



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0060290
(43) 공개일자 2020년05월29일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04W 72/04 (2009.01) H04W 24/02 (2009.01)
(52) CPC특허분류
H04W 72/04 (2013.01)
H04W 24/02 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2019-0151631
(22) 출원일자 2019년11월22일
심사청구일자 2019년11월22일
(30) 우선권주장
1020180145231 2018년11월22일 대한민국(KR)

(71) 출원인
한밭대학교 산학협력단
대전광역시 유성구 동서대로 125 (덕명동)
(72) 발명자
이경재
대전광역시 유성구 학하로 33, 107동 2402호(계산동, 학하리슈빌 학의뜰아파트)
신수호
대전광역시 유성구 동서대로 125, N3동 402호(덕명동)
(74) 대리인
이은철, 이우영

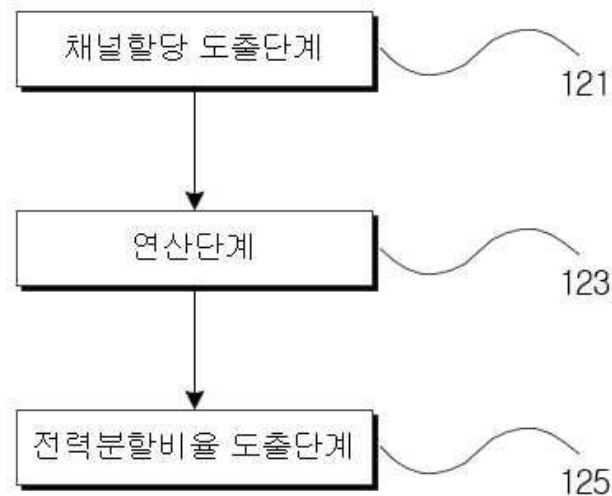
전체 청구항 수 : 총 12 항

(54) 발명의 명칭 OFDMA SWIPT 시스템의 통합 자원 할당 장치 및 방법

(57) 요약

본 기술은 OFDMA SWIPT 시스템의 통합 자원 할당 장치 및 방법이 개시된다. 본 발명의 구체적인 예에 따르면, 채널 할당, 기지국 및 사용자의 전력할당, 및 전력분할비율에 대한 통합 최적화 알고리즘으로 기지국의 최적 라그랑지안 변수 및 유저 단말의 최적 라그랑지안 변수를 도출함에 따라, 시스템의 채널 용량을 최대화할 수 있고 이에 시스템 성능을 향상시킬 수 있다.

대 표 도 - 도4



(72) 발명자

데렉 콰쿠 포비 아시두

대전광역시 유성구 동서대로 125, N3동 402호(덕명동)

임용석

서울특별시 양천구 목동서로 130, 416동 902호(목동, 목동신시가지아파트4단지)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 20001056

부처명 산업통상자원부

연구관리전문기관 한국산업기술평가관리원

연구사업명 전자부품산업핵심기술개발

연구과제명 IoT 웨어러블 디바이스용 저전력 Massive MISO SWIPT 핵심 기술 개발

기 여 율 1/1

주관기관 전자부품연구원

연구기간 2018.04.01 ~ 2018.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

기지국의 RF 신호를 다수의 유저 단말에서 수신한 다음 정보 및 전력을 동시에 빔포밍하는 OFDMA SWIPT 시스템의 통합 자원 할당 방법에 있어서,

상기 기지국에 채널 할당, 기지국 및 사용자의 전력할당, 및 전력분할비율에 대한 통합 최적화 알고리즘으로 기지국의 최적 라그랑지안 변수 및 유저 단말의 최적 라그랑지안 변수를 도출하는 통합 최적화 단계를 포함도록 구비되는 것을 특징으로 하는 OFDMA SWIPT 시스템의 통합 자원 할당 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 통합 최적화 단계는,

- (a) 다운 링크 및 업 링크 전력 할당 p_n^{dl} 및 $p_{k,n}^{ul}$, 기지국에서의 라그랑지안 변수 λ , 유저 단말에서의 라그랑지안 변수 μ_k , 및 전력분할비율 ρ_k 은 모두 초기화되고, 전력분할비율 ρ_k 는 0과 1 사이의 랜덤하게 설정한 다음 라그랑지안 곱수를 사용하여 설정된 채널 할당 문제의 해로 채널 할당 변수 $\Pi(n)$ 를 도출하는 단계;
- (b) 다운 링크 및 업링크 전력 할당 p_n^{dl} , $p_{k,n}^{ul}$, 하베스트 에너지 총량 EH_k 및 서브그래디언트 d 를 연산하는 단계;
- (c) 도출된 서브그래디언트 d 를 사용하여 이분법 최적화를 수행하여 기지국에서의 라그랑지안 변수 λ_{new} 를 도출하고 도출된 기지국에서의 라그랑지안 변수 λ_{new} 로 이전 기지국에서의 라그랑지안 변수 λ_{old} 를 업데이트하고, 라그랑지안 변수 λ_{new} 로 이전 기지국에서의 라그랑지안 변수 λ_{old} 의 차가 기 정해진 임계치에 수렴할 때까지 반복 수행하여 기지국에서의 최적 라그랑지안 변수 λ 를 도출하는 단계; 및
- (d) 그래디언트 디센트 방법을 이용하여 전력분할비율 $\rho_{k,new}$ 를 도출하고, 도출된 $\rho_{k,new}$ 를 전력분할비율 $\rho_{k,old}$ 로 업데이트하고, $\rho_{k,new} - \rho_{k,old}$ 이 기 정해진 임계치 accuracy로 수렴할 때까지 반복 수행하여 최적 전력분할비율 ρ_k 을 도출하는 단계 중 적어도 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 OFDMA SWIPT 시스템의 통합 자원 할당 방법.

청구항 3

제2항에 있어서, 상기 다운 링크 및 업링크 전력 할당 p_n^{dl} , $p_{k,n}^{ul}$ 각각은

채널 할당 및 전력분할비율을 상수로 설정하고 라그랑지안 곱수 접근법 및 서브그래디언트 d 를 이용하여 도출하도록 구비되며, 업링크 및 다운 링크 전력 할당 p_n^{dl} , $p_{k,n}^{ul}$ 및 서브그래디언트 d 각각은 다음 관계식 1 내지 관계식 3을 만족하도록 구비되는 것을 특징으로 하는 OFDMA SWIPT 시스템의 통합 자원 할당 방법.

[관계식 1]

$$p_n^{dl} = \max \left\{ 0, \frac{w^{dl}}{(\lambda - \mu_{\Pi(n)} |h_{\Pi(n),n}|^2 \rho_{\Pi(n)} \beta_{\Pi(n)}) \ln 2} - \frac{\sigma^2}{|h_{\Pi(n),n}|^2 (1 - \rho_{\Pi(n)})} \right\}$$

[관계식 2]

$$p_{k,n}^{ul} = \max \left\{ 0, \frac{w^{ul}}{\mu_k \ln 2} - \frac{\sigma^2}{|g_{k,n}|^2} \right\}$$

[관계식 3]

$$d = P_{tot} - \sum_{n=1}^N p_n^{dl}$$

여기서, λ 는 기지국에서의 라그랑지안 변수이고, $\Pi(n)$ 는 채널할당변수이며, μ 는 유저 단말에서의 라그랑지안 변수이고, $h_{\Pi(n),n}$ 는 서브 채널 $\Pi(n)$ 의 채널 정보이며, w^{dl} 는 다운링크 가중치이고, w^{ul} 는 업링크 가중치이며, ρ 는 전력분할비율이고, P_{tot} 는 총 전력량이다.

청구항 4

제3항에 있어서, 상기 채널 할당 변수 $\Pi(n)$ 은,

다운 링크 및 업 링크 전력 할당 p_n^{dl} 및 $p_{k,n}^{ul}$, 기지국에서의 라그랑지안 변수 λ , 및 유저 단말에서의 라그랑지안 변수 μ_k , 업링크 및 다운 링크 가중치 w^{ul} , w^{dl} 로부터 정해진 관계식 4 및 관계식 5로부터 도출되는 것을 특징으로 하는 OFDMA SWIPT 시스템의 통합 자원 할당 방법.

[관계식 4]

$$\arg \min_{\Pi(n)} \mathcal{G}'_n = \frac{1}{A_{\Pi(n)}} + \frac{1}{B_{\Pi(n)}} + w^{dl} \log_2 (A_{\Pi(n)} w^{dl}) + w^{ul} \log_2 (B_{\Pi(n)} w^{ul})$$

[관계식 5]

$$A_{\Pi(n)} = \frac{|h_{\Pi(n),n}|^2 (1 - \rho_{\Pi(n)})}{\sigma^2 (\lambda - \mu_{\Pi(n)} \rho_{\Pi(n)} \beta_{\Pi(n)} |h_{\Pi(n),n}|^2) \ln 2}$$

$$B_{\Pi(n)} = \frac{|g_{\Pi(n),n}|^2}{\sigma^2 \mu_{\Pi(n)} \ln 2}, \text{ for } \Pi(n) \in \{1, \dots, K\}.$$

청구항 5

제4항에 있어서, 상기 기지국의 라그랑지안 변수 λ 는

서브그래디언트 d 에 대한 이진법을 사용하여 도출되는 것을 특징으로 하는 OFDMA SWIPT 시스템의 통합 자원 할당 방법.

