(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2012-0099314
(43) 공개일자 2012년09월10일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04B 7/04 (2006.01) *H04W 88/08* (2009.01)
(21) 출원번호 10-2011-0007760
(22) 출원일자 2011년01월26일
심사청구일자 2011년01월26일

(71) 출원인
경희대학교 산학협력단
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732, 국제캠퍼스내 (서천동, 경희대학교)
(72) 발명자
신현동
경기도 수원시 영통구 청명북로 81, 청명마을 주공아파트 404동 901호 (영통동)
정영민
경기도 성남시 분당구 양현로 537, 313동 305호 (야탑동, 매화마을)
(74) 대리인
특허법인 신지

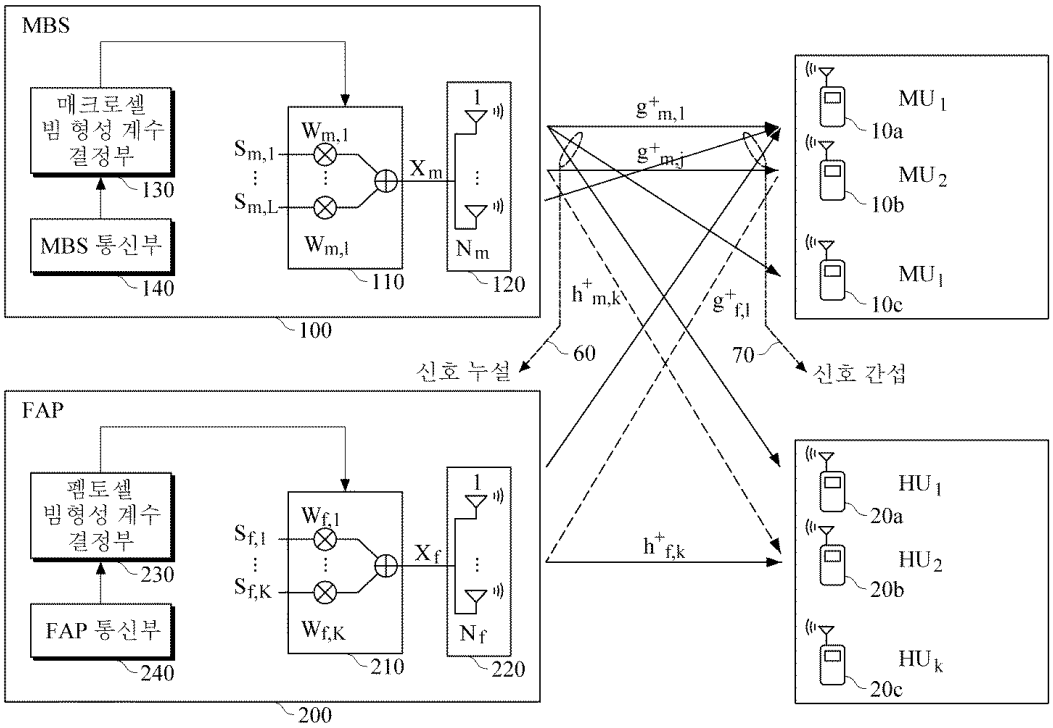
전체 청구항 수 : 총 19 항

(54) 발명의 명칭 **2계층 네트워크에서 다운링크 빔 형성 장치 및 방법**

(57) 요 약

2계층 네트워크의 빔형성 장치 및 방법이 제공된다. 펨토셀 액세스 포인트와 백하울 링크로 연결된 매크로셀 기지국은, 매크로셀 기지국에 의해 형성되는 매크로셀 네트워크에 존재하는 복수의 매크로셀 유저에 대한 SLNR(signal-to-leakage-plus-noise ratio)이 최대화되도록 매크로셀 기지국에 대한 정규화된 최적 빔형성 계수(u_m)를 결정하고, 매크로셀 기지국에 의한 복수의 매크로셀 유저에 대한 서비스 품질을 나타내는 제1 MSE(mean square error)를 제약 조건으로 이용하여 매크로셀 기지국에 할당된 전송 전력(α_m)을 최적화하고, 정규화된 최적 빔형성 계수(u_m) 및 최적화된 전송 전력(α_m)을 이용하여 매크로셀 기지국의 빔형성 계수(W_m)를 결정하는 빔형성 계수 결정부와, 결정된 빔형성 계수(W_m)를 이용하여 각 매크로셀 유저로 전송할 정보 신호에 대한 빔 형성을 수행하는 빔 형성부와, 펨토셀 액세스 포인트가 결정된 빔형성 계수(u_m) 및 최적화된 전송 전력(α_m)을 이용하여 펨토셀 액세스 포인트에 대한 빔형성 계수를 결정하도록, 결정된 빔형성 계수(u_m) 및 최적화된 전송 전력(α_m)을 백하울 링크를 통해 펨토셀 액세스 포인트로 전송하는 통신부를 포함한다.

대 표 도


MBS
매크로셀 빔 형성 계수 결정부
130
MBS 통신부
140
$S_{m,1}$
$S_{m,L}$
$W_{m,1}$
$W_{m,l}$
110
X_m
1
N_m
120
100
$g^+_{m,1}$
$g^+_{m,j}$
$h^+_{m,k}$
$g^+_{f,l}$
$h^+_{f,k}$
60
신호 누설
70
신호 간섭
MU_1
10a
MU_2
10b
MU_l
10c
FAP
펨토셀 빔형성 계수 결정부
230
FAP 통신부
240
$S_{f,1}$
$S_{f,K}$
$W_{f,1}$
$W_{f,K}$
210
X_f
1
N_f
220
200
HU_1
20a
HU_2
20b
HU_k
20c

특허청구의 범위

청구항 1

펨토셀 액세스 포인트와 백하울 링크로 연결된 매크로셀 기지국으로서,

상기 매크로셀 기지국에 의해 형성되는 매크로셀 네트워크에 존재하는 복수의 매크로셀 유저에 대한 SLNR(signal-to-leakage-plus-noise ratio)이 최대화되도록 매크로셀 기지국에 대한 정규화된 최적 빔형성 계수(u_m)를 결정하고, 상기 매크로셀 기지국에 의한 복수의 매크로셀 유저에 대한 서비스 품질을 나타내는 제1 MSE(mean square error)를 제약 조건으로 이용하여 상기 매크로셀 기지국에 할당된 전송 전력(α_m)을 최적화하고, 상기 정규화된 최적 빔형성 계수(u_m) 및 상기 최적화된 전송 전력(α_m)을 이용하여 상기 매크로셀 기지국의 빔형성 계수(W_m)를 결정하는 빔형성 계수 결정부;

상기 결정된 빔형성 계수(W_m)를 이용하여 각 매크로셀 유저로 전송할 정보 신호에 대한 빔 형성을 수행하는 빔 형성부; 및

상기 펨토셀 액세스 포인트가 상기 결정된 빔형성 계수(u_m) 및 상기 최적화된 전송 전력(α_m)을 이용하여 상기 펨토셀 액세스 포인트에 대한 빔형성 계수를 결정하도록, 상기 결정된 빔형성 계수(u_m) 및 상기 최적화된 전송 전력(α_m)을 상기 백하울 링크를 통해 상기 펨토셀 액세스 포인트로 전송하는 통신부를 포함하는 매크로셀 기지국.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 빔형성 계수 결정부는,

상기 매크로셀 기지국에 할당된 전송 전력(α_m)을 최적화하기 위하여 컨벡스 최적화(convex optimization) 알고리즘을 이용하는 매크로셀 기지국.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 빔형성 계수 결정부는,

상기 최적화된 전송 전력(α_m)에 제곱근을 취한 값과 상기 결정된 빔형성 계수(u_m)을 곱하여, 상기 매크로셀 기지국의 빔형성 계수(W_m)를 결정하는 매크로셀 기지국.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 빔형성 계수 결정부에서 이용되는 상기 제약 조건은, 상기 제1 MSE가 제1 임계값 이하인 것인 매크로셀 기지국.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 빔형성 계수 결정부는,

상기 매크로셀 기지국이 상기 매크로셀 기지국에 할당된 전송 전력(α_m)을 최소화하도록 상기 전송 전력(α_m)을 최적화하는 매크로셀 기지국.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 빔형성 계수 결정부는,

상기 매크로셀 기지국으로부터 상기 복수의 매크로셀 유저로의 네트워크 간섭이 최소화되도록, 상기 전송 전력(α_m)을 최적화하는 매크로셀 기지국.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 통신부는, 상기 매크로셀 기지국에서 알고 있는 상기 매크로셀 기지국으로부터 상기 펨토셀 액세스 포인트에 의해 형성되는 펨토셀 네트워크에 존재하는 복수의 제2 홈 유저로의 채널 상태 정보($h_{m,k}$)를 상기 펨토셀 액세스 포인트에 더 전송하는 매크로셀 기지국.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 빔형성 계수 결정부는,

상기 복수의 매크로셀 유저에 대한 SLNR이 최대화되도록 매크로셀 기지국에 대한 정규화된 최적 빔형성 계수(u_m)를 결정할 때, 상기 SLNR 대한 불확실성을 소정 범위에 속하는 프로베니우스 놈(Frobenius norms)으로 모델링하고, 상기 모델링된 불확실성을 이용하여, 최악의 경우(worst case)를 가정하여, 상기 매크로셀 기지국의 정규화된 최적 빔형성 계수(u_m)를 결정하는 매크로셀 기지국.

청구항 9

매크로셀 기지국과 백하울 링크로 연결된 펨토셀 액세스 포인트로서,

매크로셀 기지국에 대한 정규화된 최적 빔형성 계수(u_m) 및 상기 매크로셀 기지국에 최적화된 전송 전력(α_m)을 상기 백하울 링크를 통해 상기 매크로셀 기지국으로부터 수신하는 통신부;

상기 펨토셀 액세스 포인트에 의해 형성되는 펨토셀 네트워크에 존재하는 복수의 홈 유저에 대한 SLNR이 최대화되도록 상기 펨토셀 액세스 포인트에 대한 정규화된 최적 빔형성 계수(u_f)를 결정하고, 상기 수신된 빔형성 계수(u_m) 및 상기 수신된 전송 전력(α_m)을 이용하여, 상기 매크로셀 기지국 및 상기 펨토셀 액세스 포인트에 의한 복수의 홈 유저에 대한 서비스 품질을 나타내는 제2 MSE(mean square error)를 제약 조건으로 하여, 상기 펨토셀 액세스 포인트에 대한 전송 전력(α_f)을 최적화하고, 상기 정규화된 최적 빔형성 계수(u_f) 및 상기 최적화된 전송 전력(α_f)을 이용하여 상기 펨토셀 액세스 포인트의 빔형성 계수(W_f)를 결정하는 빔형성 계수 결정부; 및

상기 결정된 빔형성 계수(W_f)를 이용하여 각 홈 유저로 전송할 정보 신호에 대한 빔 형성을 수행하는 빔 형성부를 포함하는 펨토셀 액세스 포인트.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 통신부는, 상기 매크로셀 기지국에서 알고 있는 상기 매크로셀 기지국으로부터 상기 펨토셀 액세스 포인트로의 채널 상태 정보($h_{m,k}$)를 더 수신하고,

상기 빔형성 계수 결정부는, 상기 채널 상태 정보($h_{m,k}$)를 더 이용하여, 상기 펨토셀 액세스 포인트에 대한 빔형성 계수를 결정하는 펨토셀 액세스 포인트.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 빔형성 계수 결정부는, 상기 전송 전력이 최소화되도록, 상기 펨토셀 액세스 포인트에 대한 전송 전력

(α_f)를 최적화하는 펨토셀 액세스 포인트.

청구항 12

제10항에 있어서,

상기 빔형성 계수 결정부는, 상기 매크로셀 기지국 및 상기 펨토셀 액세스 포인트에 의한 복수의 홈 유저에 대한 서비스 품질을 나타내는 제2 MSE(mean square error)가 밸런싱되도록, 상기 펨토셀 액세스 포인트에 대한 전송 전력(α_f)을 최적화하는 펨토셀 액세스 포인트.

청구항 13

제10항에 있어서,

상기 빔형성 계수 결정부는, 상기 펨토셀 액세스 포인트에 의한 상기 복수의 홈 유저로의 네트워크 간섭이 최소화되도록, 상기 전송 전력(α_f)을 최적화하는 펨토셀 액세스 포인트.

청구항 14

제9항에 있어서,

상기 빔형성 계수 결정부는,

상기 펨토셀 액세스 포인트에 대한 전송 전력(α_f)을 최적화하기 위하여 컨벡스 최적화(convex optimization) 알고리즘을 이용하는 펨토셀 액세스 포인트.

청구항 15

제10항에 있어서,

상기 빔형성 계수 결정부는,

상기 복수의 홈 유저에 대한 SLNR이 최대화되도록 상기 펨토셀 액세스 포인트에 대한 정규화된 최적 빔형성 계수(u_f)를 결정할 때, 상기 SLNR 대한 불확실성을 소정 범위에 속하는 프로베니우스 놈(Frobenius norms)으로 모델링하고, 상기 모델링된 불확실성을 이용하여, 최악의 경우(worst case)를 가정하여, 상기 펨토셀 액세스 포인트의 빔형성 계수를 결정하는 펨토셀 액세스 포인트.

청구항 16

제2 네트워크를 형성하는 제2 기지국과 백하울 링크로 연결된 제1 네트워크를 형성하는 제1 기지국을 포함하는 2계층 네트워크 시스템의 빔 형성 방법으로서,

상기 제1 기지국은, 상기 제1 네트워크에 존재하는 복수의 제1 유저에 대한 SLNR이 최대화되도록 상기 제1 기지국에 대한 정규화된 최적 빔형성 계수를 결정하고, 상기 제1 기지국에 의한 복수의 제1 유저에 대한 서비스 품질을 나타내는 제1 MSE(mean square error)를 제약 조건으로 이용하여 상기 제1 기지국에 할당된 제1 전송 전력을 최적화하고, 상기 제1 빔형성 계수 및 상기 최적화된 제1 전송 전력을 이용하여 상기 제1 기지국의 제1 빔형성 계수를 결정하는 단계;

상기 결정된 빔형성 계수를 이용하여 상기 복수의 제1 유저로 전송할 정보 신호에 대한 빔 형성을 수행하는 단계; 및

상기 제2 기지국이 상기 결정된 제1 빔형성 계수 및 상기 최적화된 제1 전송 전력을 이용하여 상기 제2 기지국에 대한 빔형성 계수를 결정하도록, 상기 제1 결정된 빔형성 계수 및 상기 최적화된 제1 전송 전력을 상기 백하울 링크를 통해 상기 제2 기지국으로 전송하는 단계를 포함하는 빔 형성 방법.

청구항 17

제16항에 있어서,

상기 제2 기지국은 상기 제1 기지국에 대한 정규화된 제1 빔형성 계수 및 상기 제1 기지국에 최적화된 제1 전송 전력을 상기 제1 기지국으로부터 상기 백하울 링크를 통해 수신하는 단계;

상기 제2 네트워크에 존재하는 복수의 제2 유저에 대한 SLNR이 최대화되도록 상기 제2 기지국에 대한 정규화된 제2 빔형성 계수를 결정하고, 상기 수신된 제1 빔형성 계수 및 상기 수신된 제1 전송 전력을 이용하여, 상기 제1 기지국 및 상기 제2 기지국에 의한 복수의 제2 유저에 대한 서비스 품질을 나타내는 제2 MSE(mean square error)를 제약 조건으로 하여, 상기 제2 기지국에 대해 최적화된 제2 전송 전력을 결정하는 단계;

상기 결정된 정규화된 제2 빔형성 계수 및 상기 제2 전송 전력을 이용하여 상기 제2 기지국에 대한 빔형성 계수를 결정하는 단계; 및

상기 결정된 제2 기지국에 대한 빔형성 계수를 이용하여 각 제2 유저로 전송할 정보 신호에 대한 빔 형성을 수행하는 단계를 더 포함하는 빔 형성 방법.

