 에 해당하는 AP들로 후보군을 선정하였다. 이를 AP 후보군 집합  $P$  선정단계라 한다. 이와 같이 유저와 AP들의 물리적 거리에 기반하여 AP 후보군 집합을 선정함으로써, 기본적인 수신감도 및 서비스 품질에 대한 보장이 가능하다.
- [0065] 후보군 집합  $P$  선정 이후, 또 다른 미지원 유저의 발생을 방지하기 위하여 유저 연결 AP 확인 단계 (205)를 거치게 된다. 유저 연결 AP 확인 단계 (205)에서는 집합  $P$  내에 있는 특정 AP에게서만 서비스를 받는 유저가 존재하는지에 대한 여부를 확인한다. 만일 그러한 유저가 존재할 경우, 해당 유저를 지원하는 AP는 집합  $P$ 에서 제외하는 연결 AP 후보군 제거단계(206)를 수행한다. 이는 미지원 유저를 지원하기 위해 기존 유저의 연결을 해제하는 경우를 방지하기 위함이다.
- [0066] 이후 STEP 2(207)로 넘어가게 되는데, (207)에서는 집합  $P$  내의 AP들에게 서비스 받고 있는 기존 유저들을 집합  $S$ 로 정의하는 유저 하위집합 설정단계를 수행한다. 해당 (207)과정은 후의 STEP 4를 위한 과정에 해당한다.
- [0067] STEP 2(207)에서 정의된 유저 집합  $S$  내의 유저들의 인덱스 및 각 유저별로 연결된 AP들(혹은 AP)과의 채널 게인 값을 추출하는 AP 후보군 채널 게인(channel gain) 추출과정을 STEP 3(208)에서 진행한다. 이는 상기 유저 하위 집합  $S$ 에 포함되는 각각의 하위집합 유저들과 이들 하위집합 유저들을 지원하는 AP들 사이의 채널 게인을

추출하는 과정이며, 이는 아래의 우선순위 부여 단계에서 활용된다.