청구항 6

제5항에 있어서, 상기 유저 단말의 라그랑지안 변수 μ_k 는

다운 링크 동안 하베스트된 에너지 총량 EH_k 로 결정되며,

다음 관계식 6을 만족하는 라그랑지안 듀얼 문제 μ_k^* 의 해로부터 도출되는 것을 특징으로 하는 OFDMA SWIPT 시스템의 통합 자원 할당 방법.

[관계식 6]

$$\mu_k^* = \frac{w^{ul} N_k}{(\sum_{n \in \theta_k} |h_{k,n}|^2 \rho_k \beta_k p_n^{dl} + \sum_{n \in \theta_k} \frac{\sigma^2}{|g_{k,n}|^2}) \ln 2}.$$

여기서, $h_{k,n}$, $g_{k,n}$ 는 채널 정보이고, N_k 는 유저 단말에게 할당된 서버 채널의 수이다.

청구항 7

기지국의 RF 신호를 다수의 유저 단말에서 수신한 다음 정보 및 전력을 동시에 빔포밍하는 OFDMA SWIPT 시스템

의 통합 자원 할당 장치에 있어서,

상기 기지국에 채널 할당, 기지국 및 사용자의 전력할당, 및 전력분할비율에 대한 통합 최적화 알고리즘으로 기지국의 최적 라그랑지안 변수 및 유저 단말의 최적 라그랑지안 변수를 도출하는 제어부를 더 포함하도록 구비되는 것을 특징으로 하는 OFDMA SWIPT 시스템의 통합 자원 할당 장치.

청구항 8

제7항에 있어서, 상기 제어부는

다운 링크 및 업 링크 전력 할당 p_n^{dl} 및 $p_{k,n}^{ul}$, 기지국에서의 라그랑지안 변수 λ , 유저 단말에서의 라그랑지안 변수 μ_k , 및 전력분할비율 ρ_k 은 모두 초기화되고, 전력분할비율 ρ_k 는 0과 1 사이의 랜덤하게 설정한 다음 라그랑지안 곱수를 사용하여 설정된 채널 할당 문제의 해로 채널 할당 변수 $\Pi(n)$ 를 도출하고,

다운 링크 및 업링크 전력 할당 p_n^{dl} , $p_{k,n}^{ul}$, 하베스트 에너지 총량 EH_k 및 서브그래디언트 d 를 연산하며,

연산된 서브그래디언트 d 를 사용하여 이분법 최적화를 수행하여 기지국에서의 라그랑지안 변수 λ_{new} 를 도출하고 도출된 기지국에서의 라그랑지안 변수 λ_{new} 로 이전 기지국에서의 라그랑지안 변수 λ_{old} 를 업데이트하고, 라그랑지안 변수 λ_{new} 로 이전 기지국에서의 라그랑지안 변수 λ_{old} 의 차가 기 정해진 임계치에 수렴할 때까지 반복 수행하여 기지국에서의 최적 라그랑지안 변수 λ 를 도출하고,

그래디언트 디센트 방법을 이용하여 전력분할비율 $\rho_{k,new}$ 를 도출하고, 도출된 $\rho_{k,new}$ 를 전력분할비율 $\rho_{k,old}$ 로 업데이트하고, $\rho_{k,new} - \rho_{k,old}$ 이 기 정해진 임계치 accuracy로 수렴할 때까지 반복 수행하여 최적 전력분할비율 ρ_k 을 도출하도록 구비되는 것을 특징으로 하는 OFDMA SWIPT 시스템의 통합 자원 할당 장치.

청구항 9

제8항에 있어서, 상기 다운 링크 및 업링크 전력 할당 p_n^{dl} , $p_{k,n}^{ul}$ 각각은

채널 할당 및 전력분할비율을 상수로 설정하고 라그랑지안 곱수 접근법 및 서브그래디언트 d 를 이용하여 도출하도록 구비되며, 업링크 및 다운 링크 전력 할당 p_n^{dl} , $p_{k,n}^{ul}$ 및 서브그래디언트 d 각각은 다음 관계식 11 내지 관계식 13을 만족하도록 구비되는 것을 특징으로 하는 OFDMA SWIPT 시스템의 통합 자원 할당 장치.

[관계식 11]

$$p_n^{dl} = \max \left\{ 0, \frac{w^{dl}}{(\lambda - \mu_{\Pi(n)}) |h_{\Pi(n),n}|^2 \rho_{\Pi(n)} \beta_{\Pi(n)}) \ln 2} - \frac{\sigma^2}{|h_{\Pi(n),n}|^2 (1 - \rho_{\Pi(n)})} \right\}$$

[관계식 12]

$$p_{k,n}^{ul} = \max \left\{ 0, \frac{w^{ul}}{\mu_k \ln 2} - \frac{\sigma^2}{|g_{k,n}|^2} \right\}$$

[관계식 13]

$$d = P_{tot} - \sum_{n=1}^N p_n^{dl}$$

여기서, λ 는 기지국에서의 라그랑지안 변수이고, $\Pi(n)$ 는 채널할당변수이며, μ 는 유저 단말에서의 라그랑지안 변수이고, $h_{\Pi(n),n}$ 는 서브 채널 $\Pi(n)$ 의 채널 정보이며, w^{dl} 는 다운링크 가중치이고, w^{ul} 는 업링크 가중치이며, ρ 는 전력분할비율이고, P_{tot} 는 총 전력량이다.

청구항 10

제9항에 있어서, 상기 채널 할당 변수 $\Pi(n)$ 은,

다운 링크 및 업 링크 전력 할당 p_n^{dl} 및 $p_{k,n}^{ul}$, 기지국에서의 라그랑지안 변수 λ , 및 유저 단말에서의 라그랑지안 변수 μ_k , 업링크 및 다운 링크 가중치 w^{ul} , w^{dl} 로부터 정해진 관계식 14 및 관계식 15로부터 도출되는 것을 특징으로 하는 OFDMA SWIPT 시스템의 통합 자원 할당 장치.

[관계식 14]

$$\arg \min_{\Pi(n)} \mathcal{G}'_n = \frac{1}{A_{\Pi(n)}} + \frac{1}{B_{\Pi(n)}} + w^{dl} \log_2 (A_{\Pi(n)} w^{dl}) + w^{ul} \log_2 (B_{\Pi(n)} w^{ul})$$

[관계식 15]

$$A_{\Pi(n)} = \frac{|h_{\Pi(n),n}|^2 (1 - \rho_{\Pi(n)})}{\sigma^2 (\lambda - \mu_{\Pi(n)} \rho_{\Pi(n)} \beta_{\Pi(n)} |h_{\Pi(n),n}|^2) \ln 2}$$

$$B_{\Pi(n)} = \frac{|g_{\Pi(n),n}|^2}{\sigma^2 \mu_{\Pi(n)} \ln 2}, \text{ for } \Pi(n) \in \{1, \dots, K\}.$$

청구항 11

제10항에 있어서, 상기 기지국의 라그랑지안 변수 λ 는

서브그래디언트 $\hat{d}$ 에 대한 이진법을 사용하여 도출되는 것을 특징으로 하는 OFDMA SWIPT 시스템의 통합 자원 할당 장치.

청구항 12

제11항에 있어서, 상기 유저 단말의 라그랑지안 변수 μ_k 는

다운 링크 동안 하베스트된 에너지 총량 EH_k 로 결정되며,

다음 관계식 16을 만족하는 라그랑지안 듀얼 문제 μ_k^* 의 해로부터 도출되는 것을 특징으로 하는 OFDMA SWIPT 시스템의 통합 자원 할당 장치.

[관계식 16]

$$\mu_k^* = \frac{w^{ul} N_k}{(\sum_{n \in \theta_k} |h_{k,n}|^2 \rho_k \beta_k p_n^{dl} + \sum_{n \in \theta_k} \frac{\sigma^2}{|g_{k,n}|^2}) \ln 2}.$$

여기서, $h_{k,n}$, $g_{k,n}$ 는 채널 정보이고, N_k 는 유저 단말에게 할당된 서버 채널의 수이다.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 SWIPT 시스템의 통합 자원 할당 장치 및 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 채널 할당, 기지국 및 사용자의 전력할당, 및 전력분할비율에 대한 통합 최적화 알고리즘으로 기지국의 최적 라그랑지안 변수 및 유저 단말의 최적 라그랑지안 변수를 도출함에 따라, 시스템의 채널 용량을 최대화할 수 있고 이에 시스템 성능을 향상시킬 수 있도록 한 기술에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 무선 통신에서 릴레이는 셀룰러 네트워크의 통신영역을 확장시키고, 성능을 향상시키기 위한 유망한 솔루션으로

여겨진다.