청구항 18

제16항 또는 제17항에 있어서,

상기 제1 기지국은 매크로셀 기지국이고, 상기 제1 네트워크는 매크로셀 네트워크이고, 상기 복수의 제1 유저는 복수의 매크로셀 유저이고,

상기 제2 기지국은 펨토셀 액세스 포인트이고, 상기 제2 네트워크는 펨토셀 네트워크이고, 상기 복수의 제2 유저는 복수의 홈 유저인 빔 형성 방법.

청구항 19

제16항 또는 제17항에 있어서,

상기 제1 기지국은 펨토셀 액세스 포인트이고, 상기 제1 네트워크는 펨토셀 네트워크이고, 상기 복수의 제1 유저는 복수의 홈 유저이고,

상기 제2 기지국은 매크로셀 기지국이고, 상기 제2 네트워크는 매크로셀 네트워크이고, 상기 복수의 제2 유저는 복수의 매크로셀 유저인 빔 형성 방법.

명 세 서

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 다운링크 빔 형성 장치 및 방법에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 2계층 네트워크에서 상황에 따라 최적화된 빔 형성을 제공하는 장치 및 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 펨토셀(femtocell)은 1,000조 분의 1(10^{-15})를 뜻하는 "펨토(femto)"와 이동통신에 있어 하나의 기지국이 담당하는 서비스 구역 단위인 "셀(cell)"을 합친 조어로서, 펨토셀 액세스 포인트은 가정이나 사무실 등 실내에서 사용되는 초소형 이동 통신용 기지국을 의미한다.

[0003] 펨토셀 기술은 이동 전화의 실내 음영 지역(shadow area)을 해소하기 위해 개발된 기술로서, 펨토셀 액세스 포인트는 매크로셀 기지국의 관할 영역(cell coverage)내에 위치한다. 이와 같이, 펨토셀 액세스 포인트와 매크로셀 기지국을 모두 포함하여 구성된 네트워크를 2-계층 네트워크(2 tier network)라고 한다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 2계층 네트워크에서 상황에 따라 최적화된 빔 형성을 제공하는 장치 및 방법을 제공한다.

과제의 해결 수단

[0005] 일 측면에 따른 펨토셀 액세스 포인트와 백하울 링크로 연결된 매크로셀 기지국은, 매크로셀 기지국에 의해 형성되는 매크로셀 네트워크에 존재하는 복수의 매크로셀 유저에 대한 SLNR(signal-to-leakage-plus-noise ratio)이 최대화되도록 매크로셀 기지국에 대한 정규화된 최적 빔형성 계수(u_m)를 결정하고, 매크로셀 기지국에 의한 복수의 매크로셀 유저에 대한 서비스 품질을 나타내는 제1 MSE(mean square error)를 제약 조건으로

이용하여 매크로셀 기지국에 할당된 전송 전력(α_m)을 최적화하고, 정규화된 최적 빔형성 계수(u_m) 및 최적화된 전송 전력(α_m)을 이용하여 매크로셀 기지국의 빔형성 계수(W_m)를 결정하는 빔형성 계수 결정부와, 결정된 빔형성 계수(W_m)를 이용하여 각 매크로셀 유저로 전송할 정보 신호에 대한 빔 형성을 수행하는 빔 형성부와, 펨토셀 액세스 포인트가 결정된 빔형성 계수(u_m) 및 최적화된 전송 전력(α_m)을 이용하여 펨토셀 액세스 포인트에 대한 빔형성 계수를 결정하도록, 결정된 빔형성 계수(u_m) 및 최적화된 전송 전력(α_m)을 백하울 링크를 통해 펨토셀 액세스 포인트로 전송하는 통신부를 포함한다.

[0006] 다른 측면에 따른 매크로셀 기지국과 백하울 링크로 연결된 펨토셀 액세스 포인트는, 매크로셀 기지국에 대한 정규화된 최적 빔형성 계수(u_m) 및 매크로셀 기지국에 최적화된 전송 전력(α_m)을 백하울 링크를 통해 매크로셀 기지국으로부터 수신하는 통신부와, 펨토셀 액세스 포인트에 의해 형성되는 펨토셀 네트워크에 존재하는 복수의 홈 유저에 대한 SLNR이 최대화되도록 펨토셀 액세스 포인트에 대한 정규화된 최적 빔형성 계수(u_f)를 결정하고, 수신된 빔형성 계수(u_m) 및 수신된 전송 전력(α_m)을 이용하여, 매크로셀 기지국 및 펨토셀 액세스 포인트에 의한 복수의 홈 유저에 대한 서비스 품질을 나타내는 제2 MSE(mean square error)를 제약 조건으로 하여, 펨토셀 액세스 포인트에 대한 전송 전력(α_f)을 최적화하고, 정규화된 최적 빔형성 계수(u_f) 및 최적화된 전송 전력(α_f)을 이용하여 펨토셀 액세스 포인트의 빔형성 계수(W_f)를 결정하는 빔형성 계수 결정부와, 결정된 빔형성 계수(W_f)를 이용하여 각 홈 유저로 전송할 정보 신호에 대한 빔 형성을 수행하는 빔 형성부를 포함한다.

[0007] 또 다른 측면에 따른, 제2 네트워크를 형성하는 제2 기지국과 백하울 링크로 연결된 제1 네트워크를 형성하는 제1 기지국을 포함하는 2계층 네트워크 시스템의 빔 형성 방법은, 제1 기지국이, 제1 네트워크에 존재하는 복수의 제1 유저에 대한 SLNR이 최대화되도록 제1 기지국에 대한 정규화된 최적 빔형성 계수를 결정하고, 제1 기지국에 의한 복수의 제1 유저에 대한 서비스 품질을 나타내는 제1 MSE(mean square error)를 제약 조건으로 이용하여 제1 기지국에 할당된 제1 전송 전력을 최적화하고, 제1 빔형성 계수 및 최적화된 제1 전송 전력을 이용하여 제1 기지국의 제1 빔형성 계수를 결정하는 단계와, 결정된 빔형성 계수를 이용하여 복수의 제1 유저로 전송할 정보 신호에 대한 빔 형성을 수행하는 단계와, 제2 기지국이 결정된 제1 빔형성 계수 및 최적화된 제1 전송 전력을 이용하여 제2 기지국에 대한 빔형성 계수를 결정하도록, 제1 결정된 빔형성 계수 및 최적화된 제1 전송 전력을 백하울 링크를 통해 제2 기지국으로 전송하는 단계를 포함한다.

[0008] 또 다른 측면에 따른 빔 형성 방법은, 제2 기지국이 제1 기지국에 대한 정규화된 제1 빔형성 계수 및 제1 기지국에 최적화된 제1 전송 전력을 제1 기지국으로부터 백하울 링크를 통해 수신하는 단계와, 제2 네트워크에 존재하는 복수의 제2 유저에 대한 SLNR이 최대화되도록 제2 기지국에 대한 정규화된 제2 빔형성 계수를 결정하고, 수신된 제1 빔형성 계수 및 수신된 제1 전송 전력을 이용하여, 제1 기지국 및 제2 기지국에 의한 복수의 제2 유저에 대한 서비스 품질을 나타내는 제2 MSE(mean square error)를 제약 조건으로 하여, 제2 기지국에 대해 최적화된 제2 전송 전력을 결정하는 단계와, 결정된 정규화된 제2 빔형성 계수 및 제2 전송 전력을 이용하여 제2 기지국에 대한 빔형성 계수를 결정하는 단계와, 결정된 제2 기지국에 대한 빔형성 계수를 이용하여 각 제2 유저로 전송할 정보 신호에 대한 빔 형성을 수행하는 단계를 더 포함한다.

발명의 효과

[0009] 두 계층간 백하울 링크를 통해 최적 빔 형성을 위하여 적은 양의 정보만을 이용하여, 시스템 복잡도를 최소화하면서 동시에 유저의 서비스 품질을 향상시킬 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0010] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 2계층 네트워크 시스템을 나타내는 도면이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 매크로셀 기지국 및 펨토셀 액세스 포인트의 구성 및 동작을 나타내는 도면이다.

도 3은 도 2의 매크로셀 빔형성 계수 결정부의 구성의 일 예를 나타내는 도면이다.

도 4는 도 2의 펨토셀 빔형성 계수 결정부의 구성의 일 예를 나타내는 도면이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 제1 기지국의 빔형성 방법을 나타내는 순서도이다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 제2 기지국의 빔형성 방법을 나타내는 순서도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0011] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 일 실시예를 상세하게 설명한다. 본 발명을 설명함에 있어 관련된 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략할 것이다. 또한, 후술되는 용어들은 본 발명에서의 기능을 고려하여 정의된 용어들로서 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 관례 등에 따라 달라질 수 있다. 그러므로 그 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다.

[0012] 본 명세서에서, 볼드체 대문자는 매트릭스를 나타내고, 볼드체 소문자는 열벡터(column vector)를 나타낸다. 윗첨자 T는 전치(transpose)를 나타내고, †는 공액 전치(transpose conjugate)를 나타낸다. $\mathbb{C}$는 복소수 영역을 나타내고, $\mathbb{R}_+$는 음이 아닌 실수 세트를 나타내고, $\mathbb{R}_{++}$는 양의 실수 세트를 나타낸다.

[0013] 모든 요소들이 1인 벡터를 1로 나타나고, 단위 행렬을 I로 나타낸다. $|\cdot|$는 절대값을 나타내고, $\|\cdot\|$는 표준 유클리드 놈(standard Euclidean norm)을 나타내고, $\|\cdot\|_F$는 프로베니우스 놈(Frobenius norm)을 나타낸다. 정방 행렬(square matrix)의 트레이스 연산자(trace operator)는 $tr(\cdot)$로 나타낸다. $\mathcal{CN}(\mu,\sigma^2)$은 평균이 μ이고, 분산이 σ^2인 CSCG(circularly symmetric complex Gaussian distribution)을 나타낸다.

[0014] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 2계층 네트워크 시스템을 나타내는 도면이다.

[0015] 도 1에의 2계층 네트워크는, 하나의 매크로셀 네트워크 및 하나의 펨토셀 네트워크를 포함한다. 여기에서는, 다중 안테나 매크로셀 기지국 및 다중 안테나 펨토셀 액세스 포인트를 포함하는 다운링크 2 계층 네트워크를 고려한다.

[0016] 도 1을 참조하면, 매크로셀 네트워크는 매크로셀 기지국(100) 및 L개의 매크로셀 유저(10a, 10b, 10c)를 포함한다. 매크로셀 기지국(100)은 매크로셀 네트워크에 포함된 매크로셀 유저(10a, 10b, 10c)로 각각 신호를 전송하는 송신기이다. 매크로셀 기지국(100)은 N_m개의 안테나를 포함할 수 있다. 매크로셀 유저(10a, 10b, 10c)는 매크로셀 기지국(100)에 의해 형성되는 매크로셀 네트워크에 존재하며, 전송되는 신호를 수신하도록 구성된 수신 단말을 나타낸다.

[0017] 펨토셀 네트워크는 펨토셀 액세스 포인트(200) 및 K개의 홈 유저(20a, 20b)를 포함할 수 있다. 펨토셀 액세스 포인트(200)는 펨토셀 네트워크에 포함된 홈 유저(20a, 20b)로 각각 신호를 전송하는 송신기이며, 펨토셀 기지국이라 할 수도 있다. 펨토셀 액세스 포인트(200)는 N_f개의 안테나를 포함할 수 있다. 홈 유저(20a, 20b)는 펨토셀 액세스 포인트(200)에 의해 형성되는 펨토셀 네트워크에 존재하며, 전송되는 신호를 수신하도록 구성된 수신 단말을 나타낸다.

[0018] 도 1에는 3개의 매크로셀 유저(10a, 10b, 10c) 및 2개의 홈 유저(20a, 20b)가 도시되어 있으나, 매크로셀 유저 및 홈 유저의 개수에 제한되지 않는다.

[0019] 매크로셀 기지국(100) 및 펨토셀 액세스 포인트(200)는, 공통 주파수 대역으로 매크로셀 유저(10a, 10b, 10c) 및 홈 유저(20a, 20b)로 동시에 신호를 전송할 수 있다. 각각의 매크로셀 유저(10a, 10b, 10c) 및 홈 유저(20a, 20b)에는 하나의 안테나가 포함될 수 있다.

[0020] 도 1에서 매크로셀 기지국(100)으로부터 매크로셀 유저(10a, 10b, 10c)로의 링크를 나타내는 라인(11, 12, 13) 및 펨토셀 액세스 포인트(200)로부터 펨토셀 네트워크에 포함된 홈 유저(20a, 20b)로의 링크를 나타내는 라인(21, 22)이 목적하는 링크들을 나타낸다. 매크로셀 기지국(100)으로부터 홈 유저(20a, 20b)로의 링크를 나타내는 라인(31) 및 펨토셀 액세스 포인트(200)로부터 매크로셀 유저(10a, 10b, 10c)로의 링크를 나타내는 라인(32)은 교차 계층 간섭(cross-tier interference)을 나타낸다.

[0021] 매크로셀 기지국(100) 및 펨토셀 액세스 포인트(200)는 백하울 링크(50)로 연결될 수 있다. 백하울 링크(50)는 예를 들어, 유선 인터넷 망일 수 있으며, 대역폭이 제한되는 네트워크일 수 있다. 매크로셀 기지국(100) 및 펨토셀 액세스 포인트(200)는 백하울 링크(50)를 통해서 채널 상태 정보(Channel State Information)를 교환할 수 있다.

[0022] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 매크로셀 기지국 및 펨토셀 액세스 포인트의 구성 및 동작을 나타내는 도면이다.

[0023] MU_l를 l번째 매크로셀 유저이고, HU_k를 k번째 홈 유저로 하고, 여기에서, $l \in \mathcal{L} \triangleq \{1,2,\ldots,L\}$이고, $k \in \mathcal{K} \triangleq \{1,2,\ldots,K\}$라고 한다. 그러면, MU_l에서 수신된 신호($y_{m,l}$)는 수학식 1과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 1

[0024] $$y_{m,l} = \mathbf{g}_{m,l}^{\dagger}\mathbf{x}_m + \mathbf{g}_{f,l}^{\dagger}\mathbf{x}_f + z_{m,l}$$

[0025] HU_k에서 수신된 신호($y_{f,k}$)는 수학식 2와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 2

[0026] $$y_{f,k} = \mathbf{h}_{f,k}^{\dagger}\mathbf{x}_f + \mathbf{h}_{m,k}^{\dagger}\mathbf{x}_m + z_{f,k}$$

[0027] 여기에서, $\mathbf{x}_m \in \mathbb{C}^{N_m \times 1}$는 매크로셀 기지국(100)에서 송신된 신호 벡터를 나타내고, $\mathbf{x}_f \in \mathbb{C}^{N_f \times 1}$는, 펨토셀 액세스 포인트(200)에서 송신된 신호 벡터를 나타낸다.

[0028] $\mathbf{g}_{m,l}^{\dagger} \in \mathbb{C}^{1 \times N_m}$는 매크로셀 기지국(100)으로부터 매크로셀 유저(MU_l)로의 랜덤 채널 벡터를 나타내고, $\mathbf{h}_{m,k}^{\dagger} \in \mathbb{C}^{1 \times N_m}$는 매크로셀 기지국(100)으로부터 홈 유저(HU_k)로의 랜덤 채널 벡터를 나타낸다. $\mathbf{g}_{f,l}^{\dagger} \in \mathbb{C}^{1 \times N_f}$은 펨토셀 액세스 포인트(200)로부터 매크로셀 유저(MU_l)로의 랜덤 채널 벡터를 나타내고, $\mathbf{h}_{f,k}^{\dagger} \in \mathbb{C}^{1 \times N_f}$는 펨토셀 액세스 포인트(200)로부터 홈 유저(HU_k)로의 랜덤 채널 벡터를 나타낸다. $z_{m,l} \sim \mathcal{CN}(0, \sigma_{m,l}^2)$ 및 $z_{f,k} \sim \mathcal{CN}(0, \sigma_{f,k}^2)$는 각각 AWGN(zero-mean complex additive white Gaussian noise)를 나타낸다.

