



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0099889
(43) 공개일자 2025년07월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H04B 7/04 (2017.01) H01Q 15/14 (2006.01)
H02J 50/00 (2021.01) H02J 50/20 (2016.01)
H04B 7/06 (2017.01) H04B 7/08 (2017.01)
H04J 99/00 (2009.01) H04W 52/46 (2009.01)
H04W 72/04 (2009.01)

(52) CPC특허분류

H04B 7/04013 (2023.05)
H01Q 15/148 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2023-0190822

(22) 출원일자 2023년12월26일

심사청구일자 2023년12월26일

(71) 출원인

경희대학교 산학협력단

경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 (서천동, 경희대학교 국제캠퍼스내)

(72) 발명자

김윤희

경기도 성남시 분당구 대왕판교로606번길 10, 103동 1004호

루이지 칸토스

경기도 수원시 영통구 청명로59번길 45-6, 104호 (영통동)

(74) 대리인

김연권

전체 청구항 수 : 총 17 항

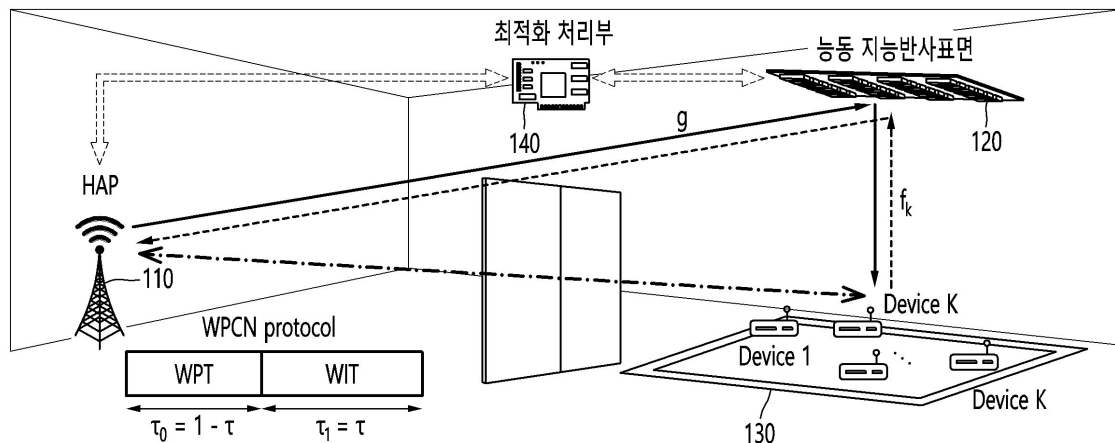
(54) 발명의 명칭 능동 지능반사표면을 활용한 무선충전 비직교 다중접속 시스템 및 이를 이용한 최적화 방법

(57) 요약

본 발명은 배터리 없는 다양한 사물인터넷 기기의 주파수 효율을 향상시키기 위한 목적으로 능동 지능반사표면(active intelligent reflection surface)과 비직교 다중접속 방식(nonorthogonal multiple access :NOMA)을 적용한 무선충전 비직교 다중접속 시스템에 관한 것으로서, 일 실시예에 따른 무선충전 비직교 다중접속 시스템은 (뒷면에 계속)

대표도

100



기지국 또는 접근점(access point)에서 무선전력전송(WPT) 단계에 무선으로 전력을 송신하고, 능동 지능반사표면(Active Intelligent Reflecting Surface)이 상기 신호를 증폭 반사하여 모든 단말기에게 전송하며, 단말기는 상기 신호를 수신하여 에너지를 하베스팅하고, 무선정보전송(WIT) 단계에서 비직교다중접속(nonorthogonal multiple access) 기반으로 모든 사용자 단말기가 동시에 신호를 전송할 때 해당 신호를 지능반사표면(Active Intelligent Reflecting Surface)가 증폭 반사하여 기지국에 전송할 때, 상기 기지국에서 심볼을 차례로 검출하는 과정에 있어서, 상기 무선전력전송(WPT) 단계에서의 능동 지능반사표면 빔포밍, 상기 무선정보전송(WIT) 단계에서의 능동 지능반사표면 빔포밍, 또는 무선전력전송(WPT) 및 무선정보전송(WIT)에 대한 시간 할당(Time Allocation) 중에서 적어도 하나를 제어하도록 하는 최적화 처리부를 포함할 수 있다.

(52) CPC특허분류

H02J 50/001 (2023.08)

H02J 50/20 (2016.02)

H04B 7/06952 (2023.05)

H04B 7/0857 (2013.01)

H04J 99/00 (2022.08)

H04W 52/46 (2025.01)

H04W 72/0446 (2023.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711193314
과제번호	2021-0-02046-003
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	정보통신기획평가원
연구사업명	(혁신법)정보통신방송혁신인재양성_2023
연구과제명	2023 ITRC 6H 차세대 이동통신 기술 개발(2단계 1차년도)(3/8)
기 여 율	1/2
과제수행기관명	경희대학교 산학협력단
연구기간	2021.07.01 ~ 2028.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711184226
과제번호	2021R1A2C1005869
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	(유형1-1)중견연구
연구과제명	[중견연구 유형1-1] 지능반사표면 협력 매시브 IoT 접속(3/4)
기 여 율	1/2
과제수행기관명	경희대학교 산학협력단
연구기간	2021.03.01 ~ 2025.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

기지국 또는 접근점(access point)에서 무선전력전송(WPT) 단계에 무선으로 전력을 송신하고, 능동 지능반사표면(Active Intelligent Reflecting Surface)이 상기 신호를 증폭 반사하여 모든 단말기에게 전송하며, 단말기는 상기 신호를 수신하여 에너지를 하베스팅하고,

무선정보전송(WIT) 단계에서 비직교다중접속(nonorthogonal multiple access) 기반으로 모든 사용자 단말기가 동시에 신호를 전송할 때 해당 신호를 지능반사표면(Active Intelligent Reflecting Surface)가 증폭 반사하여 기지국에 전송할 때,

상기 기지국에서 심볼을 차례로 검출하는 과정에 있어서, 상기 무선전력전송(WPT) 단계에서의 능동 지능반사표면 빔포밍, 상기 무선정보전송(WIT) 단계에서의 능동 지능반사표면 빔포밍, 또는 무선전력전송(WPT) 및 무선정보전송(WIT)에 대한 시간 할당(Time Allocation) 중에서 적어도 하나를 제어하도록 하는 최적화 처리부

를 포함하는 것을 특징으로 하는 무선충전 비직교 다중접속 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 최적화 처리부는,

상기 무선전력전송(WPT) 단계에서의 빔포밍과 무선정보전송(WIT) 단계에서의 빔포밍, 무선전력전송(WPT) 및 무선정보전송(WIT)에 대한 시간 할당(Time Allocation)을 최적화하여,

상기 기지국이 수신하는 신호의 합 전송률을 최대로 제어하는 것을 특징으로 하는 무선충전 비직교 다중접속 시스템.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 최적화 처리부는,

상기 무선전력전송(WPT)에서 선형 에너지하베스팅을 위한 능동 지능반사표면(IRS) 계수 $\Theta_0^{(i+1)}$ 를 획득하고,

상기 무선정보전송(WIT)에서 최적화 알고리즘(알고리즘 1)을 기반으로 입력되는 능동 지능반사표면(IRS) 계수 $\Theta_1^{(i)}$ 에 대한 능동 지능반사표면(IRS) 계수 $\Theta_1^{(i+1)}$ 를 획득하며,

상기 무선전력전송(WPT)과 상기 무선정보전송(WIT) 간의 시간 할당 $\tau^{(i+1)}$ 을 획득하고,

선정된 조건을 만족할 때까지 앞선 획득 과정을 반복하며,

상기 선정된 조건을 만족하는 경우, 무선전력전송(WPT)에서의 능동 지능반사표면(IRS) 계수 $\Theta_0^{(i+1)}$, 무선정보전송(WIT)에서의 능동 지능반사표면(IRS) 계수 $\Theta_1^{(i+1)}$, 시간 할당 $\tau^{(i+1)}$ 을 출력하여 상기 지능반사표면에서의 합 전송률을 최대로 제어하는 것을 특징으로 하는 무선충전 비직교 다중접속 시스템.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 최적화 처리부는,

무선전력전송(WPT)에서 선형 에너지하베스팅을 위한 능동 지능반사표면(IRS) 계수 $\theta_0^{(i+1)}$ 를 획득하기 위해, 아래 [수학식28]을 이용하는 것을 특징으로 하는 무선충전 비직교 다중접속 시스템.

[수학식 28]

$$\max_{\theta_0 \in \mathbb{C}^N, \mathbf{p} \in \mathbb{R}_+^K} \mathbf{p}^T \boldsymbol{\rho}^{(i)}$$

[수학식 28]에서, $\mathbf{p}^T$ 는 $[\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2, \dots, \mathbf{p}_K]^T$ 이고, 시간 종속 함수 $q(\tau)$ 를 제거한 후의 장치들에 대한 정규화된 전송 전력이고, $\boldsymbol{\rho}^{(i)}$ 는 장치들에 대한 신호 품질을 나타냄

청구항 5

제3항에 있어서,

상기 최적화 처리부는,

상기 무선전력전송(WPT)과 무선정보전송(WIT) 간의 시간 할당 $\tau^{(i+1)}$ 을 획득하기 위해, 아래 [수학식47]을 이용하는 것을 특징으로 하는 무선충전 비직교 다중접속 시스템.

