



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0065444
(43) 공개일자 2024년05월14일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04W 24/02 (2009.01) H04B 7/0452 (2017.01)
H04W 28/20 (2009.01)
(52) CPC특허분류
H04W 24/02 (2013.01)
H04B 7/0452 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2022-0141379
(22) 출원일자 2022년10월28일
심사청구일자 2022년10월28일

(71) 출원인
국방과학연구소
대전광역시 유성구 북유성대로488번길 160 (수남동)
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
(72) 발명자
이인규
서울특별시 강남구 영동대로 640 아이파크삼성 W-3303호
이홍주
경기도 수원시 영통구 웰빙타운로 106 광고대광로 제비앙 8810동 303호
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
제일특허법인(유)

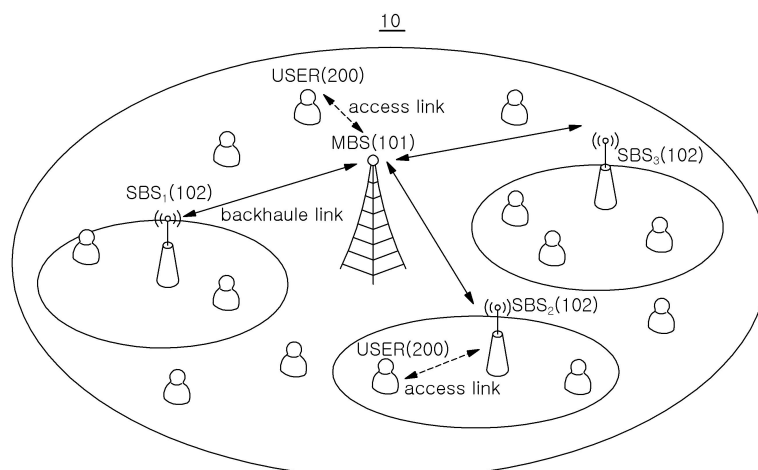
전체 청구항 수 : 총 14 항

(54) 발명의 명칭 무선 백홀을 적용한 대규모 다중 안테나 통신의 분산 자원 할당 시스템, 방법, 방법, 컴퓨터 판독 가능한 기록 매체 및 컴퓨터 프로그램

(57) 요약

일 실시예에 따른 분산 자원 할당 시스템은 복수의 송신기 및 복수의 수신기를 포함하고, 상기 복수의 수신기 중 a번째 수신기는 상기 복수의 송신기로부터 상기 a번째 수신기로 전송된 복수의 송신기 메시지들을 이용하여, 상기 a번째 수신기에서 i번째 송신기로 전송하기 위한 수신기 메시지를 업데이트하고, 상기 복수의 송신기 중 상기 i번째 송신기는 상기 복수의 수신기로부터 상기 i번째 송신기로 전송된 복수의 수신기 메시지들을 이용하여, 상기 i번째 송신기에서 상기 a번째 수신기로 전송하기 위한 송신기 메시지를 업데이트하고, 상기 복수의 송신기 및 상기 복수의 수신기는 상기 수신기 메시지의 값 및 상기 송신기 메시지의 값의 합이 최대가 되도록 송신기와 수신기 간의 연결을 결정할 수 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

H04W 28/20 (2013.01)

H04W 72/0453 (2023.01)

(72) 발명자

백승환

서울특별시 동대문구 회경동 377 이문휘경 지웰에
스테이트 103동 1202호

문성진

대전광역시 유성구 북유성대로488번길 160

명세서

청구범위

청구항 1

자원 할당 시스템에 있어서,

복수의 송신기 및 복수의 수신기를 포함하고,

상기 복수의 수신기 중 a번째 수신기는, 상기 복수의 송신기로부터 상기 a번째 수신기로 전송된 복수의 송신기 메시지들을 이용하여, 상기 a번째 수신기에서 i번째 송신기로 전송하기 위한 수신기 메시지를 업데이트하고,

상기 복수의 송신기 중 상기 i번째 송신기는, 상기 복수의 수신기로부터 상기 i번째 송신기로 전송된 복수의 수신기 메시지들을 이용하여, 상기 i번째 송신기에서 상기 a번째 수신기로 전송하기 위한 송신기 메시지를 업데이트하고,

상기 복수의 송신기 및 상기 복수의 수신기는, 상기 시스템의 합 전송률을 최대화하기 위한 문제를 메시지 전달 알고리즘으로 모델링하여, 상기 수신기 메시지의 값 및 상기 송신기 메시지의 값의 합이 최대가 되도록 송신기와 수신기 간의 연결을 결정하는,

자원 할당 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 a번째 수신기는, 상기 수신기 메시지의 값 및 상기 송신기 메시지의 값이 수렴할 때까지, 상기 수신기 메시지를 반복하여 업데이트하는,

자원 할당 시스템.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 a번째 수신기는, 하기 수학식 1에 기반하여 상기 수신기 메시지를 업데이트하는,

[수학식 1]

$$\gamma_{ia}^{(t+1)} = - \max_{j \in \mathcal{B} \setminus i} \xi_{ja}^{(t)},$$

(j는 송신기를 지칭하는 인덱스 정보, a는 a번째 수신기를 지칭하는 인덱스 정보, $\xi_{ja}^{(t)}$ 는 복수의 송신기로부터 a

번째 수신기로 전송된 복수의 송신기 메시지, $\gamma_{ia}^{(t+1)}$ 는 업데이트된 수신기 메시지)

자원 할당 시스템.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 i번째 송신기는, 상기 송신기 메시지의 값 및 상기 수신기 메시지의 값이 수렴할 때까지, 상기 송신기 메

시지를 반복하여 업데이트하는,
자원 할당 시스템.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 i번째 송신기는, 하기 수학식 2에 기반하여 상기 송신기 메시지를 업데이트하는,

[수학식 2]

$$\xi_{ia}^{(t)} = \begin{cases} g_{0a}^n(w_{0a}, w_{0a}^2; B_0) - g_{0a}^n(0, 0; B_0) & \text{for MBS,} \\ g_{ia}^n(w_{ia}(c_i + w_{ia}), w_{ia}^2; c_i) - g_{ia}^n(0, 0; c_i) & \text{for SBS.} \end{cases}$$

($\xi_{ia}^{(t)}$ 는 t번째 업데이트된 송신기 메시지, MBS는 송신기 중 매크로 기지국, SBS는 송신기 중 소형 기지국, i는 송신기를 지칭하는 인덱스 정보, i=0은 매크로 기지국을 지칭하는 인덱스 정보, a는 a번째 수신기를 지칭하는 인덱스 정보, $g(\dots; \cdot)$ 는 하기 수학식 3에 따른 점화식, n은 점화식의 차수, w는 전송률, B는 대역폭)

[수학식 3]

$$g_{ia}^n(y_{ia}x_{ia}, z_{ia}x_{ia}; s) = \max \left[U \left(s \frac{z_{ia}x_{ia} + \sum_{k=1, b_k \in \mathcal{K}_b}^n z_{ib_k}x_{ib_k}}{y_{ia}x_{ia} + \sum_{k=1, b_k \in \mathcal{K}_b}^n y_{ib_k}x_{ib_k}}, \alpha \right) + \sum_{k=1, b_k \in \mathcal{K}_b}^n \gamma_{ib_k}^{(t)}x_{ib_k} \right],$$

($U(r, \alpha)$ 는 α -fair utility, i는 송신기 인덱스 정보, a는 수신기 인덱스 정보, $\mathcal{K}_b$ 는 복수의 수신기 x_{ia} 는 i번째 송신기와 a번째 수신기가 서로 연결되어 있는 경우에 1 값을 갖고 연결되어 있지 않은 경우 0 값을 갖는 변수, y_{ia} 는 송신기와 수신기 사이의 utility, z_{ia} 는 각 송신기와 수신기 사이의 utility, $\gamma_{ib_k}^{(t)}$ 는 t번째 업데이트된 수신기 메시지)

자원 할당 시스템.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 복수의 송신기 및 상기 복수의 수신기는, 하기 수학식 4에 기반하여 상기 수신기 메시지의 값 및 상기 송신기 메시지의 값의 합이 최대가 되도록 송신기와 수신기 간의 연결을 결정하는,

[수학식 4]

$$\Lambda_a^{(t)} = \operatorname{argmax}_{i \in \mathcal{B}} (\xi_{ia}^{(t)} + \gamma_{ia}^{(t)}).$$

자원 할당 시스템.

청구항 7

자원 할당 시스템의 복수의 송신기 및 복수의 수신기가 수행하는 자원 할당 방법에 있어서,

상기 복수의 수신기 중 a번째 수신기가 상기 복수의 송신기로부터 상기 a번째 수신기로 전송된 복수의 송신기 메시지들을 이용하여, 상기 a번째 수신기에서 i번째 송신기로 전송하기 위한 수신기 메시지를 업데이트하는 단

계;

상기 복수의 송신기 중 상기 i번째 송신기가 상기 복수의 수신기로부터 상기 i번째 송신기로 전송된 복수의 수신기 메시지들을 이용하여, 상기 i번째 송신기에서 상기 a번째 수신기로 전송하기 위한 송신기 메시지를 업데이트하는 단계; 및

상기 복수의 송신기 및 상기 복수의 수신기가 상기 시스템의 합 전송률을 최대화하기 위한 문제를 메시지 전달 알고리즘으로 모델링하여, 상기 수신기 메시지의 값 및 상기 송신기 메시지의 값의 합이 최대가 되도록 송신기와 수신기 간의 연결을 결정하는 단계를 포함하는,

자원 할당 방법.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 수신기 메시지를 업데이트하는 단계는,

상기 수신기 메시지의 값 및 상기 송신기 메시지의 값이 수렴할 때까지, 상기 수신기 메시지를 반복하여 업데이트하는 단계를 포함하는,

자원 할당 방법.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 수신기 메시지를 업데이트하는 단계는,

하기 수학적 식 1에 기반하여 상기 수신기 메시지를 업데이트하는,

[수학적 식 1]

$$\gamma_{ia}^{(t+1)} = -\max_{j \in \mathcal{B}_i} \xi_{ja}^{(t)},$$

(j는 송신기를 지칭하는 인덱스 정보, a는 a번째 수신기를 지칭하는 인덱스 정보, $\xi_{ja}^{(t)}$ 는 복수의 송신기로부터 a번째 수신기로 전송된 복수의 송신기 메시지, $\gamma_{ia}^{(t+1)}$ 는 업데이트된 수신기 메시지)

자원 할당 방법.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 송신기 메시지를 업데이트하는 단계는,

상기 송신기 메시지의 값 및 상기 수신기 메시지의 값이 수렴할 때까지, 상기 송신기 메시지를 반복하여 업데이트하는 단계를 포함하는,

자원 할당 방법.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 송신기 메시지를 업데이트하는 단계는,

하기 수학적 식 2에 기반하여 상기 송신기 메시지를 업데이트하는,

[수학적 식 2]

$$\xi_{ia}^{(t)} = \begin{cases} g_{0a}^n(w_{0a}, w_{0a}^2; B_0) - g_{0a}^n(0, 0; B_0) & \text{for MBS,} \\ g_{ia}^n(w_{ia}(c_i + w_{ia}), w_{ia}^2; c_i) - g_{ia}^n(0, 0; c_i) & \text{for SBS.} \end{cases}$$

