



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0057665
(43) 공개일자 2020년05월26일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04W 72/04 (2009.01) H02J 50/80 (2016.01)
H04W 24/02 (2009.01)
(52) CPC특허분류
H04W 72/0473 (2013.01)
H02J 50/80 (2016.02)
(21) 출원번호 10-2019-0147997
(22) 출원일자 2019년11월18일
심사청구일자 2019년11월18일
(30) 우선권주장
1020180141788 2018년11월16일 대한민국(KR)

(71) 출원인
한밭대학교 산학협력단
대전광역시 유성구 동서대로 125 (덕명동)
(72) 발명자
이경재
대전광역시 유성구 학하로 33, 107동 2402호(계산동, 학하리슈빌 학의뜰아파트)
데렉 콰쿠 포비 아시두
대전광역시 유성구 동서대로 125, N3동 402호(덕명동)
임용석
서울특별시 양천구 목동서로 130, 416동 902호(목동, 목동신시가지아파트4단지)
(74) 대리인
이은철, 이우영

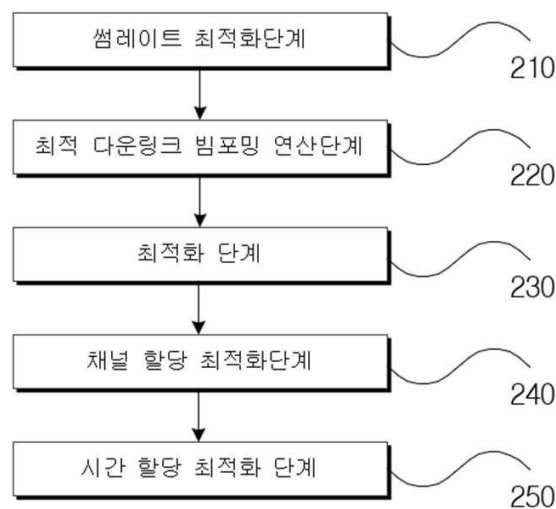
전체 청구항 수 : 총 11 항

(54) 발명의 명칭 무선 전력 통신 시스템 및 방법

(57) 요약

본 기술은 무선 전력 통신 시스템 및 방법이 개시된다. 본 발명의 구체적인 예에 따르면, 채널 할당, 시간 및 전력을 포함하는 자원 할당, 및 업 링크 빔포밍, 수신기 빔포밍, 및 타임 슬롯에 대해 통합한 최적 썸레이트가 지정해진 임계값에 수렴할 때 까지 최적 채널 할당, 시간 및 전력을 포함하는 최적 자원 할당, 및 최적 빔포밍을 반복 검색함에 따라, 액세스 포인트(AP)에서 다중 이동 단말 노드(MS)로 전달되는 전송 신호의 신호대 잡음 비를 최소화하고, 전송 신호 품질을 향상시킬 수 있다.

대표도 - 도8



(52) CPC특허분류

H04W 24/02 (2013.01)

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

반이종 방식의 이동 노드와 전이종 방식의 액세스 포인트 간의 무선 전력 통신 방법에 있어서,

자원 할당, 채널 할당, 다운 링크 빔포밍, 및 수신기 빔포밍에 대해 통합된 썸레이트의 최대화 문제의 해로 최적 썸레이트를 도출하는 썸레이트 최적화단계;

고정된 타임 슬롯에 대해 전력 할당 및 라그랑지안 변수를 초기화한 다음, 도출된 최적 다운 링크 빔포밍을 연산하는 최적 다운링크 빔포밍 연산단계;

수신기 빔포밍, 업 링크의 MMSE 가중치, 및 업 링크 전력 할당 각각에 대해 통합한 썸레이트의 최대화 문제로 도출된 최적 썸레이트가 기 정해진 임계값에 수렴할 때까지 수신기 빔포밍, 업 링크의 MMSE 가중치, 및 업 링크 전력 할당 각각에 대한 업데이트를 반복 수행하여 최적 수신기 빔포밍, 최적 업 링크 MMSE 가중치, 및 최적 업 링크 전력 할당을 각각 도출하는 최적화 단계;

상기 채널 할당에 대해 통합한 썸레이트의 최대화 문제로 도출된 최적 썸레이트가 기 정해진 임계값에 수렴할 때까지 채널 할당의 업데이트를 반복 수행하여 최적 채널 할당을 도출하는 채널할당 최적화단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 무선 전력 통신 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 채널 할당 업데이트 단계 이후에

채널 할당에 대한 최대화 문제의 해에 대한 시간 할당을 초기화한 다음 채널 할당에 대한 최대화 문제의 해로 최적 시간 할당을 도출하고 도출된 최적 시간 할당에 대해 최적 썸레이트에 대한 라인 검색 기법으로 최적 시간 할당을 업데이트하고 업데이트된 최적 시간 할당에 대해 도출된 최적 썸레이트가 임계값에 수렴할때 까지 반복 업데이트하여 최적 시간 할당인 최적 타임 슬롯을 도출 시간 할당 최적화단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 무선 전력 통신 방법.

청구항 3

제2항에 있어서, 상기 다운 링크 빔포밍 연산단계는,

엑세스 포인트 AP의 전송 전력과 기 정해진 행렬의 단위 노름 고유벡터를 토대로 최적 다운 링크 빔포밍을 연산하는 것을 특징으로 하는 무선 전력 통신 방법.

청구항 4

제2항에 있어서, 상기 최적화 단계의 수신기 빔포밍은

채널의 이동 노드의 업 링크 MMSE 가중치로 WMMSE(Weighted Minimum Mean Squared Error)를 도출하는 단계;

도출된 WMMSE에 대한 최소화 문제의 해를 도출하는 단계;

도출된 WMMSE에 대한 최소화 문제의 해로 최적 WMMSE를 도출하는 단계;

최적 WMMSE에 대해 통합된 썸레이트의 최대화 문제의 해로 최적 썸레이트를 도출하고 도출된 최적 썸레이트가 기 정해진 임계값에 수렴할 때까지 도출된 최적 WMMSE를 업데이트하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 무선 전력 통신 방법.

청구항 5

제4항에 있어서, 상기 최적화 단계의 최적 수신기 빔포밍은

제1 이동 노드의 업 링크의 전력 할당, 업 링크의 추정 채널 및 채널 오류를 포함하는 채널 정보, 제2 이동 노드의 전력 할당, 및 기 정해진 상수와 단위 행렬을 토대로 도출하도록 구비되는 것을 특징으로 하는 무선 전력

통신 방법.

청구항 6

제2항에 있어서, 상기 최적화 단계의 최적 업 링크 전력 할당은,

이동 노드의 업 링크의 MMSE 가중치의 최소화 문제의 해로 최적 업 링크 MMSE 가중치를 도출하는 단계;

도출된 최적 업 링크 MMSE 가중치와 WMMSE의 최소화 문제의 해로 업 링크의 전력 할당을 도출하는 단계;

도출된 업 링크 전력 할당의 최소화 문제의 해로 도출된 최적 업 링크 전력 할당에 대해 통합된 썸레이트의 최대화 문제의 해로 최적 썸레이트를 도출하고 도출된 최적 썸레이트가 기 정해진 임계값에 수렴할 때까지 도출된 최적 업 링크 전력 할당을 업데이트하는 단계로 도출하는 것을 특징으로 하는 무선 전력 통신 방법.

청구항 7

제2항에 있어서, 상기 최적화 단계의 최적 채널 할당은

이동 노드의 채널 할당, 타임 슬롯, 및 업 링크의 신호대 잡음 비로 도출된 채널 할당의 최대화 문제의 해로 도출하도록 구비되는 것을 특징으로 하는 무선 전력 통신 방법.

청구항 8

제2항에 있어서, 상기 시간 할당 최적화 단계는,

상기 채널 할당에 대한 최대화 문제의 해에 대한 시간 할당을 초기화한 다음 시간 할당을 가지는 썸레이트를 연산하는 단계;

연산된 썸레이트에 대한 라인 검색 기법으로 최적 시간 할당을 도출하고, 도출된 최적 썸레이트가 기 정해진 임계값에 수렴할 때까지 라인 검색 기법을 반복 수행하여 최적 시간 할당을 업데이트하는 단계로 구비되는 것을 특징으로 하는 무선 전력 통신 방법.

청구항 9

전이중 방식으로 액세스 포인트와 통신하는 반이중 방식의 이동 노드를 포함하는 무선 전력 통신 시스템에 있어서,

상기 전이중 방식의 액세스 포인트에서,

자원 할당, 채널 할당, 다운 링크 빔포밍, 및 수신기 빔포밍에 대해 통합된 썸레이트의 최대화 문제의 해로 최적 썸레이트를 도출하고,

시간 및 전송 전력을 포함하는 자원 할당, 채널 할당, 다운 링크 빔포밍, 및 수신기 빔포밍에 대한 최적화를 수행하여 최적 자원 할당, 최적 채널 할당, 최적 다운 링크 빔포밍, 및 최적 수신기 빔포밍을 도출한 다음

도출된 최적 자원 할당, 최적 채널 할당, 최적 다운 링크 빔포밍, 및 최적 수신기 빔포밍에 대해 통합된 썸레이트의 최대화 문제의 해로 최적 썸레이트를 도출하고 도출된 최적 썸레이트가 기 정해진 임계값에 수렴할 때까지 최적 자원 할당, 최적 채널 할당, 최적 다운 링크 빔포밍, 및 최적 수신기 빔포밍을 반복 업데이트하는 것을 특징으로 하는 무선 전력 통신 시스템.

청구항 10

제9항에 있어서, 상기 액세스 포인트는,

고정된 타임 슬롯에 대해 전력 할당 및 라그랑지안 변수를 초기화한 다음, 도출된 최적 다운 링크 빔포밍을 연산하고,

수신기 빔포밍, 업 링크의 MMSE 가중치, 및 업 링크 전력 할당 각각에 대해 통합한 썸레이트의 최대화 문제로 도출된 최적 썸레이트가 기 정해진 임계값에 수렴할 때까지 수신기 빔포밍, 업 링크의 MMSE 가중치, 및 업 링크 전력 할당 각각에 대한 업데이트를 반복 수행하여 최적 수신기 빔포밍, 최적 업 링크 MMSE 가중치, 및 최적 업 링크 전력 할당을 각각 도출하며,

상기 채널 할당에 대해 통합한 썸레이트의 최대화 문제로 도출된 최적 썸레이트가 기 정해진 임계값에 수렴할

때까지 채널 할당의 업데이트를 반복 수행하여 최적 채널 할당을 도출하도록 구비되는 것을 특징으로 하는 무선 전력 통신 시스템.