[수학식47]

$$\tau^{(i+1)} = \max(\tau_{\min}^{(i)}, \tau_R^*(\Gamma^{(i)}))$$

[수학식47]에서, τ 는 시간 할당을 나타내고, Γ 는 신호 이득을 나타냄

청구항 6

제2항에 있어서,

상기 최적화 처리부는,

무선전력전송(WPT)에서 비선형 에너지하베스팅을 위한 능동 지능반사표면(IRS) 계수 $\theta_0^{(i+1)}$ 를 획득하고,

무선정보전송(WIT)에서 능동 지능반사표면(IRS) 계수 θ_1 의 최적화 알고리즘(알고리즘1)을 기반으로 입력 무선 정보전송(WIT)에서의 능동 지능반사표면(IRS) 계수 $\theta_1^{(i)}$ 에 대한 능동 지능반사표면(IRS) 계수 $\theta_1^{(i+1)}$ 를 획득하며,

시간 할당 $\tau^{(i+1)}$ 을 획득하고,

선정된 조건을 만족할 때까지 앞선 획득 과정을 반복하며,

상기 선정된 조건을 만족하는 경우, 무선전력전송(WPT)에서의 능동 지능반사표면(IRS) 계수 $\theta_0^{(i+1)}$, 무선정보전송(WIT)에서의 $\theta_1^{(i+1)}$, 시간 할당 $\tau^{(i+1)}$ 을 출력하여 상기 지능반사표면에서의 합 전송률을 최대로 제어하는 것을 특징으로 하는 무선충전 비직교 다중접속 시스템.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 최적화 처리부는,

상기 무선전력전송(WPT)에서 비선형 에너지하베스팅을 위한 능동 지능반사표면(IRS) 계수 $\theta_0^{(i+1)}$ 를 획득하기 위

해, 아래 [수학식 33]을 이용하는 것을 특징으로 하는 무선충전 비직교 다중접속 시스템.

[수학식 33]

$$\begin{aligned} \min_{\theta_0 \in \mathbb{C}^N, \lambda \in \mathbb{R}_+^K} \quad & \sum_{k=1}^K \nu_k^{(i)} \eta_{k,c} \lambda_k \\ \text{s.t.} \quad & (32b), (32c), (32e), \\ & \frac{1}{\lambda_k} \leq \hat{P}_{in,k}(\theta_0, \theta_0^{(i)}) + \eta_{k,c}, \quad k \in \mathcal{K} \end{aligned}$$

[수학식 33]에서 $P_{in,k}(\theta_0)$ 은 nonconvex term이고,

η_k 는 에너지 하베스팅의 parameters, λ 는 파장을 나타냄

[수학식 33]에서(32b)는 [수학식 32]의 2열의 수식을 의미하고, (32e)는 [수학식 32]의 5열의 수식을 의미한다. 즉, 32은 수식의 번호이고, 알파벳은 a, b, c, d, e의 순서로 해당하는 숫자인 1, 2, 3, 4, 5의 열을 의미함

청구항 8

제6항에 있어서,

상기 최적화 처리부는,

시간 할당 $\tau^{(i+1)}$ 을 획득하기 위해, [수학식 47]을 이용하는 것을 특징으로 하는 무선충전 비직교 다중접속 시스템.

[수학식 47]

$$\tau^{(i+1)} = \max(\tau_{\min}^{(i)}, \tau_R^*(\Gamma^{(i)}))$$

[수학식47]에서, τ 는 시간 할당을 나타내고, Γ 는 신호 이득을 나타냄

청구항 9

제3항 또는 제6항 중에서 어느 하나의 항에 있어서,

상기 최적화 처리부는,

무선정보전송(WIT)에서의 능동 지능반사표면(IRS) 계수 θ_1 의 최적화 알고리즘(알고리즘1)을 기반으로 입력되는 능동 지능반사표면(IRS) 계수 $\theta_1^{(i)}$ 에 대한 능동 지능반사표면(IRS) 계수 $\theta_1^{(i+1)}$ 를 획득하고,

초기값 l , 무선전력전송(WPT)에서의 능동 지능반사표면(IRS) 계수 θ_0 , 무선정보전송(WIT)에서의 능동 지능반사표면(IRS) 계수 θ_1 을 초기화 하며,

초기값 l 을 1 증가시키고, 아래 [수학식 39]를 이용하여 보조 변수(auxiliary variables) β_1 을 산출하고,

상기 산출된 보조 변수(auxiliary variables) β_1 를 이용하여, 위상 변화를 획득하며,

convex QCQP의 해인 $\mathbf{a}_{1,l}$ 을 획득하기 위해 [수학식 43]을 계산하고,

획득한 $\mathbf{a}_{1,l}$ 를 이용하여 $\theta_{1,l}$ 을 $\mathbf{a}_{1,l} \circ \exp(j\angle \mathbf{b}_l)$ 로 업데이트하며,

보조 변수(auxiliary variables) β_1 을 산출하는 과정에서부터 $\theta_{1,l}$ 을 업데이트 하는 과정을 선정된 조건에 포함될 때까지 반복하여 $\theta_1^{(i+1)}$ 를 출력하는 무선충전 비직교 다중접속 시스템.

[수학식 39]

$$[\beta_l]_k = \frac{(\tilde{\mathbf{h}}_k^{(i)})^T \theta_{1,l-1}}{\theta_{1,l-1}^H \mathbf{G}_1 \theta_{1,l-1} + \sigma_h^2}, \quad k \in \mathcal{K}.$$

[수학식 43]

$$\begin{aligned} \max_{\mathbf{a}_1 \in \mathbb{R}^N} \quad & -\mathbf{a}_1^T \mathbf{G}_1 \mathbf{a}_1 + 2\mathbf{b}_l^T \mathbf{a}_1 - \sigma_h^2 \\ \text{s.t.} \quad & \mathbf{a}_1^T \mathbf{S}_1^{(i)} \mathbf{a}_1 \leq 1, \\ & 0 \leq a_{1n} \leq a_{\max}, \quad n \in \mathcal{N}, \end{aligned}$$

[수학식 39]에서, β 는 addressing auxiliary variables, $\mathbf{h}_k$ 는 $\mathbf{g} \circ \mathbf{f}_k$ 를 통해 산출되고, 능동 지능반사표면에서의 cascaded channel이며, $\mathbf{g}$ 는 WPT에서의 전송 이득이고, $\mathbf{f}_k$ 는 장치 k 가 능동 지능반사표면으로 전송하는 신호임

$\mathbf{G}_1 = \sigma_a^2 \text{diag}(\mathbf{g} \circ \mathbf{g}^*)$ 으로 산출되고, σ_h^2 은 기지국에서의 노이즈 레벨이며, $\mathbf{a}_1$ 은 무선정보전송 시 진폭이고, $\mathbf{a}_0$ 는 무선전력전송 시 진폭임

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 최적화 처리부는,

상기 위상 변화를 획득하기 위해, [수학식 41] 및 [수학식 42]를 이용하는 것을 특징으로 하는 무선충전 비직교 다중접속 시스템.

[수학식 41]

$$\mathbf{b}_l = \frac{1}{\|\beta_l\|_2^2} \sum_{k=1}^K [\beta_l]_k (\tilde{\mathbf{h}}_k^{(i)})^*.$$

[수학식 42]

$$\angle \theta_{1,l} = \angle \mathbf{b}_l,$$

[수학식 41]에서, β 는 addressing auxiliary variables, $\mathbf{h}_k$ 는 $\mathbf{g} \circ \mathbf{f}_k$ 를 통해 산출되고, 능동 지능반사표면에서의 cascaded channel이며, $\mathbf{g}$ 는 WPT에서의 전송 이득이고, $\mathbf{f}_k$ 는 장치 k 가 능동 지능반사표면으로 전송하는 신호임

청구항 11

제9항에 있어서,

상기 선정된 조건에 부합될 때까지 반복하여 $\theta_1^{(i+1)}$ 를 출력하는 과정은,

아래 조건에 부합될 때까지 β_1 을 산출하는 과정에서부터 $\theta_{1,l}$ 을 업데이트 하는 것을 특징으로 하는 무선충전 비직교 다중접속 시스템.

[조건]

$$|F^{(i)}(\theta_{1,l}, \beta_l) - F^{(i)}(\theta_{1,l-1}, \beta_l)| \leq \epsilon_1 \text{ or } l \geq I_{\theta_1}$$

위 [조건] 에서, β 는 addressing auxiliary variables, $\mathbf{h}_k$ 는 $\mathbf{g} \circ \mathbf{f}_k$ 를 통해 산출되고, 능동 지능반사표면에 서의 cascaded channel이며, $\mathbf{g}$ 는 WPT에서의 전송 이득이고, $\mathbf{f}_k$ 는 장치 k 가 능동 지능반사표면으로 전송하는 신호임

I_{θ_1} 는 최대반복횟수, ϵ_1 는 허용오차를 포함함

청구항 12

제2항에 있어서,

상기 최적화 처리부는,

채널 기반으로 능동 지능반사표면의 위상을 최적화 하는 최적화 과정;

상기 최적화 과정의 해를 이용하여 시간 할당을 산출하는 시간 할당 산출 과정; 및

상기 최적화 과정 및 상기 시간 할당 산출 과정의 해를 이용하여, 능동 지능반사표면의 진폭을 산출하는 능동 지능반사표면의 진폭 산출 과정

를 수행하는 무선충전 비직교 다중접속 시스템.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 채널 기반으로 능동 지능반사표면의 위상을 최적화 하는 최적화 과정은,

아래의 [수학식 60] 및 [수학식 61]을 이용하는 것을 특징으로 하는 무선충전 비직교 다중접속 시스템.