- [0003] 릴레이 노드로 때로는 비활성 중인 고객 단말기를 이용할 수 있다. 이러한 경우, 릴레이 노드(relay node)로 동작하도록 선택된 고객 단말기는 하나의 기지국과 다수의 사용자 간의 통신을 위해 자신의 전력을 소비하게 된다. 이에 안정적이고 지속적인 전력 공급을 제공하기를 원한다.
- [0004] 이에 무선 전력 통신 네트워크(wireless powered communication network; WPCN)에서는 무선 전력 전송(wireless powered transfer; WPT)에 의해 충전될 수 있다. 주기적 배터리 교환 또는 무선 통신 노드에서 재충전을 제외하고, WPCN은 기기 수명을 향상시키고, 네트워크 에너지 소비를 줄이고, 결과적으로 종래의 무선통신 네트워크보다 고성능을 얻을 수 있다.
- [0005] WPCN에서 무선통신 노드가 전력과 정보를 동시에 전송하는 기술을 무선전력 및 정보 동시전송(simultaneous wireless information and power transfer; SWIPT)이라 한다. WPCN, WPT 및 SWIPT 시스템의 구현과 이러한 시스템의 잠재적 이익을 이용하기 위한 연구개발이 진행되고 있다.
- [0006] Y. Jing and H. Jafarkhani, "Network beamforming using relays with perfect channel information," IEEE Transactions on Information Theory, vol. 55, pp. 2499-2517, June 2009.에서는 SWIPT 시스템이 아닌 다중 릴레이 시스템에서의 빔포밍이 개시되었다. 채널상태정보(channel state information; CSI)와 노이즈 전력에 기초하여 각 릴레이 노드에서의 전송 전력을 조정함으로써, 목적지 노드에서 신호대 잡음비(signal-to-noise ratio; SNR)를 최대화한다.
- [0007] 등록특허공보 제10-1710012호 "수신기에서의 에너지 하베스팅 방법 및 상기 방법을 사용하는 수신기, 및 이를 위한 블라인드 변조방식 검출 방법 및 장치"에서는 SWIPT 시스템의 수신기에서의 에너지 하베스팅(energy harvesting; EH) 방법이 개시되었다.
- [0008] 그러나 대역폭 효율성이 증가되는 직교주파수 분할다중 접속(OFDMA: orthogonal frequencydivisionmultipleaccess) 방식의 SWIPT(Simultaneous wireless information and power transfer) 시스템에서 하나의 RF 신호로 정보를 디코딩하고 에너지를 하베스트하기 위해서는 추가적인 연구가 필요한 실정이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0009] 이에 일 실시 예는 채널 할당, 기지국 및 사용자의 전력할당, 및 전력분할비율에 대한 통합 최적화 알고리즘으로 기지국의 최적 라그랑지안 변수 및 유저 단말의 최적 라그랑지안 변수를 도출함에 따라, 시스템의 채널 용량을 최대화할 수 있고 이에 시스템 성능을 향상시킬 수 있는 OFDMA SWIPT 시스템의 통합 자원 할당 장치 및 방법을 제공하고자 하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

- [0011] 일 실시예의 양태에 따르면, 일 실시 예의 OFDMA SWIPT 시스템의 통합 자원 할당 방법은
- [0012] 기지국의 RF 신호를 다수의 유저 단말에서 수신한 다음 정보 및 전력을 동시에 빔포밍하는 OFDMA SWIPT 시스템의 통합 자원 할당 방법에 있어서,
- [0013] 상기 기지국에 채널 할당, 기지국 및 사용자의 전력할당, 및 전력분할비율에 대한 통합 최적화 알고리즘으로 기지국의 최적 라그랑지안 변수 및 유저 단말의 최적 라그랑지안 변수를 도출하는 통합 최적화 단계를 포함하도록 구비되는 것을 일 특징으로 한다.
- [0014] 바람직하게 상기 통합 최적화 단계는,
- [0015] (a) 다운 링크 및 업 링크 전력 할당 P_n^{dl} 및 $P_{k,n}^{ul}$, 기지국에서의 라그랑지안 변수 λ , 유저 단말에서의 라그랑지안 변수 μ_k , 및 전력분할비율 ρ_k 은 모두 초기화되고, 전력분할비율 ρ_k 는 0과 1 사이의 랜덤하게 설정한 다음 라그랑지안 곱수를 사용하여 설정된 채널 할당 문제의 해로 채널 할당 변수 $\Pi(n)$ 를 도출하는 단계;

- [0016] (b) 다운 링크 및 업링크 전력 할당 p_n^{dl} , $p_{k,n}^{ul}$, 하베스트 에너지 총량 EH_k 및 서브그래디언트 d 를 연산하는 단계;
- [0017] (c) 도출된 서브그래디언트 d 를 사용하여 이분법 최적화를 수행하여 기지국에서의 라그랑지안 변수 λ_{new} 를 도출하고 도출된 기지국에서의 라그랑지안 변수 λ_{new} 로 이전 기지국에서의 라그랑지안 변수 λ_{old} 를 업데이트하고, 라그랑지안 변수 λ_{new} 로 이전 기지국에서의 라그랑지안 변수 λ_{old} 의 차이가 기 정해진 임계치에 수렴할 때까지 반복 수행하여 기지국에서의 최적 라그랑지안 변수 λ 를 도출하는 단계; 및
- [0018] (d) 그래디언트 디센트 방법을 이용함 전력분할비율 $\rho_{k,new}$ 를 도출하고, 도출된 $\rho_{k,new}$ 를 전력분할비율 $\rho_{k,old}$ 로 업데이트하고, $\rho_{k,new} - \rho_{k,old}$ 이 기 정해진 임계치 accuracy로 수렴할 때까지 반복 수행하여 최적 전력분할비율 ρ_k 을 도출하는 단계 중 적어도 하나를 포함하는 것을 일 특징으로 한다.
- [0019] 일 실시 예의 다른 양태에 의하면, 일 실시 예의 OFDMA SWIPT 시스템의 통합 자원 할당 장치는,
- [0020] 기지국의 RF 신호를 다수의 유저 단말에서 수신한 다음 정보 및 전력을 동시에 빔포밍하는 OFDMA SWIPT 시스템의 통합 자원 할당 장치에 있어서,
- [0021] 상기 기지국에 채널 할당, 기지국 및 사용자의 전력할당, 및 전력분할비율에 대한 통합 최적화 알고리즘으로 기지국의 최적 라그랑지안 변수 및 유저 단말의 최적 라그랑지안 변수를 도출하는 제어부를 더 포함하고,
- [0022] 바람직하게 상기 제어부는, 다운 링크 및 업 링크 전력 할당 p_n^{dl} 및 $p_{k,n}^{ul}$, 기지국에서의 라그랑지안 변수 λ , 유저 단말에서의 라그랑지안 변수 μ_k , 및 전력분할비율 ρ_k 은 모두 초기화되고, 전력분할비율 ρ_k 은 0과 1 사이의 랜덤하게 설정한 다음 라그랑지안 곱수를 사용하여 설정된 채널 할당 문제의 해로 채널 할당 변수 $\Pi(n)$ 를 도출하고,
- [0023] 다운 링크 및 업링크 전력 할당 p_n^{dl} , $p_{k,n}^{ul}$, 하베스트 에너지 총량 EH_k 및 서브그래디언트 d 를 연산하며,
- [0024] 연산된 서브그래디언트 d 를 사용하여 이분법 최적화를 수행하여 기지국에서의 라그랑지안 변수 λ_{new} 를 도출하고 도출된 기지국에서의 라그랑지안 변수 λ_{new} 로 이전 기지국에서의 라그랑지안 변수 λ_{old} 를 업데이트하고, 라그랑지안 변수 λ_{new} 로 이전 기지국에서의 라그랑지안 변수 λ_{old} 의 차이가 기 정해진 임계치에 수렴할 때까지 반복 수행하여 기지국에서의 최적 라그랑지안 변수 λ 를 도출하고,
- [0025] 그래디언트 디센트 방법을 이용함 전력분할비율 $\rho_{k,new}$ 를 도출하고, 도출된 $\rho_{k,new}$ 를 전력분할비율 $\rho_{k,old}$ 로 업데이트하고, $\rho_{k,new} - \rho_{k,old}$ 이 기 정해진 임계치 accuracy로 수렴할 때까지 반복 수행하여 최적 전력분할비율 ρ_k 을 도출하도록 구비되는 것을 일 특징으로 한다.