청구항 11

제10항에 있어서, 상기 액세스 포인트는,

채널 할당에 대한 최대화 문제의 해에 대한 시간 할당을 초기화한 다음 채널 할당에 대한 최대화 문제의 해로 최적 시간 할당을 도출하고 도출된 최적 시간 할당에 대해 최적 썸레이트에 대한 라인 검색 기법으로 최적 시간 할당을 업데이트하고 업데이트된 최적 시간 할당에 대해 도출된 최적 썸레이트가 기 정해진 임계값에 수렴할 때까지 반복 업데이트하여 최적 시간 할당인 최적 타임 슬롯을 도출하는 것을 특징으로 하는 특징으로 하는 무선 전력 통신 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 무선 전력 통신 시스템에 관한 것으로, 보다 상세하게는 무선전력 및 정보 동시전송 빔포밍에 있어, 썸레이트의 최대화 문제의 해로 채널 할당, 시간 및 전력을 포함하는 자원 할당, 및 빔포밍을 최적화함에 따라 전송 신호의 신호대 잡음 비를 최소로 얻을 수 있고 전송 신호의 품질을 더욱 향상시킬 수 있는 기술에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 최근 이동통신 환경은 4세대 통신 기술로 불리는 LTE-A 등의 기술이 주를 이루며 이를 통해 무선 단말로 고용량의 데이터를 주고받는 것이 가능해 졌다. 그러나 수요자들이 보다 많은 대용량의 데이터를 통신하면서 데이터 트래픽 양의 급속한 증대를 가져왔고, 이를 효과적으로 처리하기 위해 주파수 자원의 활용도를 높이는 다양한 시도가 진행되고 있는 실정이다. 현재 이러한 과제를 해결하고자 5세대(5G) 통신기술이 개발되고 있다.

[0003] 이러한 차세대 무선 통신 시스템에 대해, 셀프 무선 통신 네트워크에 대한 관심이 높아지고 있으며, 이에 전이중(FD: Full Duplex) 방식의 무선 전력 통신 시스템의 용량은 반이중 방식 (HD: Half Duplex)에 비해 늘어난다.

[0004] 여기서 전이중 방식은 서로 다른 주파수 대역에서 무선 신호를 송수신하지만 동일한 주파수 대역에서 신호를 송수신합니다. 이에 자기 간섭 (self-interference, SI)이 발생되며, 이러한 자기 간섭은 안테나 설계, 디지털 및 아날로그 기술에 의해 완화 될 수 있다.

[0005] 무선 전력 통신망 (WPCN)을 통해 동시 무선 정보 및 전력 전송하는 SWIPT(Simultaneous energy transfer and information transfer) 시스템이 개발되고, 이러한 SWIPT 시스템은 WET(Wireless Energy Transfer) 및 WIT(Wireless Information Transfer)를 연속적으로 전송하는 구조로 이루어진다.

[0006] 이에 최근에는 무선 정보 및 전력을 동시에 전송하는 WPCN에 대한 자원 할당에 대한 광범위한 연구가 이루어지고 있다. 즉, WPCN는 유한 및 무한 에너지 저장 용량을 가진 사용자를 고려한 에너지 및 시간 자원 배분의 공동 최적화에 대한 연구와 하나는 WET 용 안테나와 WIT 용 안테나가 장착된 하이브리드 액세스 포인트 (H-AP: Hybrid Access Point)에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다.

[0007] 또한, WPCN를 이용한 FD 통신 시스템과 HD 통신 시스템 모두에 대해 최적 시간 및 전력 할당을 위해 수행되는 파레토 최적 자원 할당을 야기하는 하베스트 효율의 최대화 연구에 집중되어있다.

[0008] 한편, 전력 및 정보를 동시에 전송하기 위해 SWIPT 시스템은 시간 릴레이 (TS)와 전력 분할 (PS) 방식에 의존하지 않고 FD 중계 노드에 WIT 용 다중 안테나와 WET 용 단일 안테나가 장착된다.

[0009] 일반적인 무선 통신 방식(WPCN)에서 다중 이동 노드(MS)와 하나의 액세스 포인트(Access Point: 이하 AP)간에는 업 링크 및 다운 링크를 동기적으로 통신하지 않는다. 즉, 다수의 이동 노드(MS) 중 일부는 업 링크하는 동안 나머지 이동 노드(MS)는 다운 링크를 수행한다.

[0010] 이에 무선 통신 방식에 있어서, 업 링크 및 다운 링크 통신을 위한 채널 할당, 전력 할당, 시간 할당 등을 최대화할 수 있는 공동 최적화 문제에 대한 연구가 필요한 실정이다.

선행기술문헌

비특허문헌

- [0011] (비특허문헌 0001) T. Yoo and A. Goldsmith, "Capacity and power allocation for fading mimo channels with channel estimation error," IEEE Trans. on Inform. Theory, vol. 52, pp. 2203-2214, May 2006.
- (비특허문헌 0002) Z. Xiang and M. Tao, "Robust beamforming for wireless information and power transmission," IEEE Wireless Commun. Letters, vol. 1, pp. 372- 375, Aug. 2012.
- (비특허문헌 0003) H. Lee, K.-J. Lee, H.-B. Kong, and I. Lee, "Sum-rate maximization for multiuser MIMO wireless powered communication networks," IEEE Trans. on Veh.Tech., vol. 65, pp. 9420-9424, Nov. 2016.
- (비특허문헌 0004) H. Lee, S.-R. Lee, K.-J. Lee, H.-B. Kong, and I. Lee, "Optimal beamforming designs for wireless information and power transfer in miso interference channels," IEEE Trans. on Wireless Commun., vol. 14, pp. 4810-4821, Sept. 2015.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0012] 이에 본 발명은 썸레이트를 최대화 문제의 해로 채널 할당, 시간 및 전력을 포함하는 자원 할당, 빔포밍의 최적 화합에 따라 액세스 포인트(AP)에서 다중 이동 단말 노드(MS)로 전달되는 전송 신호의 신호대 잡음비를 최소화 하고, 전송 신호 품질을 향상시킬 수 있는 무선 전력 통신 시스템 및 방법을 제공하고자 하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

- [0013] 일 실시 예의 양태에 따르면, 무선 전력 통신 방법은,
- [0014] 반이종 방식의 이동 노드와 전이종 방식의 액세스 포인트 간의 무선 전력 통신 방법에 있어서,
- [0015] 고정된 타임 슬롯에 대해 전력 할당 및 라그랑지안 변수를 초기화한 다음, 도출된 최적 다운 링크 빔포밍을 연 산하는 최적 다운링크 빔포밍 연산단계;
- [0016] 수신기 빔포밍, 업 링크의 MMSE 가중치, 및 업 링크 전력 할당 각각에 대해 통합한 썸레이트의 최대화 문제로 도출된 최적 썸레이트가 기 정해진 임계값에 수렴할 때까지 수신기 빔포밍, 업 링크의 MMSE 가중치, 및 업 링크 전력 할당 각각에 대한 업데이트를 반복 수행하여 최적 수신기 빔포밍, 최적 업 링크 MMSE 가중치, 및 최적 업 링크 전력 할당을 각각 도출하는 최적화 단계;
- [0017] 상기 채널 할당에 대해 통합한 썸레이트의 최대화 문제로 도출된 최적 썸레이트가 기 정해진 임계값에 수렴할 때까지 채널 할당의 업데이트를 반복 수행하여 최적 채널 할당을 도출하는 채널할당 최적화단계를 포함하는 것 을 일 특징으로 한다.
- [0018] 바람직하게 상기 채널 할당 업데이트 단계 이후에
- [0019] 채널 할당에 대한 최대화 문제의 해에 대한 시간 할당을 초기화한 다음 채널 할당에 대한 최대화 문제의 해로 최적 시간 할당을 도출하고 도출된 최적 시간 할당에 대해 최적 썸레이트에 대한 라인 검색 기법으로 최적 시간 할당을 업데이트하고 업데이트된 최적 시간 할당에 대해 도출된 최적 썸레이트가 임계값에 수렴할때 까지 반복 업데이트하여 최적 시간 할당인 최적 타임 슬롯을 도출 시간 할당 최적화단계를 더 포함할 수 있다.
- [0020] 바람직하게 기 다운 링크 빔포밍 연산단계는,
- [0021] 액세스 포인트 AP의 전송 전력과 기 정해진 행렬의 단위 노음 고유벡터를 토대로 최적 다운 링크 빔포밍을 연산 할 수 있다.
- [0022] 바람직하게 상기 최적화 단계의 수신기 빔포밍은

- [0023] 채널 C_c 의 이동 노드 MS_k 의 업 링크 MMSE 가중치로 WMMSE(Weighted Minimum Mean Squared Error)를 도출하는 단계;
- [0024] 도출된 WMMSE에 대한 최소화 문제의 해를 도출하는 단계;
- [0025] 도출된 WMMSE에 대한 최소화 문제의 해로 최적 WMMSE를 도출하는 단계;
- [0026] 최적 WMMSE에 대해 통합된 썸레이트의 최대화 문제의 해로 최적 썸레이트를 도출하고 도출된 최적 썸레이트가 기 정해진 임계값에 수렴할 때까지 도출된 최적 WMMSE를 업데이트하는 단계로 구비될 수 있다.
- [0027] 바람직하게 상기 최적화 단계의 최적 수신기 빔포밍 $\mathbf{v}_{k,c}^*$ 은
- [0028] 이동 노드 MS_j 의 업 링크의 전력 할당 $p_{j,c}^{UL}$, 추정 채널 및 채널 오류를 포함하는 채널 정보 $\mathbf{g}_{k,c}$, 이동 노드 MS_k 의 전력 할당, 및 기 정해진 a 와 단위 행렬 $\mathbf{I}$ 을 토대로 도출하도록 구비될 수 있다.
- [0029] 바람직하게 상기 최적화 단계의 최적 업 링크 전력 할당은,
- [0030] 이동 노드 MS_k 의 업 링크의 MMSE 가중치의 최소화 문제의 해로 최적 업 링크 MMSE 가중치를 도출하는 단계;
- [0031] 도출된 최적 업 링크 MMSE 가중치와 WMMSE의 최소화 문제의 해로 업 링크의 전력 할당을 도출하는 단계;
- [0032] 도출된 업 링크 전력 할당의 최소화 문제의 해로 도출된 최적 업 링크 전력 할당에 대해 통합된 썸레이트의 최대화 문제의 해로 최적 썸레이트를 도출하고 도출된 최적 썸레이트가 기 정해진 임계값에 수렴할 때까지 도출된 최적 업 링크 전력 할당을 업데이트하는 단계로 도출될 수 있다.
- [0033] 바람직하게 상기 최적화 단계의 최적 채널 할당은
- [0034] 이동 노드 MS_k 의 채널 할당, 타임 슬롯, 및 업 링크의 신호대 잡음 비로 도출된 채널 할당의 최대화 문제의 해로 도출될 수 있다.
- [0035] 바람직하게 상기 시간 할당 최적화 단계는,
- [0036] 상기 채널 할당에 대한 최대화 문제의 해에 대한 시간 할당을 초기화한 다음 시간 할당을 가지는 썸레이트를 연산하는 단계;
- [0037] 연산된 썸레이트에 대한 라인 검색 기법으로 최적 시간 할당을 도출하고, 도출된 최적 썸레이트가 기 정해진 임계값에 수렴할 때까지 라인 검색 기법을 반복 수행하여 최적 시간 할당을 업데이트하는 단계로 구비될 수 있다.
- [0038] 일 실시 예의 다른 양태에 의거 무선 전력 전송 시스템은,
- [0039] 전이중 방식으로 액세스 포인트와 통신하는 반이중 방식의 이동 노드를 포함하는 무선 전력 통신 시스템에 있어서,
- [0040] 상기 전이중 방식의 액세스 포인트에서,
- [0041] 자원 할당, 채널 할당, 다운 링크 빔포밍, 및 수신기 빔포밍에 대해 통합된 썸레이트의 최대화 문제의 해로 최적 썸레이트를 도출하고,
- [0042] 시간 및 전송 전력을 포함하는 자원 할당, 채널 할당, 다운 링크 빔포밍, 및 수신기 빔포밍에 대한 최적화를 수행하여 최적 자원 할당, 최적 채널 할당, 최적 다운 링크 빔포밍, 및 최적 수신기 빔포밍을 도출한 다음
- [0043] 도출된 최적 자원 할당, 최적 채널 할당, 최적 다운 링크 빔포밍, 및 최적 수신기 빔포밍에 대해 통합된 썸레이트의 최대화 문제의 해로 최적 썸레이트를 도출하고 도출된 최적 썸레이트가 기 정해진 임계값에 수렴할 때까지 최적 자원 할당, 최적 채널 할당, 최적 다운 링크 빔포밍, 및 최적 수신기 빔포밍을 반복 업데이트하는 것을 일 특징으로 한다.