[0029] 매크로셀 기지국(100)으로부터 매크로셀 유저(MU_l)로의 랜덤 채널 벡터($\mathbf{g}_{m,l}^{\dagger}$), 매크로셀 기지국(100)으로부터 홈 유저(HU_k)로의 랜덤 채널 벡터($\mathbf{h}_{m,k}^{\dagger}$), 펨토셀 액세스 포인트(200)로부터 매크로셀 유저(MU_l)로의 랜덤 채널 벡터($\mathbf{g}_{f,l}^{\dagger}$), 펨토셀 액세스 포인트(200)로부터 홈 유저(HU_k)로의 랜덤 채널 벡터($\mathbf{h}_{f,k}^{\dagger}$)는 채널 상태 정보(Channel State Information)이라 한다. 매크로셀 기지국(100)으로부터 매크로셀 유저(MU_l)로의 랜덤 채널 벡터($\mathbf{g}_{m,l}^{\dagger}$), 매크로셀 기지국(100)으로부터 홈 유저(HU_k)로의 랜덤 채널 벡터($\mathbf{h}_{m,k}^{\dagger}$)는 매크로셀 기지국(100)에서 측정되어 알려지는 값이고, 펨토셀 액세스 포인트(200)로부터 매크로셀 유저(MU_l)로의 랜덤 채널 벡터($\mathbf{g}_{f,l}^{\dagger}$), 펨토셀 액세스 포인트(200)로부터 홈 유저(HU_k)로의 랜덤 채널 벡터($\mathbf{h}_{f,k}^{\dagger}$)는, 펨토셀 액세스 포인트(200)에서 측정되어 알려지는 값이다.

[0030] 매크로셀 기지국(100)의 송신 신호(x_m)는 수학식 3과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 3

$$\mathbf{x}_{\mathrm{m}} = \sum_{l \in \mathcal{L}} s_{\mathrm{m},l} \mathbf{w}_{\mathrm{m},l}$$

[0031]

[0032] 펨토셀 액세스 포인트(200)의 송신 신호(x_f)는 수학식 4와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 4

$$\mathbf{x}_{\mathrm{f}} = \sum_{k \in \mathcal{K}} s_{\mathrm{f},k} \mathbf{w}_{\mathrm{f},k}$$

[0033]

[0034] 여기에서, $\mathbf{w}_{\mathrm{m},l} \in \mathbb{C}^{N_{\mathrm{m}} \times 1}$ 는 매크로셀 유저(MU_l)에 대한 송신 빔형성 벡터를 나타내고, $\mathbf{w}_{\mathrm{f},k} \in \mathbb{C}^{N_{\mathrm{f}} \times 1}$ 는 홈 유저(HU_k)에 대한 송신 빔형성 벡터를 나타낸다. $s_{\mathrm{m},l}$ 는 매크로셀 유저(MU_l)에 대한 정보 신호를 나타내고, $s_{\mathrm{f},k}$ 는 홈 유저(HU_k)에 대한 정보 신호를 나타낸다. 여기에서, $\mathbb{E}\{|s_{\mathrm{m},l}|^2\} = \mathbb{E}\{|s_{\mathrm{f},k}|^2\} = 1$ 가 성립한다.

[0035] 매크로셀 기지국(100)의 안테나 벡터를 $\mathbf{W}_{\mathrm{m}} = [\mathbf{w}_{\mathrm{m},1} \ \mathbf{w}_{\mathrm{m},2} \ \cdots \ \mathbf{w}_{\mathrm{m},l}]$ 로 하고, 펨토셀 액세스 포인트(200)의 안테나 벡터를 $\mathbf{W}_{\mathrm{f}} = [\mathbf{w}_{\mathrm{f},1} \ \mathbf{w}_{\mathrm{f},2} \ \cdots \ \mathbf{w}_{\mathrm{f},k}]$ 로 나타낼 수 있다.

[0036] 매크로셀 유저(MU_l)에서 총 누설 신호량은 $\sum_{j \in \mathcal{L}, j \neq 1} \left| \mathbf{g}_{\mathrm{m},j}^{\dagger} \mathbf{w}_{\mathrm{m},1} \right|^2 + \sum_{k \in \mathcal{K}} \left| \mathbf{h}_{\mathrm{m},k}^{\dagger} \mathbf{w}_{\mathrm{m},1} \right|^2$ 와 같이 나타낼 수 있다. 매크로셀 유저(MU_l)에서 측정되는 총 간섭 신호량은 $\sum_{j \in \mathcal{L}, j \neq 1} \left| \mathbf{g}_{\mathrm{m},1}^{\dagger} \mathbf{w}_{\mathrm{m},j} \right|^2 + \sum_{k \in \mathcal{K}} \left| \mathbf{g}_{\mathrm{f},1}^{\dagger} \mathbf{w}_{\mathrm{f},k} \right|^2$ 로 나타낼 수 있다.

[0037] 이 경우, 매크로셀 유저(MU_l)에 대한 SINR(signal-to-interference-plus-noise ratio)은 수학식 5와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 5

$$\mathrm{SINR}_{\mathrm{m},l}(\mathbf{W}_{\mathrm{m}}, \mathbf{W}_{\mathrm{f}}) = \frac{|\mathbf{g}_{\mathrm{m},l}^{\dagger} \mathbf{w}_{\mathrm{m},l}|^2}{\sum_{j \in \mathcal{L}, j \neq l} |\mathbf{g}_{\mathrm{m},l}^{\dagger} \mathbf{w}_{\mathrm{m},j}|^2 + \sum_{k \in \mathcal{K}} |\mathbf{g}_{\mathrm{f},l}^{\dagger} \mathbf{w}_{\mathrm{f},k}|^2 + \sigma_{\mathrm{m},l}^2}$$

[0038]

[0039] 또한, 홈 유저(HU_k)에 대한 SINR은 수학식 6과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 6

[0040]
$$\mathrm{SINR}_{\mathrm{f},k}\left(\mathbf{W}_{\mathrm{m}},\mathbf{W}_{\mathrm{f}}\right)=\frac{\left|\mathbf{h}_{\mathrm{f},k}^{\dagger}\mathbf{w}_{\mathrm{f},k}\right|^{2}}{\sum_{j\in\mathcal{K},j\neq k}\left|\mathbf{h}_{\mathrm{f},k}^{\dagger}\mathbf{w}_{\mathrm{f},j}\right|^{2}+\sum_{l\in\mathcal{L}}\left|\mathbf{h}_{\mathrm{m},k}^{\dagger}\mathbf{w}_{\mathrm{m},l}\right|^{2}+\sigma_{\mathrm{f},k}^{2}}$$

[0041] 모든 매크로셀 유저(20a, 20b, 20c) 및 홈 유저(10a, 10b)에서 선형 MMSE(minimum mean square error) 필터를 이용하는 경우, 매크로셀 유저(MU_l)에 대한 MSE는 SINR과 수학식 7과 같은 관계가 있다.

수학식 7

[0042]
$$\mathrm{MSE}_{\mathrm{m},l}\left(\mathbf{W}_{\mathrm{m}},\mathbf{W}_{\mathrm{f}}\right)=\frac{1}{1+\mathrm{SINR}_{\mathrm{m},l}\left(\mathbf{W}_{\mathrm{m}},\mathbf{W}_{\mathrm{f}}\right)}$$

[0043] 또한, 홈 유저(HU_k)에서, MSE는 SINR과 수학식 8과 같은 관계가 있다.

수학식 8

[0044]
$$\mathrm{MSE}_{\mathrm{f},k}\left(\mathbf{W}_{\mathrm{m}},\mathbf{W}_{\mathrm{f}}\right)=\frac{1}{1+\mathrm{SINR}_{\mathrm{f},k}\left(\mathbf{W}_{\mathrm{m}},\mathbf{W}_{\mathrm{f}}\right)}$$

[0045] MSE 측정값은, 각 개별 송신 정보 시퀀스가 각 수신기, 즉, 매크로셀 유저(20a, 20b, 20c) 및 홈 유저(10a, 10b)에서 얼마나 정확하게 복원될 수 있는지를 나타낸다. 일 실시예에 따르면, QoS(Qiality of Service) 척도로서 수학식 7 및 수학식 8의 MSE를 이용하여 빔형성 계수 최적화 문제를 공식화할 수 있다.

[0046] 매크로셀 유저(MU_l)의 SLNR은 수학식 9와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 9

[0047]
$$\mathrm{SLNR}_{\mathrm{m},l}\left(\mathbf{W}_{\mathrm{m}}\right)=\frac{\left|\mathbf{g}_{\mathrm{m},l}^{\mathrm{T}}\mathbf{w}_{\mathrm{m},l}\right|^{2}}{\sum_{j\in\mathcal{L},j\neq l}\left|\mathbf{g}_{\mathrm{m},j}^{\dagger}\mathbf{w}_{\mathrm{m},l}\right|^{2}+\sum_{k\in\mathcal{K}}\left|\mathbf{h}_{\mathrm{m},k}^{\dagger}\mathbf{w}_{\mathrm{m},l}\right|^{2}+\sigma_{\mathrm{m},l}^{2}}$$

[0048] 홈 유저(HU_k)의 SLNR은 수학식 10과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 10

[0049]
$$\mathrm{SLNR}_{\mathrm{f},k}\left(\mathbf{W}_{\mathrm{f}}\right)=\frac{\left|\mathbf{h}_{\mathrm{f},k}^{\dagger}\mathbf{w}_{\mathrm{f},k}\right|^{2}}{\sum_{j\in\mathcal{K},j\neq k}\left|\mathbf{h}_{\mathrm{f},j}^{\dagger}\mathbf{w}_{\mathrm{f},k}\right|^{2}+\sum_{l\in\mathcal{L}}\left|\mathbf{g}_{\mathrm{f},l}^{\dagger}\mathbf{w}_{\mathrm{f},k}\right|^{2}+\sigma_{\mathrm{f},k}^{2}}$$

[0050] 매크로셀 기지국(100) 및 펨토셀 액세스 포인트(200)는 백하울 링크(50)로 연결될 수 있다.

[0051] 매크로셀 기지국(100)은 펨토셀 액세스 포인트(200)로부터 채널 상태 정보즉, 매크로셀 유저(MU_l)로의 랜덤 채널 벡터($\mathbf{g}_{\mathrm{f},l}^{\dagger}$), 펨토셀 액세스 포인트(200)로부터 홈 유저(HU_k)로의 랜덤 채널 벡터($\mathbf{h}_{\mathrm{f},k}^{\dagger}$)를 백하울 링

크(50)를 통해 수신하여, 매크로셀 기지국(100) 및 펨토셀 액세스 포인트(200) 각각의 빔형성 최적화를 수행하여, 매크로셀 기지국(100)의 빔 형성 계수($\mathbf{W}_{\mathrm{m}}$)를 계산하고, 펨토셀 액세스 포인트의 빔 형성 계수($\mathbf{W}_{\mathrm{f}}$)를 계산할 수 있다.

[0052] 다른 방법으로, 펨토셀 액세스 포인트(200)는 매크로셀 기지국(100)으로부터 채널 상태 정보, 즉, 매크로셀 기지국(100)으로부터 매크로셀 유저(MU_l)로의 랜덤 채널 벡터($\mathbf{g}_{\mathrm{m},l}^{\dagger}$), 매크로셀 기지국(100)으로부터 홈 유저(HU_k)로의 랜덤 채널 벡터($\mathbf{h}_{\mathrm{m},k}^{\dagger}$)를 수신하여, 매크로셀 기지국(100) 및 펨토셀 액세스 포인트(200) 각각의 빔형성 최적화를 수행하여, 매크로셀 기지국(100)의 빔 형성 계수($\mathbf{W}_{\mathrm{m}}$)를 계산하고, 펨토셀 액세스 포인트(200)의 빔 형성 계수($\mathbf{W}_{\mathrm{f}}$)를 계산할 수 있다.

[0053] 그러나, 매크로셀 기지국(100)은, 백하울 링크(50)를 통해서, 매크로셀 기지국(100)은 펨토셀 액세스 포인트(200)로부터 매크로셀 유저(MU_l)로의 랜덤 채널 벡터($\mathbf{g}_{\mathrm{f},l}^{\dagger}$), 펨토셀 액세스 포인트(200)로부터 홈 유저(HU_k)로의 랜덤 채널 벡터($\mathbf{h}_{\mathrm{f},k}^{\dagger}$)를 백하울 링크(50)를 통해 수신하여야 하는 제약이 있다. 또한, 펨토셀 액세스 포인트(200)는 매크로셀 기지국(100)으로부터 매크로셀 유저(MU_l)로의 랜덤 채널 벡터($\mathbf{g}_{\mathrm{m},l}^{\dagger}$), 매크로셀 기지국(100)으로부터 홈 유저(HU_k)로의 랜덤 채널 벡터($\mathbf{h}_{\mathrm{m},k}^{\dagger}$)를 수신하여야 하는 제약이 있다.

[0054] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 매크로셀 기지국(100)은 자신이 측정한 또는 알고 있는 채널 상태 정보, 매크로셀 기지국(100)으로부터 매크로셀 유저(MU_l)로의 랜덤 채널 벡터($\mathbf{g}_{\mathrm{m},l}^{\dagger}$), 매크로셀 기지국(100)으로부터 홈 유저(HU_k)로의 랜덤 채널 벡터($\mathbf{h}_{\mathrm{m},k}^{\dagger}$)를 이용하여, 매크로셀 기지국(100)에 대한 정규화된 빔형성 계수 및 매크로셀 기지국(100)에 할당된 전송 전력을 최적화하여 결정할 수 있다. 그런 다음, 매크로셀 기지국(100)은 결정된 정규화된 최적 빔형성 계수 및 전송 전력을 펨토셀 액세스 포인트(200)로 전달하여 펨토셀 액세스 포인트(200)가 수신된 매크로셀 기지국(100)의 정규화된 최적 빔형성 계수 및 매크로셀 기지국(100)에 최적화된 전송 전력과, 자신의 채널 상태 정보를 이용하여 펨토셀 액세스 포인트(200)의 빔형성 계수를 최적화하여 결정할 수 있다.

[0055] 다른 방법으로, 펨토셀 액세스 포인트(200)는 자신이 측정한 또는 알고 있는 채널 상태 정보, 즉, 펨토셀 액세스 포인트(200)로부터 매크로셀 유저(MU_l)로의 랜덤 채널 벡터($\mathbf{g}_{\mathrm{f},l}^{\dagger}$), 펨토셀 액세스 포인트(200)로부터 홈 유저(HU_k)로의 랜덤 채널 벡터($\mathbf{h}_{\mathrm{f},k}^{\dagger}$)를 이용하여, 펨토셀 액세스 포인트(200)에 대한 정규화된 최적 빔형성 계수 및 펨토셀 액세스 포인트(200)에 할당된 전송 전력을 최적화하여 결정할 수 있다. 그런 다음, 펨토셀 액세스 포인트(200)는 결정된 정규화된 최적 빔형성 계수 및 펨토셀 액세스 포인트(200)에 최적화된 전송 전력을 매크로셀 기지국(100)으로 전달하여, 매크로셀 기지국(100)은 수신된 펨토셀 액세스 포인트(200)에 대한 결정된 정규화된 최적 빔형성 계수 및 펨토셀 액세스 포인트(200)에 최적화된 전송 전력과, 자신의 채널 상태 정보를 이용하여, 매크로셀 기지국(100)의 빔형성 계수를 최적화할 수 있다.