[수학식 60]

$$\vartheta_m^s = \exp(-j\angle \mathbf{h}_{ks}), \quad m = \{0, 1\}$$

[수학식 61]

$$k^s = \arg \max_{1 \leq k \leq K} \zeta_k(\exp(-j\angle \mathbf{h}_k)) \|\mathbf{h}_k\|_1^2,$$

ϑ^s 는 IRS의 위상 변화 솔루션이고, $\mathbf{h}_k$ 는 장치의 채널 파워이며, ζ_k 는 에너지 하베스팅(EH) 회로의 출력임

청구항 14

제12항에 있어서,

상기 최적화 과정의 해를 이용하여 시간 할당을 산출하는 시간 할당 산출 과정은,

아래의 [수학식 70], [수학식 71] 및 [수학식 72]를 이용하는 것을 특징으로 하는 무선충전 비직교 다중접속 시스템.

[수학식 70]

$$R_{\text{sum}}^{\dagger}(\tau) = \begin{cases} R_{-}^{\dagger}(\tau), & \text{if } q_T \leq 0 \\ \min \left\{ R_{-}^{\dagger}(\tau), R \left(\tau; \frac{\Gamma_N}{\Gamma_D + q_T} \right) \right\}, & \text{if } q_T > 0 \end{cases}$$

[수학식 71]

$$R_{-}^{\dagger}(\tau) = \tau \log_2 \left(1 + \frac{\Gamma_N q(\tau)}{\Gamma_D + q(\tau)} \right)$$

[수학식 72]

$$\max_{\tau \in [0,1]} R_{\text{sum}}^{\dagger}(\tau)$$

[수학식70] 내지 [수학식72]에서, $\mathcal{T}$ 는 시간 할당을 나타내고, Γ 는 신호 이득을 나타냄

청구항 15

제12항에 있어서,

상기 최적화 과정 및 상기 시간 할당 산출 과정의 해를 이용하여, 능동 지능반사표면의 진폭을 산출하는 능동 지능반사표면의 진폭 산출 과정은,

아래의 [수학식 74a] 및 [수학식 74b]를 이용하여, 상기 능동 지능반사표면의 진폭을 산출하는 것을 특징으로 하는 무선충전 비직교 다중접속 시스템.

[수학식 74a]

$$a_0^{\dagger} = \min \left(\sqrt{\frac{P_a}{P_h \|\mathbf{g}\|_2^2 + N\sigma_a^2}}, a_{\max} \right)$$

[수학식 74b]

$$a_1^{\dagger} = \min \left(\sqrt{\frac{P_a}{q(\tau^{\dagger})(a_0^{\dagger})^2 P_a Q_s + N\sigma_a^2}}, a_{\max} \right)$$

$a_0^{\dagger}$ 는 무선전력전송에서의 진폭이고, $a_1^{\dagger}$ 는 무선정보전송에서의 진폭이며, P_h 는 송신 전력, σ 는 노이즈, $a_{\max}$ 는

최대 진폭, P_a 는 능동 지능반사표면의 전력, $\mathcal{T}^{\dagger}$ 은 시간 할당임

청구항 16

제3항에 있어서,

상기 최적화 처리부는,

채널 기반으로 능동 지능반사표면의 위상을 최적화 하는 최적화 과정;

상기 최적화 과정의 해를 이용하여 시간 할당을 산출하는 시간 할당 산출 과정; 및

상기 최적화 과정 및 상기 시간 할당 산출 과정의 해를 이용하여, 능동 지능반사표면의 진폭을 산출하는 능동 지능반사표면의 진폭 산출 과정

상기 능동 지능반사표면의 진폭 산출 과정에서 산출된 상기 능동 지능반사표면의 진폭을 아래 [수학식 28]의 초기값으로 이용하여, 무선전력전송(WPT)에서 선형 에너지하베스팅을 위한 $\Theta_0^{(i+1)}$ 를 획득하고,

무선정보전송(WIT)에서 IRS 빔포밍 θ_1 의 최적화 알고리즘(알고리즘 1)을 기반으로 입력 $\theta_1^{(i)}$ 에 대한 $\theta_1^{(i+1)}$ 를 획득하며,

아래 [수학식 47]을 이용하여 $\tau^{(i+1)}$ 을 획득하는

선정된 조건을 만족할 때까지 앞선 획득 과정을 반복하여, $\theta_0^{(i+1)}$, $\theta_1^{(i+1)}$, $\tau^{(i+1)}$ 를 출력하는 것을 특징으로 하는 무선충전 비직교 다중접속 시스템.

[수학식 28]

$$\max_{\theta_0 \in \mathbb{C}^N, \mathbf{p} \in \mathbb{R}_+^K} \mathbf{p}^T \boldsymbol{\rho}^{(i)}$$

[수학식 47]

$$\tau^{(i+1)} = \max(\tau_{\min}^{(i)}, \tau_R^*(\Gamma^{(i)}))$$

[수학식 28]에서, $\mathbf{p}^T$ 는 $[\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2, \dots, \mathbf{p}_K]^T$ 이고, 시간 종속 함수 $q(\tau)$ 를 제거한 후의 장치들에 대한

정규화된 전송 전력이고, $\boldsymbol{\rho}^{(i)}$ 는 장치들에 대한 신호 품질을 나타냄

[수학식47]에서, $\mathcal{T}$ 는 시간 할당을 나타내고, Γ 는 신호 이득을 나타냄

청구항 17

제3항에 있어서,

상기 최적화 처리부는,

채널 기반으로 능동 지능반사표면의 위상을 최적화 하는 최적화 과정;

상기 최적화 과정의 해를 이용하여 시간 할당을 산출하는 시간 할당 산출 과정; 및

상기 최적화 과정 및 상기 시간 할당 산출 과정의 해를 이용하여, 능동 지능반사표면의 진폭을 산출하는 능동 지능반사표면의 진폭 산출 과정

상기 능동 지능반사표면의 진폭 산출 과정에서 산출된 상기 능동 지능반사표면의 진폭을 아래 [수학식 33]의 초기값으로 이용하여, 무선전력전송(WPT)에서 선형 에너지하베스팅을 위한 $\theta_0^{(i+1)}$ 를 획득하고,

무선정보전송(WIT)에서 IRS 빔포밍 θ_1 의 최적화 알고리즘(알고리즘 1)을 기반으로 입력 $\theta_1^{(i)}$ 에 대한 $\theta_1^{(i+1)}$ 를 획득하며,

아래 [수학식 47]을 이용하여 $\tau^{(i+1)}$ 을 획득하는

선정된 조건을 만족할 때까지 앞선 획득 과정을 반복하여, $\theta_0^{(i+1)}$, $\theta_1^{(i+1)}$, $\tau^{(i+1)}$ 를 출력하는 것을 특징으로 하는 무선충전 비직교 다중접속 시스템.

[수학식 33]

$$\begin{aligned} \min_{\theta_0 \in \mathbb{C}^N, \boldsymbol{\lambda} \in \mathbb{R}_+^K} & \sum_{k=1}^K \nu_k^{(i)} \eta_{k,c} \lambda_k \\ \text{s.t.} & (32b), (32c), (32e), \\ & \frac{1}{\lambda_k} \leq \hat{P}_{\text{in},k}(\theta_0, \theta_0^{(i)}) + \eta_{k,c}, \quad k \in \mathcal{K} \end{aligned}$$

[수학식 47]

$$\tau^{(i+1)} = \max(\tau_{\min}^{(i)}, \tau_R^*(\Gamma^{(i)}))$$

[수학식 33]에서 $P_{m,k}(\theta_0)$ 은 nonconvex term이고,

η_k 는 에너지 하베스팅의 parameters, λ 는 파장을 나타냄

[수학식 33]에서(32b)는 [수학식 32]의 2열의 수식을 의미하고,(32e)는 [수학식 32]의 5열의 수식을 의미한다. 즉, 32은 수식의 번호이고, 알파벳은 a, b, c, d, e의 순서로 해당하는 숫자인 1, 2, 3, 4, 5의 열을 의미함

[수학식47]에서, $\mathcal{T}$ 는 시간 할당을 나타내고, Γ 는 신호 이득을 나타냄

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 배터리 없는 다양한 사물인터넷 기기의 주파수 효율을 향상시키기 위한 목적으로 능동 지능반사표면(active intelligent reflection surface)과 비직교 다중접속 방식(nonorthogonal multiple access :NOMA)을 적용한 무선충전 비직교 다중접속 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

- [0002] 지능반사표면(Intelligent Reflection Surface)은 주어진 환경 조건에 따라 전파의 반사를 제어할 수 있는 장치를 나타낸다. 이러한 지능반사표면은 전파의 반사를 지능적으로 조절하여 특정 방향으로 전송하거나 차단할 수 있어 다양한 응용 분야에서 사용될 수 있다.
- [0003] 특히, 지능반사표면은 전파의 반사를 조절할 수 있는 기능을 가지고 있다. 이를 통해 전파를 특정 방향으로 집중하거나 특정 지역에서 차단할 수 있다.
- [0004] 지능반사표면은 소프트웨어나 알고리즘을 사용하여 프로그래밍할 수 있다. 이는 특정 상황이나 요구에 맞게 반사 특성을 동적으로 조절할 수 있음을 의미한다.
- [0005] 일부 지능반사표면은 무선 통신에서 사용되는 다양한 주파수 대역에 대한 반사를 지원하고, 이는 무선 통신 시스템의 효율성을 향상시킨다.
- [0006] 지능반사표면은 전파를 특정 방향으로 집중시키거나 차단하여 에너지 효율성을 향상시킬 수 있어, 불필요한 전파 손실을 최소화하여 통신 시스템의 성능을 향상시킬 수 있다.
- [0007] 지능반사표면은 5G 네트워크에서 신호 강도를 최적화하고 다중 경로 간섭을 줄이는 데 사용될 수 있다. 특히 도시 환경이나 복잡한 지형에서 효과적으로 사용될 수 있다.
- [0008] 또한, 지능반사표면은 무선 통신 기지국에서 사용되어 신호 강도를 강화하고 더 넓은 지역에 안정적인 연결을 제공할 수 있고, 레이더 시스템에서 반사 특성을 동적으로 조절하여 특정 지역의 감지 정확성을 향상시킬 수 있다.
- [0009] 지능반사표면은 크게 능동형과 수동형으로 구분될 수 있다.
- [0010] 즉, 능동형과 수동형은 지능반사표면의 작동 방식을 나타내는 두 가지 주요 카테고리에 해당된다.
- [0011] 지능반사표면(Intelligent Reflection Surface)은 소프트웨어나 알고리즘을 사용하여 동적으로 반사 특성을 조절할 수 있고, 이는 특정 상황이나 요구에 맞게 신속하게 반응할 수 있음을 의미한다.
- [0012] 또한, 지능반사표면(Intelligent Reflection Surface)은 주파수, 방향, 각도 등을 실시간으로 조절할 수 있어 변화하는 통신 환경에 대응할 수 있다.
- [0013] 지능반사표면(Intelligent Reflection Surface)은 센서나 인지 기술과 연결되어 주변 환경을 감지하고 이에 따라 반사 특성을 자동으로 조절할 수 있다.
- [0014] 지능반사표면(Intelligent Reflection Surface)은 실시간으로 환경에 반응하며 필요한 만큼의 에너지만 소비하

여 효율성을 극대화할 수 있다.