- [0044] 바람직하게 상기 액세스 포인트는,
- [0045] 고정된 타임 슬롯에 대해 전력 할당 및 라그랑지안 변수를 초기화한 다음, 도출된 최적 다운 링크 빔포밍을 연산하고,
- [0046] 수신기 빔포밍, 업 링크의 MMSE 가중치, 및 업 링크 전력 할당 각각에 대해 통합한 썸레이트의 최대화 문제로 도출된 최적 썸레이트가 기 정해진 임계값에 수렴할 때까지 수신기 빔포밍, 업 링크의 MMSE 가중치, 및 업 링크 전력 할당 각각에 대한 업데이트를 반복 수행하여 최적 수신기 빔포밍, 최적 업 링크 MMSE 가중치, 및 최적 업 링크 전력 할당을 각각 도출하며,
- [0047] 상기 채널 할당에 대해 통합한 썸레이트의 최대화 문제로 도출된 최적 썸레이트가 기 정해진 임계값에 수렴할 때까지 채널 할당의 업데이트를 반복 수행하여 최적 채널 할당을 도출하도록 구비될 수 있다.
- [0048] 바람직하게 상기 액세스 포인트는,
- [0049] 채널 할당에 대한 최대화 문제의 해에 대한 시간 할당을 초기화한 다음 채널 할당에 대한 최대화 문제의 해로 최적 시간 할당을 도출하고 도출된 최적 시간 할당에 대해 최적 썸레이트에 대한 라인 검색 기법으로 최적 시간 할당을 업데이트하고 업데이트된 최적 시간 할당에 대해 도출된 최적 썸레이트가 기 정해진 임계값에 수렴할 때까지 반복 업데이트하여 최적 시간 할당인 최적 타임 슬롯을 도출하는 것을 더 포함할 수 있다.

발명의 효과

- [0050] 일 실시 예에 의하면, 채널 할당, 시간 및 전력을 포함하는 자원 할당, 및 업 링크 빔포밍, 수신기 빔포밍, 및 타임 슬롯에 대해 통합한 최적 썸레이트가 기 정해진 임계값에 수렴할 때까지 최적 채널 할당, 시간 및 전력을 포함하는 최적 자원 할당, 및 최적 빔포밍을 반복 검색함에 따라, 액세스 포인트(AP)에서 다중 이동 단말 노드(MS)로 전달되는 전송 신호의 신호대 잡음 비를 최소화하고, 전송 신호 품질을 향상시킬 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0051] 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 실시 예의 무선 전력 전송 시스템을 나타낸 개념도이다.

도 2는 일 실시 예가 적용되는 이동 노드 및 액세스 포인트 분포도이다.

도 3은 일 실시 예의 변동 타임 슬롯의 썸레이트를 보인 그래프이다.

도 4는 일 실시 예의 AP 전송 전력에 대한 썸레이트를 보인 그래프이다.

도 5는 일 실시 예의 루프백 채널 분산에 대한 썸레이트를 보인 그래프이다.

도 6은 일 실시 예의 RSI에 대한 썸레이트를 보인 그래프이다.

도 7은 일 실시 예의 이동 노드 증가에 따른 썸레이트를 보인 그래프이다.

도 8은 다른 실시 예의 무선 전력 제어 방법을 보인 전체 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0052] 이하에서는 도면을 참조하여 본 발명의 실시예들을 보다 상세하게 설명한다.
- [0053] 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 후술되어 있는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 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 발명은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다.
- [0054] 본 명세서에서 사용되는 용어에 대해 간략히 설명하고, 본 발명에 대해 구체적으로 설명하기로 한다.
- [0055] 본 발명에서 사용되는 용어는 본 발명에서의 기능을 고려하면서 가능한 현재 널리 사용되는 일반적인 용어들을

선택하였으나, 이는 당 분야에 종사하는 기술자의 의도 또는 판례, 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.

[0056] 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.

[0057] 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.

[0058] 일 실시 예에서 이동 노드(100)와 전이중 액세스 포인트(FD-AP: 200)는 설명 상의 편의를 위해 MS, AP로 혼용하여 설명할 수 있고, 전이중 방식 또는 반이중 방식을 FD 또는 HD로 각각 혼용하여 설명할 수 있으며 또한 에너지 하베스트를 EH로 혼용하여 설명할 수 있고, 다운 링크 및 업 링크를 각각 DL 과 UL로 각각 혼용하여 설명할 수 있다.

[0059] 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.

[0060] 도 1은 본 실시 예의 무선 전력 통신 시스템을 나타내는 개념도로서, 도 1을 참조하면, K 개의 단일 안테나로 구비된 반이중(HD) 방식의 이동 노드(100)와 다중 안테나로 구비된 전이중 방식(FD)의 액세스 포인트(AP: 200)로 구성된다.

[0061] 여기서 각각의 이동 노드(100)들은 반이중 방식(HD: Half Duplex)으로 AP(200)와 통신되므로, 무선 정보 전송(WIT : Wireless Information Transfer)의 업 링크(UL: Up Link) 채널 C_c 과 에너지 하베스트(EH: Energy Harvest)의 다운 링크(DL: Down Link) 채널 $C_{\hat{c}}$ 을 분리하여 통신하고, WIT의 $c = 1, 2$ 이고 EH의 $\hat{c} = 3 - c$ 이다. 여기서, $\hat{c}$ 는 특정 채널 전류이다. 예를 들어 $c=1$ 이면 채널 1로 통신될 수 있다.

[0062] 즉, AP(200)는 이동 노드(100)의 군 S_1, S_2 로 그룹핑한 다음 이동 노드(100)의 군 S_1 이 채널 C_1 에서 에너지 하베스트의 다운 링크 EH DL로 동작하는동안 다른 군 S_2 은 채널 C_2 에서 EH DL로 동작한다.

[0063] 즉, 전이중 방식(FD)의 AP(200)는 2M 안테나를 가지고 있는데 첫 번째 M 안테나는 무선 정보 전송(WIT)의 업 링크로 사용되고 나머지는 무선 전력 전송(WET)의 다운 링크로 사용된다.

[0064] $h_{k,c}$ 및 $g_{k,c}$ 은 이동 노드 MS_k 의 다운 링크 및 업 링크 채널이고 $k = 1, 2, \dots, K$ 이며, c 첨자는 통신 중인 이동 노드 MS_k 의 특정 채널을 나타낸다.

[0065] 이동 노드(100)의 채널 C_c 의 FD AP(200)의 루프백(loopback) 채널은 $\hat{H}_c \in \mathbb{C}^{M \times M}$ 로 정의되고, 여기서 루프백 채널은 제로 평균과 분산 $\sigma_{\hat{H}}^2$ 을 포함하는 균일 동일 분포의 가우시안 성분을 가진다.

[0066] 그리고 채널 C_c 을 통해 이동 노드 MS_k 와 이동 노드 MS_j 사이의 공동 채널 상호 작용은 $\hat{g}_{kj,c}$ 로 정

의된다. 이에 일 실시 예의 각 이동 노드(100)는 무선 정보 전송(WIT)의 업 링크를 위해 다운 링크에서 에너지 하베스트(EH)를 수행한다.

[0067] 그리고 액세스 포인트(200)는 채널 정보(CSI)를 추정되고, 채널 추정 모델은 불완전하기 때문에 추정 채널은 다음과 같이 모델링되어 AP(200)에 저장된다.

$$\mathbf{h}_{k,c} = \hat{\mathbf{h}}_{k,c} + \tilde{\mathbf{h}}_{k,c} \quad , \quad \mathbf{g}_{k,c} = \hat{\mathbf{g}}_{k,c} + \tilde{\mathbf{g}}_{k,c}$$

[0069] 여기서, $\hat{\mathbf{h}}_{k,c}$, $\hat{\mathbf{g}}_{k,c}$ 는 추정 채널들이고, $\tilde{\mathbf{h}}_{k,c}$, $\tilde{\mathbf{g}}_{k,c}$ 은 분산 $\sigma_{\mathbf{h}_{k,c}}^2$ 와 $\sigma_{\mathbf{g}_{k,c}}^2$ 을 가지는 제로 평균 복소 가우스 확률 변수로 모델링된 채널 오류이다.

[0070] 여기서, 시분할 이중 통신(TDD)에 대해 업 링크 채널 정보 $\mathbf{g}_{k,c} = \mathbf{h}_{k,c}^*$ 이므로, 업 링크 및 다운 링크 채널 정보의 분산은 $\sigma_{\mathbf{h}_{k,c}}^2 = \sigma_{\mathbf{g}_{k,c}}^2 = \sigma_{\mathbf{E}}^2$ 이고, 여기서, 채널 정보에 대한 분산 $\sigma_{\mathbf{E}}^2$ 는 채널 다이내믹과 채널 추정 기법 등의 다양한 방법으로 결정될 수 있으며, 비특허문원 1 및 2에 개시되어 있다.

[0071] 여기서, 추정 채널 $\hat{\mathbf{h}}_{k,c}$ 및 분산 $\sigma_{\mathbf{E}}^2$ 은 알고 있다고 가정하면, 다운 링크 통신 동안에 채널 C_c 를 통해 전이중 방식(FD)의 액세스 포인트(200)에서 이동 노드 $\mathbf{MS}_k$ 로 전송되는 에너지 신호 $y_{k,c}^{DL}$ 는 다음 수학식 1)을 만족한다.

[0072] [수학식 1]

$$y_{k,c}^{DL} = \underbrace{\hat{\mathbf{h}}_{k,c}^H \sum_{j \in S_c} \mathbf{w}_{j,c} s_j^{DL}}_{\text{Estimated energy signal}} + \underbrace{\tilde{\mathbf{h}}_{k,c}^H \sum_{j \in S_c} \mathbf{w}_{j,c} s_j^{DL}}_{\text{Errored energy signal}} + \underbrace{\sum_{j \in S_e} \hat{g}_{kj,c} \sqrt{P_{j,c}^{UL}} s_j^{UL}}_{\text{UL co-channel signal}} + z_{A,k,c}^{DL}$$

[0073]

[0074] 여기서, s_k^{DL} 는 FD AP(200)로부터 전송되어 에너지 신호이고, $\mathbf{w}_{k,c} \in \mathbb{C}^K$ 는 채널 C_c 상의 다운 링크 빔포밍이며, $P_{j,c}^{UL}$ 는 이동 노드 $\mathbf{MS}_j$ 의 전송 전력이고, $z_{A,k,c}^{DL}$ 는 분산 $\sigma_{A,k,c}^2$ 을 가지는 이동 노드 $\mathbf{MS}_k$ 의 부가적인 화이트 가우시안 노이즈 (AWGN : Additive White Gaussian Noise) 이다.

[0075] 수학식 1의 에너지 신호 $y_{k,c}^{DL}$ 로부터의 에너지 하베스트(EH)는 다음 수학식 2로 주어진다.