발명의 효과

- [0026] 본 발명에 따르면 채널 할당, 기지국 및 사용자의 전력할당, 및 전력분할비율에 대한 통합 최적화 알고리즘으로 기지국의 최적 라그랑지안 변수 및 유저 단말의 최적 라그랑지안 변수를 도출함에 따라, 시스템의 채널 용량을 최대화할 수 있고 이에 시스템 성능을 향상시킬 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0028] 본 명세서에서 첨부되는 다음의 도면들은 본 발명의 바람직한 실시 예를 예시하는 것이며, 후술하는 발명의 상세한 설명과 함께 본 발명의 기술사상을 더욱 이해시키는 역할을 하는 것이므로, 본 발명은 그러한 도면에 기재된 사항에만 한정되어 해석되어서는 아니된다.

도 1은 일 실시예의 OFDMA SWIPT 시스템의 제1 위상의 신호 흐름도이다.

도 2는 일 실시예의 OFDMA SWIPT 시스템의 제2 위상의 신호 흐름도이다.

도 3은 일 실시예의 유저 단말의 세부 구성도이다.

도 4는 일 실시예의 시스템의 통합 자원 할당 과정을 보인 흐름도이다.

도 5는 일 실시예의 SNR 대 유저 단말의 수의 썸레이트의 비교 그래프이다.

도 6은 일 실시예의 유저 단말 수에 따른 썸레이트의 비교 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0029] 이하에서는 도면을 참조하여 본 발명의 실시 예들을 보다 상세하게 설명한다.
- [0030] 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 후술되어 있는 실시 예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시 예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 수 있으며, 단지 일 실시예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하고, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다.
- [0031] 본 명세서에서 사용되는 용어에 대해 간략히 설명하고, 본 발명에 대해 구체적으로 설명하기로 한다.
- [0032] 본 발명에서 사용되는 용어는 본 발명에서의 기능을 고려하면서 가능한 현재 널리 사용되는 일반적인 용어들을 선택하였으나, 이는 당 분야에 종사하는 기술자의 의도 또는 관례, 새로운 기술의 출현 등에 따라 달라질 수 있다. 또한, 특정한 경우는 출원인이 임의로 선정한 용어도 있으며, 이 경우 해당되는 발명의 설명 부분에서 상세히 그 의미를 기재할 것이다. 따라서 본 발명에서 사용되는 용어는 단순한 용어의 명칭이 아닌, 그 용어가 가지는 의미와 본 발명의 전반에 걸친 내용을 토대로 정의되어야 한다.
- [0033] 명세서 전체에서 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있음을 의미한다. 또한, 명세서에서 사용되는 "부"라는 용어는 소프트웨어, FPGA 또는 ASIC과 같은 하드웨어 구성요소를 의미하며, "부"는 어떤 역할들을 수행한다. 그렇지만 "부"는 소프트웨어 또는 하드웨어에 한정되는 의미는 아니다. "부"는 어드레싱할 수 있는 저장 매체에 있도록 구성될 수도 있고 하나 또는 그 이상의 프로세서들을 재생시키도록 구성될 수도 있다.
- [0034] 따라서, 일 예로서 "부"는 소프트웨어 구성요소들, 객체지향 소프트웨어 구성요소들, 클래스 구성요소들 및 태스크 구성요소들과 같은 구성요소들과, 프로세스들, 함수들, 속성들, 프로시저들, 서브루틴들, 프로그램 코드의 세그먼트들, 드라이버들, 펌웨어, 마이크로 코드, 회로, 데이터, 데이터베이스, 데이터 구조들, 테이블들, 어레이들 및 변수들을 포함한다. 구성요소들과 "부"들 안에서 제공되는 기능은 더 작은 수의 구성요소들 및 "부"들로 결합되거나 추가적인 구성요소들과 "부"들로 더 분리될 수 있다.
- [0035] 아래에서는 첨부한 도면을 참고하여 본 발명의 실시예에 대하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다. 그리고 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략한다.
- [0036] 일 실시예는 채널 할당, 기지국 및 사용자의 전력할당, 및 전력분할비율을 통합 최적화함에 따라 시스템의 썸레이트를 최대화하는 구성을 갖춘다.
- [0037] 도 1 및 도 2는 일 실시예의 OFDMA의 무선 전력 통신 시스템을 나타내는 개념도이다. 도 1을 참조하면, 하나의 기지국 BS(Base station)과 다수의 유저 단말 User 으로 구성된다. 기지국 BS와 유저 단말 User는 단일 안테나가 설치된다.
- [0038] 도 1에 도시된 바와 같이 첫번째 위상에서 기지국 BS는 각 유저 단말 user 1~ user 4로 정보 및 전력을 동시에 빔포밍하고, 도 2에 도시된 바와 같이, 두번째 위상에서 유저 단말 User 1~user 4는 정보를 기지국 BS로 전달한다.
- [0039] 이러한 기지국 BS와 유저 단말 user1~use4를 포함하는 OFDMA의 무선 전력 통신 시스템(이하 시스템으로 약칭함)은 시분할 반전이 듀플렉스 방식의 업 링크 및 다운 링크에 의한 시스템의 썸레이트와 하베스트된 에너지를 이용한 업 링크의 썸레이트를 도출한다.

- [0040] 또한 다수의 유저 단말 User은 기지국 BS에 정보를 전송하기 위해 수집된 전력분할비율을 변경하여 시스템 썸레이트를 최적화하고 정보를 디코딩한 다음 할당된 서브 채널을 통해 수신한 RF 신호에서 에너지를 하베스트한다. 이때 유저 단말 User은 최적 채널 할당, 기지국 및 사용자의 전력할당, 및 전력분할비율을 통합 최적하여 최적의 전력분할비율을 도출한 후 도출된 최적의 전력분할비율을 기지국 BS로 전달하여 시스템 썸레이트를 최대화를 수행할 수 있다.
- [0041] 도 3은 도 1에 도시된 유저 단말 User의 세부 구성도로서, 도 3을 참조하면, 유저 단말 User은 수신부(110), 제어부(120), 및 송신부(130)를 포함할 수 있다. 기지국 BS는 할당된 서브 채널을 이용하여 각각의 유저 단말 User에게 RF 신호를 전송한다. 이에 유저 단말 User의 수신부(110)에 의거 수신된 RF 신호로부터 제어부(120)에 의해 수신된 전력분할비율에 따라 수신된 RF 신호를 정보 디코딩 및 에너지 하베스팅으로 분할한다. 또한, 유저 단말 User의 송신부(130)는 이전에 수집된 에너지를 사용하여 나머지 정보 신호를 기지국 BS로 전달한다.
- [0042] 여기서, 기지국(BS)와 k 번째 유저 단말 User 사이의 n 번째 업 링크 및 다운 링크 서브 채널은 각각 $h_{k,n}$ 과 $g_{k,n}$ 로 표현되며, 여기서, $k = 1, \dots, K$ 및 $n = 1, \dots, N$ 이다. k 번째 유저 단말 User가 수신한 RF 신호를 2로 분할하기 위한 전력분할비율 ρ_k 은 $0 \leq \rho_k \leq 1$ 로 정의된다.
- [0043] n 번째 서브 채널을 통해 k 번째 유저 단말로부터 수신된 다운 링크신호는 다음 수학적 식 1로 주어진다.
- [0044] [수학적 식 1]
- [0045]
$$y_{k,n}^{dl} = h_{k,n} \sqrt{(1 - \rho_k) p_n^{dl}} s_{k,n}^{dl} + u_k.$$
- [0046] 여기서, p_n^{dl} 는 n 번째 다운 링크 서브채널로 할당된 전력이고, $s_{k,n}^{dl}$ 는 기지국 BS로부터 n 번째 서브채널 SC를 경유하여 k 번째 유저 단말 User으로 전송된 정보 신호로 정의된다.
- [0047] 역시 u_k 는 k 번째 유저 단말 User의 노이즈이다. 여기서, $s_{k,n}^{dl}$ 은 $E[|s_{k,n}^{dl}|^2] = 1$ 라고 가정하고, 모든 유저 단말 User와 서브채널 SCs가 독립적이라고 가정하면, k 번째 유저 단말 User로부터 n 번째 다른 링크 서브채널 SC를 통해 기지국 BS의 수신된 신호는 다음 수학적 식 2로 나타낸다.
- [0048] [수학적 식 2]
- [0049]
$$y_{k,n}^{ul} = g_{k,n} \sqrt{p_{k,n}^{ul}} s_{k,n}^{ul} + u.$$
- [0050] 여기서, $p_{k,n}^{ul}$ 는 k 번째 유저 단말 User에게 할당된 n 번째 업 링크 서브채널에 할당된 전력이고, $s_{k,n}^{ul}$ 는 k 번째 사용자가 n 번째 서브채널 SC를 통해 기지국 BS로 보내는 정보 신호이며, u 는 기지국 BS에서의 노이즈로 나타낸다.
- [0051] 역시 $s_{k,n}^{ul}$ 는 $E[|s_{k,n}^{ul}|^2] = 1$ 이고, 기지국 노이즈 u 가 분산 σ^2 을 가지는 제로 평균이면, n 번째 서브채널을 할당받은 유저 단말 User는 $\Pi(n) \in \{1, \dots, K\}$ 로 나타낸다. k 번째 유저 단말 User의 하베스트된 에너지는 다음 수학적 식 3으로 표현된다.
- [0052] [수학적 식 3]
- [0053]
$$EH_k = \sum_{n \in \theta_k} |h_{k,n}|^2 \rho_k \beta_k p_n^{dl}$$
- [0054] 여기서, β_k 는 k 번째 유저 단말 User의 에너지 하베스트 효율을 나타내고, θ_k 는 k 번째 유저 단말 User에게 할당된 서브채널의 집합이고, $\theta_k = \{n | \Pi(n) = k\}$ 이며, 에너지를 하베스트한다. 모든 서브채널 SC에 대해, 기지국 BS와 유저 단말 User는 제로 평균이고, 노이즈 분산 σ^2 인 가우시안 분포 잡음 $\mathcal{N}(0, \sigma^2)$ 로 가정하면, p_n^{dl} 및 $p_{k,n}^{ul}$ 는 다음 조건 4를 만족하여야 한다.