- [0068] 이어지는 STEP 4(209)에서는 STEP 3(208)에서 추출된 채널 게인값들을 바탕으로 유저 집합  $S$  내의 유저들 중 가장 많은 AP에게 지원을 받는 유저 순으로 우선순위를 부여하는 우선순위 부여단계를 수행한다. 이는 상술한 도 2와 도 3의 관찰 결과에서 보는 것과 같이, 상기 채널 게인 값 추출과정(STEP 3)에서 추출한 채널 게인 값에 기반하여 우선순위를 부여하는 것으로서, 다수의 AP에게 지원받는 유저일수록 전체 처리량의 대부분을 상위의 소수 AP들이 담당할 확률이 높음을 적용한 것이다. 즉, AP에게 지원받는 처리량이 많은 유저 순, 즉 채널 게인 값이 많은 유저 순으로 우선순위를 부여하는 단계이다.
- [0069] 이후 STEP 5(210)에서는 STEP 4(209)에서 우선순위가 부여된 유저 순으로 해당 유저에 대한 AP들의 각각의 처리량 중 중앙값 이하를 지원하는 AP들을 추출하는 연결 AP 선정단계를 수행한다. 해당 (210)의 과정까지 거침으로써, 기존 유저들의 연결을 보장함과 동시에 기존 유저들의 처리량을 적절히 유지할 수 있게 된다.
- [0070] 이후 STEP 6(212)에서는, 상기 STEP 5(210)에서 추출된 AP들을 기존 유저에게서 해제하고 미지원 유저에게 차례로 연결하는 미지원 유저 AP 연결단계로 진행한다. 이때, 기존 유저에게서의 해제는 연결된 AP의 수가 많은 유저로부터 해제를 진행한다. 이는 기존 유저에 대한 처리량을 가능한 한 손상시키지 않기 위한 것이다.
- [0071] 미지원 유저에 대한 상기 해제 AP 연결시, 앞서 단계 (200)에서 얻은 문턱값  $\xi$ 가 기준이 되어 만일 미지원 유저에게 제공되는 처리량(throughput)의 누적합이 문턱값  $\xi$  이하일 경우, 처리량(throughput)의 누적합과 문턱값 비교단계(211) 및, STEP 6(212)의 과정을 반복하여 순차적으로 미지원 유저에게 상기 추출된 AP를 할당한다.
- [0072] 이후 STEP 6(212)을 통해 얻어진 미지원 유저의 처리량의 누적합  $\delta$ 를 산출하는데, 누적합  $\delta$ 가 문턱값  $\xi$ 를 넘을 경우 STEP 6(212)를 중단하고, 도 4의 213 단계로 이동하여 또 다른 미지원 유저에 대하여 상술한 과정을 반복하거나(214), 만일 더 이상 탐색할 유저가 없을 시 전체 과정을 마무리한다(215).
- [0073] 상기 STEP 6에서, 문턱값  $\xi$ 와의 반복적인 대소 비교를 통해 미지원 유저에 대한 처리량(throughput)을 적정선으로 맞추기 위한 방법으로, 만일 추출된 AP들을 다 연결하기 전에 문턱값  $\xi$ 을 넘으면 더 이상의 연결을 수행하지 않는다. 이를 통해 미지원 유저에 대한 적절한 throughput 보장 및 기존 유저에 대한 throughput 손상 최소화가 가능해진다. 또한, 추출된 AP들을 다 연결하더라도 문턱값  $\xi$ 를 넘지 못할 시 더 이상의 추가 연결 없이 다음 미지원 유저 탐색으로 진행되는 데 이 역시 기존 유저에 대한 처리량(throughput) 손상 최소화가 우선시되기 때문이다.
- [0074] 도 5에서는 본 발명에 따른 user-centric cell-free massive MIMO 모델 및 비교 모델 당 발생하는 미지원 유저 수에 대한 시뮬레이션 결과를 컬러맵을 통하여 나타낸다.
- [0075] 해당 도 5에서 AP의 수  $L$ 은 100으로 설정되었으며 AP의 안테나 수인  $N$ 은 4개로, 영역 내 유저 수  $K$ 는 100으로 설정되었다. 해당 도 5에서의 "Minimum-user"는 user-centric cell-free massive MIMO 모델 하에서 별도의 고려 과정 없이 단순히 특정 미지원 유저에게서 가장 가까운 AP에게 연결을 맺고, 해당 AP에서 가장 약한 처리량을 제공받는 유저와의 연결을 해제하는 방법에 해당한다. 또한 "Full CF"는 기존의 cell-free massive MIMO 모델을 의미하며 "UC"의 경우 user-centric cell-free massive MIMO 모델을 의미한다. 도 5의 컬러맵 상에서 푸르게 나타나는 부분이 지원받지 못하는 유저를 나타내며 노란 부분이 지원받는 유저를 나타낸다. 해당 도면의 시뮬레이션 결과를 통해 제시되는 유저 지원 방법을 적용하면 영역 내의 미지원 유저를 효과적으로 없앨 수 있음이 확인되었다.
- [0076] 도 6은 도 5와 동일한 모델 별 비교를 수행하되, 모델 별 sum rate 성능 비교를 다양한 환경 하의 영역 내 유저 수 증가에 따라 보여주는 도면이다. 해당 도 6에서의 시뮬레이션에 사용된 AP의 수와 장착된 안테나의 수는 도 5에서와 동일하게 설정되었다. 도 6의 시뮬레이션에서는 총 3가지의 서로 다른 환경이 적용되었으며 이에 대한 설명은 다음과 같다.
- [0077] A. 불완전한 채널 정보 & 유저 수 만큼의 충분한 직교 파일럿이 존재
- [0078] B. 불완전한 채널 정보 & 60개의 직교 파일럿이 존재