[0076] [수학식 2]

$$Q_{k,c} = \tau_c \beta_k \sum_{j \in \mathcal{S}_c} |\hat{\mathbf{h}}_{k,c}^H \mathbf{w}_{j,c}|^2 + \tau_c \beta_k \sum_{j \in \mathcal{S}_c} |\tilde{\mathbf{h}}_{k,c}^H \mathbf{w}_{j,c}|^2$$

[0077]

[0078] 여기서, β_k 는 이동 노드 $\mathbf{MS}_k$ 의 에너지 하베스트(EH) 효율이고, τ_c 는 채널 $\mathcal{C}_c$ 의 이동 노드 $\mathbf{MS}_k$ 의 EH DL의 타임 슬롯이다.

[0079] 업 링크 공동 채널 신호 및 노이즈 에너지 하베스트 성분은 실제 전송된 에너지 신호에 비해 상대적으로 무시할 수 있으며 이에 이동 노드 $\mathbf{MS}_k$ 의 무선 정보 전송(WIT)의 업 링크 전력은 다음 수학식 3으로 표현된다.

[0080] [수학식 3]

$$\begin{aligned} \hat{Q}_{k,\hat{c}} &= \frac{Q_{k,c}}{\tau_{\hat{c}}} \\ &= \frac{\tau_c}{\tau_{\hat{c}}} \beta_k \sum_{j \in \mathcal{S}_c} |\hat{\mathbf{h}}_{k,c}^H \mathbf{w}_{j,c}|^2 + \frac{\tau_c}{\tau_{\hat{c}}} \beta_k \sum_{j \in \mathcal{S}_c} |\tilde{\mathbf{h}}_{k,c}^H \mathbf{w}_{j,c}|^2 \end{aligned}$$

[0081]

[0082] 여기서, $\tau_{\hat{c}}$ 는 채널 $\mathcal{C}_{\hat{c}}$ 의 업 링크를 액세스하기 위해 이동 노드 $\mathbf{MS}_k$ 에 대해 할당된 시간 위치를 나타낸다.

[0083] 두번째 위상에서 채널 $\mathcal{C}_{\hat{c}}$ 의 업 링크에 대해, 이동 노드 $\mathbf{MS}_s$ 로의 업 링크를 위해 FD AP(200)의 수신 신호는 다음 수학식 4로 나타낸다.

[0084] [수학식 4]

$$y_{\hat{c}}^{UL} = \underbrace{\sum_{k \in \mathcal{S}_c} (\hat{\mathbf{g}}_{k,\hat{c}} + \tilde{\mathbf{g}}_{k,\hat{c}}) \sqrt{P_{k,\hat{c}}^{UL}} s_k^{UL}}_{\text{signal from } \mathcal{S}_c \text{ MSs}} + \underbrace{\hat{\mathbf{H}}_{\hat{c}} \mathbf{x}_{\hat{c}}^{DL}}_{\text{residual SI on } \mathcal{C}_{\hat{c}}} + z_{\hat{c}}^{UL}$$

[0085]

[0086] 여기서, $\hat{\mathbf{H}}_{\hat{c}} \mathbf{x}_{\hat{c}}^{DL}$ 은 잔여 자기 간섭(RSI: Residual Self Interference)이고, $\mathbf{x}^{DL}$ 은 현재 위상에서 이동 노드 $\mathbf{MS}_s$ 의 하베스트(EH)된 에너지 신호들이다.

[0087] 그리고, FD AP(200)는 수신 빔포밍 $\mathbf{V}_{k,\hat{c}}$ 를 사용하여 이동 노드 $\mathbf{MS}_k$ 로부터 추정 정보 신호 $\hat{s}_k^{UL}$ 를 수신하고, 추정 정보 신호 $\hat{s}_k^{UL}$ 는 다음 수학식 5로 표현된다.

[0088] [수학식 5]

$$\begin{aligned} \hat{s}_k^{UL} &= \mathbf{v}_{k,\hat{c}}^H \hat{\mathbf{g}}_{k,\hat{c}} \sqrt{P_{k,\hat{c}}^{UL}} s_k^{UL} + \mathbf{v}_{k,\hat{c}}^H \sum_{j \in \mathcal{S}_c, j \neq k} \hat{\mathbf{g}}_{j,\hat{c}} \sqrt{P_{j,\hat{c}}^{UL}} s_j^{UL} \\ &+ \mathbf{v}_{k,\hat{c}}^H \sum_{j \in \mathcal{S}_c} \tilde{\mathbf{g}}_{j,\hat{c}} \sqrt{P_{j,\hat{c}}^{UL}} s_j^{UL} + \mathbf{v}_{k,\hat{c}}^H \hat{\mathbf{H}}_{\hat{c}} \sum_{j \in \mathcal{S}_{\hat{c}}} \mathbf{w}_{j,\hat{c}} s_j^{DL} \\ &+ \mathbf{v}_{k,\hat{c}}^H z_{\hat{c}}^{UL}, \end{aligned}$$

[0089]

[0090] 여기서 채널 $C_{\hat{c}}$ 를 통한 $\mathbf{MS}_k$ 에 대한 업 링크 신호대 잡음 비(SNR: Signal Noise Ratio)는 다음 수학식 6
으로 표현된다.

[0091] [수학식 6]

$$\gamma_{k,\hat{c}}^{UL} = \frac{P_{k,\hat{c}}^{UL} |\mathbf{v}_{k,\hat{c}}^H \hat{\mathbf{g}}_{k,\hat{c}}|^2}{N_{k,\hat{c}} + RSI_{k,\hat{c}} + \sigma_{\hat{c}}^2 \|\mathbf{v}_{k,\hat{c}}^H\|^2}$$

[0092]

$$RSI_{k,\hat{c}} = \hat{\sigma}_{\hat{H}}^2 \|\mathbf{v}_{k,\hat{c}}\|^2 \sum_{j \in \mathcal{S}_{\hat{c}}} \|\mathbf{w}_{j,\hat{c}}\|^2$$

[0093] 여기서, $\hat{\sigma}_{\hat{H}}^2$ 는 잔여 자기 간섭(RSI)의 평균 전력

$$N_{k,\hat{c}} = \sum_{j \in \mathcal{S}_c, j \neq k} P_{j,\hat{c}}^{UL} |\mathbf{v}_{k,\hat{c}}^H \hat{\mathbf{g}}_{j,\hat{c}}|^2 + \sum_{j \in \mathcal{S}_c} P_{j,\hat{c}}^{UL} |\mathbf{v}_{k,\hat{c}}^H \tilde{\mathbf{g}}_{j,\hat{c}}|^2$$

으로 표현되고, $\sigma_{\hat{c}}^2$ 으로 표현된다.

[0094] 그리고, 이동 노드 $\mathbf{MS}_k$ 의 업 링크 통신을 위한 레이트는 다음과 수학식 7로 주어진다.

[0095] [수학식 7]

$$R_k^U = \sum_{c=1}^2 a_{k,\hat{c}} \tau_c \log_2(1 + \gamma_{k,c}^{UL})$$

[0096]

[0097] 여기서, $a_{k,c}$ 는 특정 이동 노드 $\mathbf{MS}_k$ 에 대한 채널 할당 요소로 유도되고, 이동 노드 군 $\mathcal{S}_c$ 에 대한
이동 노드의 연관성을 나타내는 이진 변수이다. 채널 C_c 상의 다운 링크 빔포밍 $\mathbf{w}_{k,c}$, 수신기 빔포밍
 $\mathbf{v}_{k,c}$, 타임 슬롯 τ_c , 채널 할당 $a_{k,c}$, 및 전송 전력 $P_{k,\hat{c}}^{UL}$ 에 대해, 썸레이트의 최적화를 위해 전
이중 방식의 무선 전력 통신 FD-WPN에 대한 최적화 문제는 다음 수학식 8로 표현된다.

[0098] [수학식 8]

$$\begin{aligned}
 & \underset{\tau_c, a_{k,c}, \mathbf{w}_{k,c}, \mathbf{v}_{k,c}, P_{k,\hat{c}}^{UL}}{\text{maximize}} \quad \sum_{k=1}^K R_k^U \\
 & \text{subject to} \quad \sum_{k=1}^K \sum_{c=1}^2 \|\mathbf{w}_{k,c}\|^2 \leq P_{0,max}^{DL} \\
 & \quad P_{k,\hat{c}}^{UL} \leq \hat{Q}_{k,\hat{c}}; \forall k \\
 & \quad a_{k,c} \in \{0, 1\}, a_{k,1} + a_{k,2} = 1; \forall k \\
 & \quad 0 < \tau_c < 1, \tau_1 + \tau_2 = 1
 \end{aligned}$$

[0099]

$$P_{0,max}^{DL}$$

[0100] 여기서, $P_{0,max}^{DL}$ 는 FD AP(200)에서의 전송 전력이다.

[0101] 수학식 8은 모든 변수의 통합 최적에 대해 비 볼록(non-convex)이다. 따라서 각 변수는 닫힌 형태의 해를 얻기 위해 다른 변수들은 고정되어야 한다.

[0102] 일 실시 예는 전이중 방식(FD)의 무선 전력 통신(WPCN)에 대해 반복 알고리즘으로 국부 최적해를 찾아야 한다. 이에 모든 변수들 및 제약 조건에 대해, 수학식 8의 라그랑지안(Lagrangian) $\mathcal{L}(\dots)$ 은 다음 수학 식 9로 주어진다.

[0103] [수학식 9]

$$\begin{aligned}
 \mathcal{L}(\dots) = & \sum_{k=1}^K \sum_{c=1}^2 a_{k,\hat{c}} \tau_c \log_2(1 + \gamma_{k,c}^{UL}) + \lambda^{DL} P_{0,max}^{DL} \\
 & - \sum_{k=1}^K \sum_{c=1}^2 \lambda_k^{UL} P_{k,c}^{UL} - \lambda^{DL} \sum_{k=1}^K \sum_{c=1}^2 \|\mathbf{w}_{k,c}\|^2 \\
 & + \sum_{k=1}^K \sum_{c=1}^2 \lambda_k^{UL} \beta_k \frac{\tau_c}{\tau_{\hat{c}}} \sum_{j \in \mathcal{S}_c} |\hat{\mathbf{h}}_{k,c}^H \mathbf{w}_{j,c}|^2 \\
 & + \sum_{k=1}^K \sum_{c=1}^2 \lambda_k^{UL} \beta_k \frac{\tau_c}{\tau_{\hat{c}}} \sum_{j \in \mathcal{S}_c} |\tilde{\mathbf{h}}_{k,c}^H \mathbf{w}_{j,c}|^2,
 \end{aligned}$$

[0104]

$$\mathcal{L}(\dots) = \mathcal{L}(\tau_c, a_{k,c}, \mathbf{w}_{k,c}, P_{k,c}^{UL}, \lambda^{DL}, \lambda_k^{UL})$$

[0105] 여기서, $\mathcal{L}(\dots)$ 는 $\mathcal{L}(\tau_c, a_{k,c}, \mathbf{w}_{k,c}, P_{k,c}^{UL}, \lambda^{DL}, \lambda_k^{UL})$ 으로 나타낸다.

[0106] 또한, 수학식 8의 최적 다운 링크 빔포밍 $\mathbf{w}_{k,c}$ 는 수학식 10으로 표현된다.