[0055] [조건 4]

$$\sum_{n=1}^N p_n^{dl} \leq P_{tot}, \text{ and } \sum_{n \in \theta_k} p_{k,n}^{ul} \leq EH_k$$

[0057] 이러한 조건으로부터 다운링크 및 업링크에 대한 k 번째 유저 단말 User의 채널 용량은 각각 수학식 5 및 6을 만족한다.

[0058] [수학식 5]

$$R_k^{dl} = \frac{w^{dl}}{N} \sum_{n \in \theta_k} \log_2 \left(1 + \frac{|h_{k,n}|^2 (1 - \rho_k) p_n^{dl}}{\sigma^2} \right)$$

[0060] [수학식 6]

$$R_k^{ul} = \frac{w^{ul}}{N} \sum_{n \in \theta_k} \log_2 \left(1 + \frac{|g_{k,n}|^2 p_{k,n}^{ul}}{\sigma^2} \right)$$

[0062] 여기서, w^{dl} 및 w^{ul} 는 다운 링크 및 업 링크 각각의 가중치를 나타낸다. 이에 업 링크 및 다운 링크 레이트에 각각의 가중치를 부여하여 시스템의 채널 용량의 합을 얻은 다음 모든 k 번째 유저 단말 User 에 대해 다음 수학식 7을 얻을 수 있다.

[0063] [수학식 7]

$$R_{tot} = \sum_{k=1}^K (R_k^{dl} + R_k^{ul})$$

[0065] 수학식 7은 서브채널의 인덱스 함수들의 합으로 수학식 8로 변환될 수 있다.

[0066] [수학식 8]

$$R_{tot} \{\Pi(n), p_n^{dl}, p_{k,n}^{ul}, \rho_k\} = \sum_{n=1}^N \frac{1}{N} \left(w^{dl} \log_2 \left(1 + \frac{|h_{\Pi(n),n}|^2 (1 - \rho_{\Pi(n)}) p_n^{dl}}{\sigma^2} \right) + w^{ul} \log_2 \left(1 + \frac{|g_{\Pi(n),n}|^2 p_{\Pi(n),n}^{ul}}{\sigma^2} \right) \right).$$

[0068] 이에 제어부(120)는 이러한 시스템의 총 채널 용량을 최대화하기 위해, 임의의 n 번째 유저 단말과 임의의 k 번째 서브 채널 $\forall n, \forall k$ 에 대해 채널 할당 변수 $\Pi(n)$, 전력분할비율 ρ_k , 다운 링크 및 업 링크 전력 할당 p_n^{dl} 및 $p_{k,n}^{ul}$ 변수들을 최적화하고, 이들 변수들의 통합 문제는 다음 수학식 8로 정의된다.

[0069] [수학식 8]

$$\begin{aligned} & \max_{\Pi(n), p_n^{dl}, p_{k,n}^{ul}, \rho_k} R_{tot} \\ & \text{s.t. } \sum_{n=1}^N p_n^{dl} \leq P_{tot} \\ & \sum_{n \in \theta_k} p_{k,n}^{ul} \leq EH_k, \quad \forall k = 1, \dots, K \\ & 0 \leq \rho_k \leq 1. \end{aligned}$$

[0070] 여기서, 통합 최적화 문제는 모든 변수에 대해 비 볼록(convex)하다. 따라서, 통합 문제는 3개의 하위 문제로 나누어지며, 3개의 하위 문제의 해를 도출한 다음 반복적인 최적화 알고리즘을 사용하여 시스템 채널 용량을 최대화하여 전체 시스템 채널 용량에 대한 로컬 최적을 도출한다.

[0072] 우선, 최적의 전력 할당은 채널 할당 및 전력분할비율을 상수로 설정하고 라그랑지안 곱수 접근법을 적용하여 전력 할당 하위 문제의 해를 도출한다. 여기서, 라그랑지안 함수는 다음 수학식 10으로 주어진다.

[0073] [수학식 10]

$$\begin{aligned} \mathcal{L}\{p_n^{dl}, p_{k,n}^{ul}, \lambda, \mu_k\} = & \sum_{n=1}^N \frac{1}{N} w^{dl} \log_2 \left(1 + \frac{|h_{\Pi(n),n}|^2 (1 - \rho_{\Pi(n)}) p_n^{dl}}{\sigma^2} \right) \\ & + \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N w^{ul} \log_2 \left(1 + \frac{|g_{\Pi(n),n}|^2 p_{k,n}^{ul}}{\sigma^2} \right) \\ & - \lambda \left(\sum_{n=1}^N p_n^{dl} - P_{tot} \right) - \sum_{k=1}^K \mu_k \left(\sum_{n \in \theta_k} p_{k,n}^{ul} - EH_k \right) \end{aligned}$$

[0074]

[0075] 여기서, 변수 λ 및 μ_k 는 각 기지국 BS와 유저 단말 User 의 전력 조건의 라그랑지안 곱수이다. 이러한 라그랑지안 듀얼 문제는 다음 수학식 11과 같이 주어진다.

[0076] [수학식 11]

$$\mathcal{G}(\lambda, \{\mu_k\}) = \max_{p_n^{dl}, p_{k,n}^{ul}} \mathcal{L}\{p_n^{dl}, p_{k,n}^{ul}, \lambda, \mu_k\}$$

[0077]

[0078] 라그랑지안 듀얼 문제는 기지국에서의 라그랑지안 변수 λ 및 유저 단말에서의 라그랑지안 변수 μ_k 에 대해 블록하다. 반대로 라그랑지안 듀얼 문제의 최소화 $\min_{\lambda, \{\mu_k\}} \mathcal{G}(\lambda, \{\mu_k\})$ 에 의해 시스템 채널 용량의 최대화가 가능하다. 따라서 라그랑지안 듀얼 문제의 해를 반복적으로 도출하여 최적 시스템 썸레이트를 도출한다.

[0079] 다운 링크 및 업 링크 전력 할당 p_n^{dl} 및 $p_{k,n}^{ul}$ 변수는 다음 수학식 14 및 15에 나타낸 바와 같이 다운 링크와 업 링크 전력 할당 간의 차와 변동에 대한 라그랑지안 문제로부터 도출된다.

[0080] 그리고, 유저 단말에서의 라그랑지안 변수 μ_k 는 수학식 12의 라그랑지안 듀얼 문제의 해로 도출될 수 있다.

[0081] [수학식 12]

$$\mu_k^* = \frac{w^{ul} N_k}{(\sum_{n \in \theta_k} |h_{k,n}|^2 \rho_k \beta_k p_n^{dl} + \sum_{n \in \theta_k} \frac{\sigma^2}{|g_{k,n}|^2}) \ln 2}.$$

[0082]

[0083] 워터 필 알고리즘으로부터 N_k 는 k 번째 유저 단말 User 에 할당된 서브 채널의 수이다. 따라서, μ_k 는 다운 링크 위상 동안 하베스트된 에너지 총 량으로부터 결정된다. μ_k 로부터 라그랑지안 듀얼 함수는 기지국에서의 라그랑지안 변수 λ 에 대한 함수로 다음 수학식 13으로 표현된다.