- [0079] C. 완벽한 채널 정보 & 유저 수 만큼의 충분한 직교 파일럿이 존재
- [0080] 해당 시뮬레이션 결과 제시되는 방법이 적용되는 경우 미지원 유저의 수를 대폭 줄이면서 유저가 일정 수준 이상으로 늘어나지 않는 한, 별도의 유저 지원 방법을 적용하지 않은 경우와 비슷한 성능을 낼 수 있음이 확인되었다.
- [0081] 도 7에서는 본 발명에 따른 per-user throughput에 대한 CDF(Cumulated Distribution Function) 시뮬레이션 결과를 모델 별로 나타낸다. 해당 도 7에서 확인할 수 있듯, 제시되는 유저 지원 방법을 적용하면 영역 내 미지원 유저를 기존 user-centric cell-free massive MIMO 모델에 비해 크게 줄일 수 있으며 유저들의 처리량 또한 크게 손상시키지 않는 것을 알 수 있다.
- [0082] 이어지는 도 8은 유저 수의 증가에 따라 최종적으로 존재하는 미지원 유저의 수에 대한 시뮬레이션 결과를 보여 준다. 해당 도 8에서 제시되는 방법을 적용하더라도 일정 수준 이상으로 유저가 늘어나면 미지원 유저가 존재하게 되는 것을 알 수 있는데, 이는 도 4의 (204)에서 집합  $P$ 의 범위를 전체로 설정하지 않은 이유이며, 동시에 (205)에서 기존 유저의 연결을 보장함으로써 인한 것인데 이는 유저 수가 증가할수록 영역 내에서 단일 AP에게만 지원받는 유저의 수 역시 증가하므로 집합  $P$ 의 원소 수 역시 줄어들기 때문이다. 뿐만 아니라, 본 발명에 사용되는 모델에서는 각 AP당 지원 가능한 유저의 수 역시 현실적인 계산 량과 복잡도를 고려하여  $N=4$ 로 다소 적게 설정된 것 역시 도 8의 결과에 영향을 미치게 된다. 그러나 제시되는 방법을 적용하면 별도의 유저 지원 방법을 적용하지 않은 경우에 비해 영역 내 미지원 유저의 수를 대폭 줄일 수 있음이 확인되었다.

**부호의 설명**

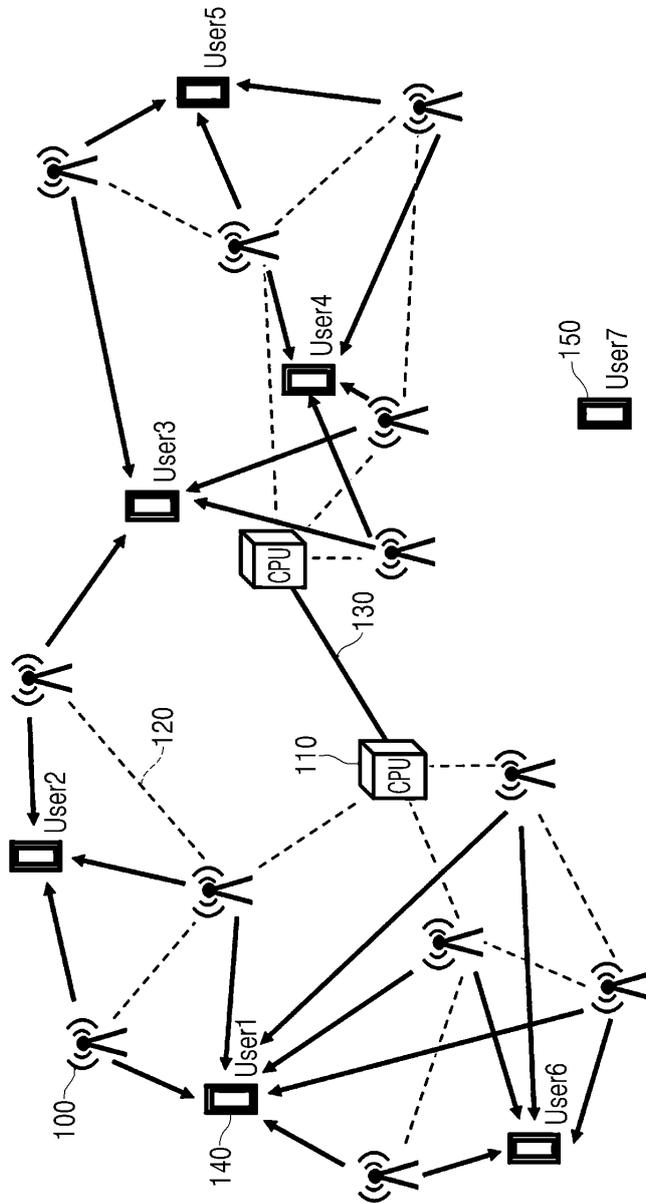
- [0084] 100 : AP (Access Point)
- 110 : CPU (Central Processing Unit)
- 120 : Fronthaul
- 130 : Optical cable
- 140 : 지원받는 유저
- 150 : 미지원 유저
- 200 : 모델 내 기존 연결에 대한 초기 값
- 201 : 미지원 유저 존재 여부 확인 시작 부분
- 202 : 미지원 유저 존재 여부 확인 과정을 전체 유저에 대해 진행하는 부분
- 203 : 특정 유저에 대한 지원 존재 여부 확인 과정
- 204 : STEP 1. 후보군 AP 집합 P 선정 과정
- 205 : 단일 AP 에게 지원받는 유저 확인 과정
- 206 : 기존 유저의 연결 보장 과정
- 207 : 집합 P 와 연결된 유저 집합 S 선정 과정
- 208 : 집합 S 에 대한 정보 추출 과정
- 209 : 집합 S 내의 원소에 대한 우선순위 부여 과정
- 210 : 집합 S 에 부여된 우선순위에 따른 AP 추출 과정
- 211 : 문턱값  $\xi$  와의 대소 비교과정
- 212 : 210에서 추출된 AP와 미지원 유저에 대한 순차적 연결 및 누적 합 연산 진행 과정
- 213 : 추가 탐색 여부 결정 과정