[0107] [수학식 10]

$$\mathbf{w}_{k,c}^{\star} = \sqrt{P_{0,max}^{DL}} \mathbf{u}_{B,1}$$

[0108]

$$B \triangleq \frac{\tau_c}{\tau_e} \sum_{j \in \mathcal{S}_c} \lambda_j^{UL} \beta_j [\hat{\mathbf{h}}_{j,c} \hat{\mathbf{h}}_{j,c}^H + \tilde{\mathbf{h}}_{j,c} \tilde{\mathbf{h}}_{j,c}^H]$$

[0109] 여기서, $\mathbf{u}_{B,1}$ 은 행렬 B 의 최대 고유값에 해당하는 단위 노름(unit norm)의 고유 벡터이다.

[0110] 일 실시 예는 다운 링크 빔포밍, 수신기 빔포밍, 업 링크 전력 할당, 업 링크 채널 할당, 및 시간 할당이 대해 식 8 및 식 9에 의거 통합된 썸레이트의 최대화 문제로 최적의 썸레이트를 도출하고, 각 다운 링크 빔포밍, 수신기 빔포밍, 업 링크 전력 할당, 업 링크 채널 할당, 및 시간 할당의 각각에 대해 도출된 최적 썸레이트가 지정해진 임계값에 수렴할 때까지 반복 업데이트하여 최적 다운 링크 빔포밍, 최적 수신기 빔포밍, 최적 업 링크 전력 할당, 최적 업 링크 채널 할당, 및 최적 시간 할당을 탐색한다.

$$\mathbf{w}_{k,c}^{\star} = \mathbf{w}_{k,c}$$

[0111] 즉, 수학식 8의 최적 썸레이트를 이용하여 최적 다운 링크 빔포밍 $\mathbf{w}_{k,c}^{\star}$ 는 수학식 10으로 나타내는 과정은 비특허문헌 3 및 4에 구체적으로 개시되어 있다.

[0112] 한편, 일 실시 예의 AP는 썸레이트(sum rate) 최대화와 가중 최소 평균 제곱 에러(WMMSE: Weighted Minimum mean squared error) 사이의 등가 관계를 이용함에 따라 수학식 8의 최적 썸레이트에 의거 모든 변수와 제약 조건을 고려하여 WMMSE의 최소화 문제의 해로 최적 WMMSE를 도출할 수 있다.

[0113] 즉, WMMSE 최소화 문제는 다음 수학식 11로 재구성될 수 있다.

[0114] [수학식 11]

$$\begin{aligned} & \underset{\mathbf{v}_{k,c}, \vartheta_{k,c}^{UL}, P_{k,c}^{UL}}{\text{minimize}} \quad \Gamma_k^U \\ & \text{subject to} \quad P_{k,c}^{UL} \leq \hat{Q}_{k,c}; \forall k \end{aligned}$$

[0115]

[0116] 여기서, $\vartheta_{k,c}^{UL}$ 는 채널 C_c 상의 이동 노드 $\mathbf{MS}_k$ 에 대한 업 링크 MMSE 가중치이고, 수학식 12와 수학식 13으로 표현된다.

[0117] [수학식 12]

$$\Gamma_k^U = \sum_{k=1}^K \sum_{c=1}^2 a_{k,c} \left(\vartheta_{k,c}^{UL} e_{k,c}^{UL} - \log \vartheta_{k,c}^{UL} \right)$$

[0118]

[0119] [수학식 13]

$$\begin{aligned} e_{k,c}^{UL} &= 1 - \sqrt{P_{k,c}^{UL} \mathbf{v}_{k,c}^H \hat{\mathbf{g}}_{k,c}} + \sum_{j \in \mathcal{S}_c, j \neq k} P_{j,c}^{UL} |\mathbf{v}_{k,c}^H \hat{\mathbf{g}}_{j,c}|^2 \\ &+ \left(\sum_{j \in \mathcal{S}_c} \|\mathbf{w}_{j,c}\|^2 \hat{\sigma}_H^2 + \sigma_c^2 \right) \|\mathbf{v}_{k,c}\|^2 + \sum_{j \in \mathcal{S}_c} P_{j,c}^{UL} |\mathbf{v}_{k,c}^H \tilde{\mathbf{g}}_{j,c}|^2 \end{aligned}$$

[0120]

[0121] 수학식 11의 WMMSE 최소화 문제는 비볼록(non-convex) 통합 최적 문제를 가지고 있으나 개별 변수에 대해서는

블록(convex) 문제를 가진다.

이에 최적 수신 빔포밍 $\mathbf{v}_{k,c}^{\star}$ 는 다음 수학 식 14로 추정되며, 이를 정리하면 다음 수학식 15로 추정된다.

[수학식 14]

$$\mathbf{v}_{k,c}^{\star} = \arg \min_{\mathbf{v}_{k,c}} e_{k,c}^{UL}$$

[수학식 15]

$$\mathbf{v}_{k,c}^{\star} = \left(\sum_{j \in \mathcal{S}_{\hat{c}}} P_{j,c}^{UL} [\hat{\mathbf{g}}_{j,c} \hat{\mathbf{g}}_{j,c}^H + \tilde{\mathbf{g}}_{j,c} \tilde{\mathbf{g}}_{j,c}^H] + a \mathbf{I} \right)^{-1} \sqrt{P_{k,c}^{UL}} \hat{\mathbf{g}}_{k,c}$$

[0126]

$$a = \left(\sum_{j \in \mathcal{S}_c} \|\mathbf{w}_{j,c}\|^2 \hat{\sigma}_{\hat{H}}^2 + \sigma_c^2 \right)$$

여기서, 이다.

최적 업 링크 MMSE 가중치 $\vartheta_{k,c}^{UL\star}$ 는 수학 식 18에 의거 수학식 17로 예측된다.

[수학식 17]

$$\vartheta_{k,c}^{UL\star} = \frac{1}{1 - \sqrt{P_{k,c}^{UL}} \mathbf{v}_{k,c}^H \hat{\mathbf{g}}_{k,c}}$$

[0130]

[수학식 18]

$$\vartheta_{k,c}^{UL\star} = \arg \min_{\vartheta_{k,c}^{UL}} \left[\vartheta_{k,c}^{UL} e_{k,c}^{UL} - \log \vartheta_{k,c}^{UL} \right]$$

[0132]

수학식 11의 WMMSE 최소화 문제 Γ_k^U 를 정리하고 그룹화하면, 수학식 20을 가지는 다음 수학식 19가 생성되며, 업 링크 전력 할당 $P_{k,c}^{UL\star}$ 에 대한 최적화 문제는 다음 수학식 21과 같이 표현된다.

[0134] [수학식 19]

$$\begin{aligned} & \sum_{k=1}^K \sum_{c=1}^2 \left[a_{k,\hat{c}} (\vartheta_{k,c}^{UL} - \log \vartheta_{k,c}^{UL}) \right. \\ & \quad \left. + a_{k,\hat{c}} \vartheta_{k,c}^{UL} \|\mathbf{v}_{j,c}\|^2 \left(\sum_{j \in S_c} \|\mathbf{w}_{j,c}\|^2 \hat{\sigma}_{\hat{H}}^2 + \sigma_c^2 \right) \right] \\ & \quad + \sum_{k=1}^K \sum_{c=1}^2 \left[a_{k,\hat{c}} \vartheta_{k,c}^{UL} \sum_{j \in S_{\hat{c}}} P_{j,c}^{UL} |\mathbf{v}_{k,c}^H \hat{\mathbf{g}}_{j,c}|^2 \right. \\ & \quad \left. + a_{k,\hat{c}} \vartheta_{k,c}^{UL} \sum_{j \in S_{\hat{c}}} P_{j,c}^{UL} |\mathbf{v}_{k,c}^H \tilde{\mathbf{g}}_{j,c}|^2 \right. \\ & \quad \left. - \sqrt{P_{k,c}^{UL}} a_{k,\hat{c}} \vartheta_{k,c}^{UL} (\mathbf{v}_{k,c}^H \hat{\mathbf{g}}_{k,c} + \hat{\mathbf{g}}_{k,c}^H \mathbf{v}_{j,c}) \right]. \end{aligned}$$

[0135]

[0136] [수학식 20]

$$\begin{aligned} \Phi &= \sum_{k=1}^K \sum_{c=1}^2 \left[a_{k,\hat{c}} \vartheta_{k,c}^{UL} \sum_{j \in S_{\hat{c}}} P_{j,c}^{UL} |\mathbf{v}_{k,c}^H \hat{\mathbf{g}}_{j,c}|^2 \right. \\ & \quad \left. + a_{k,\hat{c}} \vartheta_{k,c}^{UL} \sum_{j \in S_{\hat{c}}} P_{j,c}^{UL} |\mathbf{v}_{k,c}^H \tilde{\mathbf{g}}_{j,c}|^2 \right. \\ & \quad \left. - \sqrt{P_{k,c}^{UL}} a_{k,\hat{c}} \vartheta_{k,c}^{UL} (\mathbf{v}_{k,c}^H \hat{\mathbf{g}}_{k,c} + \hat{\mathbf{g}}_{k,c}^H \mathbf{v}_{j,c}) \right], \end{aligned}$$

[0137]

[0138] [수학식 21]

$$\begin{aligned} & \underset{P_{k,\hat{c}}^{UL}}{\text{minimize}} \Phi \\ & \text{subject to} \quad P_{k,c}^{UL} \leq \hat{Q}_{k,c} \end{aligned}$$

[0139]

[0140] 그리고 수학식 21에 라그랑지안을 적용하면 최적 업 링크 전력 할당 $P_{k,c}^{UL\star}$ 의 해는 다음 수학식 22로 주어진다.

[0141] [수학식 22]

$$P_{k,c}^{UL\star} = \left(\frac{a_{k,\hat{c}} \vartheta_{k,c}^{UL} \mathbf{v}_{k,c}^H \hat{\mathbf{g}}_{k,c}}{\sum_{j=1}^{S_{\hat{c}}} a_{j,\hat{c}} \vartheta_{j,c}^{UL} [|\mathbf{v}_{j,c}^H \hat{\mathbf{g}}_{k,c}|^2 + |\mathbf{v}_{j,c}^H \tilde{\mathbf{g}}_{k,c}|^2] + \lambda_k^{UL}} \right)^2$$

[0143]

[0145] 한편, 최적 채널 할당 $a_{k,c}^*$ 다음 수학식 23으로 최적화한다.

[0146] [수학식 23]

$$\begin{aligned} & \underset{a_{k,c}}{\text{maximize}} \sum_{k=1}^K \sum_{c=1}^2 a_{k,c} \tau_{\hat{c}} \log_2(1 + \gamma_{k,\hat{c}}^{UL}) \\ & \text{subject to} \sum_{c=1}^2 a_{k,c} = 1 \\ & \quad 0 \leq a_{k,c} \leq 1, \end{aligned}$$

[0147]

$$0 \leq a_{k,c} \leq 1$$

[0148] 은 릴랙스된 $a_{k,c} \in [0, 1]$ 이고, 채널 할당 $a_{k,c}$ 기반의 선형 프로그래밍 문제를 해결함에 따라 수학식 23의 최적 채널 할당 $a_{k,c}^*$ 을 얻을 수 있다. 최적 채널 할당 $a_{k,c}^*$ 은 그래디언트 프로젝션(gradient Projection) 기법을 적용하여 결정되어진다.