($\xi_{ia}^{(t)}$ 는 t번째 업데이트된 송신기 메시지, MBS는 송신기 중 매크로 기지국, SBS는 송신기 중 소형 기지국, i는 송신기를 지칭하는 인덱스 정보, i=0은 매크로 기지국을 지칭하는 인덱스 정보, a는 a번째 수신기를 지칭하는 인덱스 정보, $g(\dots; \cdot)$ 는 하기 수학적 식 3에 따른 점화식, n은 점화식의 차수, w는 전송률, B는 대역폭)

[수학적 식 3]

$$g_{ia}^n(y_{ia}x_{ia}, z_{ia}x_{ia}; s) = \max \left[U \left(s \frac{z_{ia}x_{ia} + \sum_{k=1, b_k \in \mathcal{K}_b}^n z_{ib_k}x_{ib_k}}{y_{ia}x_{ia} + \sum_{k=1, b_k \in \mathcal{K}_b}^n y_{ib_k}x_{ib_k}}, \alpha \right) + \sum_{k=1, b_k \in \mathcal{K}_b}^n \gamma_{ib_k}^{(t)}x_{ib_k} \right],$$

($U(r, \alpha)$ 는 α -fair utility, i는 송신기 인덱스 정보, a는 수신기 인덱스 정보, $\mathcal{K}_b$ 는 복수의 수신기, x_{ia} 는 i번째 송신기와 a번째 수신기가 서로 연결되어 있는 경우에 1 값을 갖고 연결되어 있지 않은 경우 0 값을 갖는

변수, y_{ia} 는 송신기와 수신기 사이의 utility, z_{ia} 는 각 송신기와 수신기 사이의 utility, $\gamma_{ib_k}^{(t)}$ 는 t번째 업데이트된 수신기 메시지)

자원 할당 방법.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 연결을 결정하는 단계는,

하기 수학적 식 4에 기반하여 상기 수신기 메시지의 값 및 상기 송신기 메시지의 값의 합이 최대가 되도록 송신기와 수신기 간의 연결을 결정하는,

[수학적 식 4]

$$\Lambda_a^{(t)} = \operatorname{argmax}_{i \in \mathcal{B}} \left(\xi_{ia}^{(t)} + \gamma_{ia}^{(t)} \right).$$

자원 할당 방법.

청구항 13

컴퓨터 프로그램을 저장하고 있는 컴퓨터 판독 가능 기록매체로서,

복수의 수신기 중 a번째 수신기가 복수의 송신기로부터 상기 a번째 수신기로 전송된 복수의 송신기 메시지들을 이용하여, 상기 a번째 수신기에서 i번째 송신기로 전송하기 위한 수신기 메시지를 업데이트하는 단계;

상기 복수의 송신기 중 상기 i번째 송신기가 상기 복수의 수신기로부터 상기 i번째 송신기로 전송된 복수의 수신기 메시지들을 이용하여, 상기 i번째 송신기에서 상기 a번째 수신기로 전송하기 위한 송신기 메시지를 업데이

트하는 단계; 및

상기 복수의 송신기 및 상기 복수의 수신기가 상기 수신기 메시지의 값 및 상기 송신기 메시지의 값의 합이 최대가 되도록 송신기와 수신기 간의 연결을 결정하는 단계를 포함하는,

자원 할당 방법을 프로세서가 수행하도록 하기 위한 명령어를 포함하는, 컴퓨터 판독 가능한 기록매체.

청구항 14

컴퓨터 판독 가능한 기록매체에 저장되어 있는 컴퓨터 프로그램으로서,

복수의 수신기 중 a번째 수신기가 복수의 송신기로부터 상기 a번째 수신기로 전송된 복수의 송신기 메시지들을 이용하여, 상기 a번째 수신기에서 i번째 송신기로 전송하기 위한 수신기 메시지를 업데이트하는 단계;

상기 복수의 송신기 중 상기 i번째 송신기가 상기 복수의 수신기로부터 상기 i번째 송신기로 전송된 복수의 수신기 메시지들을 이용하여, 상기 i번째 송신기에서 상기 a번째 수신기로 전송하기 위한 송신기 메시지를 업데이트하는 단계; 및

상기 복수의 송신기 및 상기 복수의 수신기가 상기 수신기 메시지의 값 및 상기 송신기 메시지의 값의 합이 최대가 되도록 송신기와 수신기 간의 연결을 결정하는 단계를 포함하는,

자원 할당 방법을 프로세서가 수행하도록 하기 위한 명령어를 포함하는, 컴퓨터 프로그램.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 무선 백홀을 적용한 대규모 다중 안테나 통신의 분산 자원 할당 시스템, 방법, 방법, 컴퓨터 판독 가능한 기록 매체 및 컴퓨터 프로그램에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 다중 안테나 통신(MIMO)은 차세대 이동통신의 기술로 많은 관심을 받고 있다. 특히, 다중 안테나 통신의 성능을 효과적으로 높이기 위해 적은 수의 매크로 기지국(macro BS)과 많은 수의 소형 기지국(small BS)을 동시에 배치하는 이종 네트워크(heterogeneous network)는 적은 비용으로 넓은 통신 커버리지를 확보할 수 있어 적극적으로 사용되고 있다. 이때 다중 기지국끼리 무선으로 백홀(backhaul)을 구성하게 되면, 기지국 간의 통신 성능은 기존의 유선 연결방식 대비 경제적이며 동적인 데이터 트래픽을 관리할 수 있다는 이점이 있다.

[0004] 이러한 다중 안테나 통신에서 효율적인 자원 할당은 통신 시스템의 성능과 관련된 중요한 요소이다. 특히, 성능이 상이한 다중 안테나를 통한 다중 기지국과 다중 사용자의 통신에서 각 사용자의 통신 상황에 따라 배분되어야 하는 자원이 상이하며, 자원 할당을 위한 알고리즘의 복잡도는 기지국과 사용자의 수가 증가함에 따라 복잡해진다. 또한, 무선 백홀을 적용하는 경우, 기지국 간의 통신(backhaul link)과 기지국과 사용자 간의 통신(access link) 사이에 간섭이 발생하게 되어, 이를 해결하기 위해 백홀 링크와 액세스 링크 간의 주파수 대역폭 할당이 필요하다. 여기서, 할당된 주파수 대역은 각 기지국에 연결된 사용자들의 전송률에 영향을 미치며, 주파수 할당과 사용자의 연결 문제는 각 두 변수간 복합적으로 연관되는 문제로 표현된다.

[0005] 위 문제를 중앙 처리 방식의 자원 할당 방법으로 해결하려는 경우, 특정 기지국이 다중 사용자의 무선 통신 상황에 대한 정보를 파악하여 각기 필요한 자원 할당을 하고 각 결과를 모든 기지국 및 사용자에게 전달해야 한다. 이러한 자원 할당 방식은 기지국 간의 통신 속도의 제약을 받는 무선 백홀에 적합하지 않다. 따라서 위 문제의 해결을 위해서는 각 사용자의 지역적인 정보로 자원 할당을 분산적으로 계산하는 방법이 필요하다.

[0006] 한편, 이러한 문제를 각 사용자의 지역적인 정보를 통해 해결하려는 기존의 방식은 주파수 할당 변수를 임의로 고정한 후, 사용자의 연결 문제에 대한 수학적 계산을 수행한 다음, 사용자 연결 상황에서 위의 주파수 할당 문제에 대한 수학적 계산을 수행하여, 이를 다시 사용자 연결 문제에 적용하는 회귀적인 계산 방식이다. 이러한 방식은 계산 복잡도가 높으며 최적의 분산 할당을 얻기까지의 시간이 많이 소요되어 동적인 통신 상황에 적응적으로 대응하기가 어렵다.

선행기술문헌

특허문헌

[0008] (특허문헌 0001) 한국 등록특허 제10-1591964호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는, 무선 백홀이 존재하는 상황에서 주파수 할당과 사용자 연결 문제, 이 두 가지의 문제를 하나의 사용자 연결 문제로 변형함으로써, 이중 네트워크의 무선 백홀을 가정한 대규모 MIMO 시스템에서 분산 주파수 할당 및 기지국-사용자 간의 연결 문제를 한 번에 해결하는 기술을 제공하는 것이다.

[0010] 다만, 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 이상에서 언급한 바로 제한되지 않으며, 언급되지는 않았으나 아래의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있는 목적을 포함할 수 있다.

과제의 해결 수단

[0012] 일 실시예에 따른 자원 할당 시스템은 복수의 송신기 및 복수의 수신기를 포함하고, 상기 복수의 수신기 중 a번째 수신기는, 상기 복수의 송신기로부터 상기 a번째 수신기로 전송된 복수의 송신기 메시지들을 이용하여, 상기 a번째 수신기에서 i번째 송신기로 전송하기 위한 수신기 메시지를 업데이트하고, 상기 복수의 송신기 중 상기 i번째 송신기는, 상기 복수의 수신기로부터 상기 i번째 송신기로 전송된 복수의 수신기 메시지들을 이용하여, 상기 i번째 송신기에서 상기 a번째 수신기로 전송하기 위한 송신기 메시지를 업데이트하고, 상기 복수의 송신기 및 상기 복수의 수신기는 상기 시스템의 합 전송률을 최대화하기 위한 문제를 메시지 전달 알고리즘으로 모델링하여 상기 수신기 메시지의 값 및 상기 송신기 메시지의 값의 합이 최대가 되도록 송신기와 수신기 간의 연결을 결정할 수 있다.

[0013] 또한, 상기 a번째 수신기는, 상기 수신기 메시지의 값 및 상기 송신기 메시지의 값이 수렴할 때까지, 상기 수신기 메시지를 반복하여 업데이트할 수 있다.

[0014] 또한, 상기 a번째 수신기는, 하기 수학식 1에 기반하여 상기 수신기 메시지를 업데이트할 수 있다.

[0015] [수학식 1]

$$\gamma_{ia}^{(t+1)} = -\max_{j \in \mathcal{B} \setminus i} \xi_{ja}^{(t)}.$$

[0016]

[0017] (j는 송신기를 지칭하는 인덱스 정보, a는 a번째 수신기를 지칭하는 인덱스 정보, $\xi_{ja}^{(t)}$ 는 복수의 송신기로부터 a번째 수신기로 전송된 복수의 송신기 메시지, $\gamma_{ia}^{(t+1)}$ 는 업데이트된 수신기 메시지)

[0018] 또한, 상기 i번째 송신기는, 상기 송신기 메시지의 값 및 상기 수신기 메시지의 값이 수렴할 때까지, 상기 송신기 메시지를 반복하여 업데이트할 수 있다.

[0019] 또한, 상기 i번째 송신기는, 하기 수학식 2에 기반하여 상기 송신기 메시지를 업데이트할 수 있다.