- [0015] 능동 지능반사표면(Active Intelligent Reflection Surface)은 입사 신호를 진폭 크기가 1보다 큰 값으로 증폭하여 반사할 수 있는 저복잡도의 능동 소자로 구성되면 필요한 만큼의 에너지만 소비하여 효율성을 극대화할 수 있다.
- [0016] 한편, 수동 지능반사표면(Passive Intelligent Reflection Surface)은 입사 신호를 그 진폭 크기를 1보다 작은 값으로 반사만 가능한 수동 소자들로 구성된 특성을 지닌다. 이에 따라 에너지 소비가 적다.
- [0017] 특히, 주변 환경의 변화나 외부 입력에 의해 작동하며, 주로 사전에 정의된 설정에서 동작하고, 주어진 환경에서 정적으로 동작하므로 에너지 소비가 상대적으로 적다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0018] (특허문헌 0001) 한국등록특허 제10-2330915호 "지능형 반사 표면의 소자 할당을 이용한 통합 빔포밍 방법 및 그 시스템"
- (특허문헌 0002) 중국출원특허 CN201911188330 "Reconfigurable intelligent surface-assisted multi-user MIMO uplink transmission method "
- (특허문헌 0003) 중국출원특허 CN202010097176.9A "Channel capacity optimization method of intelligent reflector MISO wireless communication system"

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0019] 본 발명은 능동 지능반사표면의 증폭 전력 제한과 에너지 하베스팅에 대한 비선형성이 있는 능동 지능반사표면을 활용한 무선충전 비직교 다중접속 시스템의 주파수 효율을 최대로 하기 위한 능동 지능반사표면 소자 제어를 포함한 자원 최적화 방법에 있어, 능동 지능반사표면 소자 진폭을 소자 각각에 대해 제어하는 방법과 공통값으로 제어하는 것을 목적으로 한다.
- [0020] 본 발명은 능동 지능반사표면 소자를 활용하여 적은 수의 지능반사표면 소자로 배터리 없는 디바이스로부터 데이터 수집을 효율적으로 제공하는 것을 목적으로 한다.
- [0021] 본 발명은 능동 지능반사표면 소자 진폭을 각 소자에 따라 제어하는 전제 조건 하에 무선전력전송 단계에서의 능동 지능반사표면 빔포밍 최적화를 순차블록근사화 알고리즘으로, 무선정보전송 단계에서의 능동 지능반사표면 빔포밍 기술을 보조변수를 도입한 알고리즘으로, 무선전력전송 단계와 무선정보전송 단계의 시간 할당을 단힌 식으로 얻으며, 세 해를 교대 최적화로(alternating optimization: AO) 차례로 업데이트하는 것을 목적으로 한다.
- [0022] 본 발명은 능동 지능반사표면 빔포밍 위상을 단힌 식으로 제공하고, 능동 지능반사표면 빔포밍 공통 진폭을 시간 할당의 함수로 단힌 식으로 제안하여, 시간 할당만 찾으면 바로 시스템을 최적화하는 반복 없이 한 번에 해를 얻는 one-shot(OS) 최적화 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.
- [0023] 본 발명은 세번째로 첫번째 교대 최적화 알고리즘의 초기값으로 두번째로 제안한 OS 최적화 해를 이용하는 것을 목적으로 한다

과제의 해결 수단

- [0024] 일실시예에 따른 무선충전 비직교 다중접속 시스템은 기지국 또는 접근점(access point)에서 무선전력전송(WPT) 단계에 무선으로 전력을 송신하고, 능동 지능반사표면(Active Intelligent Reflecting Surface)이 상기 신호를 증폭 반사하여 모든 단말기에게 전송하며, 단말기는 상기 신호를 수신하여 에너지를 하베스팅하고, 무선정보전송(WIT) 단계에서 비직교다중접속(nonorthogonal multiple access) 기반으로 모든 사용자 단말기가 동시에 신호를 전송할 때 해당 신호를 지능반사표면(Active Intelligent Reflecting Surface)가 증폭 반사하여 기지국에

전송할 때, 상기 기지국에서 심볼을 차례로 검출하는 과정에 있어서, 상기 무선전력전송(WPT) 단계에서의 능동 지능반사표면 빔포밍, 상기 무선정보전송(WIT) 단계에서의 능동 지능반사표면 빔포밍, 또는 무선전력전송(WPT) 및 무선정보전송(WIT)에 대한 시간 할당(Time Allocation) 중에서 적어도 하나를 제어하도록 하는 최적화 처리부를 포함할 수 있다.

[0025] 일실시예에 따른 상기 최적화 처리부는, 상기 무선전력전송(WPT) 단계에서의 빔포밍과 무선정보전송(WIT) 단계에서의 빔포밍, 무선전력전송(WPT) 및 무선정보전송(WIT)에 대한 시간 할당(Time Allocation)을 최적화하여, 상기 기지국이 수신하는 신호의 합 전송률을 최대로 제어할 수 있다.

[0026] 일실시예에 따른 상기 최적화 처리부는, 상기 무선전력전송(WPT)에서 선형 에너지하베스팅을 위한 능동 지능반사표면(IRS) 계수 $\theta_0^{(i+1)}$ 를 획득하고, 상기 무선정보전송(WIT)에서 최적화 알고리즘(알고리즘 1)을 기반으로 입력되는 능동 지능반사표면(IRS) 계수 $\theta_1^{(i)}$ 에 대한 능동 지능반사표면(IRS) 계수 $\theta_1^{(i+1)}$ 를 획득하며, 상기 무선전력전송(WPT)과 상기 무선정보전송(WIT) 간의 시간 할당 $\tau^{(i+1)}$ 을 획득하고, 선정된 조건을 만족할 때까지 앞선 획득 과정을 반복하며, 상기 선정된 조건을 만족하는 경우, 무선전력전송(WPT)에서의 능동 지능반사표면(IRS) 계수 $\theta_0^{(i+1)}$, 무선정보전송(WIT)에서의 능동 지능반사표면(IRS) 계수 $\theta_1^{(i+1)}$, 시간 할당 $\tau^{(i+1)}$ 을 출력하여 상기 지능반사표면에서의 합 전송률을 최대로 제어할 수 있다.

[0027] 일실시예에 따른 상기 최적화 처리부는, 무선전력전송(WPT)에서 선형 에너지하베스팅을 위한 능동 지능반사표면(IRS) 계수 $\theta_0^{(i+1)}$ 를 획득하기 위해, [수학식28]을 이용할 수 있다.

[0028] 일실시예에 따른 상기 최적화 처리부는, 상기 무선전력전송(WPT)과 무선정보전송(WIT) 간의 시간 할당 $\tau^{(i+1)}$ 을 획득하기 위해, [수학식47]을 이용할 수 있다.

[0029] 일실시예에 따른 상기 최적화 처리부는, 무선전력전송(WPT)에서 비선형 에너지하베스팅을 위한 능동 지능반사표면(IRS) 계수 $\theta_0^{(i+1)}$ 를 획득하고, 무선정보전송(WIT)에서 능동 지능반사표면(IRS) 계수 θ_1 의 최적화 알고리즘(알고리즘1)을 기반으로 입력 무선정보전송(WIT)에서의 능동 지능반사표면(IRS) 계수 $\theta_1^{(i)}$ 에 대한 능동 지능반사표면(IRS) 계수 $\theta_1^{(i+1)}$ 를 획득하며, 시간 할당 $\tau^{(i+1)}$ 을 획득하고, 선정된 조건을 만족할 때까지 앞선 획득 과정을 반복하며, 상기 선정된 조건을 만족하는 경우, 무선전력전송(WPT)에서의 능동 지능반사표면(IRS) 계수 $\theta_0^{(i+1)}$, 무선정보전송(WIT)에서의 능동 지능반사표면(IRS) 계수 $\theta_1^{(i+1)}$, 시간 할당 $\tau^{(i+1)}$ 을 출력하여 상기 지능반사표면에서의 합 전송률을 최대로 제어할 수 있다.

[0030] 일실시예에 따른 상기 최적화 처리부는, 상기 무선전력전송(WPT)에서 비선형 에너지하베스팅을 위한 능동 지능반사표면(IRS) 계수 $\theta_0^{(i+1)}$ 를 획득하기 위해, 아래 [수학식 33]을 이용할 수 있다.