[0056] 이와 같은 방법에 의하면, 전술한, 매크로셀 기지국(100)으로부터 펨토셀 액세스 포인트(200)로 그리고 펨토셀 액세스 포인트(200)로부터 매크로셀 기지국(100)으로 백하울 링크(50)를 통해 각각 채널 상태 정보를 전달하는 경우에 비하여, 백하울 링크(50)를 통해 전달되는 데이터량을 줄일 수 있다.

[0057] 이하에서는, 설명의 편의를 위해서, 매크로셀 기지국(100)은 자신이 측정한 또는 알고 있는 채널 상태 정보를 이용하여, 매크로셀 기지국(100)에 대한 정규화된 최적 빔형성 계수 및 매크로셀 기지국(100)에 할당된 전송 전력을 최적화하여 결정하고, 펨토셀 액세스 포인트(200)가 수신된 매크로셀 기지국(100)에 대한 정규화된 최적 빔형성 계수 및 최적화된 전송 전력과, 자신의 채널 상태 정보를 이용하여 펨토셀 액세스 포인트(200)의 빔형성 계수를 최적화하여 결정하는 동작을 중심으로 설명한다.

[0058] 도 2를 참조하면, 매크로셀 기지국(100)은, 빔 형성부(110), 송신 어레이(120), 매크로셀 빔 형성 계수 결정부(130) 및 MBS 통신부(140)를 포함한다. 정보 신호($S_{m,1}$)은 매크로셀 유저(MU_1)로 전송될 신호를 나타내고, 정보 신호($S_{m,2}$)는 매크로 셀 유저(MU_2)로 전송될 신호를 나타내고, 정보 신호($S_{m,L}$)는 매크로셀 유저(MU_L)로 전송될 신호를 나타낸다.

[0059] 빔 형성부(110)는 매크로셀 기지국(100)의 안테나의 빔형성 계수($\mathbf{W}_m$)를 이용하여, 매크로셀 유저(MU_L)에 대한 정보 신호($S_{m,L}$)를 가중하고, 합성하여 각 매크로셀 유저(MU_L)로 전송한다. 빔형성 계수($\mathbf{W}_m$)는 매크로셀 기지국(100)의 안테나 벡터에 대응한다. 여기에서, $\mathbf{W}_m = [\mathbf{w}_{m,1}\ \mathbf{w}_{m,2}\ \cdots\ \mathbf{w}_{m,l}]$ 이다.

[0060] 송신 어레이(120)는 L개의 안테나를 포함할 수 있다.

[0061] 매크로셀 빔 형성 계수 결정부(130)는 빔 형성부(110)에서 이용할 빔 형성 계수($\mathbf{W}_m$)를 결정하여, 빔 형성부(110)에 설정한다.

[0062] 매크로셀 빔형성 계수 결정부(130)는 복수의 매크로셀 유저에 대한 SLNR(signal-to-leakage-plus-noise ratio)이 최대화되도록 매크로셀 기지국(100)에 대한 정규화된 최적 빔형성 계수(u_m)를 결정할 수 있다. 매크로셀 빔형성 계수 결정부(130)는 매크로셀 기지국(100)에 의한 복수의 매크로셀 유저에 대한 서비스 품질을 나타내는 제1 MSE(mean square error)를 제약 조건으로 이용하여 매크로셀 기지국(100)에 할당된 전송 전력(α_m)을 최적화할 수 있다. 매크로셀 빔형성 계수 결정부(130)는 매크로셀 기지국(100)에 할당된 전송 전력(α_m)을 최적화하기 위하여 컨벡스 최적화(convex optimization) 알고리즘을 이용할 수 있다.

[0063] 매크로셀 빔형성 계수 결정부(130)는, 정규화된 최적 빔형성 계수(u_m) 및 최적화된 전송 전력(α_m)을 이용하여 매크로셀 기지국(100)의 빔형성 계수(W_m)를 결정할 수 있다. 매크로셀 빔형성 계수 결정부(130)는 최적화된 전송 전력(α_m)에 제곱근을 취한 값과 결정된 빔형성 계수(u_m)을 곱하여, 매크로셀 기지국(100)의 빔형성 계수(W_m)를 결정할 수 있다.

[0064] 빔 형성부(110)는 결정된 빔형성 계수(W_m)를 이용하여 각 매크로셀 유저로 전송할 정보 신호에 대한 빔 형성을 수행한다.

[0065] MBS 통신부(140)는 펨토셀 액세스 포인트(200)가 결정된 빔형성 계수(u_m) 및 최적화된 전송 전력(α_m)을 이용하여 펨토셀 액세스 포인트(200)에 대한 빔형성 계수를 결정하도록, 결정된 빔형성 계수(u_m) 및 최적화된 전송 전력(α_m)을 백하울 링크를 통해 펨토셀 액세스 포인트(200)로 전송할 수 있다. MBS 통신부(140)는, 매크로셀 기지국(100)에서 알고 있는 매크로셀 기지국(100)으로부터 펨토셀 액세스 포인트(200)에 의해 형성되는 펨토셀 네트워크에 존재하는 복수의 제2 홈 유저로의 채널 상태 정보($h_{m,k}$)를 펨토셀 액세스 포인트에 더 전송할 수 있다.

[0066] 한편, 펨토셀 액세스 포인트(200)는, 빔 형성부(210), 송신 어레이(220), 펨토셀 빔 형성 계수 결정부(230) 및 FAP 통신부(240)를 포함한다. 정보 신호($S_{f,1}$)는 홈 유저(HU_1)로 전송될 신호를 나타내고, 정보 신호($S_{f,2}$)는 홈 유저(HU_2)로 전송될 신호를 나타내고, 정보 신호($S_{f,K}$)는 홈 유저(HU_K)로 전송될 신호를 나타낸다.

[0067] 빔 형성부(210)는 펨토셀 액세스 포인트(200)의 안테나 벡터($\mathbf{W}_f$)를 이용하여, 홈 유저(HU_K)에 대한 정보

신호($S_{f,K}$)를 가중하고, 합성하여 각 홈 유저(HU_K)로 전송한다. 안테나 벡터($\mathbf{W_f}$)는 빔 형성 계수를 나타낸다. 여기에서, $\mathbf{W_f} = [\mathbf{w}_{f,1}\ \mathbf{w}_{f,2}\ \cdots\ \mathbf{w}_{f,k}]$ 이다.

[0068] 송신 어레이(220)는 K개의 안테나를 포함할 수 있다.

[0069] FAP 통신부(240)는 매크로셀 기지국(100)의 MBS 통신부(140)와 백하울 링크(도 1의 50)를 통해 통신을 수행하도록 구성된다.

[0070] 펨토셀 빔 형성 계수 결정부(230)는 빔 형성부(210)에서 이용할 빔 형성 계수($\mathbf{W_f}$)를 결정하여, 빔 형성부(210)에 설정한다.

[0071] FAP 통신부(240)는 매크로셀 기지국(100)에 대한 정규화된 최적 빔형성 계수(u_m) 및 매크로셀 기지국(100)에 최적화된 전송 전력(α_m)을 백하울 링크를 통해 매크로셀 기지국(100)으로부터 수신한다.

[0072] 펨토셀 빔형성 계수 결정부(230)는 펨토셀 액세스 포인트(200)에 의해 형성되는 펨토셀 네트워크에 존재하는 복수의 홈 유저에 대한 SLNR이 최대화되도록 펨토셀 액세스 포인트(200)에 대한 정규화된 최적 빔형성 계수(u_f)를 결정한다. 펨토셀 빔형성 계수 결정부(230)는 수신된 빔형성 계수(u_m) 및 수신된 전송 전력(α_m)과, 결정된 정규화된 최적 빔형성 계수(u_f)를 이용하고, 매크로셀 기지국(100) 및 펨토셀 액세스 포인트(200)에 의한 복수의 홈 유저에 대한 서비스 품질을 나타내는 제2 MSE(mean square error)를 제약 조건으로 하여, 펨토셀 액세스 포인트(200)에 대한 전송 전력(α_f)을 최적화할 수 있다. 펨토셀 빔형성 계수 결정부(230)는, 펨토셀 액세스 포인트(200)에 대한 전송 전력(α_f)을 최적화하기 위하여 컨벡스 최적화(convex optimization) 알고리즘을 이용할 수 있다.

[0073] 펨토셀 빔형성 계수 결정부(230)는, 정규화된 최적 빔형성 계수(u_f) 및 최적화된 전송 전력(α_f)을 이용하여 펨토셀 액세스 포인트(200)의 빔형성 계수(W_f)를 결정한다. 펨토셀 빔형성 계수 결정부(230)는, 최적화된 전송 전력(α_f)에 제곱근을 취한 값과 결정된 빔형성 계수(u_f)을 곱하여, 매크로셀 기지국(100)의 빔형성 계수(W_f)를 결정할 수 있다.

[0074] 빔 형성부(210)는 결정된 빔형성 계수(W_f)를 이용하여 각 홈 유저로 전송할 정보 신호에 대한 빔 형성을 수행한다.

[0075] 도 3은 도 2의 매크로셀 빔형성 계수 결정부의 구성의 일 예를 나타내는 도면이다. 도 4는 도 2의 펨토셀 빔형성 계수 결정부의 구성의 일 예를 나타내는 도면이다.

[0076] 매크로셀 빔 형성 계수 결정부(130)는, 전송 전력 최소화부(132), 서비스 품질 밸런싱부(134) 및 간섭 최소화부(136)를 포함할 수 있다. 펨토셀 빔 형성 계수 결정부(230)는, 전송 전력 최소화부(232), 서비스 품질 밸런싱부(234) 및 간섭 최소화부(236)를 포함할 수 있다.

[0077] 이하에서는, 도 3 및 도 4를 참조하여, 2계층 네트워크 시스템의 빔형성 과정에 대하여 설명한다.

[0078] 매크로셀 기지국(100) 및 펨토셀 액세스 포인트(200)는 서로 최소의 정보를 교환하면서 국부적으로 최적화 문제를 풀 수 있다. 이는 준-비집중화(semi-decentralized) 설계라고 할 수 있다.

[0079] $\mathbf{w}_{m,l} = \sqrt{\alpha_{m,l}}\mathbf{u}_{m,l}$ 및 $\mathbf{w}_{f,k} = \sqrt{\alpha_{f,k}}\mathbf{u}_{f,k}$ 로 둘 수 있다. 여기에서, $\alpha_{m,l}$ 및 $\alpha_{f,k}$ 은 각각 매크로셀 유저(MU_l) 및 홈 유저(HU_k)에 할당된 전송 전력을 나타낸다. $\mathbf{u}_{m,l} \in \mathbb{C}^{N_m \times 1}$ 는 매크로셀 유저(MU_l)에 대한 정규화된 송신 빔형성 벡터를 나타내고, $\mathbf{u}_{f,k} \in \mathbb{C}^{N_f \times 1}$ 는 홈 유저(HU_k)에 대한 정규환된 송신 빔형성 벡터를 나타낸다. $\|\mathbf{u}_{m,l}\|^2 = \|\mathbf{u}_{f,k}\|^2 = 1$ 가 성립된다.

[0080] 매크로셀 기지국(100)의 매크로셀 빔형성 계수 결정부(130)는 매크로셀 기지국(100)에 의해 형성되는 매크로셀 네트워크에 존재하는 복수의 매크로셀 유저(MU_l)에 대한 SLNR(signal-to-leakage-plus-noise ratio)이 최대화되도록 매크로셀 기지국(100)에 대한 정규화된 최적 빔형성 계수($\mathbf{u}_{\mathrm{m},l}$)를 결정할 수 있다. 이는 수학식 11과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 11

[0081]
$$\mathbf{u}_{\mathrm{m},l}^{\star} = \arg \max_{\|\mathbf{u}_{\mathrm{m},l}\|^2=1} \mathrm{SLNR}_{\mathrm{m},l}(\mathbf{W}_{\mathrm{m}})$$
$$= \boldsymbol{\lambda}_{\mathrm{gmax}}\left(\mathbf{G}_{\mathrm{m},l}, \frac{\sigma_{\mathrm{m},l}^2}{N_{\mathrm{m}}}\mathbf{I} + \sum_{j\in\mathcal{L}, j\neq l}\mathbf{G}_{\mathrm{m},j} + \sum_{k\in\mathcal{K}}\mathbf{H}_{\mathrm{m},k}\right)$$

[0082] 펨토셀 액세스 포인트(200)의 펨토셀 빔형성 계수 결정부(230)는 펨토셀 액세스 포인트(200)에 의해 형성되는 펨토셀 네트워크에 존재하는 복수의 홈 유저에 대한 SLNR이 최대화되도록 펨토셀 액세스 포인트(200)에 대한 정규화된 최적 빔형성 계수(u_f)를 결정할 수 있다. 홈 유저(HU_k)에 대한 정규화된 송신 빔형성 벡터($\mathbf{u}_{\mathrm{f},k}$)는 각각의 SLNR을 최대화하도록 선택될 수 있다. 이는 수학식 12와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 12

[0083]
$$\mathbf{u}_{\mathrm{f},k}^{\star} = \arg \max_{\|\mathbf{u}_{\mathrm{f},k}\|^2=1} \mathrm{SLNR}_{\mathrm{f},k}(\mathbf{W}_{\mathrm{f}})$$
$$= \boldsymbol{\lambda}_{\mathrm{gmax}}\left(\mathbf{H}_{\mathrm{f},k}, \frac{\sigma_{\mathrm{f},k}^2}{N_{\mathrm{f}}}\mathbf{I} + \sum_{j\in\mathcal{K}, j\neq k}\mathbf{H}_{\mathrm{f},j} + \sum_{l\in\mathcal{L}}\mathbf{G}_{\mathrm{f},l}\right)$$

[0084] 여기에서, $\mathbf{G}_{\mathrm{m},l} = \mathbf{g}_{\mathrm{m},l}\mathbf{g}_{\mathrm{m},l}^{\dagger}$,

[0085] $\mathbf{G}_{\mathrm{f},l} = \mathbf{g}_{\mathrm{f},l}\mathbf{g}_{\mathrm{f},l}^{\dagger}$, $\mathbf{H}_{\mathrm{m},k} = \mathbf{h}_{\mathrm{m},k}\mathbf{h}_{\mathrm{m},k}^{\dagger}$, $\mathbf{H}_{\mathrm{f},k} = \mathbf{h}_{\mathrm{f},k}\mathbf{h}_{\mathrm{f},k}^{\dagger}$ 이고,

[0086] $\boldsymbol{\lambda}_{\mathrm{gmax}}(\mathbf{A},\mathbf{B})$ 는, 가장 큰 일반화된 고유값(eigenvalue)에 대응하는 매트릭스 쌍 $(\mathbf{A},\mathbf{B})$의 단위 놈 우세 일반화된 고유 벡터(unit-norm dominant generalized eigenvector)이다.

[0087] 다음으로, 특정 최적화 문제 공식에 따른 매크로셀 기지국(100) 및 펨토셀 액세스 포인트(200)에 대한 파워 할당 $\boldsymbol{\alpha}_{\mathrm{m}} = [\alpha_{\mathrm{m},1} \;\; \alpha_{\mathrm{m},2} \;\; \cdots \;\; \alpha_{\mathrm{m},l}]^T$ 및 $\boldsymbol{\alpha}_{\mathrm{f}} = [\alpha_{\mathrm{f},1} \;\; \alpha_{\mathrm{f},2} \;\; \cdots \;\; \alpha_{\mathrm{f},k}]^T$를 결정할 필요가 있다. 설명의 편의를 위하여, $\mathbf{U}_{\mathrm{m}}^{\star} = [\mathbf{u}_{\mathrm{m},1}^{\star} \;\; \mathbf{u}_{\mathrm{m},2}^{\star} \;\; \cdots \;\; \mathbf{u}_{\mathrm{m},l}^{\star}]$ 및 $\mathbf{U}_{\mathrm{f}}^{\star} = [\mathbf{u}_{\mathrm{f},1}^{\star} \;\; \mathbf{u}_{\mathrm{f},2}^{\star} \;\; \cdots \;\; \mathbf{u}_{\mathrm{f},k}^{\star}]$로 둔다.