[0020] [수학식 2]

$$\xi_{ia}^{(t)} = \begin{cases} g_{0a}^n(w_{0a}, w_{0a}^2; B_0) - g_{0a}^n(0, 0; B_0) & \text{for MBS,} \\ g_{ia}^n(w_{ia}(c_i + w_{ia}), w_{ia}^2; c_i) - g_{ia}^n(0, 0; c_i) & \text{for SBS.} \end{cases}$$

[0021]

[0022] ($\xi_{ia}^{(t)}$ 는 t번째 업데이트된 송신기 메시지, MBS는 송신기 중 매크로 기지국, SBS는 송신기 중 소형 기지국, i는 송신기를 지칭하는 인덱스 정보, i=0은 매크로 기지국을 지칭하는 인덱스 정보, a는 a번째 수신기를 지칭하는 인덱스 정보, $g(\dots; \cdot)$ 는 하기 수학식 3에 따른 점화식, n은 점화식의 차수, w는 전송률, B는 대역폭)

[0023] [수학식 3]

$$g_{ia}^n(y_{ia}x_{ia}, z_{ia}x_{ia}; s) = \max \left[U \left(s \frac{z_{ia}x_{ia} + \sum_{k=1, b_k \in \mathcal{K}_b}^n z_{ib_k}x_{ib_k}}{y_{ia}x_{ia} + \sum_{k=1, b_k \in \mathcal{K}_b}^n y_{ib_k}x_{ib_k}}, \alpha \right) + \sum_{k=1, b_k \in \mathcal{K}_b}^n \gamma_{ib_k}^{(t)}x_{ib_k} \right],$$

[0024]

[0025] ($U(r, \alpha)$ 는 α -fair utility, i는 송신기 인덱스 정보, a는 수신기 인덱스 정보, $\mathcal{K}_b$ 는 복수의 수신기, x_{ia} 는 i번째 송신기와 a번째 수신기가 서로 연결되어 있는 경우에 1 값을 갖고 연결되어 있지 않은 경우 0 값을 갖는 변수, y_{ia} 는 송신기와 수신기 사이의 utility, z_{ia} 는 각 송신기와 수신기 사이의 utility, $\gamma_{ib_k}^{(t)}$ 는 t번째 업데이트된 수신기 메시지)

[0026] 또한, 상기 복수의 송신기 및 상기 복수의 수신기는, 하기 수학식 4에 기반하여 상기 수신기 메시지의 값 및 상기 송신기 메시지의 값의 합이 최대가 되도록 송신기와 수신기 간의 연결을 결정할 수 있다.

[0027] [수학식 4]

$$\Lambda_a^{(t)} = \operatorname{argmax}_{i \in \mathcal{B}} \left(\xi_{ia}^{(t)} + \gamma_{ia}^{(t)} \right).$$

[0028]

[0029] 일 실시예에 따른 자원 할당 시스템의 복수의 송신기 및 복수의 수신기가 수행하는 자원 할당 방법에 있어서, 상기 복수의 수신기 중 a번째 수신기가 상기 복수의 송신기로부터 상기 a번째 수신기로 전송된 복수의 송신기 메시지들을 이용하여, 상기 a번째 수신기에서 i번째 송신기로 전송하기 위한 수신기 메시지를 업데이트하는 단계; 상기 복수의 송신기 중 상기 i번째 송신기가 상기 복수의 수신기로부터 상기 i번째 송신기로 전송된 복수의 수신기 메시지들을 이용하여, 상기 i번째 송신기에서 상기 a번째 수신기로 전송하기 위한 송신기 메시지를 업데이트하는 단계; 및 상기 복수의 송신기 및 상기 복수의 수신기가 상기 시스템의 합 전송률을 최대화하기 위한 문제를 메시지 전달 알고리즘으로 모델링하여 상기 수신기 메시지의 값 및 상기 송신기 메시지의 값의 합이 최대가 되도록 송신기와 수신기 간의 연결을 결정하는 단계를 포함할 수 있다.

[0030] 또한, 상기 수신기 메시지를 업데이트하는 단계는 상기 수신기 메시지의 값 및 상기 송신기 메시지의 값이 수렴할 때까지, 상기 수신기 메시지를 반복하여 업데이트하는 단계를 포함할 수 있다.

[0031] 또한, 상기 수신기 메시지를 업데이트하는 단계는 하기 수학식 1에 기반하여 상기 수신기 메시지를 업데이트할 수 있다.

[0032] [수학식 1]

$$\gamma_{ia}^{(t+1)} = - \max_{j \in \mathcal{B} \setminus i} \xi_{ja}^{(t)}.$$

[0033]

[0034] (j는 송신기를 지칭하는 인덱스 정보, a는 a번째 수신기를 지칭하는 인덱스 정보, $\xi_{ja}^{(t)}$ 는 복수의 송신기로부터 a번째 수신기로 전송된 복수의 송신기 메시지, $\gamma_{ia}^{(t+1)}$ 는 업데이트된 수신기 메시지)

[0035] 또한, 상기 송신기 메시지를 업데이트하는 단계는 상기 송신기 메시지의 값 및 상기 수신기 메시지의 값이 수렴할 때까지, 상기 송신기 메시지를 반복하여 업데이트하는 단계를 포함할 수 있다.

[0036] 또한, 상기 송신기 메시지를 업데이트하는 단계는 하기 수학식 2에 기반하여 상기 송신기 메시지를 업데이트할 수 있다.

[0037] [수학식 2]

$$\xi_{ia}^{(t)} = \begin{cases} g_{0a}^n(w_{0a}, w_{0a}^2; B_0) - g_{0a}^n(0, 0; B_0) & \text{for MBS,} \\ g_{ia}^n(w_{ia}(c_i + w_{ia}), w_{ia}^2; c_i) - g_{ia}^n(0, 0; c_i) & \text{for SBS.} \end{cases}$$

[0038]

[0039] ($\xi_{ia}^{(t)}$ 는 t번째 업데이트된 송신기 메시지, MBS는 송신기 중 매크로 기지국, SBS는 송신기 중 소형 기지국, i는 송신기를 지칭하는 인덱스 정보, i=0은 매크로 기지국을 지칭하는 인덱스 정보, a는 a번째 수신기를 지칭하는 인덱스 정보, $g(\dots; \cdot)$ 는 하기 수학식 3에 따른 점화식, n은 점화식의 차수, w는 전송률, B는 대역폭)

[0040] [수학식 3]

$$g_{ia}^n(y_{ia}x_{ia}, z_{ia}x_{ia}; s) = \max \left[U \left(s \frac{z_{ia}x_{ia} + \sum_{k=1, b_k \in \mathcal{K}_b}^n z_{ib_k}x_{ib_k}}{y_{ia}x_{ia} + \sum_{k=1, b_k \in \mathcal{K}_b}^n y_{ib_k}x_{ib_k}}, \alpha \right) + \sum_{k=1, b_k \in \mathcal{K}_b}^n \gamma_{ib_k}^{(t)}x_{ib_k} \right],$$

[0041]

[0042] ($U(r, \alpha)$ 는 α -fair utility, i는 송신기 인덱스 정보, a는 수신기 인덱스 정보, $\mathcal{K}_b$ 는 복수의 수신기 x_{ia} 는 i번째 송신기와 a번째 수신기가 서로 연결되어 있는 경우에 1 값을 갖고 연결되어 있지 않은 경우 0 값을 갖는 변수, y_{ia} 는 송신기와 수신기 사이의 utility, z_{ia} 는 각 송신기와 수신기 사이의 utility, $\gamma_{ib_k}^{(t)}$ 는 t번째 업데이트된 수신기 메시지)

[0043] 또한, 상기 연결을 결정하는 단계는 하기 수학식 4에 기반하여 상기 수신기 메시지의 값 및 상기 송신기 메시지의 값의 합이 최대가 되도록 송신기와 수신기 간의 연결을 결정할 수 있다.

[0044] [수학식 4]

$$\Lambda_a^{(t)} = \operatorname{argmax}_{i \in \mathcal{B}} \left(\xi_{ia}^{(t)} + \gamma_{ia}^{(t)} \right).$$

[0045]

[0046] 일 실시예에 따른 컴퓨터 프로그램을 저장하고 있는 컴퓨터 판독 가능 기록매체로서, 복수의 수신기 중 a번째 수신기가 복수의 송신기로부터 상기 a번째 수신기로 전송된 복수의 송신기 메시지들을 이용하여, 상기 a번째 수신기에서 i번째 송신기로 전송하기 위한 수신기 메시지를 업데이트하는 단계; 상기 복수의 송신기 중 상기 i번째 송신기가 상기 복수의 수신기로부터 상기 i번째 송신기로 전송된 복수의 수신기 메시지들을 이용하여, 상기 i번째 송신기에서 상기 a번째 수신기로 전송하기 위한 송신기 메시지를 업데이트하는 단계; 및 상기 복수의 송신기 및 상기 복수의 수신기가 상기 수신기 메시지의 값 및 상기 송신기 메시지의 값의 합이 최대가 되도록 송신기와 수신기 간의 연결을 결정하는 단계를 포함할 수 있다.

[0047] 일 실시예에 따른 컴퓨터 판독 가능한 기록매체에 저장되어 있는 컴퓨터 프로그램으로서, 복수의 수신기 중 a번째 수신기가 복수의 송신기로부터 상기 a번째 수신기로 전송된 복수의 송신기 메시지들을 이용하여, 상기 a번째 수신기에서 i번째 송신기로 전송하기 위한 수신기 메시지를 업데이트하는 단계; 상기 복수의 송신기 중 상기 i번째 송신기가 상기 복수의 수신기로부터 상기 i번째 송신기로 전송된 복수의 수신기 메시지들을 이용하여, 상기 i번째 송신기에서 상기 a번째 수신기로 전송하기 위한 송신기 메시지를 업데이트하는 단계; 및 상기 복수의 송신기 및 상기 복수의 수신기가 상기 수신기 메시지의 값 및 상기 송신기 메시지의 값의 합이 최대가 되도록 송신기와 수신기 간의 연결을 결정하는 단계를 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0049] 본 발명의 실시예는 대규모 MIMO 시스템에서 기지국 또는 사용자의 지역적인 정보만을 이용하여 분산 자원 할당을 수행하는 것이 가능하다. 또한, 통신망의 기지국 메시지 및 사용자 메시지를 분산적으로 업데이트함으로써, 다양한 네트워크의 성능들을 높일 수 있는 주파수 대역폭 할당 및 사용자 연결 방법 최적화가 가능하다.