[0084] [수학식 13]

$$\min_{\lambda} \mathcal{G}(\lambda, \{\mu_k^*\})$$

[0085]

[0086] [수학식 14]

$$p_n^{dl} = \max \left\{ 0, \frac{w^{dl}}{(\lambda - \mu_{\Pi(n)} |h_{\Pi(n),n}|^2 \rho_{\Pi(n)} \beta_{\Pi(n)}) \ln 2} - \frac{\sigma^2}{|h_{\Pi(n),n}|^2 (1 - \rho_{\Pi(n)})} \right\}$$

[0087]

[0088] [수학식 15]

$$p_{k,n}^{ul} = \max \left\{ 0, \frac{w^{ul}}{\mu_k \ln 2} - \frac{\sigma^2}{|g_{k,n}|^2} \right\}$$

[0089]

[0090] 이진법을 사용하여 기지국에서의 라그랑지안 변수 λ 가 도출되고, 이진법을 구현하기 위해 사용된 서브그래디언트는 다음 수학식 16로 주어진다.

[0091] [수학식 16]

$$d = P_{tot} - \sum_{n=1}^N p_n^{dl}$$

[0092]

[0093] 다음으로 채널 할당 하위 문제의 해는 다운 링크 및 업 링크 전력 할당 p_n^{dl} 및 $p_{k,n}^{ul}$, 기지국에서의 라그랑지안 변수 λ , 및 유저 단말에서의 라그랑지안 변수 μ_k 로부터 도출할 수 있다. 이러한 채널 할당 하위 문제는 폐쇄형 솔루션을 도출하기 어렵고 볼록 문제가 아니다.

[0094] 이에 제어부(120)의 최적의 채널 할당은 포괄적인 탐색 방법을 이용하여 도출된다. 즉, 전술한 수학적 10으로부터 새로운 라그랑지안은 다음 수학적 17로 정의할 수 있다

[0095] [수학적 17]

$$\begin{aligned} \mathcal{L}\{p_n^{dl}, p_{k,n}^{ul}, \lambda, \mu_k\} = & \lambda P_{tot} \\ & + \sum_{n=1}^N \left[\frac{1}{N} w^{dl} \log_2 \left(1 + \frac{|h_{\Pi(n),n}|^2 (1 - \rho_{\Pi(n)}) p_n^{dl}}{\sigma^2} \right) \right. \\ & + \frac{1}{N} w^{ul} \log_2 \left(1 + \frac{|g_{\Pi(n),n}|^2 p_{\Pi(n),n}^{ul}}{\sigma^2} \right) \\ & \left. - \lambda p_n^{dl} - \mu_{\Pi(n)} p_{k,n}^{ul} + \mu_{\Pi(n)} |h_{\Pi(n),n}|^2 \rho_{\Pi(n)} \beta_{\Pi(n)} p_n^{dl} \right] \end{aligned}$$

[0096]

[0097] 현재 λP_{tot} 은 모든 서브 채널과 유저 단말 User 에 공통이므로, 채널 할당 하위 문제에 영향을 미치지 아니한다. 이에 채널 할당 방정식은 다음 수학적 18로 정의된다.

[0098] [수학적 18]

$$\begin{aligned} & \arg \max_k \mathcal{L}_n, \\ \text{where } \mathcal{L}_n = & \mu_{\Pi(n)} |h_{\Pi(n),n}|^2 \rho_{\Pi(n)} \beta_{\Pi(n)} p_n^{dl} \\ & + \frac{1}{N} w^{dl} \log_2 \left(1 + \frac{|h_{\Pi(n),n}|^2 (1 - \rho_{\Pi(n)}) p_n^{dl}}{\sigma^2} \right) - \lambda p_n^{dl} \\ & + \frac{1}{N} w^{ul} \log_2 \left(1 + \frac{|g_{\Pi(n),n}|^2 p_{\Pi(n),n}^{ul}}{\sigma^2} \right) - \mu_{\Pi(n)} p_{k,n}^{ul}, \end{aligned}$$

[0099]

[0100] 수학적 17에서 수학적 14 및 15의 다운 링크 및 업 링크 전력 할당 p_n^{dl} 및 $p_{k,n}^{ul}$ 에 대입하면 하기 수학적 19의 듀얼 문제의 해를 도출할 수 있다.

[0101] [수학적 19]

$$\begin{aligned} \mathcal{G}_n = & -\frac{1}{\ln 2} (w^{dl} + w^{ul}) - 2 \log_2(\ln 2) \\ & + w^{dl} \log_2 \left(\frac{|h_{\Pi(n),n}|^2 (1 - \rho_{\Pi(n)}) w^{dl}}{\sigma^2 (\lambda - \mu_{\Pi(n)} \rho_{\Pi(n)} \beta_{\Pi(n)} |h_{\Pi(n),n}|^2) \ln 2} \right) \\ & + w^{ul} \log_2 \left(\frac{|g_{\Pi(n),n}|^2 w^{ul}}{\sigma^2 \mu_{\Pi(n)} \ln 2} \right) \\ & + \frac{\sigma^2 (\lambda - \mu_{\Pi(n)} \rho_{\Pi(n)} \beta_{\Pi(n)} |h_{\Pi(n),n}|^2)}{|h_{\Pi(n),n}|^2 (1 - \rho_{\Pi(n)})} + \frac{\sigma^2 \mu_{\Pi(n)}}{|g_{\Pi(n),n}|^2}. \end{aligned}$$

[0102]

[0103] 여기서, $-\frac{1}{\ln 2} (w^{dl} + w^{ul}) - 2 \log_2(\ln 2)$ 은 모든 n 개의 서브 채널에서 공통된 값이므로 채널 할당 문제를 해결함에 있어 영향을 미치지 아니한다. 따라서 공동 항을 제거함에 따라 최종 채널 할당 문제의 해는 하기 수학적 20 및 수학적 21으로 도출될 수 있다.

[0104] [수학적 20]

$$\begin{aligned} \arg \min_{\Pi(n)} \mathcal{G}'_n = & \frac{1}{A_{\Pi(n)}} + \frac{1}{B_{\Pi(n)}} \\ & + w^{dl} \log_2 (A_{\Pi(n)} w^{dl}) + w^{ul} \log_2 (B_{\Pi(n)} w^{ul}) \end{aligned}$$

[0105]

[0106] 여기서, 하기 식 21을 만족한다.

[0107] [수학식 21]

$$A_{\Pi(n)} = \frac{|h_{\Pi(n),n}|^2(1 - \rho_{\Pi(n)})}{\sigma^2(\lambda - \mu_{\Pi(n)}\rho_{\Pi(n)}\beta_{\Pi(n)}|h_{\Pi(n),n}|^2) \ln 2}$$

$$B_{\Pi(n)} = \frac{|g_{\Pi(n),n}|^2}{\sigma^2\mu_{\Pi(n)} \ln 2}, \text{ for } \Pi(n) \in \{1, \dots, K\}.$$

[0108]

[0109] 한편, 전력분할비율 하위 문제는 하기 수학식 23을 초기화할 수 있고 여기서, N'_k 는 사용자 k에 대해 할당된 사용 채널의 수이다.

[0110] [수학식 23]

$$\max_{\rho_k} R_{tot}\{\rho_k\} = \sum_{k=1}^K \sum_{n \in \theta_k} \left[w^{dl} \log_2 \left(1 + \frac{|h_{k,n}|^2(1 - \rho_k)p_n^{dl}}{\sigma^2} \right) + w^{ul} \log_2 \left(1 + \frac{|g_{k,n}|^2 \left\{ \frac{1}{N'_k} (EH_k + \sum_{n \in \theta_k} \frac{\sigma^2}{|g_{k,n}|^2}) - \frac{\sigma^2}{|g_{k,n}|^2} \right\}}{\sigma^2} \right) \right]$$

s.t. $0 \leq \rho_k \leq 1$.

[0111]

[0112] 여기서, 전력분할비율 하위 문제의 해를 도출하는 방정식의 해는 전력분할비율 ρ_k 에 대해 볼록하지만 폐쇄형이므로 구하기 어렵다.

[0113] 따라서, 최적 전력분할비율을 도출하기 위해 볼록 최적 알고리즘의 하나인 그래디언트 디센트 방법이 이용된다. 그래디언트 디센트 방법에 이용된 수학식 23의 서브 그래디언트는 하기 수학식 24로부터 도출된다.

[0114] [수학식 24]

$$\sum_{n \in \theta_k} \left[\frac{w^{dl}}{\rho_k - 1 - \frac{\sigma^2}{|h_{k,n}|^2 p_n^{dl}}} + \frac{w^{ul}}{\rho_k + \frac{\sum_{n \in \theta_k} \frac{\sigma^2}{|g_{k,n}|^2}}{\sum_{n \in \theta_k} |h_{k,n}|^2 \beta_k p_n^{dl}}} \right]$$

[0115] $\forall k = 1, \dots, K$.