[0088] A. 전송 전력 최소화 문제

[0089] 네트워크 수명에 직접 관련된 무선 통신에서 송신 전력은 중요한 자원이므로, 시스템 레벨 관점에서 QoS 제약 조건을 유지하면서 평균 송신 전력을 최소화하는 것은 중요하다. 또한, 무선 오염(radio pollution), 글로벌 CO_2 방출, 및 온실 효과(greenhouse effect)로 인한 평균 송신 전력을 제한하려는 추세가 증가하고 있다.

[0090] 매크로셀 빔 형성 계수 결정부(130)의 전송 전력 최소화부(132)는 펨토셀 네트워크로부터의 최대 허용가능한

간섭 상황의, 각 매크로셀 유저의 MSE 제약 하에서, 매크로셀 기지국(100)에 대한 최적 전력 할당 문제를 풀 수 있다.

[0091] 전송 전력 최소화부(132)는 매크로셀 기지국(100)이 매크로셀 기지국(100)에 할당된 전송 전력(α_m)을 최소화하도록 전송 전력(α_m)을 최적화할 수 있다.

[0092] 전송 전력 최소화부(132)는 매크로셀 기지국(100)에 의한 복수의 매크로셀 유저에 대한 서비스 품질을 나타내는 제1 MSE(즉, $MSE_{m,l}(W_m)$)가 제1 임계값($\varepsilon_{m,l}$) 이하인 것을 제약 조건으로 할 수 있다. 이 제약 조건($MSE_{m,l}(W_m) \leq \varepsilon_{m,l}$)을 풀면 수학식 13의 s.t.로 나타낼 수 있다.

수학식 13

[0093]
$$\mathcal{P}_{\mathrm{tp}}^{(1)}\left(\mathbf{U}_{\mathrm{m}}^{\star}\right): \begin{cases} \min\limits_{\boldsymbol{\alpha}_{\mathrm{m}}} & \mathbf{1}^{T}\boldsymbol{\alpha}_{\mathrm{m}} \\ \text{s.t.} & \frac{\alpha_{\mathrm{m},l}|\mathbf{g}_{\mathrm{m},l}^{\dagger}\mathbf{u}_{\mathrm{m},l}^{\star}|^{2}}{\sum_{j\in\mathcal{L},j\neq l}\alpha_{\mathrm{m},j}|\mathbf{g}_{\mathrm{m},l}^{\dagger}\mathbf{u}_{\mathrm{m},j}^{\star}|^{2}+P_{\mathrm{int},l}+\sigma_{\mathrm{m},l}^{2}} \geq \left(\frac{1}{\varepsilon_{\mathrm{m},l}}-1\right), \quad \forall l \in \mathcal{L} \end{cases}$$

[0094] $P_{\mathrm{int},l}$ 는, 펨토셀 네트워크 간섭에 대한 매크로셀 유저(MU_l)에서 최대 허용가능 레벨 간섭을 나타낸다. $\boldsymbol{\alpha}_{\mathrm{m}}^{\star}$ 는, $\mathcal{P}_{\mathrm{tp}}^{(1)}\left(\mathbf{U}_{\mathrm{m}}^{\star}\right)$ 의 최선의 해법이라고 하면,전송 전력 최소화부(132)는 다음과 같은 수학식 14를 이용하여, 최적의 전송 전력 값 $\boldsymbol{\alpha}_{\mathrm{m}}^{\star}$ 을 결정할 수 있다.

수학식 14

[0095]
$$\boldsymbol{\alpha}_{\mathrm{m}}^{\star}=\left(\mathbf{I}-\mathbf{D}\left(\mathbf{U}_{\mathrm{m}}^{\star},\boldsymbol{\varepsilon}_{\mathrm{m}}\right)\mathbf{F}\left(\mathbf{U}_{\mathrm{m}}^{\star}\right)\right)^{-1}\mathbf{v}\left(\mathbf{U}_{\mathrm{m}}^{\star},\mathbf{P}_{\mathrm{int}}\right)$$

[0096] 여기에서, $\boldsymbol{\varepsilon}_{\mathrm{m}}=\left[\varepsilon_{\mathrm{m},1}\ \ \varepsilon_{\mathrm{m},2}\ \ \cdots\ \ \varepsilon_{\mathrm{m},l}\right]^{T}$ 이고, $\mathbf{P}_{\mathrm{int}}=\left[P_{\mathrm{int},1}\ \ P_{\mathrm{int},2}\ \ \cdots\ \ P_{\mathrm{int},L}\right]^{T}$ 이고, $\mathbf{D}\left(\mathbf{U}_{\mathrm{m}}^{\star},\boldsymbol{\varepsilon}_{\mathrm{m}}\right)\in\mathbb{R}_{+}^{L\times L}$ 이고, $\mathbf{v}\left(\mathbf{U}_{\mathrm{m}}^{\star},\mathbf{P}_{\mathrm{int}}\right)\in\mathbb{R}_{+}^{L\times 1}$ 이고, $\mathbf{F}\left(\mathbf{U}_{\mathrm{m}}^{\star}\right)\in\mathbb{R}_{+}^{L\times L}$ 이다. $\mathbf{F}\left(\mathbf{U}_{\mathrm{m}}^{\star}\right)\in\mathbb{R}_{+}^{L\times L}$ 의 (l,j) 번째 엔트리는 $F_{lj}(\mathbf{U}_{\mathrm{m}}^{\star})=\begin{cases}0, & l=j\\ |\mathbf{g}_{\mathrm{m},l}^{\dagger}\mathbf{u}_{\mathrm{m},j}^{\star}|^{2}, & l\neq j\end{cases}$ 와 같이 주어질 수 있다.

[0097] 여기에서, $\mathbf{D}(\mathbf{U}_{\mathrm{m}}^{\star},\boldsymbol{\varepsilon}_{\mathrm{m}})=\mathrm{diag}\left(\frac{1/\varepsilon_{\mathrm{m},1}-1}{|\mathbf{g}_{\mathrm{m},1}^{\dagger}\mathbf{u}_{\mathrm{m},1}^{\star}|^{2}},\frac{1/\varepsilon_{\mathrm{m},2}-1}{|\mathbf{g}_{\mathrm{m},2}^{\dagger}\mathbf{u}_{\mathrm{m},2}^{\star}|^{2}},\ldots,\frac{1/\varepsilon_{\mathrm{m},l}-1}{|\mathbf{g}_{\mathrm{m},l}^{\dagger}\mathbf{u}_{\mathrm{m},l}^{\star}|^{2}}\right)$ 이고,

[0098] $\mathbf{v}(\mathbf{U}_{\mathrm{m}}^{\star},\mathbf{P}_{\mathrm{int}})=\mathbf{D}(\mathbf{U}_{\mathrm{m}}^{\star},\boldsymbol{\varepsilon}_{\mathrm{m}})\left[P_{\mathrm{int},1}+\sigma_{\mathrm{m},1}^{2}\ \ P_{\mathrm{int},2}+\sigma_{\mathrm{m},2}^{2}\ \ \cdots\ \ P_{\mathrm{int},L}+\sigma_{\mathrm{m},l}^{2}\right]^{T}$ 이다.

[0099] 그러면, 도 4의 펨토셀 빔형성 계수 결정부(230)의 전송 전력 최소화부(232)는 획득된 $\boldsymbol{\alpha}_{\mathrm{m}}^{\star}$ 를 이용하여, $\boldsymbol{\alpha}_{\mathrm{f}}$ 를 다음의 식으로 결정할 수 있다. 전송 전력 최소화부(232)는, 전송 전력 최소화되도록, 펨토셀 액세스

포인트(200)에 대한 전송 전력(α_f)를 최적화할 수 있다.

[0100] 상세하게는, 전송 전력 최소화부(232)는 수신된 빔형성 계수(u_m) 및 수신된 전송 전력(α_m)을 이용하여, 매크로셀 기지국(100) 및 펨토셀 액세스 포인트(200)에 의한 복수의 홈 유저($HU_{f,k}$)에 대한 서비스 품질을 나타내는 제2 MSE(mean square error)를 제약 조건으로 하여, 펨토셀 액세스 포인트(200)에 대한 전송 전력(α_f)을 최적화하고, 정규화된 최적 빔형성 계수(u_f) 및 최적화된 전송 전력(α_f)을 이용하여 펨토셀 액세스 포인트(200)의 빔형성 계수(W_f)를 결정할 수 있다. 제2 MSE에 대한 제약 조건은, 제2 MSE($MSE_{f,k}(U_m, U_f)$)가 임계값($\varepsilon_{f,k}$) 이하인 것일 수 있다. 즉, $MSE_{f,k}(U_m, U_f) \leq \varepsilon_{f,k}$. 또한, 펨토셀 액세스 포인트(200)에 대한 전송 전력(α_f)를 최적화하기 위하여, 펨토셀 액세스 포인트(200)에 의해서 각 매크로셀 유저(MU_L)에서 발생될 수 있는 총 간섭 신호량을 미리 정의된 허용 간섭량(Pint,l) 이하가 되도록 하는 추가적인 제약 조건이 이용될 수 있다.

[0101] 이는 아래와 같이 수학식 15로 나타낼 수 있다.

수학식 15

$$\mathcal{P}_{\mathrm{tp}}^{(2)}(\mathbf{U}_{\mathrm{m}}^{\star}, \mathbf{U}_{\mathrm{f}}^{\star}, \boldsymbol{\alpha}_{\mathrm{m}}^{\star}): \begin{cases} \min\limits_{\boldsymbol{\alpha}_{\mathrm{f}}} & 1^{T}\boldsymbol{\alpha}_{\mathrm{f}} \\ \text{s.t.} & \dfrac{\alpha_{\mathrm{f},k}|\mathbf{h}_{\mathrm{f},k}^{\dagger}\mathbf{u}_{\mathrm{f},k}^{\star}|^{2}}{\sum_{j\in\mathcal{K},j\neq k}\alpha_{\mathrm{f},j}|\mathbf{h}_{\mathrm{f},k}^{\dagger}\mathbf{u}_{\mathrm{f},j}^{\star}|^{2}+\sum_{l\in\mathcal{L}}\alpha_{\mathrm{m},l}^{\star}|\mathbf{h}_{\mathrm{m},k}^{\dagger}\mathbf{u}_{\mathrm{m},l}^{\star}|^{2}+\sigma_{\mathrm{f},k}^{2}} \geq \left(\frac{1}{\varepsilon_{\mathrm{f},k}}-1\right), \quad \forall k \in \mathcal{K} \\ & \sum_{k\in\mathcal{K}}\alpha_{\mathrm{f},k}|\mathbf{g}_{\mathrm{f},l}^{\dagger}\mathbf{u}_{\mathrm{f},k}^{\star}|^{2} \leq P_{\mathrm{int},l}, \quad \forall l \in \mathcal{L} \end{cases}$$

[0102]

[0103] B. MSE 밸런싱 문제

[0104] 도 3의 서비스 품질 밸런싱부(134)는 $\mathbf{U}_{\mathrm{m}}^{\star}$ 를 이용하여, 우선 $\boldsymbol{\alpha}_{\mathrm{m}}$ 를 결정한다. 서비스 품질 밸런싱부(134)는 전송 전력 최소화부(132)와 동일한 방식으로 전송 전력($\boldsymbol{\alpha}_{\mathrm{m}}$)를 결정할 수 있다. 이는 수학식 16과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 16

$$\mathcal{P}_{\mathrm{mse}}^{(1)}(\mathbf{U}_{\mathrm{m}}^{\star}): \begin{cases} \min\limits_{\boldsymbol{\alpha}_{\mathrm{m}}} & 1^{T}\boldsymbol{\alpha}_{\mathrm{m}} \\ \text{s.t.} & \dfrac{\alpha_{\mathrm{m},l}|\mathbf{g}_{\mathrm{m},l}^{\dagger}\mathbf{u}_{\mathrm{m},l}^{\star}|^{2}}{\sum_{j\in\mathcal{L},j\neq l}\alpha_{\mathrm{m},j}|\mathbf{g}_{\mathrm{m},l}^{\dagger}\mathbf{u}_{\mathrm{m},j}^{\star}|^{2}+P_{\mathrm{int},l}+\sigma_{\mathrm{m},l}^{2}} \geq \left(\frac{1}{\varepsilon_{\mathrm{m},l}}-1\right), \quad \forall l \in \mathcal{L} \end{cases}$$

[0105]

[0106] 여기에서, $\boldsymbol{\alpha}_{\mathrm{m}}^{\star}$ 가 위에서와 같이 계산될 수 있다.

[0107] 그러면, 도 4의 서비스 품질 밸런싱부(234)는 펨토셀 액세스 포인트(200)에 대한 전송 전력($\boldsymbol{\alpha}_{\mathrm{f}}$)는 다음과 같은 수학식 17을 이용하여 계산될 수 있다. 서비스 품질 밸런싱부(234)는 수신된 빔형성 계수(u_m) 및 수신된 전송 전력(α_m)과, 빔형성 계수(u_f)를 이용하여, 매크로셀 기지국(100) 및 펨토셀 액세스 포인트(200)에 의한 복수의 홈 유저에 대한 서비스 품질을 나타내는 제2 MSE(mean square error)를 제약 조건으로 하여, 펨토셀 액세스 포인트(200)에 대한 전송 전력(α_f)을 최적화할 수 있다.

[0108] 서비스 품질 밸런싱부(234)는, 매크로셀 기지국(100) 및 펨토셀 액세스 포인트(200)에 의한 복수의 홈 유저에 대한 서비스 품질을 나타내는 제2 MSE($MSE_{f,k}(U_m, U_f)$)가 밸런싱되도록, 펨토셀 액세스 포인트(200)에 대한 전송 전력(α_f)을 최적화할 수 있다. 또한, 펨토셀 액세스 포인트(200)에 대한 전송 전력(α_f)를 최적화하기 위하여, 펨토셀 액세스 포인트(200)에 의해서 각 매크로셀 유저(MU_L)에서 발생될 수 있는 총 간섭 신호량을 미

리 정의된 허용 간섭량(Pint,l) 이하가 되도록 하는 추가적인 제약 조건이 이용될 수 있다. 이는 수학식 17과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 17

[0109]
$$\mathcal{P}^{(2)}_{\text{mse}}(\mathbf{U}^{\star}_{\text{m}}, \mathbf{U}^{\star}_{\text{f}}, \boldsymbol{\alpha}^{\star}_{\text{m}}) : \begin{cases} \min\limits_{\boldsymbol{\alpha}_{\text{f}}} & \max_{k\in\mathcal{K}} \varepsilon_{\text{f},k}^{-1}\text{MSE}_{\text{f},k}(\mathbf{U}^{\star}_{\text{m}}, \mathbf{U}^{\star}_{\text{f}}) \\ \text{s.t.} & \mathbf{1}^{T}\boldsymbol{\alpha}_{\text{f}} \le P_{\max,\text{f}} \\ & \sum_{k\in\mathcal{K}} \alpha_{\text{f},k}|\mathbf{g}^{\dagger}_{\text{f},l}\mathbf{u}^{\star}_{\text{f},k}|^2 \le P_{\text{int},l}, \quad \forall l \in \mathcal{L}. \end{cases}$$

[0110] 수학식 17에서 가중치($\varepsilon_{f,k}$)는 각 홈 유저의 서비스 요구 사항에 따라 다르게 정의될 수 있다. 위의 $\mathcal{P}^{(2)}_{\text{mse}}(\mathbf{U}^{\star}_{\text{m}}, \mathbf{U}^{\star}_{\text{f}}, \boldsymbol{\alpha}^{\star}_{\text{m}})$ 식은 수학식 18과 같이 표현될 수 있다.