[0050] 본 발명에서 얻을 수 있는 효과는 이상에서 언급한 효과들로 제한되지 않으며, 언급하지 않은 또 다른 효과들은 아래의 기재로부터 본 개시가 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

- [0052] 도 1은 일 실시예에 따른 대규모 다중 안테나 통신의 분산 자원 할당 시스템 구성도이다.
- 도 2은 일 실시예에 따른 복수의 송신기와 복수의 수신기 간의 연결 형태(a)와 송신기와 수신기 사이의 메시지(b)를 나타내는 예시도이다.
- 도 3은 일 실시예에 따라 송신기 메시지 및 수신기 메시지를 업데이트하는 방법을 설명하기 위한 예시도이다.
- 도 4는 일 실시예에 따른 대규모 다중 안테나 통신의 분산 자원 할당 방법 흐름도이다.
- 도 5는 사용자 수에 따른 평균 합 전송률(a)과 공정성(b)을 실시예에 따른 기법과 종래 기법들에 대해 비교한 그래프이다.
- 도 6은 개별 사용자의 전송률(a)과 공정성(b)을 실시예에 따른 기법과 종래 기법들에 대해 비교한 그래프이다.
- 도 7은 실시예에 따른 기법과 종래 기법들에 대한 계산 복잡도를 나타낸 비교표이다.
- 도 8은 소형 기지국의 수에 따른 합 전송률을 실시예에 따른 기법과 종래 기법들에 대해 비교한 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0053] 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예들에 한정되는 것이 아니라 다양한 형태로 구현될 수 있으며, 단지 본 실시예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하고, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명의 범주는 청구항에 의해 정의될 뿐이다.
- [0054] 본 발명의 실시예들을 설명함에 있어서 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명은 본 발명의 실시예들을 설명함에 있어 실제로 필요한 경우 외에는 생략될 것이다. 그리고 후술되는 용어들은 본 발명의 실시예에서의 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.
- [0055] 이하 사용되는 '…부', '…기' 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어나 소프트웨어, 또는, 하드웨어 및 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.
- [0056] 도 1은 일 실시예에 따른 대규모 다중 안테나 통신의 분산 자원 할당 시스템(10)(이하, '자원 할당 시스템(10)'으로 지칭) 구성도이다.
- [0057] 도 1을 참조하면, 자원 할당 시스템(10)은 복수의 송신기(100) 및 복수의 수신기(200)를 포함할 수 있다. 예를 들어, 송신기(100)는 매크로 기지국(MBS, 101) 및 소형 기지국(SBS, 102)을 포함할 수 있고, 수신기(200)는 기지국과 통신하는 사용자 단말을 포함할 수 있다. 예를 들어, 송신기(100)는 지상국(ground station)일 수 있고, 수신기(200)는 지상국과 통신하는 통신 장비일 수 있다.
- [0058] 송신기(100) 및 수신기(200) 각각은 프로세서, 메모리, 및 적어도 하나의 안테나를 포함할 수 있다.
- [0059] 프로세서는 송신기(100) 또는 수신기(200)를 제어하기 위한 전반적인 기능을 수행하는 역할을 한다. 프로세서는 다수의 논리 게이트들의 어레이로 구현될 수 있고, 범용적인 마이크로 프로세서와 마이크로 프로세서에서 실행될 수 있는 프로그램이 저장된 메모리의 조합으로 구현될 수도 있다.
- [0060] 메모리는 DRAM(dynamic random access memory), SRAM(static random access memory) 등과 같은 RAM(random

access memory), ROM(read-only memory), EEPROM(electrically erasable programmable read-only memory), CD-ROM, 블루레이 또는 다른 광학 디스크 스토리지, HDD(hard disk drive), SSD(solid state drive), 또는 플래시 메모리를 포함하며, 나아가서, 송신기(100) 또는 수신기(200)에 액세스될 수 있는 외부의 다른 스토리지 디바이스를 포함할 수 있다.

[0061] 안테나는 전자기파 신호를 외부로 송출하거나 외부로부터 전자기파 신호를 수신하는 기능을 수행할 수 있다.

[0062] 도 2은 일 실시예에 따른 복수의 송신기(100)와 복수의 수신기(200) 간의 연결 형태(a)와 송신기(100)와 수신기(200) 사이의 메시지(b)를 나타내는 예시도이다.

[0063] 도 2를 참조하면, 복수의 송신기(100) 중 어느 하나와 복수의 수신기(200) 중 어느 하나는 서로 연결되어 메시지를 주고받을 수 있다.

[0064] 본 문서의 실시예는 복수의 송신기(100) 중 어느 하나와 복수의 수신기(200) 중 어느 하나가 연결된 상태에서 전송물의 공정성과 최소 전송물을 최대화하기 위해, α 에 따른 α -fair utility 합 전송물을 최대화하는 방식의 연결 기법을 제공한다.

[0065] 본 문서의 실시예는 주파수를 할당하는 변수를 수신기(200) 할당의 변수로 통일하는 단계를 거치고, 그 후 수신기(200) 분산 할당의 문제를 위한 메시지 전달 과정을 수행하여 α -fair utility를 최대화할 수 있다.

[0066] α -fair utility는 α 의 값에 따라서 아래 수학식 1과 같이 정의할 수 있다.

수학식 1

$$U(r, \alpha) = \begin{cases} \frac{r^{1-\alpha}}{1-\alpha} & \text{if } 0 \leq \alpha < 1, \\ \log r & \text{if } \alpha = 1. \end{cases}$$

[0067]

[0068] 수학식 1에서, r 은 개별 utility이며 각 사용자의 전송물을 의미한다. $\alpha=1$ 인 경우 $U(r, \alpha)$ 의 합은 log utility로서 개별 사용자의 전송물의 공정성을 의미한다. $\alpha=0$ 인 경우 $U(r, \alpha)$ 는 utility 자체이며 합 전송물을 의미한다. α 가 무한대의 경우 $U(r, \alpha)$ 는 최소 사용자 전송물을 의미한다.ss

[0069] 각 사용자별 전송물은 다음과 같이 정의할 수 있다. 송신기(100) 중 매크로 기지국(101)은 'i=0'번째 기지국이며 매크로 기지국(101)에 연결된 수신기(200)의 전송률(bps/Hz)는 아래 수학식 2와 같다.

수학식 2

$$w_{0a} = \log_2 \left(1 + \frac{N_T - N_g + 1}{N_g} \frac{P_0 H_a}{N_g \sigma^2} \right)$$

[0070]

[0071] 수학식 2에서, N_T, N_g 는 각각 매크로 기지국(101)의 안테나 수와 데이터 스트림의 수이며, H_a 는 송신기(100)과 수신기(200) 간의 대규모 페이딩(large scale fading)이고, σ^2 는 사용자의 노이즈, P_0 는 기지국의 송신 파워이다.

[0072] 같은 방법으로 송신기(100) 중 매크로 기지국(101)과 소형 기지국(102)간의 무선 백홀 링크의 전송률은 아래 수학식 3과 같다.

수학식 3

$$c_i = \log_2 \left(1 + \frac{N_T - N_g + 1}{N_g} \frac{P_0 G_i}{\sigma^2} \right)$$

[0073]

[0074] 수학식 3에서, G_i 는 매크로 기지국(101)과 i번째 소형 기지국(102)간의 페이딩 채널의 의미한다. 그리고 a번째 수신기(200)와 i번째 소형 기지국(102)간의 전송률은 아래 수학식 4와 같다.

수학식 4

$$w_{ia} = \log_2 \left(1 + \frac{P_i h_{ia}}{\sigma^2 + \sum_{j \in \mathcal{B} \setminus \{i,0\}} P_j h_{ja}} \right)$$

[0075]

[0076] 수학식 4에서, P_i 는 i번째 송신기(100)의 송신 파워, h_{ia} 는 송신기(100) i와 수신기(200) a간의 페이딩 채널이다.

[0077] 송신기(100) 중 매크로 기지국(101)은 액세스 링크와 백홀 링크에 각각 주파수를 할당해야 한다. 본 문서의 실시예에서 수신기(200)는 송신기(100)의 주파수 자원을 위에 정의된 전송률의 비율만큼 할당받도록 하는 적응적 주파수 할당을 고려하였으며, a번째 사용자가 매크로 기지국(101)(i=0)과 소형 기지국(102)(i)에 각각 연결되었을 때의 전송률(bps)은 아래 수학식 5과 같다.

수학식 5

$$r_{0a} = \frac{B_0 w_{0a}^2 x_{0a}}{\sum_{b \in \mathcal{K}} w_{0b} x_{0b}}$$

[0078]

$$r_{ia} = \frac{(1 - B_i) w_{ia}^2 x_{ia}}{\sum_{b \in \mathcal{K}} w_{ib} x_{ib}}$$

[0079]

[0080] 수학식 5에서, 변수 B_i 는 0에서 1사이의 값으로, i번째 소형 기지국(102)에 할당하는 주파수 대역폭의 비율의 의미한다. 매크로 기지국(101)은 N_s 의 데이터 스트림이 있으므로 매크로 기지국(101)의 액세스 링크에 할당된 주파수는 $N_s - \sum B_i$ 이며 이 변수는 B_0 로 표시한다. 소형 기지국(102)은 단일 안테나를 포함할 수 있고, 소형 기지국(102)에 할당되는 액세스 링크는 $1 - B_i$ 이다.

[0081] 상술한 수학식 1 내지 수학식 5에 따라, 본 문서의 실시예에 따른 자원 할당 시스템(10)에서 a-fair utility를 최대화하기 위한 문제는 아래 수학식 6과 같이 표현될 수 있다.

수학식 6

$$\begin{aligned}
 \mathbf{P1} : \max_{\{x_{ia}\}, B_i} \quad & \sum_{i \in \mathcal{B}} \sum_{a \in \mathcal{K}} U(r_{ia}, \alpha) \\
 \text{subject to} \quad & \sum_{i \in \mathcal{B}} x_{ia} = 1, \forall a \in \mathcal{K}, \\
 & 0 \leq B_i \leq 1, \forall i \in \mathcal{B}, \\
 & R_i \leq B_i c_i, \forall i \in \mathcal{B}, \\
 & r_{ia} \geq r_{\min}, \forall (i, a) \in (\mathcal{B}, \mathcal{K}), \\
 & x_{ia} \in \{0, 1\}, \forall i \in \mathcal{B},
 \end{aligned}$$

[0082]

[0083] 수학식 6에서, x_{ia} 는 i번째 송신기(100)와 a번째 수신기(200)가 연결되면 1, 연결되지 않으면 0의 값을 갖는 변수이고, K는 수신기(200)의 개수이고, B는 송신기(100)의 개수이다. R_i 는 i번째 소형 기지국(102)에 연결된 사용자들의 합 전송률이다. 수학식 6에서, i번째 소형 기지국(102)에 연결된 사용자들의 합 전송률은 i번째 소형 기지국(102)과 매크로 기지국(101) 간의 백홀 링크의 전송률보다 낮아야 하는 제1 조건, 수신기(200)는 하나의 송신기(100)를 선택해야 하는 제2 조건, 각 사용자의 최소 전송률 $r_{\min}$ 을 만족시키는 제3 조건을 만족해야 한다. 즉, 수학식 6에서, 전체 합 전송률, 공정성, 최소 전송률을 주어진 α 의 값에 따라 최대화하는 문제는 이산 변수 x_{ia} 가 포함되어 있으므로, 해당 문제는 비선형 분획 분수 (non-linear fractional programming) 문제에 속한다.

[0084] 본 문서의 실시예에서는 위의 3가지 조건을 만족할 때에 최적의 주파수 할당 변수 B_i 를 구할 수 있는 점에 따르면, 주파수 할당 변수를 아래 수학식 7과 같은 계산과정을 통해 이산 변수인 x_{ia} 로 표현할 수 있다.

수학식 7

$$R_i = \min \left(B_i c_i, \frac{(1 - B_i) \sum_{a \in \mathcal{K}} w_{ia}^2 x_{ia}}{\sum_{b \in \mathcal{K}} w_{ib} x_{ib}} \right).$$

[0085]

$$B_i = \frac{\sum_{a \in \mathcal{K}} w_{ia}^2 x_{ia}}{\sum_{b \in \mathcal{K}} w_{ib} x_{ib}} \left(\frac{c_i (\sum_{a \in \mathcal{K}} w_{ia} x_{ia}) + \sum_{a \in \mathcal{K}} w_{ia}^2 x_{ia}}{\sum_{b \in \mathcal{K}} w_{ib} x_{ib}} \right)^{-1} = \frac{\sum_{a \in \mathcal{K}} w_{ia}^2 x_{ia}}{\sum_{b \in \mathcal{K}} w_{ib} (w_{ib} + c_i) x_{ib}}.$$

[0086]

[0087] 수학식 7에서 구한 할당 변수를 대입하면 a번째 수신기(200)와 i번째 소형 기지국(102)간의 전송률은 아래 수학식 8과 같이 변형이 가능하다.