214 : 또 다른 미지원 유저 탐색 진행과정

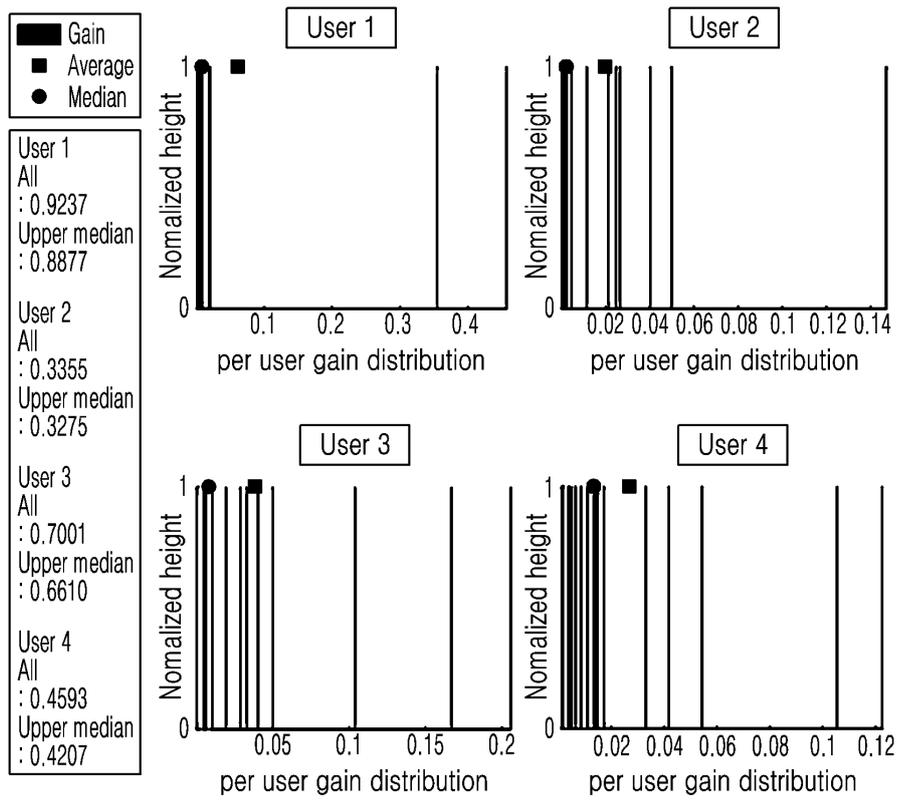
215 : 전체 과정 종료

도면

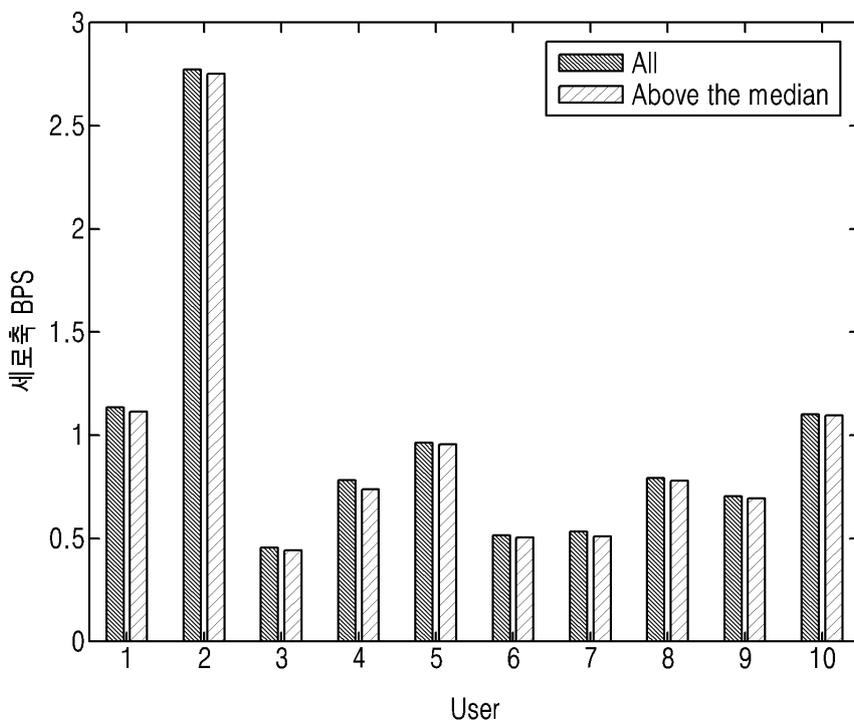
도면1



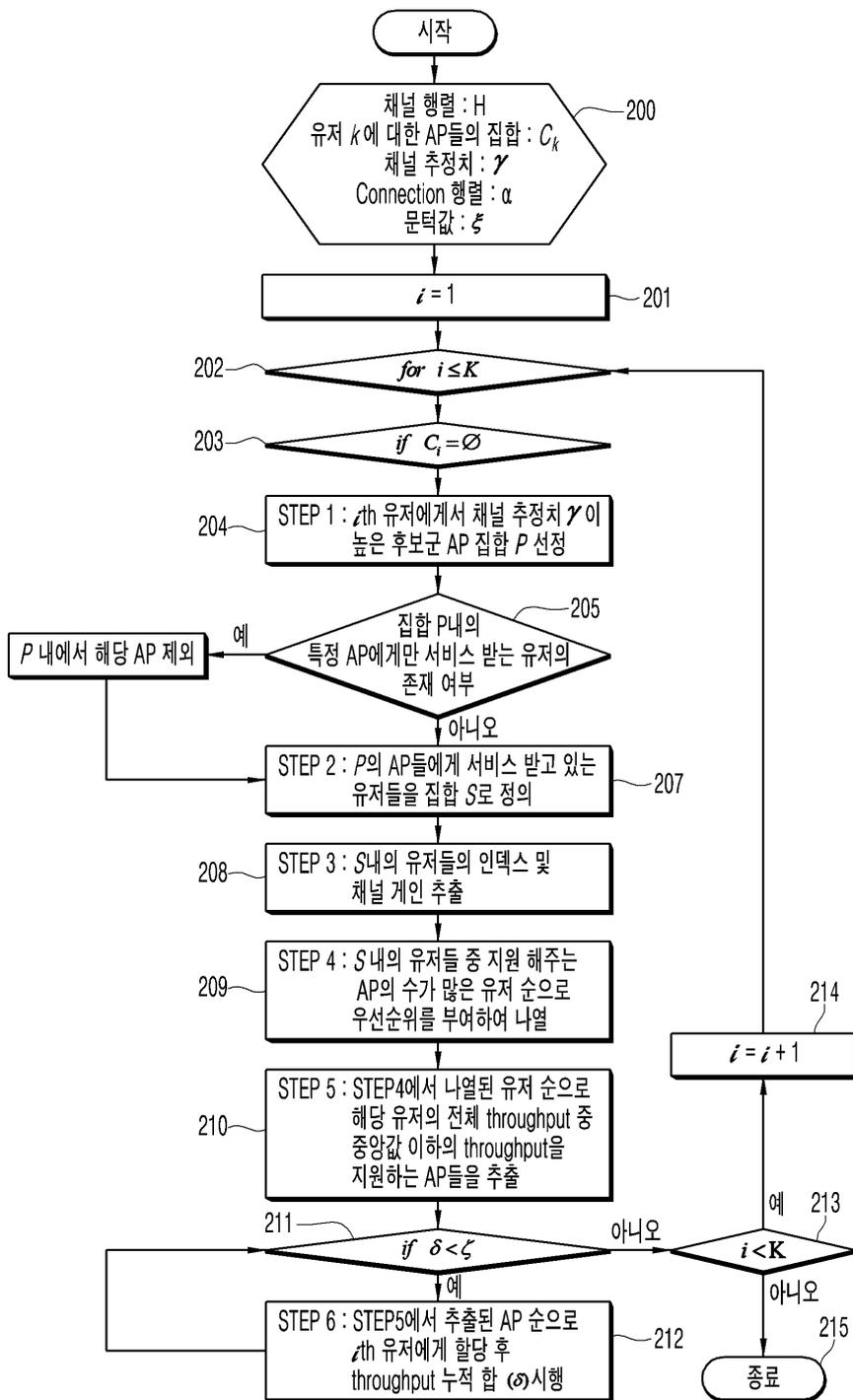
도면2



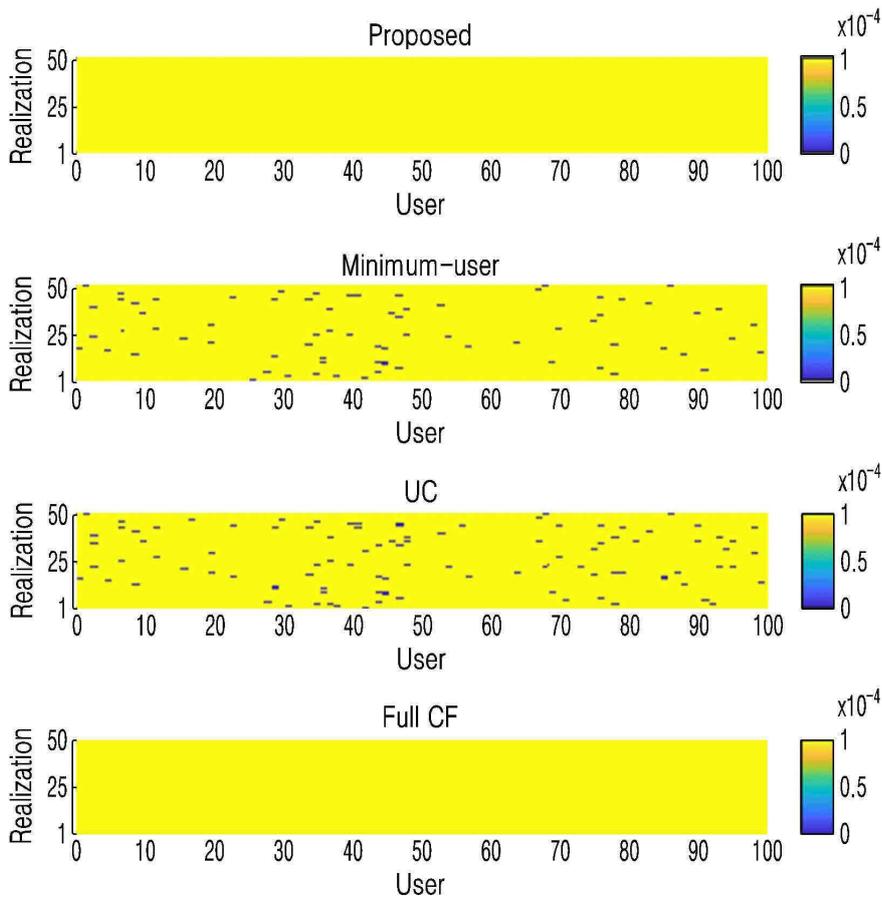
도면3



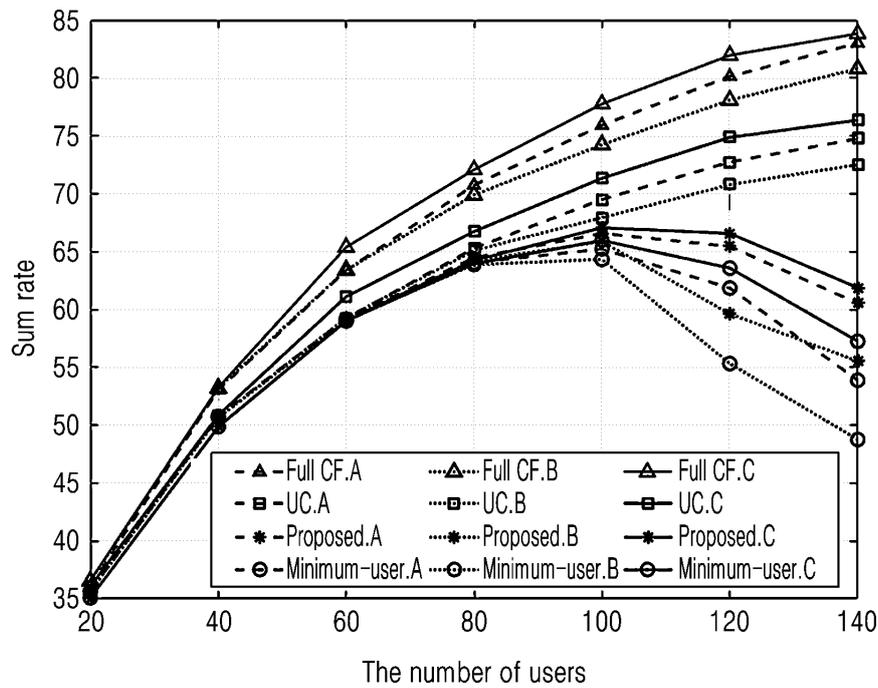
도면4



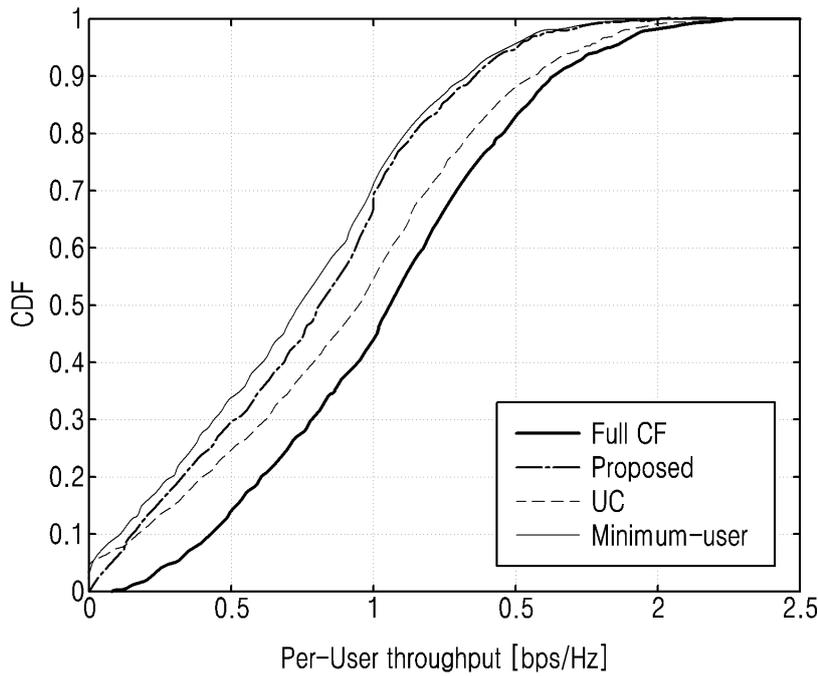
도면5



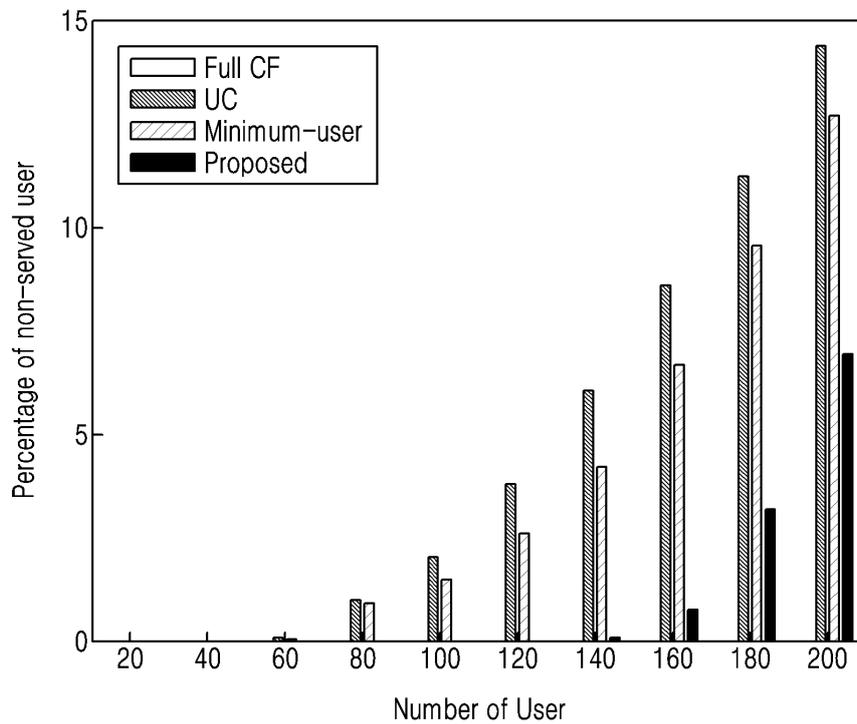
도면6