수학식 18

[0111]
$$\mathcal{P}^{(2)}_{\text{mse}}(\mathbf{U}^{\star}_{\text{m}}, \mathbf{U}^{\star}_{\text{f}}, \boldsymbol{\alpha}^{\star}_{\text{m}}) : \begin{cases} \min\limits_{\boldsymbol{\alpha}_{\text{f}},\tau} & \tau \\ \text{s.t.} & \text{MSE}_{\text{f},k}(\mathbf{U}^{\star}_{\text{m}}, \mathbf{U}^{\star}_{\text{f}}) \le \tau\varepsilon_{\text{f},k} \\ & \mathbf{1}^{T}\boldsymbol{\alpha}_{\text{f}} \le P_{\max,\text{f}} \\ & \sum_{k\in\mathcal{K}} \alpha_{\text{f},k}|\mathbf{g}^{\dagger}_{\text{f},l}\mathbf{u}^{\star}_{\text{f},k}|^2 \le P_{\text{int},l}, \quad \forall l \in \mathcal{L} \end{cases}$$

[0112] 제2 MSE에 대한 제약 조건은, 제2 MSE($MSE_{f,k}(U_m, U_f)$)가 임계값($\varepsilon_{f,k}$) 이하인 것일 수 있다. 즉, $MSE_{f,k}(U_m, U_f) \le \tau\varepsilon_{f,k}$.

[0113] 수학식 18은 컨벡스 가능성 문제의 시퀀스(sequence of convex feasibility problem)를 통해 효율적으로 수학식 19와 같이 풀 수 있다.

수학식 19

[0114]
$$\mathcal{P}^{(2)}_{\text{mse}}(\mathbf{U}^{\star}_{\text{m}}, \mathbf{U}^{\star}_{\text{f}}, \boldsymbol{\alpha}^{\star}_{\text{m}}, \tau) : \begin{cases} \text{find} & \boldsymbol{\alpha}_{\text{f}} \\ \text{s.t.} & \dfrac{\alpha_{\text{f},k}|\mathbf{h}^{\dagger}_{\text{f},k}\mathbf{u}^{\star}_{\text{f},k}|^2}{\sum_{j\in\mathcal{K},j\neq k}\alpha_{\text{f},j}|\mathbf{h}^{\dagger}_{\text{f},k}\mathbf{u}^{\star}_{\text{f},j}|^2 + \sum_{l\in\mathcal{L}}\alpha_{\text{m},l}|\mathbf{h}^{\dagger}_{\text{m},k}\mathbf{u}^{\star}_{\text{m},l}|^2 + \sigma^2_{\text{f},k}} \ge \left(\frac{1}{\tau\varepsilon_{\text{f},k}} - 1\right), \quad \forall k \in \mathcal{K} \\ & \mathbf{1}^{T}\boldsymbol{\alpha}_{\text{f}} \le P_{\max,\text{f}} \\ & \sum_{k\in\mathcal{K}} \alpha_{\text{f},k}|\mathbf{g}^{\dagger}_{\text{f},l}\mathbf{u}^{\star}_{\text{f},k}|^2 \le P_{\text{int},l}, \quad \forall l \in \mathcal{L}. \end{cases}$$

[0115] C. 네트워크 간섭 최소화 문제.

[0116] 도 3의 간섭 최소화부(136)는 우선, 매크로셀 기지국(100)으로부터의 간섭 신호만을 고려하여, 매크로셀 기지국(100)에 의한 네트워크 간섭이 최소화되도록 전송 전력($\boldsymbol{\alpha}_{\text{m}}$)을 결정할 수 있다. 간섭 최소화부(136)는 매크로셀 기지국(100)에 의한 복수의 매크로셀 유저에 대한 서비스 품질을 나타내는 제1 MSE($MSE_{m,l}(U_m)$)이 제1 임계값($\varepsilon_{m,l}$) 이하인 것을 제약 조건으로 이용하여 매크로셀 기지국(100)에 할당된 전송 전력(α_m)을 최적화할 수 있다. 이는 수학식 20과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 20

[0117]
$$\mathcal{P}_{\mathrm{ip}}^{(1)}(\mathbf{U}_{\mathrm{m}}^{\star}):\begin{cases}\min\limits_{\boldsymbol{\alpha}_{\mathrm{m}}} & \sum_{l\in\mathcal{L}}\sum_{k\in\mathcal{K}}\alpha_{\mathrm{m},l}|\mathbf{h}_{\mathrm{m},k}^{\dagger}\mathbf{u}_{\mathrm{m},l}^{\star}|^{2} \\ \text{s.t.} & \dfrac{\alpha_{\mathrm{m},l}|\mathbf{g}_{\mathrm{m},l}^{\dagger}\mathbf{u}_{\mathrm{m},l}^{\star}|^{2}}{\sum_{j\in\mathcal{L},j\neq l}\alpha_{\mathrm{m},j}|\mathbf{g}_{\mathrm{m},l}^{\dagger}\mathbf{u}_{\mathrm{m},j}^{\star}|^{2}+P_{\mathrm{int},l}+\sigma_{\mathrm{m},l}^{2}}\geq\left(\frac{1}{\varepsilon_{\mathrm{m},l}}-1\right), \quad \forall l\in\mathcal{L} \\ & \mathbf{1}^{T}\boldsymbol{\alpha}_{\mathrm{m}}\leq P_{\max,\mathrm{m}}\end{cases}$$

[0118] 여기에서, $\boldsymbol{\alpha}_{\mathrm{m}}^{\star}$ 가 수학식 14에서와 같이 계산될 수 있다.

[0119] 도 4의 간섭 최소화부(236)는 펨토셀 액세스 포인트(200)에 의한 복수의 홈 유저로의 네트워크 간섭이 최소화되도록, 전송 전력(α_{f})을 최적화할 수 있다. 간섭 최소화부(236)는 매크로셀 기지국(100) 및 펨토셀 액세스 포인트(200)에 의한 복수의 홈 유저에 대한 서비스 품질을 나타내는 제2 MSE($\mathrm{MSE}_{\mathrm{f},k}(\mathrm{U}_{k})$)이 제2 임계값($\varepsilon_{\mathrm{f},k}$) 이하인 것을 제약 조건으로 이용하여 펨토셀 액세스 포인트(200)에 할당된 전송 전력(α_{f})을 최적화할 수 있다. 또한, 펨토셀 액세스 포인트(200)에 대한 전송 전력(α_{f})를 최적화하기 위하여, 펨토셀 액세스 포인트(200)에 의해서 각 매크로셀 유저(MU_{L})에서 발생될 수 있는 총 간섭 신호량을 미리 정의된 허용 간섭량(Pint,l) 이하가 되도록 하는 추가적인 제약 조건이 이용될 수 있다.

[0120] 전송 전력($\boldsymbol{\alpha}_{\mathrm{f}}$)은 다음의 수학식 21과 같은 단수한 선형 프로그램(LP) 식으로 계산될 수 있다.

수학식 21

[0121]
$$\mathcal{P}_{\mathrm{ip}}^{(2)}(\mathbf{U}_{\mathrm{m}}^{\star},\mathbf{U}_{\mathrm{f}}^{\star},\boldsymbol{\alpha}_{\mathrm{m}}^{\star}):\begin{cases}\min\limits_{\boldsymbol{\alpha}_{\mathrm{f}}} & \sum_{l\in\mathcal{L}}\sum_{k\in\mathcal{K}}\alpha_{\mathrm{f},k}|\mathbf{g}_{\mathrm{m},l}^{\dagger}\mathbf{u}_{\mathrm{f},k}^{\star}|^{2} \\ \text{s.t.} & \dfrac{\alpha_{\mathrm{f},k}|\mathbf{h}_{\mathrm{f},k}^{\dagger}\mathbf{u}_{\mathrm{f},k}^{\star}|^{2}}{\sum_{j\in\mathcal{K},j\neq k}\alpha_{\mathrm{f},j}|\mathbf{h}_{\mathrm{f},k}^{\dagger}\mathbf{u}_{\mathrm{f},j}^{\star}|^{2}+\sum_{l\in\mathcal{L}}\alpha_{\mathrm{m},l}^{\star}|\mathbf{h}_{\mathrm{m},k}^{\dagger}\mathbf{u}_{\mathrm{m},l}^{\star}|^{2}+\sigma_{\mathrm{f},k}^{2}}\geq\left(\frac{1}{\varepsilon_{\mathrm{f},k}}-1\right), \quad \forall k\in\mathcal{K} \\ & \sum_{k\in\mathcal{K}}\alpha_{\mathrm{f},k}|\mathbf{g}_{\mathrm{f},l}^{\dagger}\mathbf{u}_{\mathrm{f},k}^{\star}|^{2}\leq P_{\mathrm{int},l}, \quad \forall l\in\mathcal{L} \\ & \mathbf{1}^{T}\boldsymbol{\alpha}_{\mathrm{f}}\leq P_{\max,\mathrm{f}}\end{cases}$$

[0122] 전술한 빔 형성 계수 결정 과정은, 채널 상태 정보가 완벽하다는 가정하에서 수행되었으나, 무선 전파 채널의 본질적으로 시간에 변하는 특성과 사용자의 이동성으로 인하여 완벽한 채널 상태 정보가 항상 가능한 것은 아니다.

[0123] 일 실시예에 따르면, 최악의 경우를 고려한 강건한 알고리즘을 이용하여 채널 불확실 효과를 경감할 수 있다. 채널 상태 정보(CSI)를 가능한 값을 제한된 범위 내에서 결정적 변수로 가정하여, 즉, 추정된 채널 벡터가 일정한 알려진 크기의 제한된 범위에 있는 추정 에러를 가지는 것으로 가정하여, 채널 상태 정보의 불확실성을 처리할 수 있다.

[0124] 수학식 22와 같이 채널 공분산 불확실도를 모델링할 수 있다.

수학식 22

[0125]
$$\mathbf{G}_{\mathrm{m},l}=\widehat{\mathbf{G}}_{\mathrm{m},l}+\boldsymbol{\Delta}_{\mathrm{m},l}$$

[0126]
$$\mathbf{G}_{\mathrm{f},l}=\widehat{\mathbf{G}}_{\mathrm{f},l}+\boldsymbol{\Delta}_{\mathrm{f},l}$$

[0127]
$$\mathbf{H}_{\mathrm{m},k}=\widehat{\mathbf{H}}_{\mathrm{m},k}+\boldsymbol{\Theta}_{\mathrm{m},k}$$

[0128] $$\mathbf{H}_{f,k} = \hat{\mathbf{H}}_{f,k} + \Theta_{f,k}$$

[0129] 여기에서, $\hat{\mathbf{G}}_{m,l}$ 는 매크로셀 기지국(100)으로부터 매크로셀 유저(MU_l)로의 추정된 채널 공분산 매트릭스를 나타내고, $\hat{\mathbf{H}}_{m,k}$ 는 매크로셀 기지국(100)으로부터 홈 유저(HU_k)로의 추정된 채널 공분산 매트릭스를 나타낸다. $\hat{\mathbf{G}}_{f,l}$ 는 펨토셀 액세스 포인트(200)로부터 매크로셀 유저(MU_l)로의 추정된 채널 공분산 매트릭스를 나타내고, $\hat{\mathbf{H}}_{f,k}$ 는 펨토셀 액세스 포인트(200)로부터 홈 유저(HU_k)로의 추정된 채널 공분산 매트릭스를 나타낸다. $\Delta_{m,l}$, $\Delta_{f,l}$, $\Theta_{m,k}$, 및 $\Theta_{f,k}$ 는 $\|\Delta_{m,l}\|_F \le \delta_{m,l}$, $\|\Delta_{f,l}\|_F \le \delta_{f,l}$, $\|\Theta_{m,k}\|_F \le \eta_{m,k}$, 및 $\|\Theta_{f,k}\|_F \le \eta_{f,k}$ 로 주어진 한계 프로베니우스 놈을 가지고 대응하는 불확실도를 나타낸다.

[0130] 매크로셀 유저(MU_l)에 대한 강건한 정규화된 빔형성 벡터($\mathbf{u}_{m,l}^{rob}$) 및 홈 유저(HU_k)에 대한 강건한 정규화된 빔형성 벡터($\mathbf{u}_{f,k}^{rob}$)들은 그들 각각의 SLNR을 최대화하도록 선택된다.

[0131] 도 3의 매크로셀 빔형성 계수 결정부(130)는, 복수의 매크로셀 유저에 대한 SLNR이 최대화되도록 매크로셀 기지국(100)에 대한 정규화된 최적 빔형성 계수(u_m)를 결정할 때, SLNR 대한 불확실성을 소정 범위에 속하는 프로베니우스 놈(Frobenius norms)으로 모델링하고, 모델링된 불확실성을 이용하여, 최악의 경우(worst case)를 가정하여, 펨토셀 액세스 포인트(200)의 정규화된 최적 빔형성 계수(u_m)를 결정할 수 있다. 이는 다음의 수학식 23으로 나타낼 수 있다.

수학식 23

[0132] $$\mathbf{u}_{m,l}^{rob} = \arg \max_{\|\mathbf{u}_{m,l}\|^2=1} \min_{\substack{\|\Delta_{m,l}\|_F \le \delta_{m,l} \\ \|\Theta_{m,k}\|_F \le \eta_{m,k}}} \mathrm{SLNR}_{m,l}(\mathbf{W}_m)$$

[0133] 도 4의 펨토셀 빔형성 계수 결정부(230)는, 복수의 홈 유저에 대한 SLNR이 최대화되도록 펨토셀 액세스 포인트(200)에 대한 정규화된 최적 빔형성 계수(u_f)를 결정할 때, SLNR 대한 불확실성을 소정 범위에 속하는 프로베니우스 놈(Frobenius norms)으로 모델링하고, 모델링된 불확실성을 이용하여, 최악의 경우(worst case)를 가정하여, 펨토셀 액세스 포인트(200)의 빔형성 계수를 결정할 수 있다. 이는 다음의 수학식 24로 나타낼 수 있다.

수학식 24

[0134] $$\mathbf{u}_{f,k}^{rob} = \arg \max_{\|\mathbf{u}_{f,k}\|^2=1} \min_{\substack{\|\Delta_{f,l}\|_F \le \delta_{f,l} \\ \|\Theta_{f,k}\|_F \le \eta_{f,k}}} \mathrm{SLNR}_{f,k}(\mathbf{W}_f)$$

[0135] 위의 식에 대하여, 최악의 경우에 대하여, 매크로셀 유저(MU_l)에 대한 강건한 정규화된 빔형성 벡터($\mathbf{u}_{m,l}^{rob}$)를 계산하면, 다음과 같은 수학식 25로 나타낼 수 있다.