수학식 8

$$r_{ia} = \frac{c_i w_{ia}^2 x_{ia}}{\sum_{b \in \mathcal{K}} w_{ib} (c_i + w_{ib}) x_{ib}}$$

[0088]

[0089] 이에 따라, 수학식 6의 P1은 변수 x_{ia} 만을 이용하여 아래의 수학식 9의 P1.1로 표현할 수 있다.

수학식 9

$$\begin{aligned} \text{P1.1 : } \max_{\{x_{ia}\}} \quad & \sum_{a \in \mathcal{K}} U \left(\frac{B_0 w_{0a}^2 x_{0a}}{\sum_{b \in \mathcal{K}} w_{0b} x_{0b}}, \alpha \right) + \sum_{i \in \mathcal{B} \setminus 0} \sum_{a \in \mathcal{K}} U \left(\frac{c_i w_{ia}^2 x_{ia}}{\sum_{b \in \mathcal{K}} w_{ib} (c_i + w_{ib}) x_{ib}}, \alpha \right) \\ \text{subject to } \quad & \sum_{i \in \mathcal{B}} x_{ia} = 1, \quad x_{ia} \in \{0, 1\}, \quad \forall a \in \mathcal{K}, \\ & r_{ia} \geq r_{\min}, \quad \forall (i, a) \in (\mathcal{B}, \mathcal{K}). \end{aligned}$$

[0090]

[0091]

수학식 P1.1의 조건은 수신기(200)가 하나의 송신기(100)를 선택해야 하는 조건과 각 수신기(200)의 최소 전송률 조건만 있는 문제이며, 본 문서의 실시예에서는 각 조건에 따라서 사용자와 기지국의 합 utility을 최대화하는 문제를 아래 수학식 10의 P1.2으로 모델링할 수 있다.

수학식 10

$$\text{P1.2 : } \max_{x_{ia} \in \{0, 1\}} \sum_{a \in \mathcal{K}} Q_a(\mathcal{X}_a) + \sum_{i \in \mathcal{B}} E_i(\mathcal{X}_i).$$

[0092]

$$\begin{aligned} Q_a(\mathcal{X}_a) &= \begin{cases} -\infty & \text{if } \sum_{i \in \mathcal{B}} x_{ia} \neq 1, \\ 0 & \text{else,} \end{cases} \\ E_i(\mathcal{X}_i) &= \begin{cases} \sum_{a \in \mathcal{K}} U \left(\frac{B_0 w_{0a}^2 x_{0a}}{\sum_{b \in \mathcal{K}} w_{0b} x_{0b}}, \alpha \right) & \text{for MBS, if } r_{0a} \geq r_{\min}, \\ \sum_{a \in \mathcal{K}} U \left(\frac{c_i w_{ia}^2 x_{ia}}{\sum_{b \in \mathcal{K}} w_{ib} (c_i + w_{ib}) x_{ib}}, \alpha \right) & \text{for SBS, if } r_{ia} \geq r_{\min}, \\ -\infty & \text{otherwise,} \end{cases} \end{aligned}$$

[0093]

수학식 10에서, Q_a 는 a번째 수신기(200)에 대응하는 팩터 노드이고, E_i 는 i번째 송신기(100)에 대응하는 팩터 노드이고, x_{ia} 는 Q_a 와 E_i 에 연결된 변수 노드이다. $\text{if } \sum_{i \in \mathcal{B}} x_{ia} \neq 1$ 은 a번째 수신기(200)가 연결되지 않는 조건이다. 즉, a번째 수신기(200)가 2개 이상의 송신기(100)들을 선택하는 경우와 어떤 송신기(100)도 선택하지 않는 경우를 의미한다. $\text{if } r_{ia} \geq r_{\min}$ 은 i번째 송신기(100)의 안테나의 개수보다 i번째 송신기(100)와 연결을 원하는 수신기(200)의 개수가 많은 조건이다.

[0095]

본 문서의 실시예는 수학식 10의 P1.2와 같이 무선 백홀을 적용한 대규모 다중 안테나 통신에서 합 전송률의 최대화 문제를 메시지 전달 알고리즘으로 전환하여, 무선 백홀을 적용한 대규모 다중 안테나 통신에서 분산 주파수 할당 및 기지국-사용자 간의 연결 문제를 한 번에 해결할 수 있다.

[0096]

예를 들어, 4개의 송신기(100) 및 4개의 수신기(200)를 포함하는 실시예의 경우, 수학식 10의 P1.2로부터 도출되는 합 전송률을 최대화하기 위한 문제의 그래프 모델은 도 2(a)와 같이 표현될 수 있다. E_0, E_1, E_2 , 및 E_3 는 4개의 송신기(100)들의 팩터 노드들을 나타내고, Q_1, Q_2, Q_3 , 및 Q_4 는 4개의 수신기(200)의 팩터 노드들을 나타낸다.

[0097]

수학식 10의 P1.2로부터 도출되는 합 전송률을 최대화하기 위한 문제의 그래프 모델은 도 2(b)와 같이 표현될 수 있다. 도 2(b)에서 γ_{ia} 는 x_{ia} 에서 E_i 로 전달되는 메시지이고, ξ_{ia} 는 E_i 에서 x_{ia} 로 전달되는 메시지이고,

ψ_{ia} 는 x_{ia} 에서 Q_a 로 전달되는 메시지이고, ϕ_{ia} 는 Q_a 에서 x_{ia} 로 전달되는 메시지이다.

[0098] 메시지 전달 알고리즘에 기초하여, γ_{ia} , ξ_{ia} , ψ_{ia} , 및 ϕ_{ia} 는 수학적 식 11과 같이 표현될 수 있다.

수학적 식 11

$$\begin{aligned}\psi_{ia} &= \mu_{x_{ia} \rightarrow Q_a}(x_{ia} = 1) - \mu_{x_{ia} \rightarrow Q_a}(x_{ia} = 0), \\ \phi_{ia} &= \mu_{Q_a \rightarrow x_{ia}}(x_{ia} = 1) - \mu_{Q_a \rightarrow x_{ia}}(x_{ia} = 0), \\ \gamma_{ia} &= \mu_{x_{ia} \rightarrow E_i}(x_{ia} = 1) - \mu_{x_{ia} \rightarrow E_i}(x_{ia} = 0), \\ \xi_{ia} &= \mu_{E_i \rightarrow x_{ia}}(x_{ia} = 1) - \mu_{E_i \rightarrow x_{ia}}(x_{ia} = 0),\end{aligned}$$

[0099] 

[0100] 또한, 메시지들간의 관계식을 도출함으로써, 송신기(100)에서 수신기(200)로 전송하는 메시지(ξ_{ia})와, 수신기(200)에서 송신기(100)으로 전송하는 메시지(γ_{ia})를 아래 수학적 식 12와 같이 정리할 수 있다.

수학적 식 12

$$\psi_{ia}^{(t)} = \xi_{ia}^{(t)} \text{ and } \gamma_{ia}^{(t)} = \phi_{ia}^{(t)}.$$

[0101] 

[0102] 본 문서의 실시예는 상기 수학적 식 12와 같이 메시지들 간의 관계식을 도출함으로써, 메시지들을 계산하는 복잡도를 절반으로 줄일 수 있다. 즉, i 번째 송신기(100)에서 a 번째 수신기(200)로 전송하는 메시지인 송신기(100) 메시지 ξ_{ia} 및 a 번째 수신기(200)에서 i 번째 송신기(100)로 전송하는 메시지인 수신기(200) 메시지 γ_{ia} 만 계산하면, 대규모 MIMO 시스템(10)에서 합 전송률을 최대화하기 위한 문제를 간단하게 해결할 수 있게 된다.

[0103] 도 3은 일 실시예에 따라 송신기(100) 메시지 및 수신기(200) 메시지를 업데이트하는 방법을 설명하기 위한 예시도이다. 도 3를 참조하여, i 번째 송신기(100)에서 a 번째 수신기(200)로 전달되는 송신기(100) 메시지 ξ_{ia} 를 업데이트하는 방법에 대하여 살펴본다.

[0104] 도 3(a)를 참조하면, i 번째 송신기(100)는 복수의 수신기(200)들로부터 전송된 복수의 수신기(200) 메시지들을 이용하여, 송신기(100) 메시지 ξ_{ia} 를 업데이트할 수 있다. i 번째 송신기(100)는 a 번째 수신기(200)를 제외한 복수의 수신기(200)들로부터 i 번째 송신기(100)로 전송된 복수의 수신기(200) 메시지들을 이용하여, 송신기(100) 메시지 ξ_{ia} 를 업데이트할 수 있다. i 번째 송신기(100)는 연결 가능한 수신기(200)의 개수에 기초하여, 송신기(100) 메시지 ξ_{ia} 를 업데이트할 수 있다. i 번째 송신기(100)는 a 번째 수신기(200)를 제외한 복수의 수신기(200)들로부터 전송된 복수의 수신기(200) 메시지들의 최대값을 획득하고, 획득된 최대값의 부호(sign)를 전환한 값을 이용하여, 수신기(200) 메시지 ξ_{ia} 를 업데이트할 수 있다.

수학식 13

$$\gamma_{ia}^{(t+1)} = -\max_{j \in \mathcal{B} \setminus i} \xi_{ja}^{(t)}.$$

[0105]

[0106] 수학식 13에 따르면, i번째 송신기(100)는 복수의 수신기(200)들로부터 전송된 복수의 수신기(200) 메시지($\xi_{ja}^{(t)}$) 중 최대값을 획득하고, 획득된 최대값의 부호(sign)를 전환한 값을 이용하여, 송신기(100) 메시지 $\gamma_{ia}^{(t+1)}$ 를 업데이트할 수 있다.

[0107] 도 3(b)를 참조하면, a번째 수신기(200)는 복수의 송신기(100)들로부터 전송된 복수의 송신기(100) 메시지들을 이용하여, 수신기(200) 메시지를 업데이트할 수 있다. a번째 수신기(200)는 i번째 송신기(100)를 제외한 복수의 송신기(100)들로부터 a번째 수신기(200)로 전송된 복수의 수신기(200) 메시지들을 이용하여, 수신기(200) 메시지를 업데이트할 수 있다. a번째 수신기(200)는 i번째 송신기(100)를 제외한 복수의 송신기(100)들로부터 전송된 복수의 송신기(100) 메시지들의 최대값을 획득하고, 획득된 최대값의 부호(sign)를 전환한 값을 이용하여, 수신기(200) 메시지를 업데이트할 수 있다.

[0108] 구체적으로, 송신기(100) 메시지 ξ_{ia} 및 수신기(200) 메시지 γ_{ia} 는 수학식 14에 기초하여 업데이트될 수 있다.