[0031] 일실시예에 따른 상기 최적화 처리부는, 시간 할당 $\tau^{(i+1)}$ 을 획득하기 위해, [수학식 47]을 이용할 수 있다.

[0032] 일실시예에 따른 상기 최적화 처리부는, 무선정보전송(WIT)에서의 능동 지능반사표면(IRS) 계수 θ_1 의 최적화 알고리즘(알고리즘1)을 기반으로 입력되는 능동 지능반사표면(IRS) 계수 $\theta_1^{(i)}$ 에 대한 능동 지능반사표면(IRS) 계수 $\theta_1^{(i+1)}$ 를 획득하고, 초기값 l , 무선전력전송(WPT)에서의 능동 지능반사표면(IRS) 계수 θ_0 , 무선정보전송(WIT)에서의 능동 지능반사표면(IRS) 계수 θ_1 을 초기화 하며, 초기값 l 을 1 증가시키고, [수학식 39]를 이용하여 보조 변수(auxiliary variables) β_1 을 산출하고, 상기 산출된 보조 변수(auxiliary variables) β_1 를 이용하여, 위상 변화를 획득하며, convex QCQP의 해인 $\mathbf{a}_{1,l}$ 을 획득하기 위해 [수학식 43]을 계산하고, 획득한 $\mathbf{a}_{1,l}$ 를 이용하여 $\theta_{1,l}$ 을 $\mathbf{a}_{1,l} \circ \exp(j\angle \mathbf{b}_l)$ 로 업데이트하며, 보조 변수(auxiliary variables) β_1 을 산출하는 과정에서부터 $\theta_{1,l}$ 을 업데이트 하는 과정을 선정된 조건에 부합될 때까지 반복하여 $\theta_1^{(i+1)}$ 를 출력할

수 있다.

[0033] 일실시예에 따른 상기 최적화 처리부는, 상기 위상 변화를 획득하기 위해, [수학식 41] 및 [수학식 42]를 이용할 수 있다.

[0034] 일실시예에 따른 상기 선정된 조건에 부합될 때까지 반복하여 $\theta_1^{(i+1)}$ 를 출력하는 과정은, 특정 조건에 부합될 때까지 β_1 을 산출하는 과정에서부터 $\theta_{1,l}$ 을 업데이트 할 수 있다.

[0035] 일실시예에 따른 상기 최적화 처리부는, 채널 기반으로 능동 지능반사표면의 위상을 최적화 하는 최적화 과정, 상기 최적화 과정의 해를 이용하여 시간 할당을 산출하는 시간 할당 산출 과정, 및 상기 최적화 과정 및 상기 시간 할당 산출 과정의 해를 이용하여, 능동 지능반사표면의 진폭을 산출하는 능동 지능반사표면의 진폭 산출 과정을 수행할 수 있다.

[0036] 일실시예에 따른 상기 채널 기반으로 능동 지능반사표면의 위상을 최적화 하는 최적화 과정은, [수학식 60] 및 [수학식 61]을 이용할 수 있다.

[0037] 일실시예에 따른 상기 최적화 과정의 해를 이용하여 시간 할당을 산출하는 시간 할당 산출 과정은, [수학식 70], [수학식 71] 및 [수학식 72]를 이용할 수 있다.

[0038] 일실시예에 따른 상기 최적화 과정 및 상기 시간 할당 산출 과정의 해를 이용하여, 능동 지능반사표면의 진폭을 산출하는 능동 지능반사표면의 진폭 산출 과정은, [수학식 74a] 및 [수학식 74b]를 이용하여, 상기 능동 지능반사표면의 진폭을 산출한다.

[0039] 일실시예에 따른 상기 최적화 처리부는, 채널 기반으로 능동 지능반사표면의 위상을 최적화 하는 최적화 과정, 상기 최적화 과정의 해를 이용하여 시간 할당을 산출하는 시간 할당 산출 과정, 및 상기 최적화 과정 및 상기 시간 할당 산출 과정의 해를 이용하여, 능동 지능반사표면의 진폭을 산출하는 능동 지능반사표면의 진폭 산출 과정, 상기 능동 지능반사표면의 진폭 산출 과정에서 산출된 상기 능동 지능반사표면의 진폭을 아래 [수학식 28]의 초기값으로 이용하여, 무선전력전송(WPT)에서 선형 에너지하베스팅을 위한 $\theta_0^{(i+1)}$ 를 획득하고, 무선정보 전송(WIT)에서 IRS 빔포밍 θ_1 의 최적화 알고리즘(알고리즘 1)을 기반으로 입력 $\theta_1^{(i)}$ 에 대한 $\theta_1^{(i+1)}$ 를 획득하며, [수학식 47]을 이용하여 $\tau^{(i+1)}$ 을 획득하고, 선정된 조건을 만족할 때까지 앞선 획득 과정을 반복하여, $\theta_0^{(i+1)}$, $\theta_1^{(i+1)}$, $\tau^{(i+1)}$ 를 출력할 수 있다.

[0040] 일실시예에 따른 상기 최적화 처리부는, 채널 기반으로 능동 지능반사표면의 위상을 최적화 하는 최적화 과정, 상기 최적화 과정의 해를 이용하여 시간 할당을 산출하는 시간 할당 산출 과정, 및 상기 최적화 과정 및 상기 시간 할당 산출 과정의 해를 이용하여, 능동 지능반사표면의 진폭을 산출하는 능동 지능반사표면의 진폭 산출 과정, 상기 능동 지능반사표면의 진폭 산출 과정에서 산출된 상기 능동 지능반사표면의 진폭을 아래 [수학식 33]의 초기값으로 이용하여, 무선전력전송(WPT)에서 선형 에너지하베스팅을 위한 $\theta_0^{(i+1)}$ 를 획득하고, 무선정보 전송(WIT)에서 IRS 빔포밍 θ_1 의 최적화 알고리즘(알고리즘 1)을 기반으로 입력 $\theta_1^{(i)}$ 에 대한 $\theta_1^{(i+1)}$ 를 획득하며, [수학식 47]을 이용하여 $\tau^{(i+1)}$ 을 획득하고, 선정된 조건을 만족할 때까지 앞선 획득 과정을 반복하여, $\theta_0^{(i+1)}$, $\theta_1^{(i+1)}$, $\tau^{(i+1)}$ 를 출력할 수 있다.

발명의 효과

[0041] 일실시예에 따르면, 능동 지능반사표면의 증폭 전력 제한과 에너지 하베스팅에 대한 비선형성이 있는 능동 지능반사표면을 활용한 무선충전 비직교 다중접속 시스템의 주파수 효율을 최대로 하기 위한 능동 지능반사표면 소자 제어를 포함한 자원 최적화 방법에 있어, 능동 지능반사표면 소자 진폭을 소자 각각에 대해 제어하는 방법과 공통값으로 제어할 수 있다.

[0042] 일실시예에 따르면, 능동 지능반사표면 소자를 활용하여 적은 수의 지능반사표면 소자로 배터리 없는 디바이스로부터 데이터 수집을 효율적으로 제공할 수 있다.

- [0043] 일실시예에 따르면, 능동 지능반사표면 소자 진폭을 각 소자에 따라 제어하는 전제 조건 하에 무선전력전송 단계에서의 능동 지능반사표면 빔포밍 최적화를 순차블록근사화 알고리즘으로, 무선정보전송 단계에서의 능동 지능반사표면 빔포밍 기술을 보조변수를 도입한 알고리즘으로, 무선전력전송 단계와 무선정보전송 단계의 시간 할당을 닫힌 식으로 얻으며, 세 해를 교대 최적화로(alternating optimization: AO) 차례로 업데이트 할 수 있다.
- [0044] 일실시예에 따르면, 능동 지능반사표면 빔포밍 위상을 닫힌 식으로 제공하고, 능동 지능반사표면 빔포밍 공통 진폭을 시간 할당의 함수로 닫힌 식으로 제안하여, 시간 할당만 찾으면 바로 시스템을 최적화하는 반복 없이 한번에 해를 얻는 one-shot(OS) 최적화 방법을 제공 할 수 있다.
- [0045] 일실시예에 따르면, 세번째로 첫번째 교대 최적화 알고리즘의 초기값으로 두번째로 제안한 OS 최적화 해를 이용할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0046] 도 1은 능동 지능반사표면을 지원하는 무선 전력 제어 네트워크(WPCN) 및 프로토콜을 설명하는 도면이다.
- 도 2a는 $K=4$, $N=32$ 및 $a_{\max}^2=40\text{dB}$ 일 때, 선형 EH에 있어서 제안된 AO 알고리즘에 대한 처리량을 도시하는 도면이다.
- 도 2b는 $K=4$, $N=32$ 및 $a_{\max}^2=40\text{dB}$ 일 때, 비선형 EH에 있어서 제안된 AO 알고리즘에 대한 처리량을 도시하는 도면이다.
- 도 3은 $K=4$ 이고 $a_{\max}^2=40\text{ dB}$ 일 때 지능반사표면의 각 소자(elements)들의 수인 N 가 증가함에 따른 평균 처리량(Average throughput)을 도시하는 도면이다.
- 도 4는 $N=64$ 이고 $a_{\max}^2=20, 40\text{ dB}$ 일 때 사용자 단말기의 수 K 가 증가함에 따른 평균 처리량(Average throughput)을 도시하는 도면이다.
- 도 5는 $K=4$, $N=64$ 및 $a_{\max}^2=20, 40\text{ dB}$ 일 때 능동 지능반사표면의 위치 D_a 가 변할 때 평균 처리량(Average throughput)을 도시하는 도면이다.
- 도 6은 $K=4$, $N=64$, 256 및 $=20, 4\text{ dB}$ 일 때 능동 지능반사표면의 잡음 전력이 증가함에 따른 평균 처리량(Average throughput)을 도시하는 도면이다.
- 도 7a는 $K=4$ 및 $N=64$ 일 때 능동 지능반사표면의 전력 P_a 가 증가함에 따른 평균 처리량(Average throughput)을 도시하는 도면이다.
- 도 7b는 $K=4$ 및 $N=64$ 일 때 능동 지능반사표면의 전력 P_a 가 증가함에 따른 평균 에너지 효율(Average energy efficiency)을 도시하는 도면이다.
- 도 8a는 $K=1$ 이고 LoS 채널에서 $P_a=10\text{ mW}$ 인 경우 N 이 증가함에 따른 처리량(Throughput)을 도시하는 도면이다.
- 도 8b는 $K=1$ 이고 LoS 채널에서 $P_a=10\text{ mW}$ 인 경우 N 이 증가함에 따른 에너지 효율(Energy efficiency)을 도시하는 도면이다.
- 도 9a는 $P_a=10\text{ mW}$ 인 경우 LoS 채널에서 $K=16$ 이고 N 이 증가함에 따른 처리량(Throughput)을 도시하는 도면이다.
- 도 9b는 $P_a=10\text{ mW}$ 인 경우 LoS 채널에서 $N=64$ 및 1024 이고, K 가 증가함에 따른 처리량(Throughput)을 도시하는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0047] 본 명세서에 개시되어 있는 본 발명의 개념에 따른 실시예들에 대해서 특정한 구조적 또는 기능적 설명들은 단지 본 발명의 개념에 따른 실시예들을 설명하기 위한 목적으로 예시된 것으로서, 본 발명의 개념에 따른 실시예들은 다양한 형태로 실시될 수 있으며 본 명세서에 설명된 실시예들에 한정되지 않는다.