도면7



도면8



【심사관 직권보정사항】

【직권보정 1】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구항 1

【변경전】

하향링크 user-centric cell-free massive MIMO 모델에서 다수의 AP들을 유저들에 할당하는 방법으로서,

미지원 유저를 지원하기 위한 후보군 AP들의 하위 집합인 집합  $P$ 를 AP 후보군 집합으로 선정하는 AP 후보군 집합 선정단계;

상기 선정된 AP 후보군 집합  $P$ 내의 AP에게서만 서비스 받는 유저의 존재 여부를 확인하는 유저 연결 AP 확인 단계;

상기 선정된 AP 후보군 집합  $P$ 내의 AP들에게 서비스 받고 있는 기존 유저들을 유저 하위 집합  $S$ 로 정의하는 유저 하위집합 설정단계;

상기 유저 하위 집합  $S$ 에 포함되는 각각의 하위집합 유저들과 이들 하위집합 유저들을 지원하는 AP들 사이의 채널 계인을 추출하는 AP 후보군 채널 계인 추출 단계;

상기 추출한 채널 계인을 기반으로, 상기 유저 하위 집합  $S$ 에 포함되는 하위집합 유저들 중 지원해주는 AP의 수가 가장 많은 순서로 우선순위를 부여하는 우선순위 부여 단계;

상기 부여된 유저들의 우선순위에 따라 가장 높은 순위의 유저부터 해당 유저와 연결된 AP들 중 중앙값 이하의 처리량을 지원하는 AP들을 연결후보 AP로 추출하는 연결 AP 선정단계;

상기 추출된 연결후보 AP들을 순서대로 미지원 유저에게 연결하는 미지원 유저 AP 연결단계;