수학식 14

$$\begin{aligned} \xi_{ia}^{(t)} &= \mu_{E_i \rightarrow x_{ia}}(x_{ia} = 1) - \mu_{E_i \rightarrow x_{ia}}(x_{ia} = 0) \\ &= \max_{\mathcal{X}_i \setminus x_{ia}} \left(E_i(x_{ia} = 1, \mathcal{X}_i \setminus x_{ia}) + \sum_{b \in \mathcal{K} \setminus a} \mu_{x_{ib} \rightarrow E_i}(x_{ib}) \right) - \max_{\mathcal{X}_i \setminus x_{ia}} \left(E_i(x_{ia} = 0, \mathcal{X}_i \setminus x_{ia}) + \sum_{b \in \mathcal{K} \setminus a} \mu_{x_{ib} \rightarrow E_i}(x_{ib}) \right) \end{aligned}$$

[0109]

[0110] 수학식 14의 팩터 노드인 E_i 의 계산에서, 변수 X_i 는 E_i 에 연결된 변수 노드들 중 x_{ia} 를 제외한 변수 노드들의 집합이다.

[0111] 아래 수학식 15은 수학식 14의 ($x_{ia} = 1$)인 항에 대한 유도 과정이다. ($x_{ia} = 0$)인 항도 같은 방식으로 유도될 수 있다.

수학식 15

$$\begin{aligned} &= \max_{\mathcal{X}_i \setminus x_{ia}} \left(U\left(s \frac{z_{ia}}{y_{ia}}, \alpha\right) + \sum_{b=1, b \neq a}^n \mu_{x_{ib} \rightarrow E_i}(x_{ib} = 0), \right. \\ &\quad \max_{b \in \mathcal{K} \setminus a} \left(U\left(s \frac{z_{ia} + z_{ib}}{y_{ia} + y_{ib}}, \alpha\right) + \mu_{x_{ib} \rightarrow E_i}(x_{ib} = 1) + \sum_{c=1, c \notin \{a, b\}}^{n-1} \mu_{x_{ic} \rightarrow E_i}(x_{ic} = 0) \right), \\ &\quad \max_{b \in \mathcal{K} \setminus a} \left(U\left(s \frac{z_{ia} + \sum_{b=1, b \neq a}^2 z_{ib} x_{ib}}{y_{ia} + \sum_{b=1, b \neq a}^2 y_{ib} x_{ib}}, \alpha\right) + \sum_{b=1, b \neq a}^2 \mu_{x_{ib} \rightarrow E_i}(x_{ib} = 1) + \sum_{c=1, c \notin \{a, b\}}^{n-2} \mu_{x_{ic} \rightarrow E_i}(x_{ic} = 0) \right), \\ &\quad \left. \dots, \max_{b \in \mathcal{K} \setminus a} \left(U\left(s \frac{z_{ia} + \sum_{b=1, b \neq a}^n z_{ib} x_{ib}}{y_{ia} + \sum_{b=1, b \neq a}^n y_{ib} x_{ib}}, \alpha\right) + \sum_{b=1, b \neq a}^n \mu_{x_{ib} \rightarrow E_i}(x_{ib} = 1) \right) \right) \end{aligned}$$

[0112]

[0113] 또한, 수학식 15에 수학식 12의 변수 관계를 대입하면 아래 수학식 16과 같이 메시지(x_{ia})로 표현할 수 있다. 여기서 변수 s는 매크로 기지국(101)과 소형 기지국(102)의 액세스 링크에 할당된 주파수를 의미한다.

수학식 16

$$\begin{aligned} \xi_{ia}^{(t)} = & \max \left(U \left(s \frac{z_{ia}}{y_{ia}}, \alpha \right), \max_{b \in K \setminus a} \left(U \left(s \frac{z_{ia} + z_{ib}}{y_{ia} + y_{ib}}, \alpha \right) + \gamma_{ib}^{(t)} \right), \max_{b \in K} \left(U \left(s \frac{z_{ia} + \sum_{b=1, b \neq a}^2 z_{ib} x_{ib}}{y_{ia} + \sum_{b=1, b \neq a}^2 y_{ib} x_{ib}}, \alpha \right) + \sum_{b=1, b \neq a}^2 \gamma_{ib}^{(t)} x_{ib} \right), \right. \\ & \left. \dots, \max_{b \in K \setminus a} \left(U \left(s \frac{z_{ia} + \sum_{b=1, b \neq a}^n z_{ib} x_{ib}}{y_{ia} + \sum_{b=1, b \neq a}^n y_{ib} x_{ib}}, \alpha \right) + \sum_{b=1, b \neq a}^n \gamma_{ib}^{(t)} x_{ib} \right) \right) \\ & - \max \left(U(0, \alpha), \max_{b \in K \setminus a} \left(U \left(s \frac{z_{ib}}{y_{ib}}, \alpha \right) + \gamma_{ib}^{(t)} \right), \max_{b \in K \setminus a} \left(U \left(s \frac{\sum_{b=1, b \neq a}^2 z_{ib} x_{ib}}{\sum_{b=1, b \neq a}^2 y_{ib} x_{ib}}, \alpha \right) + \sum_{b=1, b \neq a}^2 \gamma_{ib}^{(t)} x_{ib} \right) \right. \\ & \left. \dots, \max_{b \in K \setminus a} \left(U \left(s \frac{\sum_{b=1, b \neq a}^n z_{ib} x_{ib}}{\sum_{b=1, b \neq a}^n y_{ib} x_{ib}}, \alpha \right) + \sum_{b=1, b \neq a}^n \gamma_{ib}^{(t)} x_{ib} \right) \right). \end{aligned} \quad (32)$$

[0114]

[0115]

수학식 16의 U 함수 안의 분수식을 계산하는 방법은 기존의 메시지 전달 알고리즘으로 풀기 어려우며 계산 복잡도가 높다. 본 문서의 실시예에서는 다음 수학식 17의 새로운 점화식을 정의하여 위의 계산을 해결한다.

수학식 17

$$g_{ia}^n(y_{ia}x_{ia}, z_{ia}x_{ia}; s) = \max \left[U \left(s \frac{z_{ia}x_{ia} + \sum_{k=1, b_k \in K_b}^n z_{ib_k} x_{ib_k}}{y_{ia}x_{ia} + \sum_{k=1, b_k \in K_b}^n y_{ib_k} x_{ib_k}}, \alpha \right) + \sum_{k=1, b_k \in K_b}^n \gamma_{ib_k}^{(t)} x_{ib_k} \right],$$

[0116]

[0117]

수학식 17은 수학식 16의 각 최대값을 계산하는 함수이며 n은 송신기(100)가 받은 수신기(200) 메시지의 개수이다. U(r, α)는 α-fair utility, i는 송신기 인덱스 정보, a는 수신기 인덱스 정보, Kb는 복수의 수신기, x_{ia}는 i번째 송신기와 a번째 수신기가 서로 연결되어 있는 경우에 1 값을 갖고 연결되어 있지 않은 경우 0 값을 갖는 변수, y_{ia}는 송신기와 수신기 사이의 utility, z_{ia}는 각 송신기와 수신기 사이의 utility, $\gamma_{ib_k}^{(t)}$ 는 t번째 업데이트된 수신기 메시지이다. 매크로 기지국의 경우 y_{0a}, w_{0a}, z_{0a}는 w_{0a}²이다. y_{ia}는 w_{ia}(c_i+w_{ia})이다. 매크로 기지국의 경우 z_{ia}는 w_{0a}²이다.

[0118]

함수 g는 아래 수학식 18과 같이 n번째와 n-1번째가 재귀적인 관계가 있다.

수학식 18

$$g_{ia}^n(y_{ia}x_{ia}, z_{ia}x_{ia}; s) = \max \left[\gamma_{ib_k} + g_{ia}^{n-1}(y_{ia}x_{ia} + y_{ib_k}, z_{ia}x_{ia} + z_{ib_k}; s), g_{ia}^{n-1}(y_{ia}x_{ia}, z_{ia}x_{ia}; s) \right],$$

[0119]

[0120]

수학식 17, 수학식 18에서, n=0인 초기값의 경우 아래 수학식 19와 같이 정리할 수 있다.

수학식 19

$$g_{ia}^0(y_{ia}x_{ia}, z_{ia}x_{ia}; s) = \begin{cases} U(0, \alpha) & \text{if } y_{ia} = 0 \text{ and } z_{ia} = 0, \\ U \left(s \frac{z_{ia}}{y_{ia}}, \alpha \right) & \text{otherwise.} \end{cases}$$

[0121]

[0122]

i번째 송신기(100)는 a번째 수신기(200)에 수학식 17 또는 수학식 18의 계산 결과를 전송하며, 송신기(100)와

수신기(200) 간의 메시지 업데이트 과정은 아래 수학적식 20과 같다.

수학적식 20

$$\gamma_{ia}^{(t+1)} = -\max_{j \in \mathcal{B} \setminus i} \xi_{ja}^{(t)}$$

$$\xi_{ia}^{(t)} = \begin{cases} g_{0a}^n(w_{0a}, w_{0a}^2; B_0) - g_{0a}^n(0, 0; B_0) & \text{for MBS,} \\ g_{ia}^n(w_{ia}(c_i + w_{ia}), w_{ia}^2; c_i) - g_{ia}^n(0, 0; c_i) & \text{for SBS.} \end{cases}$$

[0123]

[0124] 위의 수학적식 20의 과정을 송신기(100)와 수신기(200)가 반복 수행을 하며 다음과 같이 업데이트를 반복하면 메시지들의 값은 특정 값으로 수렴하게 된다.

수학적식 21

$$\xi_{ia}^{(t)} = (1 - \delta)\xi_{ia}^{(t-1)} + \delta \xi_{ia}^{(t)},$$

$$\gamma_{ia}^{(t+1)} = (1 - \delta)\gamma_{ia}^{(t)} - \delta \max_{j \in \mathcal{B} \setminus i} \xi_{ja}^{(t)}.$$

[0125]

[0126] 수학적식 21의 δ 는 0에서 1사이의 값이며 업데이트 속도와 최적의 송신기 메시지 값(ξ_{ia}) 및 수신기 메시지 값(γ_{ia})을 찾을 수 있게 한다. 본 문서의 실시예에서 결정하는 송신기(100)와 수신기(200) 연결은 다음의 수학적식 22에 기초하여 수행될 수 있다.

수학적식 22

$$\Lambda_a^{(t)} = \operatorname{argmax}_{i \in \mathcal{B}} (\xi_{ia}^{(t)} + \gamma_{ia}^{(t)}).$$

[0127]

[0128] 수학적식 22에서 Λ_a 는 a번째 수신기(200)에서 결정되는 값이며, 두 메시지들을 더한 것들 중 제일 큰 송신기(100)를 선택할 수 있다. 송신기(100) 메시지는 i번째 송신기(100)가 a번째 수신기(200)와의 연결에서 기대하는 이득으로 해석할 수 있다. 음수의 메시지는 i번째 송신기(100)과 a번째 수신기(200)와 연결을 할 필요가 없음을 의미하며, 양수의 경우에는 i번째 송신기(100)와 a번째 수신기(200)가 연결되는 것을 의미한다. 또한, 수신기(200) 메시지의 경우에도 양수의 값은 a번째 수신기(200)가 i번째 송신기(100)와의 선호도를 나타낸다. 결국, 이 두 메시지의 합은 i번째 송신기(100)와 수신기(200) 사이의 연결을 하였을 때의 이득이 얼마큼인지 의미하며 양의의 값을 가지는 해당 후보의 송신기(100)와 각 수신기(200)를 연결하도록 개별 수신기(200)에서 수행한다.