[0149] 특히 채널 할당 $a_{k,c}$, $a_{k,\hat{c}}$ 는
$$\begin{bmatrix} \mathcal{G}_{k,c} \\ \mathcal{G}_{k,\hat{c}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tau_{\hat{c}} \log_2(1 + \gamma_{k,\hat{c}}^{UL}) \\ \tau_c \log_2(1 + \gamma_{k,c}^{UL}) \end{bmatrix}$$
 로 정의된 그래디언트와, 수학식 24에 대한 그래디언트 프로젝션 기법 $\mathcal{P}$ 을 검색할 수 있다.

[0150] [수학식 24]

$$\boldsymbol{\theta}_k = \mathcal{P}_{s_k} \{ \boldsymbol{\theta}_k + \alpha_n \mathcal{G} \}$$

[0151]

[0152] 여기서, $\boldsymbol{\theta}_k = [a_{k,c}, a_{k,\hat{c}}]^T$ 이고, α_n 은 작은 스텝 사이즈이며, $\mathcal{G} = [\mathcal{G}_{k,c}, \mathcal{G}_{k,\hat{c}}]^T$ $s_k \triangleq \{ \boldsymbol{\theta}_k \in \mathbb{R}^2 : \boldsymbol{\theta}_k \geq \mathbf{0}, a_{k,\hat{c}} + a_{k,c} \leq 1 \}$ 이다.

[0153] 이하 고정된 타임 슬롯을 가지는 썸레이트 최대화 알고리즘은 다음과 같다. 하기 알고리즘을 참조하면, 다운 링크 빔포밍, 수신기 빔포밍, 업 링크 전력 할당, 업 링크 채널 할당, 및 시간 할당이 대해 식 8 및 식 9에 의거 통합된 썸레이트의 최대화 문제로 최적의 썸레이트를 도출하고, 각 다운 링크 빔포밍, 수신기 빔포밍, 업 링크 전력 할당, 업 링크 채널 할당, 및 시간 할당의 각각에 대해 도출된 최적 썸레이트가 기 정해진 임계값에 수렴할 때까지 반복 업데이트하여 최적 다운 링크 빔포밍, 최적 수신기 빔포밍, 최적 업 링크 전력 할당, 최적 업 링크 채널 할당, 및 최적 시간 할당을 탐색한다.

Algorithm 1 Fixed FD/HD WPCN: Sum-rate optimization scheme with fixed τ_c

```
Initialize:  $\lambda_k^{UL}, P_{k,\hat{c}}^{UL}$  and fix  $\tau_c$ 
repeat
    Calculate each  $\mathbf{w}_{k,c}^*$  from (10)
    repeat
        Update each  $\mathbf{v}_{k,\hat{c}}$  with (15)
        Update each  $\vartheta_{k,\hat{c}}^{UL}$  with (17)
        Update each  $P_{k,\hat{c}}^{UL}$  with (22)
    until convergence
    Update each  $\boldsymbol{\theta}_k$  with (24)
until convergence
```

[0154]

[0155] 라그랑지안 변수 λ_k^{UL} 는 수학적 22를 이동 노드 MS_k 의 송신 전력 버짓 제약에 치환하고 루트 검색 기법을 사용하여 λ_k^{UL} 를 탐색함에 따라 결정될 수 있다.

[0156] 또한, 일 실시 예의 시간 할당에 대해 최적화를 수행하여야 한다. 이에 시간 할당을 고려한 최적화 문제는 다음 수학적 25로 나타낸다.

[0157] [수학적 25]

$$\begin{aligned} & \underset{\tau_c}{\text{maximize}} \sum_{k=1}^K \sum_{c=1}^2 a_{k,c} \tau_c \log_2(1 + \gamma_{k,c}^{UL}) \\ & \text{subject to } P_{k,c}^{UL} \leq \hat{Q}_{k,c}; \forall k \\ & \sum_{c=1}^2 \tau_c = 1 \\ & 0 < \tau_c < 1. \end{aligned}$$

[0158]

[0159] 여기서, 수학적 9에 라그랑지안을 사용하여 타임 슬롯 τ_c 와 $\tau_{\hat{c}}$ 의 최적 해를 도출할 수 있다.

[0160] 즉, 수학적 8의 최적화 문제의 라그랑지안은 모든 다른 종속 변수가 고정일 때 타임 슬롯 τ_c 에 대해 오목 (concave) 함수이다. 따라서, 수학적 8의 최적화 문제는 심플 라인 탐색 알고리즘을 이용하여 용이하게 최적 타임 슬롯 τ_c^* 를 얻을 수 있다.

[0161] 그리고 최적 타임 슬롯 τ_c^* 을 탐색하기 위한 알고리즘 2는 다음과 같다.

Algorithm 2 Optimal FD/HD WPCN: Optimal τ_c line Search algorithm

Initialize: τ_c
repeat
 Calculate sum-rate from Algorithm 1 with τ_c
 Update τ_c with chosen line search method updater
until convergence

[0162]

[0163] 라인 서치(line search)는 백본 또는 일반적인 구조이므로 그래디언트 디센트(gradient descent), 골든 라인 검색 방법(golden line search method) 등 다양한 방법으로 구현 가능하며, 이에 한정하지 아니한다.

[0165] 썸레이트 최적화 시뮬레이션 결과

[0167] 도 2는 썸레이트 최적화 시뮬레이션을 수행하기 위한 MS와 AP 간의 분포도를 나타낸 도면으로서, 도 2를 참조하면, MS(100)는 12_m 의 정사각형 영역의 중심선의 왼쪽 모서리에 AP(200)를 두고 무작위로 분배되고, 경로 손실 지수가 $\epsilon_h = 3$ 이고, ζ_h 는 제로 평균 및 단위 분산을 갖는 순환 복소 가우스 분포를 따르는 것으로 가정하

면, AP(200)와의 채널 $\hat{h}_{k,c}$, $\hat{g}_{k,c}$ 는 각각 $\hat{h}_{k,c} = d^{-\epsilon_h/2} \zeta_h$, $\hat{g}_{k,c} = \hat{h}_{k,c}^*$ 이고, 여기서, σ_E^2 는 0, 0.1 및 0.5로 각각 설정된다.

[0168] MS(100)의 EH 효율은 70 %, 즉 $\beta_k = 0.7$ 이고, $\sigma_{\hat{E}}^2 = \hat{\sigma}_{\hat{H}}^2 = 1$ 으로 가정하면, 전송 SNR 은 $\hat{P}_{0,max}^{DL} = P_{0,max}^{DL} / \sigma_{\hat{E}}^2$. 으로 연산되며 시뮬레이션 결과는 $\hat{P}_{0,max}^{DL} = 10$ dB. 이다. 이하에서 전이중 방식의 무선 전력 통신 및 반이중 방식의 무선 전력 통신 간의 비교한다.

[0169] 또한 $\tau_1 = \tau_2 = 0.5$ 가정하고 평균 썸레이트는 100회 반복하여 얻어진 결과값으로, 획득된 고정 τ_c 의 준최적에 따른 전이중 방식의 무선 전력 통신 및 반이중 방식의 무선 전력 통신에서의 SNR 비교한다.

[0170] 도 3은 변동하는 타임 슬롯 τ_1 에 대한 썸레이트를 보인 그래프로서, 도 3을 참조하면, 다른 종속 변수는 전술한 최적화 알고리즘 1에 의거 최적화한다는 가정하에 수학식 15의 라그랑지안의 볼록(convexity of lagrangian)은 concave function(오목 함수)임을 비특히 문헌 3 및 4에 의거 증명할 수 있다.

[0171] 도 4는 본 실시 예에 의거한 전이중 방식과 반이중 방식에서의 시스템 성능을 보인 도면으로서, 도 4를 참조하면, $0 < \sigma_E^2 \leq 1$ 인 경우 평균 썸레이트는 채널 정보(CSI)에 대해 감소하고 낮은 SNR에서 전이중(FD) 방식의 성능이 반이중(HD) 방식을 초과하는 것을 알 수 있다.

[0172] 또한 높은 전송 SNR에서 반이중(HD) 방식은 전이중 방식(FD)과 비교하여 향상된 평균 썸레이트가 생성됨을 확인할 수 있다. 이는 전이중 방식 및 반이중 방식 각각 $0 \leq \sigma_E^2 < 0.5$ $0 \leq \sigma_E^2 \leq 1$ 에 대해 전이중 방식(FD)의 액세스 포인트(AP)의 신호 간섭(SI)이 증가되기 때문이다.

[0173] 전이중 방식(FD)의 무선 전력 통신은 σ_E^2 의 모든 값에 대해 10dB 보다 큰 전송 SNR에 대해 일정한 평균 썸레이트가 획득된다. 그리고, 반이중 방식(HD)의 무선 전력 통신은 $\sigma_E^2 > 1$ for $\hat{P}_{0,max}^{DL} > 20$ dB 및 $\hat{P}_{0,max}^{DL} > 10$ dB 에 대해 유사한 특징을 나타낸다.

[0174] 그리고 액세스 포인트(AP)에서 약 5dB 및 15dB의 전송 SNR에서 전이중 방식(FD) 및 반이중 방식(HD) 각각에 대해 모두 최적과 유사한 평균 썸레이트를 가진다즉, 전이중 방식(FD)의 무선전력통신(WPCN)에서 $\forall \sigma_E^2$ 이고, 반이중 방식(HD) 방식의 무선전력통신에서 $\sigma_E^2 \leq 0.1$ 이다.

[0175] 또한 FD 방식은 자기 간섭(SI)와 σ_E^2 의 존재하므로, 5 dB와 15 dB를 초과하면 $\sigma_E^2 = 0$, 에서 HD 방식의 평균 썸레이트는 일정하게 증가한다. 이는 향상된 SIC 및 CSI가 필요함을 의미하고 FD-WPCN은 최적 및 준최적에 대해 0dB보다 높은 SNR을 갖는 CSI 추정 기술이 필요하고, HD-WPCN은 $\hat{P}_{0,max}^{DL} > 0$ dB. 에서 향상된 CSI 추정 기술에 요구된다.

[0176] 도 5 및 도 6은 $\hat{\sigma}_{\hat{H}}^2$ 와 RSI(Resident Self Interference) 각각에 대한 평균 썸레이트르 보인 도면으로서, 도 5를 참조하면, $\hat{\sigma}_{\hat{H}}^2 = 0.1$ 의 낮은 값에서 FD 방식은 CSI에 대해, HD 방식 보다 3dB 계인을 획득함을 알 수 있다.

[0177] 그러나 $\hat{\sigma}_{\hat{H}}^2 = 1$ and $\sigma_E^2 = 1$ 의 높은 값에서 HD 방식은 FD 방식에 비해 1.2 dB 초과한다. 이에 FD 방식의 평균 썸레이트는 $\hat{\sigma}_{\hat{H}}^2 = 0.1$ 에서 열화되어 증가하는 AP의 RSI가 FD 모드의 성능 손실이 초래된다.