수학식 25

[0136]
$$\mathbf{u}_{\mathrm{m},l}^{\mathrm{rob}} = \boldsymbol{\lambda}_{\mathrm{gmax}}\left(\hat{\mathbf{G}}_{\mathrm{m},l} - \delta_{\mathrm{m},l}\mathbf{I}, \frac{\sigma_{\mathrm{m},l}^2}{N_{\mathrm{m}}}\mathbf{I} + \sum_{j\in\mathcal{L}, j\neq l}\left(\hat{\mathbf{G}}_{\mathrm{m},j} + \delta_{\mathrm{m},j}\mathbf{I}\right) + \sum_{k\in\mathcal{K}}\left(\hat{\mathbf{H}}_{\mathrm{m},k} + \eta_{\mathrm{m},k}\mathbf{I}\right)\right)$$

[0137] 또한, 최악의 경우에 대하여 홈 유저(HU_k)에 대한 강건한 정규화된 빔형성 벡터($\mathbf{u}_{\mathrm{f},k}^{\mathrm{rob}}$)를 계산하면, 수학식 26과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 26

[0138]
$$\mathbf{u}_{\mathrm{f},k}^{\mathrm{rob}} = \boldsymbol{\lambda}_{\mathrm{gmax}}\left(\hat{\mathbf{H}}_{\mathrm{f},k} - \eta_{\mathrm{f},k}\mathbf{I}, \frac{\sigma_{\mathrm{f},k}^2}{N_{\mathrm{f}}}\mathbf{I} + \sum_{j\in\mathcal{K}, j\neq k}\left(\hat{\mathbf{H}}_{\mathrm{f},j} + \eta_{\mathrm{f},j}\mathbf{I}\right) + \sum_{l\in\mathcal{L}}\left(\hat{\mathbf{G}}_{\mathrm{f},l} + \delta_{\mathrm{f},l}\mathbf{I}\right)\right)$$

[0139] 수학식 25를 이용하여, $\mathbf{U}_{\mathrm{m}}^{\mathrm{rob}} = [\mathbf{u}_{\mathrm{m},1}^{\mathrm{rob}}\ \mathbf{u}_{\mathrm{m},2}^{\mathrm{rob}}\ \cdots\ \mathbf{u}_{\mathrm{m},l}^{\mathrm{rob}}]$라고 둔다.

[0140] 이를, 전술한 송신 전력 최소화 문제에 대입하면, 첫번째 강건한 빔형성 벡터 $\boldsymbol{\alpha}_{\mathrm{m}}$는 다음의 수학식 27과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 27

[0141]
$$\min_{\boldsymbol{\alpha}_{\mathrm{m}}}\ \mathbf{1}^T\boldsymbol{\alpha}_{\mathrm{m}}$$
$$\text{s.t.}\quad \min_{\|\Delta_{\mathrm{m},l}\|_{\mathrm{F}}\leq\delta_{\mathrm{m},l}} \frac{\alpha_{\mathrm{m},l}\mathbf{u}_{\mathrm{m},l}^{\mathrm{rob}\dagger}\mathbf{G}_{\mathrm{m},l}\mathbf{u}_{\mathrm{m},l}^{\mathrm{rob}}}{\sum_{j\in\mathcal{L}, j\neq l}\alpha_{\mathrm{m},j}\mathbf{u}_{\mathrm{m},j}^{\mathrm{rob}\dagger}\mathbf{G}_{\mathrm{m},l}\mathbf{u}_{\mathrm{m},j}^{\mathrm{rob}} + P_{\mathrm{int},l} + \sigma_{\mathrm{m},l}^2} \geq \left(\frac{1}{\varepsilon_{\mathrm{m},l}} - 1\right),\quad \forall l\in\mathcal{L}$$

[0142] 이는 또한 다음의 수학식 28과 같이 근사화될 수 있다.

수학식 28

[0143]
$$\mathcal{P}_{\mathrm{tp}}^{(1)}(\mathbf{U}_{\mathrm{m}}^{\mathrm{rob}}):\begin{cases}\min\limits_{\boldsymbol{\alpha}_{\mathrm{m}}} & \mathbf{1}^T\boldsymbol{\alpha}_{\mathrm{m}} \\ \text{s.t.} & \frac{\alpha_{\mathrm{m},l}\mathbf{u}_{\mathrm{m},l}^{\mathrm{rob}\dagger}(\hat{\mathbf{G}}_{\mathrm{m},l} - \delta_{\mathrm{m},l}\mathbf{I})\mathbf{u}_{\mathrm{m},l}^{\mathrm{rob}}}{\sum_{j\in\mathcal{L}, j\neq l}\alpha_{\mathrm{m},j}\mathbf{u}_{\mathrm{m},j}^{\mathrm{rob}\dagger}(\hat{\mathbf{G}}_{\mathrm{m},l} + \delta_{\mathrm{m},l}\mathbf{I})\mathbf{u}_{\mathrm{m},j}^{\mathrm{rob}} + P_{\mathrm{int},l} + \sigma_{\mathrm{m},l}^2} \geq \left(\frac{1}{\varepsilon_{\mathrm{m},l}} - 1\right),\quad \forall l\in\mathcal{L}\end{cases}$$

[0144] $\boldsymbol{\alpha}_{\mathrm{m}}^{\mathrm{rob}}$를 $\mathcal{P}_{\mathrm{tp}}^{(1)}(\mathbf{U}_{\mathrm{m}}^{\mathrm{rob}})$의 최적 해법이라고 한다. 그러면, $\boldsymbol{\alpha}_{\mathrm{m}}^{\mathrm{rob}}$을 다음의 수학식 29와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 29

[0145]
$$\boldsymbol{\alpha}_{\mathrm{m}}^{\mathrm{rob}} = \left(\mathbf{I} - \mathbf{D}\left(\mathbf{U}_{\mathrm{m}}^{\mathrm{rob}}, \boldsymbol{\varepsilon}_{\mathrm{m}}\right)\mathbf{F}\left(\mathbf{U}_{\mathrm{m}}^{\mathrm{rob}}\right)\right)^{-1}\mathbf{v}\left(\mathbf{U}_{\mathrm{m}}^{\mathrm{rob}}, \mathbf{P}_{\mathrm{int}}\right)$$

[0146] 여기에서, $\mathbf{D}(\mathbf{U}_{\mathrm{m}}^{\mathrm{rob}}, \boldsymbol{\varepsilon}_{\mathrm{m}}) \in \mathbb{R}_{+}^{L \times L}$, $\mathbf{v}(\mathbf{U}_{\mathrm{m}}^{\mathrm{rob}}, \mathbf{P}_{\mathrm{int}}) \in \mathbb{R}_{+}^{L \times 1}$ 및 $\mathbf{F}(\mathbf{U}_{\mathrm{m}}^{\mathrm{rob}}) \in \mathbb{R}_{+}^{L \times L}$ 이고, 그 (i, j)번째 엔트리는 다음의 수학식 30과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 30

[0147]
$$F_{lj}(\mathbf{U}_{\mathrm{m}}^{\mathrm{rob}}) = \begin{cases} 0, & l = j \\ \mathbf{u}_{\mathrm{m},j}^{\mathrm{rob}\dagger} \left(\widehat{\mathbf{G}}_{\mathrm{m},l} + \delta_{\mathrm{m},l} \mathbf{I} \right) \mathbf{u}_{\mathrm{m},j}^{\mathrm{rob}}, & l \neq j \end{cases}$$

[0148] 여기에서,

$$\mathbf{D}(\mathbf{U}_{\mathrm{m}}^{\mathrm{rob}}, \boldsymbol{\varepsilon}_{\mathrm{m}}) = \mathrm{diag}\left(\frac{1/\varepsilon_{\mathrm{m},1} - 1}{\mathbf{u}_{\mathrm{m},1}^{\mathrm{rob}\dagger} \left(\widehat{\mathbf{G}}_{\mathrm{m},1} - \delta_{\mathrm{m},1} \mathbf{I} \right) \mathbf{u}_{\mathrm{m},1}^{\mathrm{rob}}}, \frac{1/\varepsilon_{\mathrm{m},2} - 1}{\mathbf{u}_{\mathrm{m},2}^{\mathrm{rob}\dagger} \left(\widehat{\mathbf{G}}_{\mathrm{m},2} - \delta_{\mathrm{m},2} \mathbf{I} \right) \mathbf{u}_{\mathrm{m},2}^{\mathrm{rob}}}, \cdots, \frac{1/\varepsilon_{\mathrm{m},l} - 1}{\mathbf{u}_{\mathrm{m},l}^{\mathrm{rob}\dagger} \left(\widehat{\mathbf{G}}_{\mathrm{m},l} - \delta_{\mathrm{m},l} \mathbf{I} \right) \mathbf{u}_{\mathrm{m},l}^{\mathrm{rob}}} \right)$$ 이고,

[0149] $\mathbf{v}(\mathbf{U}_{\mathrm{m}}^{\mathrm{rob}}, \mathbf{P}_{\mathrm{int}}) = \mathbf{D}(\mathbf{U}_{\mathrm{m}}^{\mathrm{rob}}, \boldsymbol{\varepsilon}_{\mathrm{m}}) \left[P_{\mathrm{int},1} + \sigma_{\mathrm{m},1}^2 \;\; P_{\mathrm{int},2} + \sigma_{\mathrm{m},2}^2 \;\; \cdots \;\; P_{\mathrm{int},L} + \sigma_{\mathrm{m},l}^2 \right]^T$ 이다.

[0150] 수학식 29에서 얻은 $\boldsymbol{\alpha}_{\mathrm{m}}^{\mathrm{rob}}$ 을 이용하여, $\boldsymbol{\alpha}_{\mathrm{f}}$ 를 다음의 수학식 31과 같이 풀수 있다.

수학식 31

[0151]
$$\begin{aligned} \min_{\boldsymbol{\alpha}_{\mathrm{f}}} \quad & \mathbf{1}^T \boldsymbol{\alpha}_{\mathrm{f}} \\ \text{s.t.} \quad & \min_{\substack{\|\boldsymbol{\Theta}_{\mathrm{m},k}\|_{\mathrm{F}} \le \eta_{\mathrm{m},k} \\ \|\boldsymbol{\Theta}_{\mathrm{f},k}\|_{\mathrm{F}} \le \eta_{\mathrm{f},k}}} \frac{\alpha_{\mathrm{f},k} \mathbf{u}_{\mathrm{f},k}^{\mathrm{rob}\dagger} \mathbf{H}_{\mathrm{f},k} \mathbf{u}_{\mathrm{f},k}^{\mathrm{rob}}}{\sum_{j \in \mathcal{K}, j \neq k} \alpha_{\mathrm{f},j} \mathbf{u}_{\mathrm{f},j}^{\mathrm{rob}\dagger} \mathbf{H}_{\mathrm{f},k} \mathbf{u}_{\mathrm{f},j}^{\mathrm{rob}} + \sum_{l \in \mathcal{L}} \alpha_{\mathrm{m},l}^{\mathrm{rob}} \mathbf{u}_{\mathrm{m},l}^{\mathrm{rob}\dagger} \mathbf{H}_{\mathrm{m},k} \mathbf{u}_{\mathrm{m},l}^{\mathrm{rob}} + \sigma_{\mathrm{f},k}^2} \ge \left(\frac{1}{\varepsilon_{\mathrm{f},k}} - 1 \right) \\ & \qquad \forall k \in \mathcal{K} \\ & \min_{\|\boldsymbol{\Delta}_{\mathrm{f},l}\|_{\mathrm{F}} \le \delta_{\mathrm{f},l}} \sum_{k \in \mathcal{K}} \alpha_{\mathrm{f},k} \mathbf{u}_{\mathrm{f},k}^{\mathrm{rob}\dagger} \mathbf{G}_{\mathrm{f},l} \mathbf{u}_{\mathrm{f},k}^{\mathrm{rob}} \le P_{\mathrm{int},l}, \quad \forall l \in \mathcal{L} \end{aligned}$$

[0152] 이는, LP(Linear Program)로 다음과 같은 수학식 32와 같이 근사화될 수 있다.

수학식 32

[0153]
$$\begin{aligned} \min_{\boldsymbol{\alpha}_{\mathrm{f}}} \quad & \mathbf{1}^T \boldsymbol{\alpha}_{\mathrm{f}} \\ \text{s.t.} \quad & \frac{\alpha_{\mathrm{f},k} \mathbf{u}_{\mathrm{f},k}^{\mathrm{rob}\dagger} \left(\widehat{\mathbf{H}}_{\mathrm{f},k} - \eta_{\mathrm{f},k} \mathbf{I} \right) \mathbf{u}_{\mathrm{f},k}^{\mathrm{rob}}}{\sum_{j \in \mathcal{K}, j \neq k} \alpha_{\mathrm{f},j} \mathbf{u}_{\mathrm{f},j}^{\mathrm{rob}\dagger} \left(\widehat{\mathbf{H}}_{\mathrm{f},k} + \eta_{\mathrm{f},k} \mathbf{I} \right) \mathbf{u}_{\mathrm{f},j}^{\mathrm{rob}} + \sum_{l \in \mathcal{L}} \alpha_{\mathrm{m},l}^{\mathrm{rob}} \mathbf{u}_{\mathrm{m},l}^{\mathrm{rob}\dagger} \left(\widehat{\mathbf{H}}_{\mathrm{m},k} + \eta_{\mathrm{m},k} \mathbf{I} \right) \mathbf{u}_{\mathrm{m},l}^{\mathrm{rob}} + \sigma_{\mathrm{f},k}^2} \ge \left(\frac{1}{\varepsilon_{\mathrm{f},k}} - 1 \right), \quad \forall k \in \mathcal{K} \\ & \sum_{k \in \mathcal{K}} \alpha_{\mathrm{f},k} \mathbf{u}_{\mathrm{f},k}^{\mathrm{rob}\dagger} \left(\widehat{\mathbf{G}}_{\mathrm{f},l} + \delta_{\mathrm{f},l} \mathbf{I} \right) \mathbf{u}_{\mathrm{f},k}^{\mathrm{rob}} \le P_{\mathrm{int},l}, \quad \forall l \in \mathcal{L}. \end{aligned}$$

[0154] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 제1 기지국의 빔형성 방법을 나타내는 순서도이다.

[0155] 제1 기지국은 제1 네트워크를 형성하고, 제2 기지국은 제2 네트워크를 형성하고, 제1 기지국과 제2 기지국은 백하울 링크로 연결되었다고 가정한다.

[0156] 제1 기지국은, 제1 네트워크에 존재하는 복수의 제1 유저에 대한 SLNR이 최대화되도록 제1 기지국에 대한 정규화된 최적 빔형성 계수를 결정하고, 제1 기지국에 의한 복수의 제1 유저에 대한 서비스 품질을 나타내는 제

1 MSE(mean square error)를 제약 조건으로 이용하여 제1 기지국에 할당된 전송 전력을 최적화한다(510). 제1 기지국은 제1 기지국에 할당된 전송 전력을 최적화하기 위하여 컨벡스 최적화(convex optimization) 알고리즘을 이용할 수 있다. 여기에서, 제약 조건은, 제1 기지국에 의해 복수의 제1 유저에 대한 서비스 품질을 나타내는 제1 MSE가 제1 임계값 이하인 것일 수 있다.

[0157] 제1 기지국은, 제1 빔형성 계수 및 최적화된 제1 전송 전력을 이용하여 제1 기지국의 제1 빔형성 계수를 결정한다(520). 제1 기지국은, 최적화된 전송 전력에 제곱근을 취한 값과 결정된 빔형성 계수을 곱하여, 제1 기지국의 빔형성 계수를 결정할 수 있다.

[0158] 제1 기지국은, 결정된 빔형성 계수를 이용하여 각 제1 유저로 전송할 정보 신호에 대한 빔 형성을 수행한다(530).

[0159] 제1 기지국은, 제2 기지국이 결정된 제1 빔형성 계수 및 최적화된 제1 전송 전력을 이용하여 제2 기지국에 대한 빔형성 계수를 결정하도록, 제1 결정된 빔형성 계수 및 최적화된 제1 전송 전력을 백하울 링크를 통해 제2 기지국으로 전송한다(540). 제1 기지국은, 제1 기지국에서 알고 있는 제1 기지국으로부터 제2 기지국이 형성된 네트워크에 존재하는 복수의 제2 유저로의 채널 상태 정보를 제2 기지국에 더 전송할 수 있다.

[0160] 일 실시예에서, 제1 기지국은 매크로셀 기지국이고, 제1 네트워크는 매크로셀 네트워크이고, 복수의 제1 유저는 복수의 매크로셀 유저이고, 제2 기지국은 펨토셀 액세스 포인트이고, 제2 네트워크는 펨토셀 네트워크이고, 복수의 제2 유저는 복수의 홈 유저일 수 있다.