[0129] 도 4는 일 실시예에 따른 대규모 다중 안테나 통신의 분산 자원 할당 방법 흐름도이다.

[0130] S1010 단계에서, a번째 수신기(200)는 복수의 송신기(100)로부터 전송된 복수의 송신기(100) 메시지들을 이용하여, a번째 수신기(200)에서 i번째 송신기(100)로 전송하기 위한 수신기(200) 메시지 γ_{ia} 를 업데이트할 수 있다. a번째 수신기(200)는 수학적식 13에 기초하여 수신기(200) 메시지 γ_{ia} 를 업데이트할 수 있다.

[0131] S1020 단계에서, i번째 송신기(100)는 복수의 수신기(200)들로부터 전송된 복수의 수신기(200) 메시지들을 이용하여, i번째 송신기(100)에서 a번째 수신기(200)로 전송하기 위한 송신기(100) 메시지 ξ_{ia} 를 업데이트할 수 있다. i번째 송신기(100)는 수학적식 13에 기초하여 송신기(100) 메시지 ξ_{ia} 를 업데이트할 수 있다.

- [0132] S1030 단계에서, a번째 수신기(200)는 수신기(200) 메시지 γ_{ia} 의 값 및 송신기(100) 메시지 ξ_{ia} 의 값이 수렴할 때까지, 수신기(200) 메시지 γ_{ia} 를 반복하여 업데이트할 수 있다. 또한, i번째 송신기(100)의 프로세서는 수신기(200) 메시지 γ_{ia} 의 값 및 송신기(100) 메시지 ξ_{ia} 의 값이 수렴할 때까지, 송신기(100) 메시지 ξ_{ia} 를 반복하여 업데이트할 수 있다.
- [0133] 수신기(200) 메시지 γ_{ia} 의 값 및 송신기(100) 메시지 ξ_{ia} 의 값이 수렴하는 것은 수신기(200) 메시지 γ_{ia} 의 값 및 송신기(100) 메시지 ξ_{ia} 의 값의 변화량이 미리 결정된 값 이하인 것을 의미할 수 있다.
- [0134] S1040 단계에서, 복수의 송신기(100) 및 복수의 수신기(200) 중 적어도 어느 하나의 프로세서는 수신기(200) 메시지(γ_{ia})의 값 및 송신기(100) 메시지(ξ_{ia})의 값의 합이 최대가 되도록, 복수의 송신기(100)들과 복수의 수신기(200)들 간의 연결을 결정할 수 있다. S1040 단계는 수학적 23에 기초하여 수행될 수 있다. 일 실시예에서 i번째 송신기(100)는 복수의 수신기(200)로부터 전송받은 수신기(200) 메시지의 값과 전송한 송신기(100) 메시지의 값의 합을 비교하고, i번째 송신기(100)는 복수의 수신기(200)들 중 상기 합이 최대가 되는 수신기(200)와 연결되도록 결정할 수 있다. 일 실시예에서 a번째 수신기(200)는 복수의 송신기(100)로부터 전송받은 송신기(100) 메시지의 값과 전송한 수신기(200) 메시지의 값의 합을 비교하고, a번째 수신기(200)는 복수의 송신기(100)들 중 상기 합이 최대가 되는 송신기(100)와 연결되도록 결정할 수 있다.
- [0135] 본 문서의 실시예에 따르면, S1010 내지 1040 단계에 따라 송신기(100) 메시지 및 수신기(200) 메시지를 업데이트함으로써, 무선 백홀이 존재하는 상황에서 주파수 할당과 사용자 연결 문제, 이 두 가지의 문제를 하나의 사용자 연결 문제로 변형함으로써, 이중 네트워크의 무선 백홀을 가정한 대규모 MIMO 시스템(10)에서 분산 주파수 할당 및 기지국-사용자 간의 연결 문제를 한 번에 해결할 수 있다. 이에 따라, 통신망의 기지국 메시지 및 사용자 메시지를 분산적으로 업데이트함으로써, 다양한 네트워크의 성능들을 높일 수 있는 주파수 대역폭 할당 및 사용자 연결 방법 최적화가 가능하다.
- [0136] 도 5 내지 도 8은 본 문서의 실시예에 따른 자원 할당 시스템(10)의 성능을 분석하기 위해 기존 알고리즘과 비교하여 실험을 수행한 결과이다. 실험에서는 이중 네트워크 환경에서 하나의 매크로 기지국(101)과 10개의 소형 기지국(102), 최대 200개의 수신기(200)가 1Km x 1Km의 2차원 공간안에 균일하게 배치되어 있는 상황을 가정하였다. 이때 매크로 기지국(101)의 안테나 수는 100개이며 데이터 스트림의 수는 10개로 고정하였고, 소형 기지국(102)과 수신기(200)는 단일 안테나를 사용하였다. 매크로 기지국(101)과 소형 기지국(102)의 전송 파워는 각각 43 dBm, 33 dBm이고, 전체 주파수 대역폭은 1MHz를 가정하였다.
- [0137] 도 5는 사용자 수에 따른 평균 합 전송률(a)과 공정성(b)을 실시예에 따른 기법과 종래 기법들에 대해 비교한 그래프이다. 즉, 도 5는 수신기(200)의 수를 증가시키면서 평균합 전송률과 공정성을 측정한 결과로, 종래의 방법들 대비 본 실시예에서 제안하는 방법의 평균합 전송률과 공정성이 높은 것을 확인할 수 있다.
- [0138] 도 6은 개별 사용자의 전송률(a)과 공정성(b)을 실시예에 따른 기법과 종래 기법들에 대해 비교한 그래프이다. 구체적으로, 도 6은 수신기(200)가 200명의 경우, 종래의 방법들과 본 실시예에서 제안하는 방법의 개별 사용자의 전송률과 공정성에 대한 CDF (Cumulative Distribution Function)를 비교한 그래프이다. 도 6을 참조하면, 최소 전송률의 조건이 없는 경우, 실시예의 기법에 의한 합 전송률은 특정 소수의 사용자만의 성능을 높여서 달성하는 것을 알 수 있고, 전송률 조건이 있는 경우 그 조건을 만족하게 하면서 합 전송률을 높일 수 있다는 것을 확인할 수 있다. 또한, 공정성의 경우 종래의 기법 대비 실시예의 기법은 낮은 전송률 사용자들의 성능을 높여서 전체 사용자들의 전송률이 높아지도록 만들어 공정성을 높일 수 있는 것을 확인할 수 있다.
- [0139] 도 7은 실시예에 따른 기법과 종래 기법들에 대한 계산 복잡도를 나타낸 비교표이다.
- [0140] 도 8은 소형 기지국(102)의 수에 따른 합 전송률을 실시예에 따른 기법과 종래 기법들에 대해 비교한 그래프이다. 구체적으로, 도 8은 소형 기지국(102)의 수를 증가시키면서 종래의 방법들과 실시예에서 제안한 방법의 합 전송률의 비교한 결과이다. 도 8을 참조하면, 기지국 수가 증가하면 백홀 링크에 할당해야 하는 주파수가 필요하여 액세스 링크에 할당된 주파수가 줄어들어 전체 합 전송률은 크게 증가하지 못하지만 제안한 방법이 종래의 방법 대비 높은 성능을 가지는 것을 확인할 수 있다.
- [0141] 이상의 설명은 본 발명의 기술 사상을 예시적으로 설명한 것에 불과한 것으로서, 본 발명이 속하는 기술 분야에

서 통상의 지식을 가진 자라면 본 발명의 본질적인 품질에서 벗어나지 않는 범위에서 다양한 수정 및 변형이 가능할 것이다. 따라서, 본 명세서에 개시된 실시예들은 본 발명의 기술 사상을 한정하기 위한 것이 아니라 설명하기 위한 것이고, 이러한 실시예에 의하여 본 발명의 기술 사상의 범위가 한정되는 것은 아니다. 본 발명의 보호 범위는 아래의 청구범위에 의하여 해석되어야 하며, 그와 균등한 범위 내에 있는 모든 기술사상은 본 발명의 권리범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