- [0178] 그리고 도 6에 도시된 바와 같이, HD 방식은 $\sigma_E^2 = 0$, 에 대한 최적의 방식에서 FD 방식이 비해 더 우수한 성능을 알 수 있다.
- [0179] 따라서, 향상된 SIC 또는 FD 방식에서 HD 방식 전환이 높은 AP의 송신 SNR 또는 열악한 SIC, 불완전한 CSI의 경우와 비교하여 볼 때 완벽한 CSI의 경우 이득에서 명확한 차이가 존재한다. 이러한 큰 이득 차이는 채널 추정 에러 및 AP에 존재하는 RSI의 복합 효과에 기인한다. 이러한 효과를 줄이기 위해 일 실시 예의 채널 추정 기술은 추정 오류를 대폭 줄여 구현된다.
- [0180] 도 7은 HD와 FD 방식의 MS_s 및 K의 수가 증가함에 따라 썸레이트가 증가됨을 나타낸 그래프로써, 도 7을 참조하면, HD 방식에서 다운링크 DL 및 업링크 UL 통신 모두에 대해 4의 자유도 (Degree of Freedom, DoF)를 지원하는 반면, FD 방식에서 두 채널 모두에서 작동하기 때문에 AP(200)는 FD 방식에서의 업 링크 UL 및 다운 링크 DL 모두 자유도(DoF)가 HD 방식에 비해 두배임을 확인할 수 있고 썸레이트 증가율도 빠르게 증가됨을 알 수 있다.
- [0181] 그리고 많은 수의 사용자가 있는 시스템의 경우 FD 방식에서 얻은 성능 향상이 자기 간섭(SI)에서 발생하는 손실을 초과하기 때문에 MS_s 의 수가 증가되고 전송 SNR이 고정되면, FD 방식은 무선 전력 통신을 위한 최상의 기술이다. 즉, CSI 추정 채널 효과를 고려하면, FD 방식의 추정 오차 효과는 $K < 5$ 에서 한계가있다.
- [0182] FD 방식에서, $K > 5$ 에 대해, 오차 추정의 효과는 달성 가능한 레이트 측면에서 두드러지게 나타나고, σ_E^2 이 클수록 달성 가능한 레이트의 손실이 커진다.
- [0183] 여기서, σ_E^2 의 효과는 HD 방식의 시스템에서 모든 K에 대한 완벽한 CSI의 경우 달성 가능한 레이트의 차이가 큰 것을 알 수 있다. 즉, 사용자 수가 증가한다는 관점에서 FD 방식으로 동작되며, 이에 따라 달성 가능한 레이트의 차이가 증가된다.
- [0184] 일 실시 예의 무선 전력 통신 시스템은 FD 방식의 액세스 포인트(200)와 통신하는 다중 이동 노드(100)에 대한 자원 할당 측면에서 현재의 통신 방식과 FD 방식의 액세스 포인트 및 채널 액세스 기반으로 두 그룹으로 분류한 다음 시간 자원 할당, 채널 할당 및 송수신 빔포밍의 최적화를 업 링크의 썸레이트의 최적화를 통해 구현할 수 있다.
- [0185] 따라서, 썸레이트의 최적화를 통해, 낮은 전송 신호 대 잡음비 SNR에서 FD 방식의 무선 전력 통신 시스템의 평균 썸레이트는 HD 방식의 무선 전력 통신 시스템보다 향상되고, 높은 전송 신호대 잡음비 SNR에서 HD 방식의 무선 통신 시스템의 평균 썸레이트는 FD 방식에 비해 액세스 포인트(200)에서의 잔여 자기 간섭 RSI로 인한 향상될 수 있다.
- [0186] 도 8은 도 1에 도시된 무선 전력 전송 시스템을 이용한 무선 전력 전송 과정을 보인 전체 흐름도로서, 도 8을 참조하면, 다른 실시 예에 따른 무선 전력 전송 방법은, 썸레이트 최적화단계(210), 최적 다운링크 빔포밍 연산 단계(220), 최적화 단계(230), 채널 할당 최적화단계(240), 및 시간 할당 최적화 단계(250)를 포함할 수 있다.
- [0187] 썸레이트 최적화단계(210)는 최적 다운 링크 빔포밍, 최적 수신기 빔포밍, 최적 업 링크 전력 할당, 최적 업 링크 채널 할당, 및 최적 시간 할당을 통합한 썸레이트의 최대화 문제로 최적 썸레이트를 도출할 수 있다.
- [0188] 최적 다운링크 빔포밍 연산단계(220)는 고정된 타임 슬롯에 대해 전력 할당 및 라그랑지안 변수를 초기화한 다음, 최적 다운 링크 빔포밍을 연산하고, 연산된 최적 다운 링크 빔포밍에 대해 도출된 최적 썸레이트가 기 정해진 임계값에 수렴할 때까지 반복 업데이트하여 최적 다운 링크 빔포밍을 도출한다.
- [0189] 여기서, 최적 다운링크 빔포밍은 액세스 포인트 AP의 전송 전력과 기 정해진 행렬의 단위 노름 고유벡터를 토대로 도출될 수 있다.
- [0190] 최적화 단계(230)는 각 수신기 빔포밍, 업 링크의 MMSE 기중치, 및 업 링크 전력 할당 각각에 대해 최적 수신기 빔포밍, 최적 업 링크 MMSE 기중치, 및 최적 업 링크 전력 할당을 각각 도출하고 도출된 최적 수신기 빔포밍, 최적 업 링크 MMSE 기중치, 및 최적 업 링크 전력 할당에 대해 연산된 최적 썸레이트가 기 정해진 임계값에 수렴할 때 까지 최적 수신기 빔포밍, 최적 업 링크 MMSE 기중치, 및 최적 업 링크 전력 할당을 반복 업데이트하여 최적 수신기 빔포밍, 업 링크의 MMSE 기중치, 및 업 링크 전력 할당을 각각 도출한다.

[0191] 여기서, 최적 수신기 빔포밍 $\mathbf{v}_{k,c}^*$ 는 채널 C_c 의 이동 노드 $\mathbf{MS}_k$ 의 업 링크 MMSE 가중치 $\theta_{k,c}^{UL}$ 로 WMMSE(Weighted Minimum Mean Squared Error)를 도출한 다음 도출된 WMMSE Γ_k^U 에 대한 최소화 문제의 해를 도

출하고, 도출된 WMMSE에 대한 최소화 문제
$$\underset{\mathbf{v}_{k,c}, \theta_{k,c}^{UL}, p_{k,c}^{UL}}{\text{minimize}} \Gamma_k^U$$
 의 해로 도출한다.

[0192] 그리고 최적화 단계(230)의 최적 업 링크 전력 할당 $p_{k,c}^{UL*}$ 은 이동 노드 $\mathbf{MS}_k$ 의 업 링크의 MMSE 가중치 $\theta_{k,c}^{UL}$ 의 최소화 문제의 해로 도출된 최적 업 링크 MMSE 가중치 Γ_k^U 와 업링크 전력 할당 $p_{k,c}^{UL}$ 에 대한 최소화 문제
$$\underset{p_{k,c}^{UL}}{\text{minimize}} \Phi$$
 subject to $p_{k,c}^{UL} \leq \hat{Q}_{k,c}$ 의 해로 도출한다.

[0193] 한편, 채널 할당 최적화 단계(240)는 채널 할당에 대한 최대화 문제의 해로 최적 시간 할당을 도출하고 도출된 최적 시간 할당에 대해 통합한 썸레이트의 최대화 문제로 도출된 최적 썸레이트가 기 정해진 임계값에 수렴할 때까지 최적 시간 할당의 업데이트를 반복 수행하여 최적 시간 할당인 최적 타임 슬롯을 도출한다.

[0194] 즉, 채널 할당 $a_{k,c}, a_{k,\hat{c}}$ 에 대해 최적 채널 할당 $a_{k,c}^*$ 를 도출하고 도출된 최적 채널 할당 $a_{k,c}^*$ 에 의거 연산된 최적 썸레이트의 임계값에 수렴할 때까지 최적 채널 할당 $a_{k,c}^*$ 을 반복 업데이트함에 따라, 최적 채널 할당 $a_{k,c}^*$ 을 도출한다.

[0195] 여기서, 최적 채널 할당 $a_{k,c}^*$ 은 이동 노드 $\mathbf{MS}_k$ 의 채널 할당 $a_{k,c}$, 타임 슬롯 $\tau_{\hat{c}}$, 및 업 링크의 신호대 잡음 비 $\gamma_{k,\hat{c}}^{UL}$ 로 도출되고, 도출된 최적 채널 할당의 최대화 문제의 해로 최적 채널 할당 $a_{k,c}^*$ 은 도출한다.

[0196] 시간 할당 최적화 단계(250)은 채널 할당에 대한 최대화 문제의 해에 대한 시간 할당 τ_c 을 초기화한 다음 채널 할당 τ_c 에 대한 최대화 문제의 해로 최적 시간 할당을 도출하고 도출된 최적 시간 할당에 대해 식 8 및 식 9의 썸레이트에 대한 라인 검색 기법으로 최적 시간 할당을 업데이트하고 업데이트된 최적 시간 할당에 대해 도출된 최적 썸레이트가 임계값에 수렴할때 까지 반복 업데이트하여 최적 시간 할당인 최적 타임 슬롯 τ_c^* 을 도출한다.

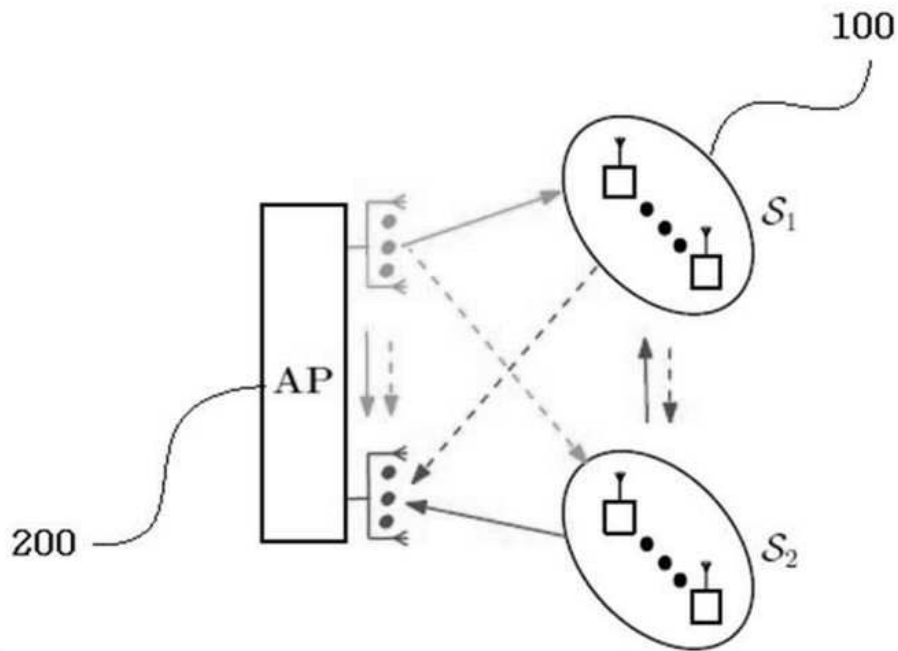
[0197] 일 실시 예의 무선 전력 통신 시스템은 FD 방식의 액세스 포인트(200)와 통신하는 다중 이동 노드(100)에 대한 자원 할당 측면에서 현재의 통신 방식과 FD 방식의 액세스 포인트 및 채널 액세스 기반으로 두 그룹으로 분류한 다음 시간 자원 할당, 채널 할당 및 송수신 빔포밍의 최적화를 업 링크의 썸레이트의 최적화를 통해 구현할 수 있다.

[0198] 따라서, 썸레이트의 최적화를 통해, 낮은 전송 신호 대 잡음비 SNR에서 FD 방식의 무선 전력 통신 시스템의 평균 썸레이트는 HD 방식의 무선 전력 통신 시스템보다 향상되고, 높은 전송 신호대 잡음비 SNR에서 HD 방식의 무선 통신 시스템의 평균 썸레이트는 FD 방식에 비해 액세스 포인트(200)에서의 잔여 자기 간섭 RSI로 인한 향상될 수 있다.