[0161] 다른 실시예에서, 제1 기지국은 펨토셀 액세스 포인트이고, 제1 네트워크는 펨토셀 네트워크이고, 복수의 제1 유저는 복수의 홈 유저이고, 제2 기지국은 매크로셀 기지국이고, 제2 네트워크는 매크로셀 네트워크이고, 복수의 제2 유저는 복수의 매크로셀 유저일 수 있다.

[0162] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 제2 기지국의 빔형성 방법을 나타내는 순서도이다.

[0163] 제2 기지국은 제1 기지국에 대한 정규화된 제1 빔형성 계수 및 제1 기지국에 최적화된 제1 전송 전력을 제1 기지국으로부터 백하울 링크를 통해 수신한다(610).

[0164] 제2 기지국은, 제2 네트워크에 존재하는 복수의 제2 유저에 대한 SLNR이 최대화되도록 제2 기지국에 대한 정규화된 제2 빔형성 계수를 결정하고, 수신된 제1 빔형성 계수 및 수신된 제1 전송 전력을 이용하여, 제1 기지국 및 제2 기지국에 의한 복수의 제2 유저에 대한 서비스 품질을 나타내는 제2 MSE를 제약 조건으로 하여, 제2 기지국에 대해 최적화된 제2 전송 전력을 결정한다(620).

[0165] 제2 기지국은 제2 기지국에 대한 전송 전력을 최적화하기 위하여 컨벡스 최적화(convex optimization) 알고리즘을 이용할 수 있다.

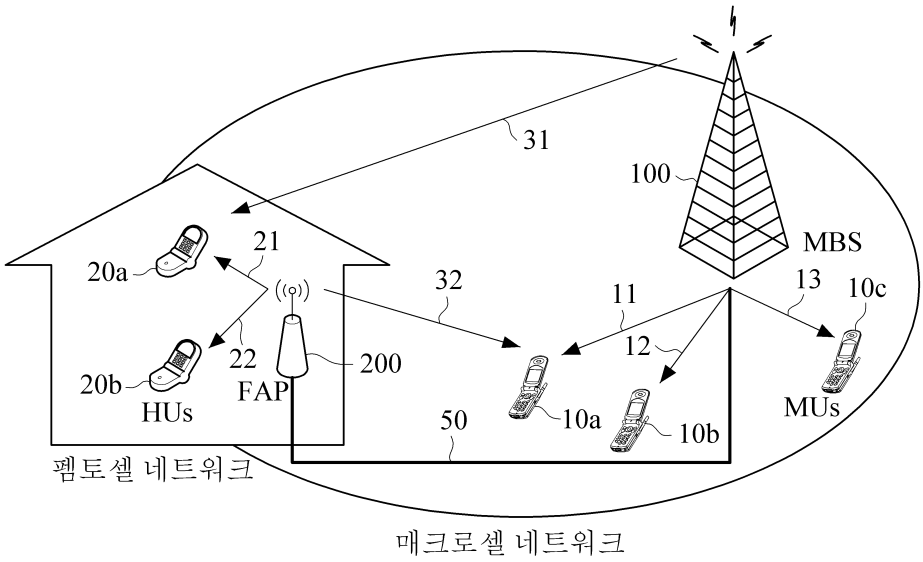
[0166] 제2 기지국은, 결정된 정규화된 제2 빔형성 계수 및 제2 전송 전력을 이용하여 제2 기지국에 대한 빔형성 계수를 결정한다(630).

[0167] 제2 기지국은, 결정된 제2 기지국에 대한 빔형성 계수를 이용하여 각 제2 유저로 전송할 정보 신호에 대한 빔형성을 수행한다(640).

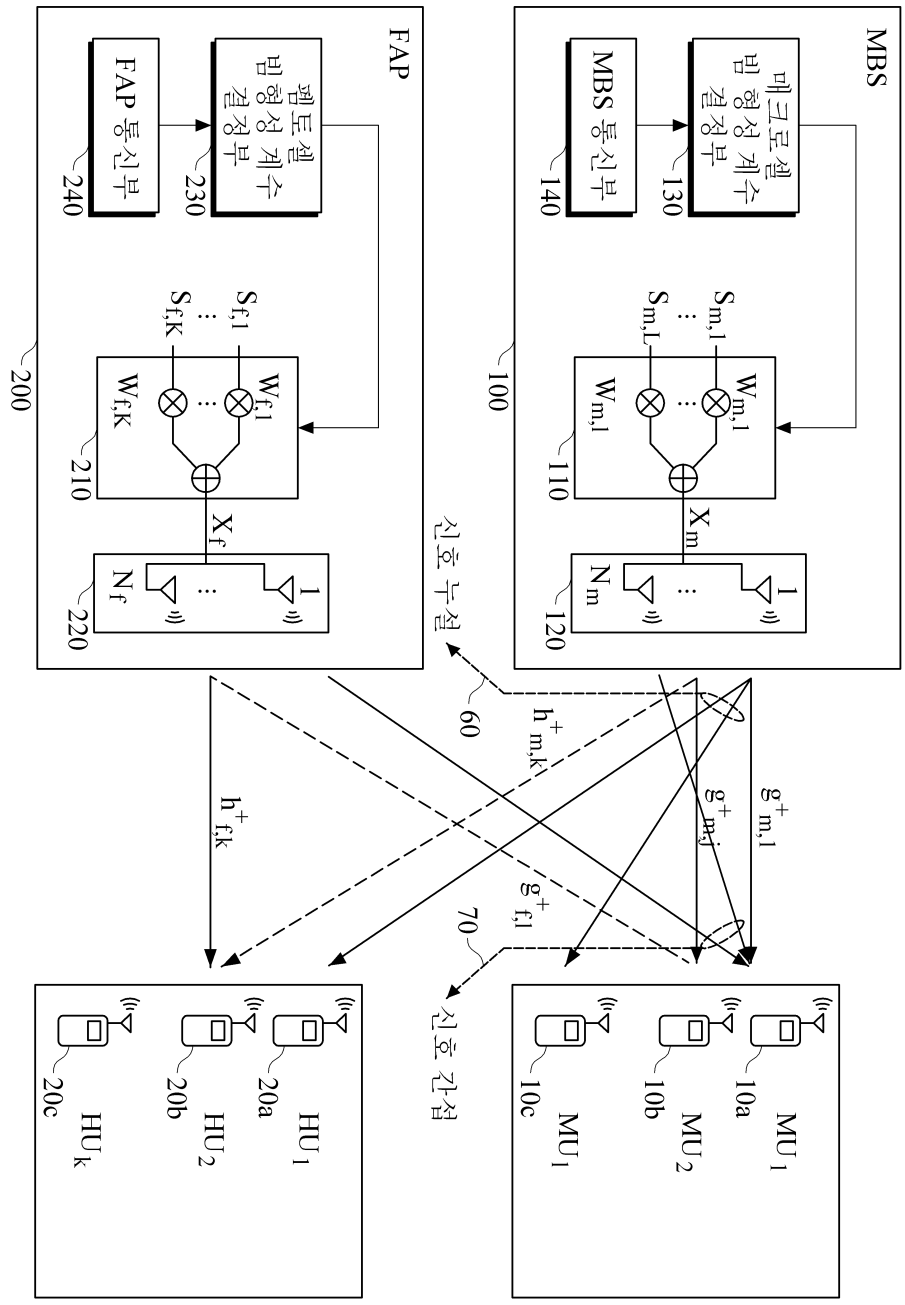
[0168] 이상의 설명은 본 발명의 일 실시예에 불과할 뿐, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명의 본질적 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 변형된 형태로 구현할 수 있을 것이다. 따라서, 본 발명의 범위는 전술한 실시예에 한정되지 않고 특허 청구범위에 기재된 내용과 동등한 범위 내에 있는 다양한 실시 형태가 포함되도록 해석되어야 할 것이다.

도면

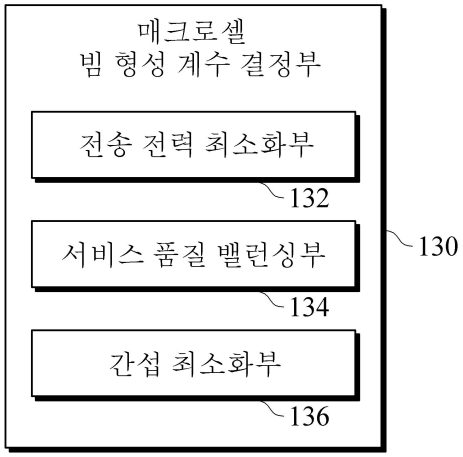
도면1


31
100
MBS
20a
21
32
11
13
10c
22
12
20b
HUs
FAP
200
50
10a
10b
MUs
펨토셀 네트워크
매크로셀 네트워크

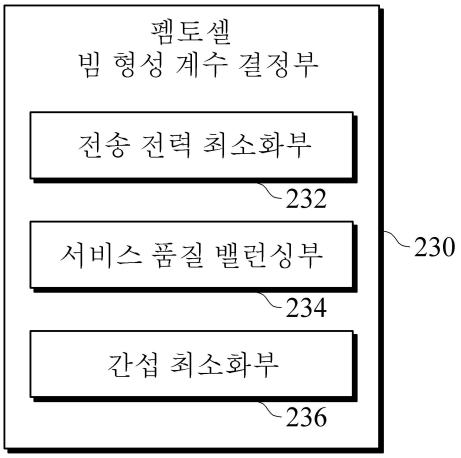
도면2


MBS
매크로셀 빔 형성 계수 결정부
130
MBS 통신부
140
100
110
120
FAP
펨토셀 빔 형성 계수 결정부
230
FAP 통신부
240
200
210
220
신호 누설
60
70
신호 간섭
MU1
MU2
MUI
10a
10b
10c
HU1
HU2
HUk
20a
20b
20c

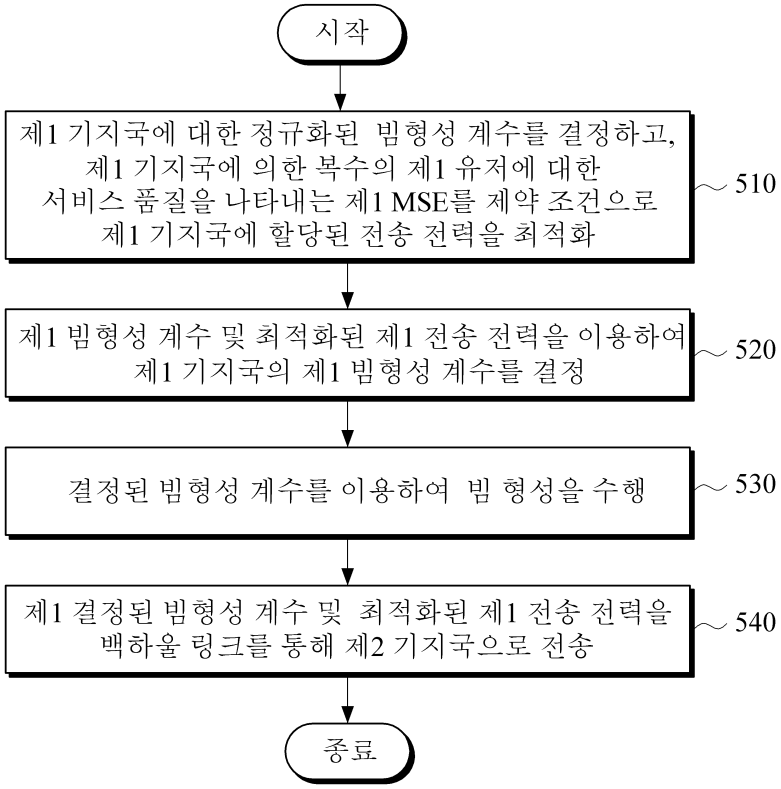
도면3


매크로셀
빔 형성 계수 결정부
전송 전력 최소화부
132
서비스 품질 밸런싱부
134
간섭 최소화부
136
130

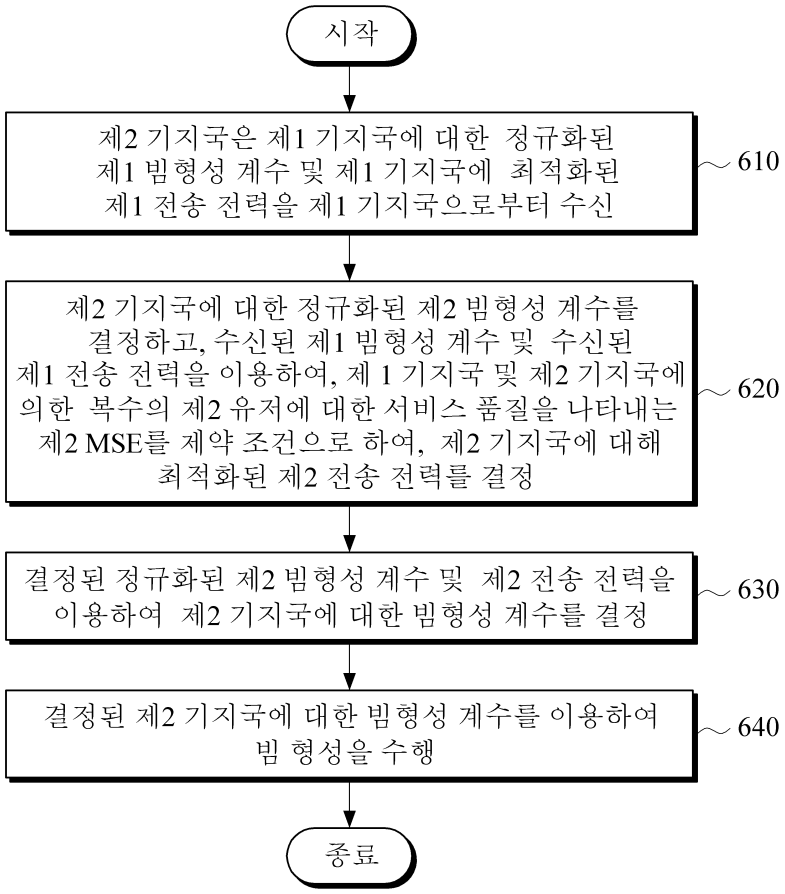
도면4


펨토셀
빔 형성 계수 결정부
전송 전력 최소화부
232
서비스 품질 밸런싱부
234
간섭 최소화부
236
230

도면5


시작
제1 기지국에 대한 정규화된 빔형성 계수를 결정하고, 제1 기지국에 의한 복수의 제1 유저에 대한 서비스 품질을 나타내는 제1 MSE를 제약 조건으로 제1 기지국에 할당된 전송 전력을 최적화
510
제1 빔형성 계수 및 최적화된 제1 전송 전력을 이용하여 제1 기지국의 제1 빔형성 계수를 결정
520
결정된 빔형성 계수를 이용하여 빔 형성을 수행
530
제1 결정된 빔형성 계수 및 최적화된 제1 전송 전력을 백하울 링크를 통해 제2 기지국으로 전송
540
종료

도면6


시작
제2 기지국은 제1 기지국에 대한 정규화된 제1 빔형성 계수 및 제1 기지국에 최적화된 제1 전송 전력을 제1 기지국으로부터 수신
610
제2 기지국에 대한 정규화된 제2 빔형성 계수를 결정하고, 수신된 제1 빔형성 계수 및 수신된 제1 전송 전력을 이용하여, 제 1 기지국 및 제2 기지국에 의한 복수의 제2 유저에 대한 서비스 품질을 나타내는 제2 MSE를 제약 조건으로 하여, 제2 기지국에 대해 최적화된 제2 전송 전력를 결정
620
결정된 정규화된 제2 빔형성 계수 및 제2 전송 전력을 이용하여 제2 기지국에 대한 빔형성 계수를 결정
630
결정된 제2 기지국에 대한 빔형성 계수를 이용하여 빔 형성을 수행
640
종료