- [0048] 본 발명의 개념에 따른 실시예들은 다양한 변경들을 가할 수 있고 여러 가지 형태들을 가질 수 있으므로 실시예들을 도면에 예시하고 본 명세서에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명의 개념에 따른 실시예들을 특정한 개시형태들에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 변경, 균등물, 또는 대체물을 포함한다.
- [0049] 제1 또는 제2 등의 용어를 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만, 예를 들어 본 발명의 개념에 따른 권리 범위로부터 이탈되지 않은 채, 제1 구성요소는 제2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성요소는 제1 구성요소로도 명명될 수 있다.
- [0050] 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "연결되어" 있다거나 "접속되어" 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결되어 있거나 또는 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 반면에, 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "직접 연결되어" 있다거나 "직접 접속되어" 있다고 언급된 때에는, 중간에 다른 구성요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다. 구성요소들 간의 관계를 설명하는 표현들, 예를 들어 "~사이에"와 "바로~사이에" 또는 "~에 직접 이웃하는" 등도 마찬가지로 해석되어야 한다.
- [0051] 본 명세서에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예들을 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 실시된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함으로 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0052] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가진다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥상 가지는 의미와 일치하는 의미를 갖는 것으로 해석되어야 하며, 본 명세서에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.
- [0054] 이하, 실시예들을 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다. 그러나, 특허출원의 범위가 이러한 실시예들에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다. 각 도면에 제시된 동일한 참조 부호는 동일한 부재를 나타낸다.
- [0055] 도 1은 능동 지능반사표면을 지원하는 무선충전통신 네트워크(WPCN) 및 프로토콜을 설명하는 도면이다.
- [0056] 본 발명은 배터리 없는 다양한 사물인터넷 기기의 주파수 효율을 향상시키기 위한 목적으로 능동 지능반사표면(active intelligent reflection surface)과 비직교 다중접속 방식(nonorthogonal multiple access :NOMA)을 적용한 무선충전 비직교 다중접속 시스템을 제안한다.
- [0057] 일실시예에 따른 무선충전 비직교 다중접속 시스템(100)은 다중안테나 기지국과(Base station: BS)으로 해석될 수 있는 HAP(hybrid access point, 100), 소자 수가 N 개인 능동 지능반사표면(Intelligent reflecting surface, 120), 그리고 K 개의 사용자 단말기(130)($U_1, U_2, \dots, U_K$), 그리고 시스템을 최적화 하는 최적화 처리부(140)를 포함한다.
- [0058] 특히, 최적화 처리부(140)는 기지국 또는 접근점(access point)에서 무선전력전송(WPT) 단계에 무선으로 전력을 송신하고, 능동 지능반사표면(Active Intelligent Reflecting Surface)이 신호를 증폭 반사하여 모든 단말기에 게 전송하며, 단말기가 상기 신호를 수신하여 에너지를 하베스팅하고, 무선정보전송(WIT) 단계에서 비직교다중접속(nonorthogonal multiple access) 기반으로 모든 사용자 단말기가 동시에 신호를 전송할 때 해당 신호를 지능반사표면(Active Intelligent Reflecting Surface)가 증폭 반사하여 기지국에 전송할 때, 상기 기지국에서 심볼을 차례로 검출하는 과정에 있어서, 무선전력전송(WPT) 단계에서의 능동 지능반사표면 빔포밍, 무선정보전송(WIT) 단계에서의 능동 지능반사표면 빔포밍, 또는 무선전력전송(WPT) 및 무선정보전송(WIT)에 대한 시간 할당(Time Allocation) 중에서 적어도 하나를 제어한다.
- [0059] 최적화 처리부(140)는 능동 지능반사표면(120)을 활용하는 이동통신 서비스 사업자 또는 지능반사표면 시스템을 제공하는 새로운 사업자, 또는 특정 지역에 사물인터넷 서비스를 제공하는 사업자들이 성능을 향상시킬 수

있다.

- [0060] 이를 위해, 최적화 처리부(140)는 다중사용자 무선충전 비직교 다중접속 시스템(100)에서 선형 에너지 하베스터와 비선형 에너지 하베스터를 구분하여 합 전송률을 최대로 할 수 있다.
- [0061] 구체적으로, 최적화 처리부(140)는 기지국(110)의 수신 빔포밍, 지능반사표면 반사계수, 사용자 단말기의 송신 전력을 제어하는 과정에서, 상기 지능반사표면에서의 합 전송률을 최대로 제어할 수 있다.
- [0062] 최적화 처리부(140)가 구현하는 첫번째로 제안하는 방법은 산출되는 세 해를 교대 최적화로(alternating optimization: AO) 차례로 업데이트하는 효율적인 계산을 제공한다.
- [0063] 구체적으로, 최적화 처리부(140)는 능동 지능반사표면 소자 진폭을 각 소자에 따라 제어하는 전제 조건 하에 무선전력전송 단계에서의 능동 지능반사표면 빔포밍 최적화를 순차블록근사화 알고리즘으로, 무선정보전송 단계에서의 능동 지능반사표면 빔포밍 기술을 보조변수를 도입한 알고리즘으로, 무선전력전송 단계와 무선정보전송 단계의 시간 할당을 단한 식으로 얻으며, 세 해를 교대 최적화로(alternating optimization: AO) 차례로 업데이트 할 수 있다.
- [0064] 특히, 무선전력전송(WPT)에 대한 빔포밍, 무선정보전송(WIT)에 대한 빔포밍, 무선전력전송(WPT) 및 무선정보전송(WIT)에 대한 시간 할당(Time Allocation)을 최적화할 수 있다.
- [0065] 또한, 최적화 처리부(140)는 무선전력전송(WPT)에서 선형 에너지하베스팅을 위한 능동 지능반사표면(IRS) 계수를 획득하고, 무선정보전송(WIT)에서 최적화 알고리즘(알고리즘 1)을 기반으로 입력되는 능동 지능반사표면(IRS) 계수에 대한 능동 지능반사표면(IRS) 계수를 획득할 수 있다.
- [0066] 또한, 무선전력전송(WPT)과 무선정보전송(WIT) 간의 시간 할당 $\tau^{(i+1)}$ 을 획득하고, 선정된 조건을 만족할 때까지 앞선 획득 과정을 반복할 수 있다.
- [0067] 또한, 선정된 조건을 만족하는 경우, 세 해로서, 무선전력전송(WPT)에서의 능동 지능반사표면(IRS) 계수, 무선정보전송(WIT)에서의 능동 지능반사표면(IRS) 계수, 시간 할당 $\tau^{(i+1)}$ 을 출력하여 능동 지능반사표면(120)에서의 합 전송률을 최대로 제어할 수 있다.
- [0068] 한편, 최적화 처리부(140)는 무선충전 비직교 다중접속 시스템(100)에서 합 전송률을 최대로 하는 세 단계의 one-shot(OS) 알고리즘을 구현할 수 있다.
- [0069] 최적화 처리부(140)는 능동 지능반사표면(120)의 소자 진폭을 공통으로 제어할 수 있는데, 능동 지능반사표면(120)의 빔포밍 위상을 단한 식으로 제공하고, 능동 지능반사표면(120)의 빔포밍 공통 진폭을 시간 할당의 함수로 단한 식으로 제안하며, 시간 할당만 찾으면 바로 시스템을 최적화하는 반복 없이 한 번에 해를 얻는 one-shot(OS) 최적화 방법을 제공한다.
- [0070] 즉, 최적화 처리부(140)는 채널 기반으로 능동 지능반사표면(120)의 위상을 최적화 하는 최적화 과정, 최적화 과정의 해를 이용하여 시간 할당을 산출하는 시간 할당 산출 과정, 그리고, 상기 최적화 과정 및 상기 시간 할당 산출 과정의 해를 이용하여, 능동 지능반사표면의 진폭을 산출하는 능동 지능반사표면의 진폭 산출 과정을 수행함으로써, one-shot(OS) 최적화를 구현할 수 있다.
- [0071] 한편, 세번째 실시예로, 최적화 처리부(140)는 첫번째 교대 최적화(AO) 알고리즘의 초기값으로 두번째로 제안한 OS 최적화 해를 이용할 수 있다.
- [0072] 즉, 최적화 처리부(140)는 채널 기반으로 능동 지능반사표면의 위상을 최적화 하고, 최적화 과정의 해를 이용하여 시간 할당을 산출하며, 최적화 과정과 시간 할당 산출 과정의 해를 이용하여, 능동 지능반사표면의 진폭을 산출하는 능동 지능반사표면의 진폭을 산출할 수 있다.
- [0073] 능동 지능반사표면의 진폭 산출 과정에서 산출된 상기 능동 지능반사표면의 진폭을 초기값으로 이용하여, 무선전력전송(WPT)에서 선형 에너지하베스팅을 위한 계수를 획득하고, 무선정보전송(WIT)에서 능동 지능반사표면 계수의 최적화 알고리즘(알고리즘 1)을 기반으로 입력되는 능동 지능반사표면 계수 $\theta_1^{(i)}$ 에 대한 능동 지능반사표면 계수 $\theta_1^{(i+1)}$ 를 획득하고, 결국, 이러한 계수들을 기반으로 시간 할당 $\tau^{(i+1)}$ 을 획득할 수 있다.