[0116] 한편 로컬 최적 썸레이트(local Optimization sum rate)를 도출하는 알고리즘은 다음과 같다.

Algorithm 1 Join optimization algorithm of PA,CA,PS

Initialize: ρ_k such that $\{1 \geq \rho_k \geq 0\} \forall k, n$

repeat

 Update $\rho_{k,old} = \rho_{k,new}$

 Initialize: $\lambda_{max}, \lambda_{min}, \mu_k$ such that $\lambda_{max} > \lambda_{min} > 0, \{\mu_k > 0\}$

 Find $\Pi(n)$ using (20)

repeat

 Update $\lambda_{old} = \lambda_{new}$

 Calculate p_n^{dl} , using (14)

 Calculate EH_k , and μ_k , using (3) and (12)

 Calculate $p_{k,n}^{ul}$, using (15)

 Calculate the subgradient d by (16)

 Update λ_{new} by "Bisection method" with (16)

until $|\lambda_{new} - \lambda_{old}| \leq \text{accuracy}$

 Calculate subgradient of ρ_k by (24)

 Update $\rho_{k,new}$ by "Gradient decent method"

until $|\{\rho_{k,new} - \rho_{k,old}\}| \leq \text{accuracy} \forall k$

[0117]

[0118] 여기서, 수학식 12로부터 유저 단말에서의 라그랑지안 곱수인 라그랑지안 변수 μ_k 은 하베스트된 에너지의 총량 으로부터 도출되고 기 알고리즘의 반복 탐색 마다 각 유저 단말 User 에 대해 업데이트되어야 한다. 이에 로컬 최적 썸레이트를 도출하기 위해 알고리즘의 반복 수행마다 변경되는 유저 단말에서의 라그랑지안 변수 μ_k 로는 모든 유저 단말과 동일한 조건과 비교할 수 없다.

[0119] 따라서, 모든 사용자에게 균등한 유저 단말에서의 라그랑지안 변수 μ_k 가 제공되는 첫번째 채널 할당 이후의 정확한 채널 할당 문제가 해결되지 아니한다. 이에 첫번째 채널 할당 시 채널할당문제는 라그랑지안 곱수(Lagrange multipliers)로 구현된다.

[0120] 도 4는 제어부(120)의 전력 할당, 채널 할당, 및 전력분할비율에 대한 통합 최적화를 수행하는 과정을 보인 알고리즘으로서, 도 4를 참조하여 채널할당 도출단계(121), 연산단계(123), 및 전력분할비율 도출단계(125) 중

적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0121] 우선 채널할당 도출단계(121)에서 일 실시 예의 제어부(120)는 다운 링크 및 업 링크 전력 할당 p_n^{dl} 및 $p_{k,n}^{ul}$, 기지국에서의 라그랑지안 변수 λ , 유저 단말에서의 라그랑지안 변수 μ_k , 및 전력분할비율 ρ_k 은 모두 초기화되고, 전력분할비율 ρ_k 는 0과 1 사이의 랜덤하게 설정된다. 그리고 기지국에서의 라그랑지안 변수 $\lambda_{max}, \lambda_{min}$ 와 유저 단말의 라그랑지안 변수 μ_k 은 라그랑지안 곱수로 정의되며, 0보다 큰 값으로 설정된다. 이 분법(bisection method)를 이용하기 위해, 기지국에서의 라그랑지안 변수 $[\lambda_{min}, \lambda_{max}]$ 를 정의하고 최적 기지국에서의 라그랑지안 변수 λ 를 포함한다. 또한 초기화된 라그랑지안 곱수를 사용하여 수학적 20의 채널 할당 문제의 해를 도출하면 채널 할당 변수 $\Pi(n)$ 는 도출될 수 있다.

[0122] 그리고, 라그랑지안 곱수를 이용하여 채널 할당 문제를 해결하면, 연산단계(123)에서 일 실시 예의 제어부(120)는 다운 링크 전력 할당 p_n^{dl} , 하베스트 에너지 총량 EH_k , 및 서브그라디언트 d 를 이용하여 유저 단말의 라그랑지안 변수 μ_k 을 도출한다.

[0123] 이어 연산단계(123)에서 일 실시 예의 제어부(120)는 도출된 서브그라디언트 d 를 사용하여 이분법 최적화가 수행하여 기지국에서의 라그랑지안 변수 λ_{new} 를 도출하고 도출된 기지국에서의 라그랑지안 변수 λ_{new} 로 이전 기지국에서의 라그랑지안 변수 λ_{old} 를 업데이트한다. 이러한 기지국에서의 라그랑지안 변수 λ 의 업데이트는 $\lambda_{new} - \lambda_{old}$ 이 기 정해진 임계치 accuracy 이하에 도달할 때 까지 반복된다.

[0124] 이때 첫번째 루프에서 전력분할비율 ρ_k 를 제외한 모든 변수가 accuracy에 수렴하면, 전력분할비율 도출단계(124)에서 제어부(120)는 수학적 24에 의거 전력분할비율 $\rho_{k,new}$ 를 도출하고, 그라디언트 디센트 방법을 통해 도출된 이전 전력분할비율 $\rho_{k,old}$ 를 도출된 $\rho_{k,new}$ 로 업데이트한다. 이러한 전력분할비율 ρ_k 최적화는 $\rho_{k,new} - \rho_{k,old}$ 이 기 정해진 임계치 accuracy 이하에 도달할 때 까지 반복된다. 이에 모든 변수들은 로컬 최적 썸레이트에 수렴한다.

[0126] 로컬 최적 썸레이트에 대한 시뮬레이션 결과

[0127] 총 시스템 대역폭은 20 MHz으로 64개의 부반송파로 분할된다고 가정하고, 채널 경로 손실은 -30dB 라고 가정하며, 기지국 BS와 유저 단말 User 간의 거리는 1m 이고, 기준 거리는 1 m로 가정한다. 또한 에너지 하베스트 효율은 0.7일 경우 즉, 하베스트 총 수신 전력의 70%라고 가정하며, 채널은 5개의 지연 텀을 가지는 다중 경로 복수 가우스 분포의 노이즈를 가진다고 가정하고, 유저 단말 User 의 모든 채널은 독립적인 것으로 가정하며, 다운 링크 및 업 링크 레이트 가중치 w^{dl} 및 w^{ul} 은 1로 설정된다. 그리고 유저 단말 User 의 수는 4이고 노이즈 전력 스펙트럼 밀도는 -155 dBm/Hz로 설정된다.

[0128] 도 5는 각 다른 방식으로 도출된 SNR에 대한 시스템 썸레이트 성능을 보인 그래프로서, 도 5를 참조하면 모든 방식에 대해 시스템 썸레이트는 SNR이 증가됨에 따라 증가함을 확인할 수 있고, 일 실시예에 의해 도출된 시스템 썸레이트가 최상의 성능을 가짐을 알 수 있다. 즉, 12dB의 SNR과 고정된 전력분할비율 ρ_k 에 대해 50%의 시스템 썸레이트 계인을 얻을 수 있다. 또한 0.9 bps/Hz의 시스템 썸레이트를 달성하기 위해 3dB 전력 손실이 적용된다. 결국 낮은 SNR 영역에서 일 실시예는 이득을 확인할 수 있고, 최적 채널 할당 문제를 고려하지 아니한 경우 기존의 OFDMA 시스템 보다 시스템 썸레이트의 성능이 향상됨을 알 수 있다.

[0129] 도 6은 15dB로 고정된 SNR에 대해 유저 단말의 수에 대한 시스템 썸레이트 성능을 보인 도면으로서, 도 6을 참조하면, 고정된 채널 할당을 사용하면 시스템 썸레이트는 거의 변동되지 아니하므로 사용자 수가 변경된다. 다만 일 실시예는 제안된 채널 할당 기법을 이용하여 유저 단말 User 의 수가 증가되면 시스템 썸레이트의 총 수가 증가됨을 알 수 있다. 또한 채널 할당 문제를 최적화할 때 유저 단말 User 의 수가 증가되면 전력 할당 이득이 감소함을 확인할 수 있고, 유저 단말 User 의 수가 증가될수록 시스템 썸레이트가 증가된다.

[0130] 다만 제한된 대역폭을 가지는 시스템의 경우 유저 단말 User 당 채널 용량이 점진적으로 감소되므로 높은 유저

단말 User 의 수에서 썸레이트가 달성된다.

[0131] 일 실시예에서 전력 할당, 채널 할당 및 전력분할비율 통합 최적화를 수행함에 있어, 채널 할당 문제는 블록 문제는 아니지만 전력 할당 및 전력분할비율이 포함되고 고정된 전력분할비율 및 고정된 전력을 가지는 준최적 방법으로 모든 변수에 대해 고정되고, 이에 기지국 BS 및 유저 단말 User 는 하나의 안테나를 가지는 OFDMA SWIPT 시스템의 성능은 우수하다.