부호의 설명

10: 대규모 다중 안테나 통신의 분산 자원 할당 시스템

100: 송신기

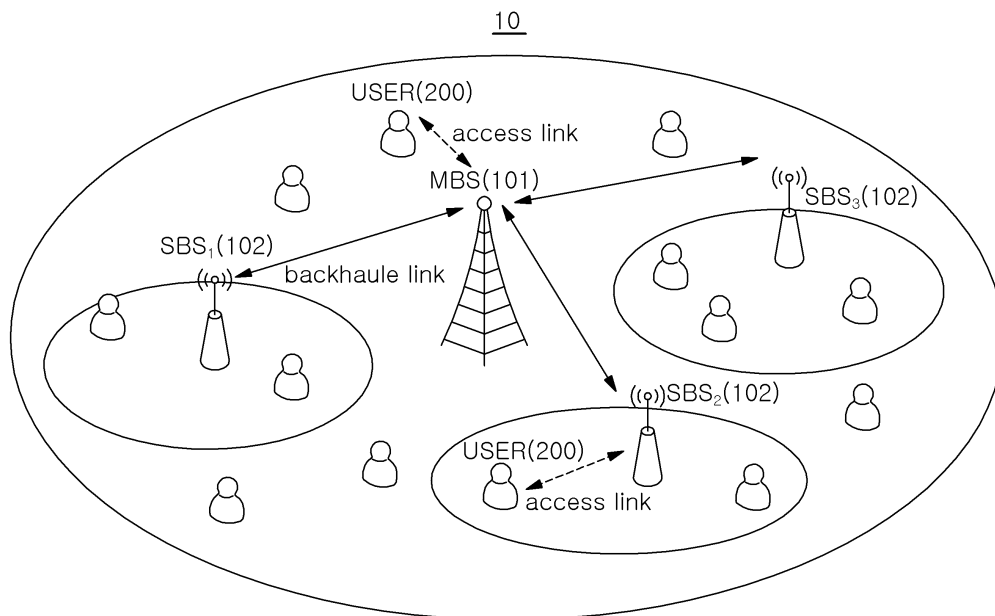
101: 매크로 기지국

102: 소형 기지국

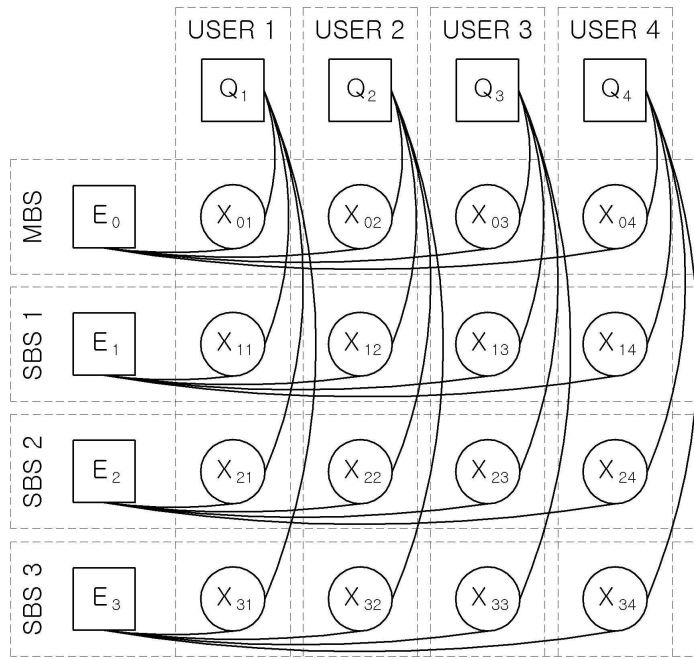
200: 수신기

도면

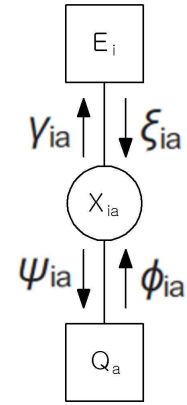
도면1



도면2

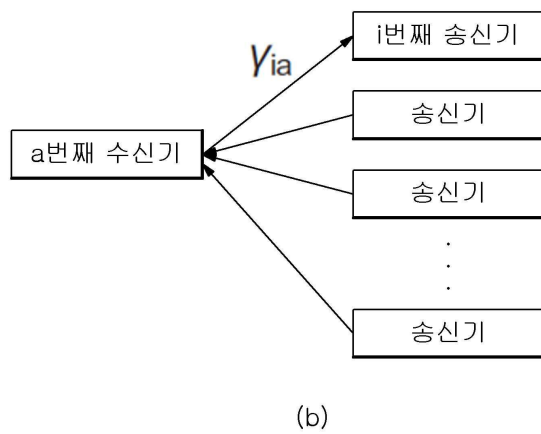
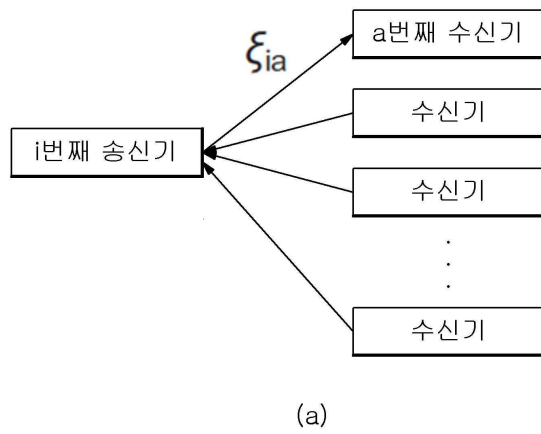


(a)

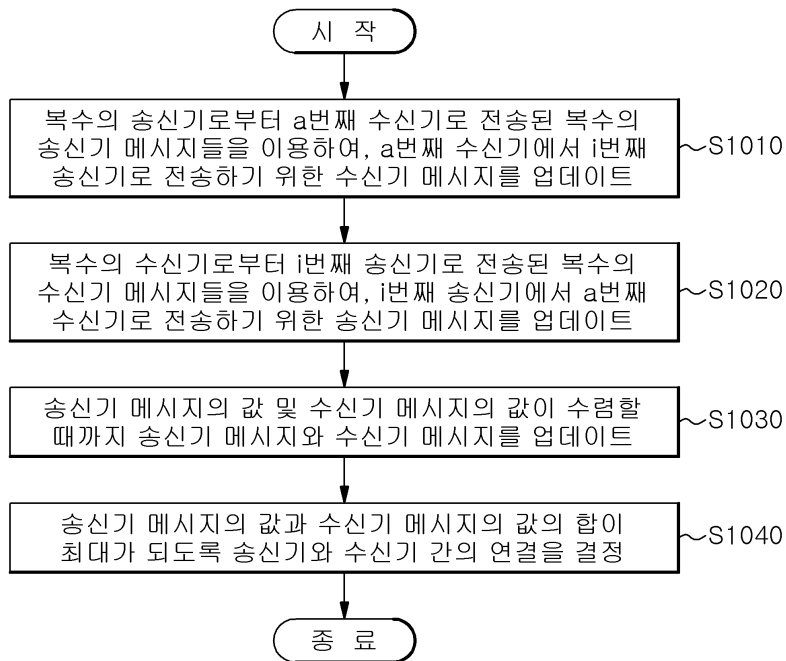


(b)

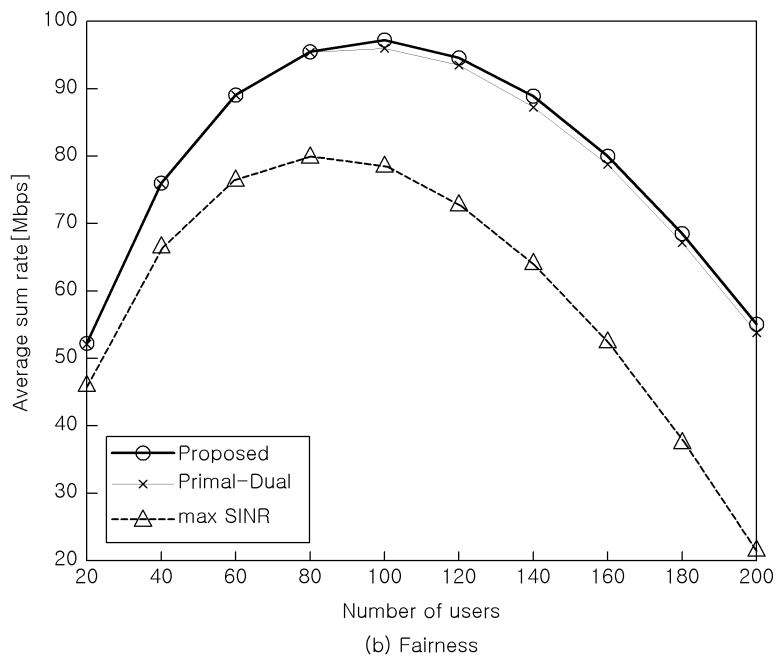
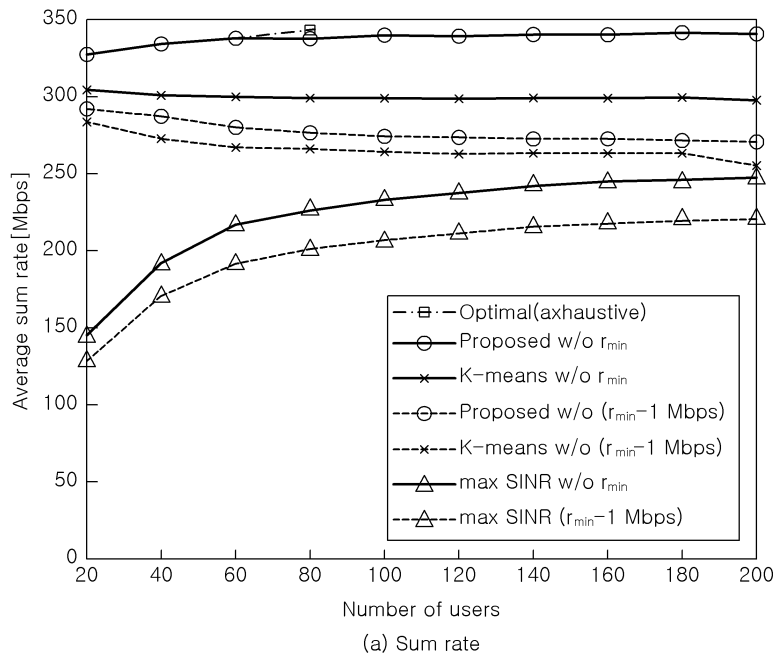
도면3



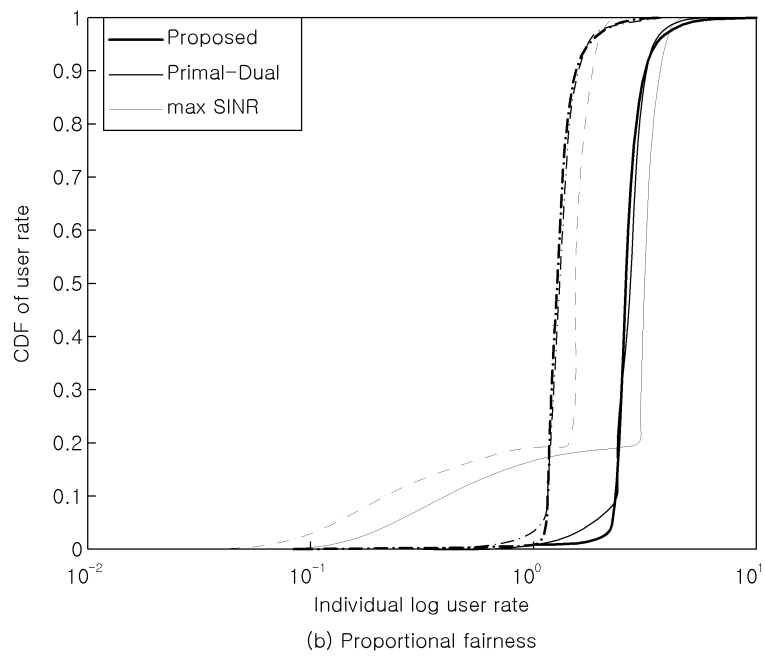
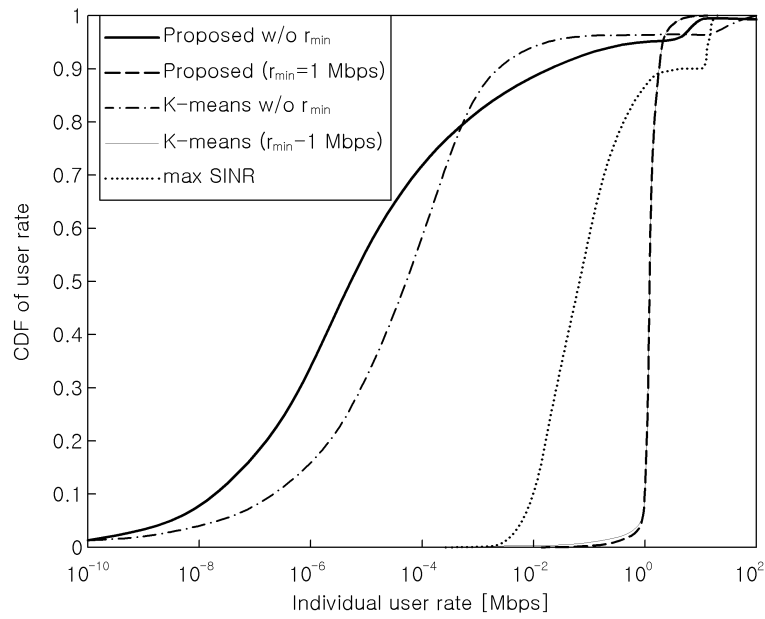
도면4



도면5



도면6



도면7

Proposed	$O(K^2 \log K)$
Optimal	$O(K^M)$
Maximum SINR	$O(K^2 \log K)$
K-means	$O(K^2 (\log K)^2)$
Primal-Dual	$O(K^2)$

도면8