[0074] 또한, 최적화 처리부(140)는 선정된 조건을 만족할 때까지 앞선 획득 과정을 반복하여, $\Theta_0^{(i+1)}$, $\Theta_1^{(i+1)}$, $\tau^{(i+1)}$ 를 출력함으로써 두번째로 제안한 OS 최적화 해를 이용할 수 있다.

[0075] 이를 위해, 다중사용자 무선충전 비직교 다중접속 시스템(100)에서는 HAP(hybrid access point)인 기지국(100)이 무선 전력을 K개의 사용자 단말기(130)로 전송하고 사용자 단말기(130)에서 데이터를 수집하며 능동 지능반사표면(120)의 지원을 받는다.

[0076] 이를 위해 WPCN 시간 프레임은 WPT(무선 전력 전송) 및 WIT(무선 정보 전송) 단계로 나뉜다.

[0077] 여기서 $\tau_0 = T - \tau$ 및 $\tau_1 = \tau$ 이며, $0 \leq \tau \leq T$ 이고, 편의상 $T = 1$ 로 설정한다.

[0078] 기지국(110) 및 각 사용자 단말기(130)는 단일 안테나를 갖고 있으며, 능동 지능반사표면(120)은 입력 신호를 동시에 증폭하고 반사하는 N개의 능동 소자들을 포함한다.

지능반사표면의 빔포밍 벡터는 WPT(무선 전력 전송)에 대해 $\theta_0 = \mathbf{a}_0 \circ \mathbf{g}_0 \in$

[0079] CN이고, WIT(무선 정보 전송)에 대해 $\theta_1 = \mathbf{a}_1 \circ \mathbf{g}_1 \in \text{CN}$ 로 표시한다.

여기서 $\mathbf{a}_m = [a_{m1}, a_{m2}, \dots, a_{mN}]^T$ 및 $\mathbf{g}_m = [g_{m1}, g_{m2}, \dots, g_{mN}]^T$ 는 각각 m

[0080] $\in \{0, 1\}$ 에 대한 진폭(amplitudes)과 위상 시프트(phase shifts)를 나타낸다.

[0081] m의 위상 시프트는 각각 단위 모듈러스 제약 조건 하에 개별적으로 제어되며, 즉, $m \in \{0, 1\}$ 인 조건에서 $|m_n| = 1$ 이며, $n \in \mathbb{N} \triangleq \{1, 2, \dots, N\}$ 이다.

[0082] 개별 진폭 제어는 모든 m 및 n에 대해 $0 \leq a_{mn} \leq a_{\max}$ 의 개별적인 진폭 제한을 적용하면서 각각의 a_m 항목을 조절하고, 공유 진폭 제어는 각각의 a_m 항목을 동시에 조절하면서 $\theta_m = a_m \vartheta_m$ 에서 공유 진폭 a_m 을 조절한다.

[0083] 본 발명에서는, HAP(150)와 사용자 단말기(130) 간의 직접 채널이 심한 방해물(150)로 인해 사용 불가능하다고 가정한다.

[0084] 도 1에 설명된 것처럼 기지국(110)과 지능반사표면(120) 간의 채널은 $\mathbf{g} \in \text{CN}$ 으로 나타내며, 지능반사표면(120)과 k개의 사용자 단말기(130) 간의 채널은 $\mathbf{f}_k \in \text{CN}$ 로 나타낼 수 있다.

[0085] 도 1에서는 채널 상호성이 유지될 수 있다.

[0086] 지능반사표면(120) 채널은 [수학식 1]에서 보는 바와 같이, LoS(가시 통로)에서 Rayleigh fading에 이르기까지의 일반화된 Rician fading으로 모델링된다.

[0088] [수학식 1]

$$\mathbf{g} = \sqrt{\frac{\kappa_g \omega_g}{\kappa_g + 1}} \mathbf{g}_{\text{LoS}} + \sqrt{\frac{\omega_g}{\kappa_g + 1}} \mathbf{g}_{\text{NLoS}}$$

[0089]

[0090] [수학식 2]

$$\mathbf{f}_k = \sqrt{\frac{\kappa_{f_k} \omega_{f_k}}{\kappa_{f_k} + 1}} \mathbf{f}_{k,\text{LoS}} + \sqrt{\frac{\omega_{f_k}}{\kappa_{f_k} + 1}} \mathbf{f}_{k,\text{NLoS}}, \quad k \in \mathcal{K}$$

[0091]

[0093] [수학식 1], [수학식 2]에서 κ_g , ω_g , $\mathbf{g}_{\text{LoS}}$ 및 $\mathbf{g}_{\text{NLoS}}$ (κ_{f_k} , ω_{f_k} , $\mathbf{f}_{k,\text{LoS}}$ 및 $\mathbf{f}_{k,\text{NLoS}}$)는 각각 $\mathbf{g}(\mathbf{f}_k)$ 의 Rician

팩터, 경로 손실, 가시 통로(LoS) 성분 및 비-LoS(NLoS) 성분을 나타낸다.

$N_x \times N_y$ 평면 어레이에 대한 기하학적 모델에 따르면, $\mathbf{g}_{\text{LoS}} = \mathbf{u}(\cos \varphi_g \sin \psi_g,$

$N_x) \otimes \mathbf{u}(\sin \varphi_g \sin \psi_g, N_y)$ 및 $\mathbf{f}_{k,\text{LoS}} = \mathbf{u}^*(\cos \varphi_{fk} \sin \psi_{fk}, N_x) \otimes \mathbf{u}^*(\sin \varphi_{fk} \sin \psi_{fk},$

$N_y)$ 이다.

여기서 $\mathbf{u}(\alpha, M) = [1, e^{j\pi\alpha}, \dots, e^{j(M-1)\pi\alpha}]^T$ 는 반파 길이의 원소 간격을 가진

균일한 선형 어레이의 스티어링 벡터이며, φ_g 및 ψ_g (φ_{fk} 및 ψ_{fk})는 HAP-IRS(IRS-장치 k)

링크에 대한 능동 지능반사표면(120)에서의 방위각 및 고도각을 나타낸다.

비-LoS(NLoS) 성분은 Rayleigh fading으로 모델링되며, $\mathbf{g}_{\text{NLoS}} \sim \text{CN}(0, \mathbf{I}_N)$ 및 $\mathbf{f}_{k,\text{NLoS}} \sim \text{CN}(0, \mathbf{I}_N)$ 이며, 여기서 $k \in K$ 이다.

무선 전력 전송(WPT) 단계에서 기지국(110)는 전송 전력 P_h 를 이용하여, 신호 x_0 를 전송한다. 능동 지능반사 표면(140)에 입사하는 신호는 $\sqrt{P_h}\mathbf{g}x_0$ 로 표현되며, 이는 능동 지능반사표면(140)에 의해 증폭되고 반사되는 신호 $\mathbf{r}_0$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

[수학식 3]

$$\mathbf{r}_0 = \text{diag}(\boldsymbol{\theta}_0)(\sqrt{P_h}\mathbf{g}x_0 + \mathbf{w}_{a,0})$$

$\mathbf{w}_{a,0} \sim \mathcal{CN}(\mathbf{0}, \sigma_a^2 \mathbf{I}_N)$ 는 능동 지능반사표면(120)에서의 노이즈에 해당한다.

증폭된 신호는 증폭 전력 버짓인 P_a 에 따라 능동 지능반사표면(120)에서 제한될 수 있다.

이 신호는 장치 k에 $\mathbf{f}_k^T \mathbf{r}_0$ 의 형태로 도착할 수 있다.

이에 장치에 수신되는 신호는 다음의 [수학식 4]로 표현될 수 있다.

[수학식 4]

$$y_{0,k} = \sqrt{P_h}\mathbf{h}_k^T \boldsymbol{\theta}_0 x_0 + (\mathbf{f}_k \circ \boldsymbol{\theta}_0)^T \mathbf{w}_{a,0} + w_{0,k},$$

장치 k(130)의 에너지 하베스팅(EH) 회로의 입력 전력(P_{in})은 다음과 같이 표현된다.