[0132] 이상에서 대표적인 실시 예를 통하여 본 발명에 대하여 상세하게 설명하였으나, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자는 상술한 실시 예에 대하여 본 발명의 범주에서 벗어나지 않는 한도 내에서 다양한 변형이 가능함을 이해할 것이다. 그러므로 본 발명의 권리 범위는 설명된 실시 예에 국한되어 정해져서는 안 되며, 후술하는 특허청구범위뿐만 아니라 이 특허청구범위와 균등 개념으로부터 도출되는 모든 변경 또는 변형된 형태에 의하여 정해져야 한다.

도면

도면1

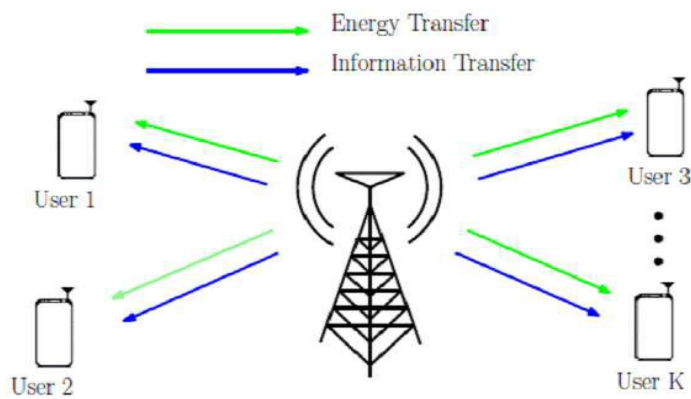


Fig. 1. 1st phase of MU-OFDMA SWIPT system

도면2

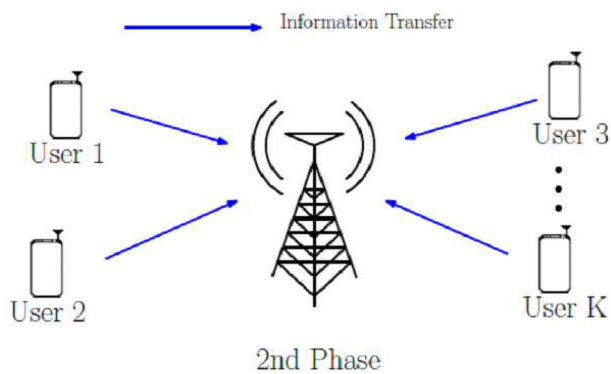
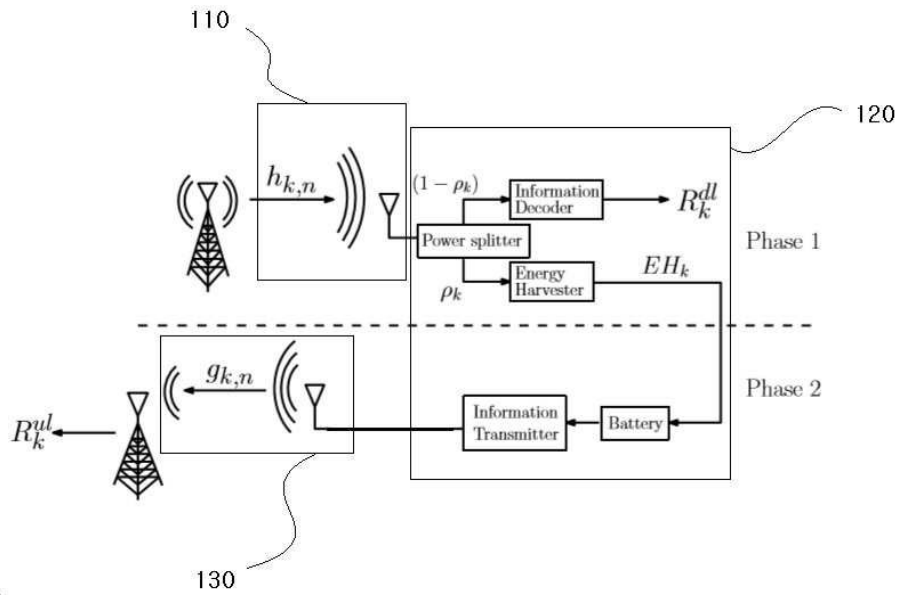
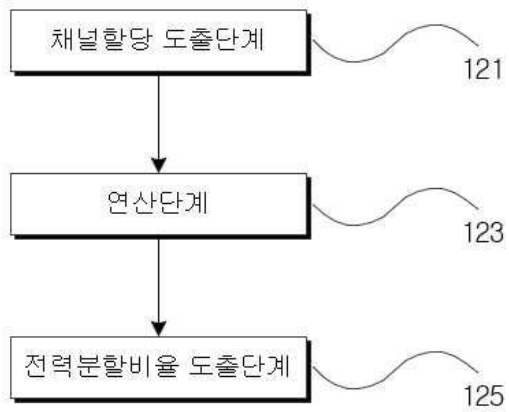


Fig. 2. 2nd phase of MU-OFDMA SWIPT system

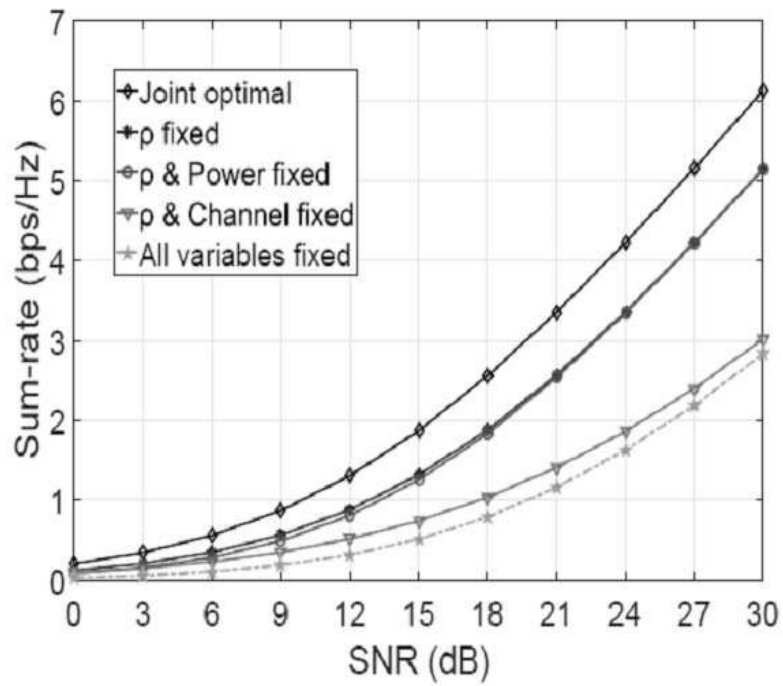
도면3



도면4

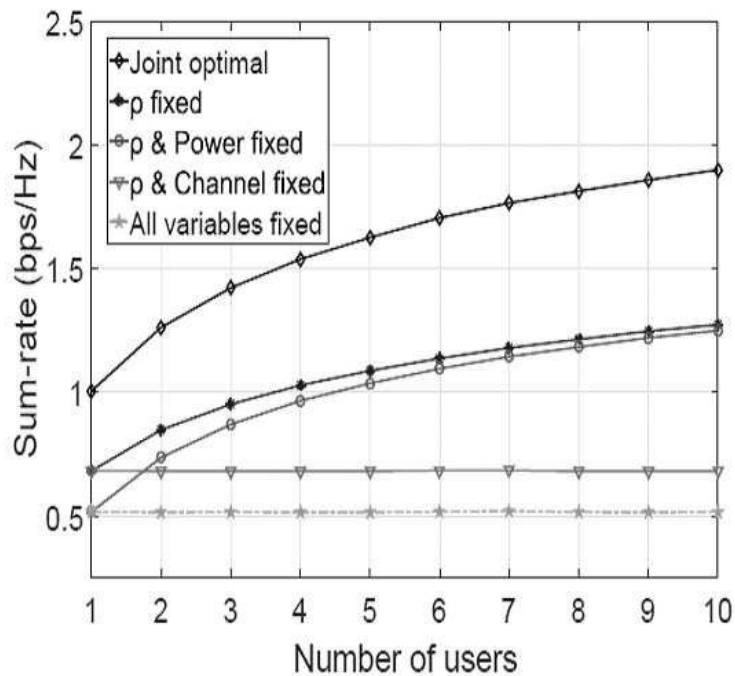


도면5



Sum-rate of multi-user OFDMA versus SNR

도면6



Comparison sum-rate with different number of users with fixed SNR
= 15dB