를 포함하여 구성되는 AP 미지원 유저 할당 방법.

**【변경후】**

하향링크 user-centric cell-free massive MIMO 모델에서 다수의 AP들을 유저들에 할당하는 방법으로서,

미지원 유저를 지원하기 위한 후보군 AP들의 하위 집합인 집합  $P$ 를 AP 후보군 집합으로 선정하는 AP 후보군 집합 선정단계;

상기 선정된 AP 후보군 집합  $P$ 내의 AP에게서만 서비스 받는 유저의 존재 여부를 확인하는 유저 연결 AP 확인 단계;

상기 선정된 AP 후보군 집합  $P$ 내의 AP들에게 서비스 받고 있는 기존 유저들을 유저 하위 집합  $S$ 로 정의하는 유저 하위집합 설정단계;

상기 유저 하위 집합  $S$ 에 포함되는 각각의 하위집합 유저들과 이들 하위집합 유저들을 지원하는 AP들 사이의 채널 계인을 추출하는 AP 후보군 채널 계인 추출 단계;

상기 추출한 채널 계인을 기반으로, 상기 유저 하위 집합  $S$ 에 포함되는 하위집합 유저들 중 지원해주는 AP의 수가 가장 많은 순서로 우선순위를 부여하는 우선순위 부여 단계;

상기 부여된 유저들의 우선순위에 따라 가장 높은 순위의 유저부터 해당 유저와 연결된 AP들 중 중앙값 이하의 처리량을 지원하는 AP들을 연결후보 AP로 추출하는 연결 AP 선정단계;

상기 추출된 연결후보 AP들을 순서대로 미지원 유저에게 연결하는 미지원 유저 AP 연결단계;

를 포함하여 구성되는 AP 유저 할당 방법.