[0199] 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



도면2

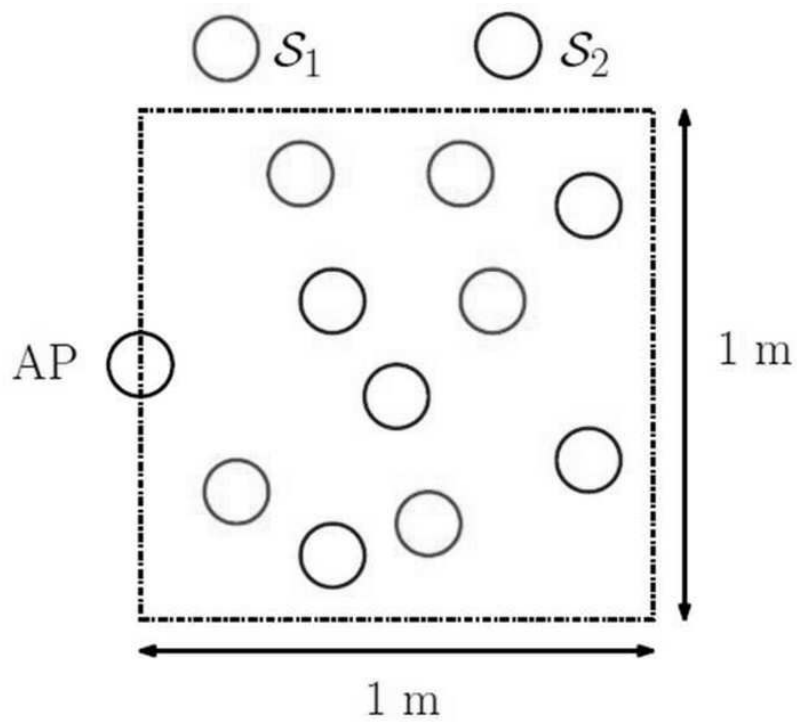


Fig. 2. Schematic representation of node distribution used for simulation.

도면3

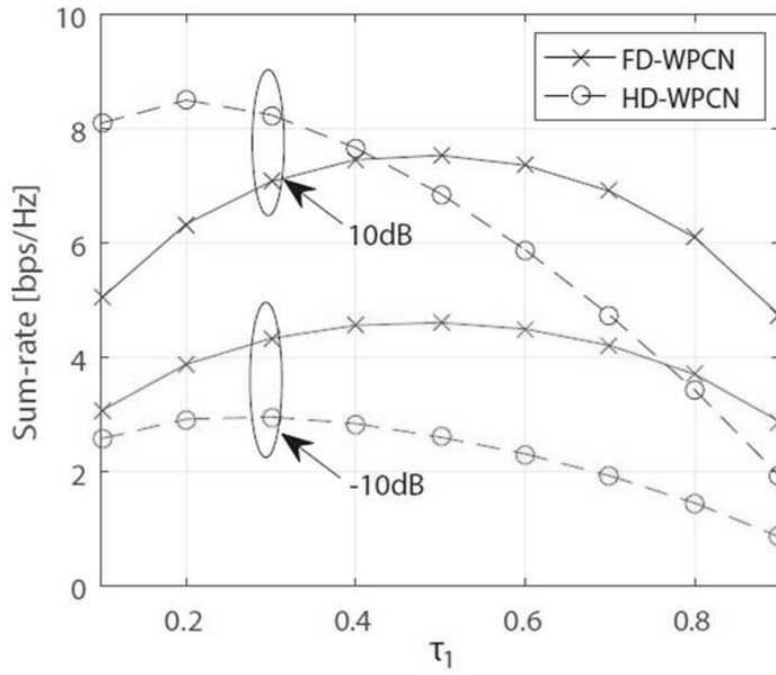


Fig. 3. A plot of Sum-rate against varying τ_1 (i.e. $\sigma_E^2 = 0$, $K = 4$ and $M = 4$).

도면4

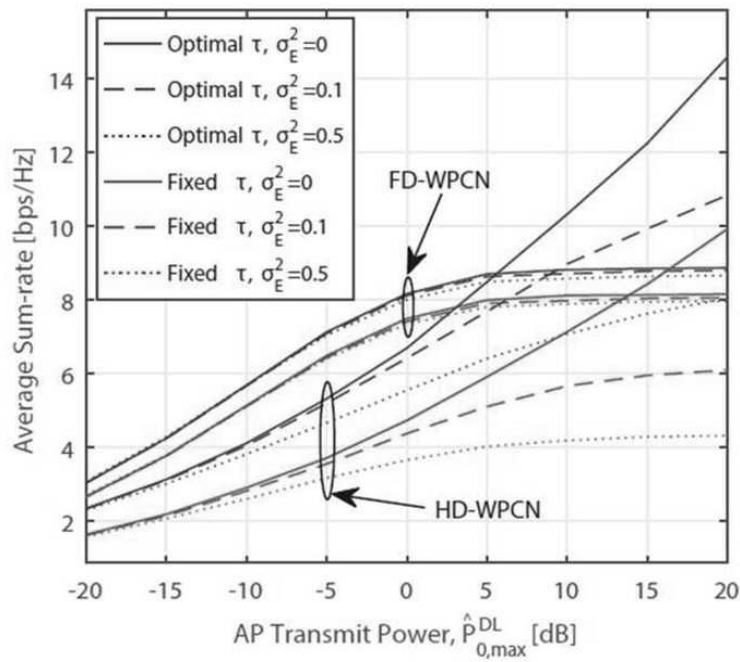


Fig. 4. A plot of sum-rate against AP transmit power, $\hat{P}_{0,max}^{DL}$ (i.e. $K = 4$ and $M = 4$).

도면5

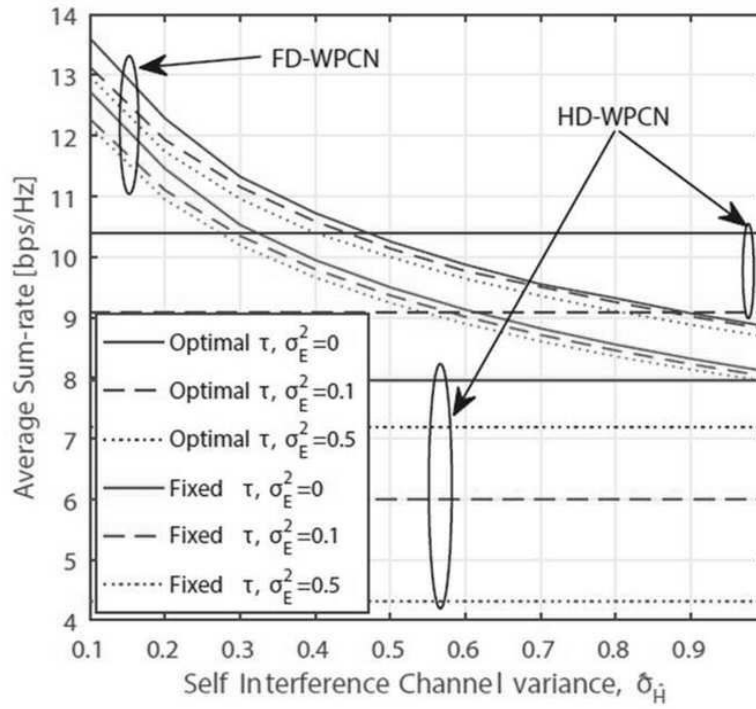


Fig. 5. A plot of sum-rate against loopback channel variance, $\hat{\sigma}_H^2$ (i.e. $K = 4$, fixed $\tau_c = 0.5$ and $M = 4$).

도면6

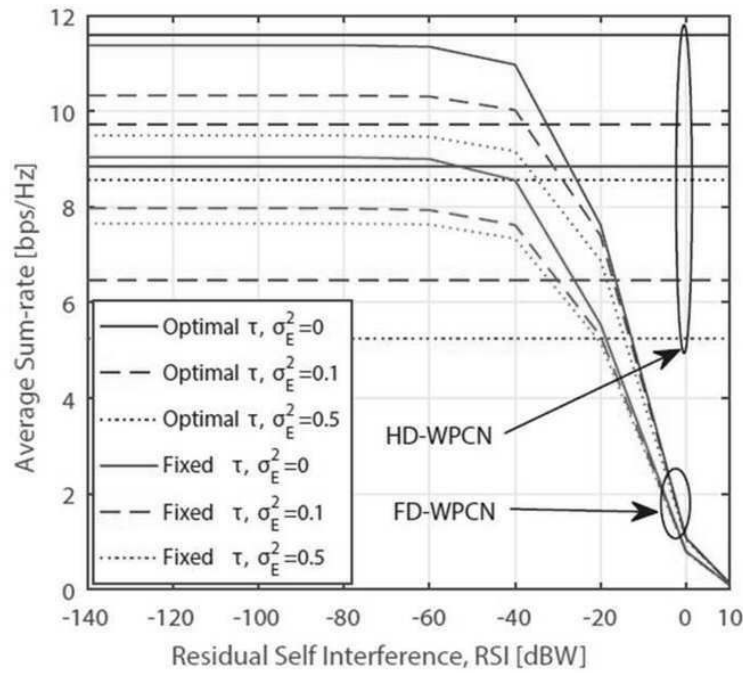


Fig. 6. A plot of sum-rate against BS RSI (i.e. $K = 4$, fixed $\tau_c = 0.5$ and $M = 4$).

도면7

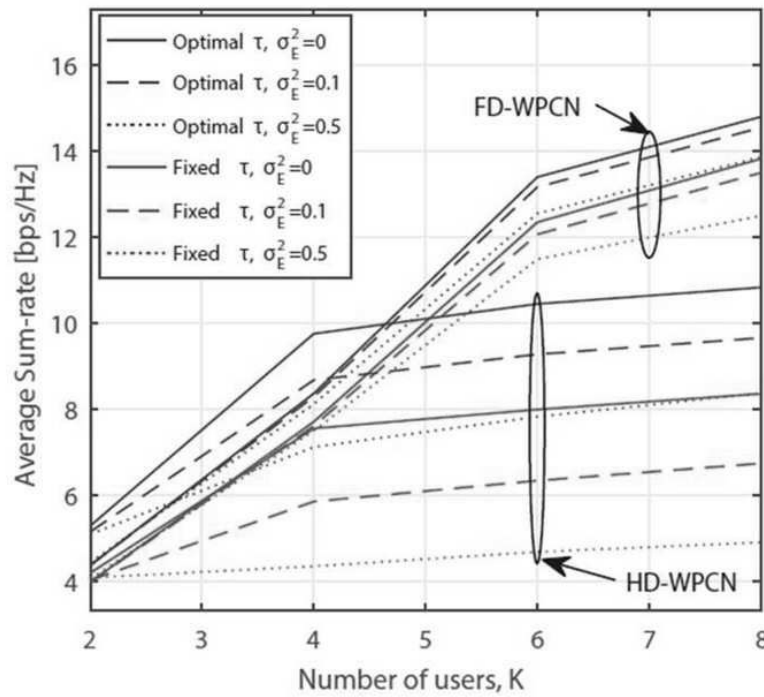


Fig. 7. A plot of sum-rate against increasing number of users (i.e. $M = 4$ and fixed $\tau_c = 0.5$).

도면8