[수학식 5]

$$P_{\text{in},k}(\boldsymbol{\theta}_0) = (P_h |\mathbf{h}_k^T \boldsymbol{\theta}_0|^2 + \sigma_a^2 \|\mathbf{f}_k \circ \boldsymbol{\theta}_0\|_2^2) = \boldsymbol{\theta}_0^H \mathbf{Z}_k \boldsymbol{\theta}_0,$$

여기서, $\mathbf{Z}_k = P_h \mathbf{h}_k \mathbf{h}_k^T + \sigma_a^2 \text{diag}(\mathbf{f}_k \circ \mathbf{f}_k^*)$ 이고, 에너지 하베스팅(EH) 회로의 출력은 $\zeta_k(\boldsymbol{\theta}_0) = \eta_k P_{\text{in},k}(\boldsymbol{\theta}_0)$ 주어질 수 있다.

[0115] 에너지 하베스팅 효율이 η_k 인 선형 모델에서는 [수학식 7]과 같이 표현될 수 있다.

[0117] [수학식 7]

[0118]
$$(\theta_0) = \frac{\eta_{k,a}P_{in,k}(\theta_0) + \eta_{k,b}}{P_{in,k}(\theta_0) + \eta_{k,c}} - \frac{\eta_{k,b}}{\eta_{k,c}}$$

[0120] 이는 비선형 모델에 대한 것으로, 여기서 $\eta_{k,a}$, $\eta_{k,b}$ 및 $\eta_{k,c}$ 는 높은 입력 전력에서 포화를 나타내는 비선형 에너지 하베스팅(EH) 함수를 특징 짓는 매개변수에 해당한다.

마지막으로, 지속 시간이 $\tau_0 = (1 - \tau)$ 인 WPT 단계에서 수확된 에너지는

[0121] 다음과 같다.↵

[0123] [수학식 8]

[0124]
$$E_k = (1 - \tau)\zeta_k(\theta_0)$$

[0126] WIT(무선 정보 전송) 단계에서 모든 사용자 단말기(130)는 수확된 에너지를 사용하여 동시에 신호를 전송한다. 따라서 장치 k(130)가 기호 x_k 를 전달하는 데 사용하는 전송 전력은 [수학식 9]와 같다.

[0128] [수학식 9]

[0129]
$$p_k = E_k / \tau_1 = q(\tau)\zeta_k(\theta_0)$$

[0131] 여기서, $q(\tau) = \frac{1-\tau}{\tau}$ 이다.

[0132] 사용자 단말기(130)가 전송한 신호는 능동 지능반사표면(120)에 도착하여, 중첩된 NOMA 신호 $(\sum_{k=1}^K \sqrt{p_k}\mathbf{f}_k x_k)$ 를 형성한다.

[0133] 이 중첩된 NOMA 신호는 능동 지능반사표면(120)서 증폭되어, [수학식 10]과 같이 표현될 수 있다.

[0135] [수학식 10]

[0136]
$$\mathbf{r}_1 = \text{diag}(\theta_1) \left(\sum_{k=1}^K \sqrt{p_k}\mathbf{f}_k x_k + \mathbf{w}_{a,1} \right)$$

[0138] [수학식 10]은 능동 지능반사표면(120)의 총 전력 버짓으로서, $\|\mathbf{r}_1\|_2^2 \leq P_a$ 에 따라 제약될 수 있다. 여기서, $\mathbf{w}_{a,1} \sim \mathcal{CN}(\mathbf{0}, \sigma_a^2 \mathbf{I}_N)$ 는 WIT(무선 정보 전송) 단계에서 능동 지능반사표면(120)에 발생된

노이즈에 해당한다.

[0139] 증폭된 신호는 이후에 $\mathbf{g}^T \mathbf{r}_1$ 으로 기지국(110)에 입사하게 되며, 이는 기지국(110)에서 수신된 신호인 [수학식 11]로 표현될 수 있다.

[0141] [수학식 11]

$$y_{1,h} = \sum_{k=1}^K \sqrt{p_k} \mathbf{h}_k^T \boldsymbol{\theta}_1 x_k + (\mathbf{g} \circ \boldsymbol{\theta}_1)^T \mathbf{w}_{a,1} + w_{1,h}$$

[0144] 여기서, $w_{1,h} \sim \mathcal{CN}(0, \sigma_h^2)$ 는 기지국(110)의 백그라운드 노이즈에 해당한다.

[0145] HAP는(11)에서 디바이스의 심볼을 감지하기 위해 연속 간섭 취소(SIC)를 적용한다. 우리는 IRS 위상을 채널 위상에 일치시켜 IRS 진폭을 동일하게 유지하면서 각 디바이스의 채널 파워 $\|\mathbf{h}_k\|_1^2$ 에 따라 SIC를 수행한다. 일관성을 잃지 않기 위해 $\|\mathbf{h}_1\|_1^2 \geq \|\mathbf{h}_2\|_1^2 \geq \dots \geq \|\mathbf{h}_K\|_1^2$ 로 가정하고 k의 증가 순서로 SIC를 수행한다. 디바이스 k의 신호 대 간섭 및 잡음 전력 비율(SINR)은 다음과 같다.

[0146] [수학식 12]

$$\text{SINR}_k = \frac{p_k |\mathbf{h}_k^T \boldsymbol{\theta}_1|^2}{\sum_{l>k} p_l |\mathbf{h}_l^T \boldsymbol{\theta}_1|^2 - \sigma_a^2 \|\mathbf{g} \circ \boldsymbol{\theta}_1\|_2^2 - \sigma_h^2}$$

[0149] 이로써 총 처리량은 다음과 같이 획득될 수 있다.

[0151] [수학식 13]

$$R_{\text{sum}} = \tau \sum_{k=1}^K \log_2(1 + \text{SINR}_k) = \tau \log_2 \left(1 + \sum_{k=1}^K \gamma_k \right)$$

[0154] 여기서, 사용자 단말기(130)에 대한 SNR의 γ_k 는 [수학식 14]와 같이 산출될 수 있다.

[0156] [수학식 14]

$$\gamma_k = \frac{p_k |\mathbf{h}_k^T \boldsymbol{\theta}_1|^2}{\sigma_a^2 \|\mathbf{g} \circ \boldsymbol{\theta}_1\|_2^2 + \sigma_h^2} = q(\tau) \zeta_k(\boldsymbol{\theta}_0) \rho_k(\boldsymbol{\theta}_1)$$

[0159] 또한, [수학식 9]인 $p_k = E_k / \tau_1 = q(\tau) \zeta_k(\boldsymbol{\theta}_0)$ 를 기반으로 [수학식 15]와 같이 간

소화될 수 있다.

[수학식 15]

$$\rho_k(\boldsymbol{\theta}_1) = \frac{|\mathbf{h}_k^T \boldsymbol{\theta}_1|^2}{\sigma_a^2 \|\mathbf{g} \circ \boldsymbol{\theta}_1\|_2^2 + \sigma_h^2}$$

결국, 본 발명에서의 처리량의 총 합은 [수학식 16]으로 간소화될 수 있다.

[수학식 16]

$$R_{\text{sum}}(\boldsymbol{\theta}_0, \boldsymbol{\theta}_1, \tau) = R(\tau; \Gamma(\boldsymbol{\theta}_0, \boldsymbol{\theta}_1)),$$

여기서, $R(\tau; \Gamma)$ 는 [수학식 17]와 같고, $\Gamma(\boldsymbol{\theta}_0, \boldsymbol{\theta}_1)$ 는 [수학식 18]와 같다.

[수학식 17]

$$R(\tau; \Gamma) \triangleq \tau \log_2(1 + q(\tau)\Gamma)$$

[수학식 18]

$$\Gamma(\boldsymbol{\theta}_0, \boldsymbol{\theta}_1) = \sum_{k=1}^K \zeta_k(\boldsymbol{\theta}_0) \rho_k(\boldsymbol{\theta}_1)$$

이를 기반으로, 최적화 처리부(140)는 NOMA와 함께 능동 지능반사표면(140)를 이용한 WPCN의 총 처리량(스루풋)을 최적화하고, 이를 통해 수동 IRS 대비 능동 지능반사표면(140)에 대한 장점을 확인할 수 있다.

$(\boldsymbol{\theta}_1^{(i)}, \tau(i))$ 가 주어진 상태에서 무선전력전송(WPT)에서의 지능반사표면 계수 $\boldsymbol{\theta}_0$ 을 최적화하기 위한 문제는 [수학식 16]에서 단조 증가하는 로그 함수를 제거한 후에 다음의 [수학식 20]와 같이 정의될 수 있다.

[수학식 20]

$$\begin{aligned} \max_{\boldsymbol{\theta}_0 \in \mathbb{C}^N} & \Gamma_0^{(i)}(\boldsymbol{\theta}_0) \left(\triangleq \Gamma(\boldsymbol{\theta}_0, \boldsymbol{\theta}_1^{(i)}) \right) \\ \text{s.t.} & \boldsymbol{\theta}_0^H \mathbf{G}_0 \boldsymbol{\theta}_0 \leq 1, \\ & \sum_{k=1}^K \zeta_k(\boldsymbol{\theta}_0) c_k^{(i)} + c_0^{(i)} \leq 1, \\ & |\theta_{0n}|^2 \leq a_{\max}^2, \quad n \in \mathcal{N}, \end{aligned}$$

[0182] [수학식 20]에서 $\mathbf{G}_0$ 는 다음과 같이 해석될 수 있다.

$$[0183] \quad \mathbf{G}_0 = \text{diag}(\frac{P_h}{P_a} \mathbf{g} \circ \mathbf{g}^* + \frac{\sigma_a^2}{P_a}), c_0^{(i)} = \frac{\sigma_a^2}{P_a} \|\boldsymbol{\theta}_1^{(i)}\|_2^2, \text{ and } c_k^{(i)} = \frac{q(\tau^{(i)})}{P_a} \|\mathbf{f}_k \circ \boldsymbol{\theta}_1^{(i)}\|_2^2 \text{ for } k \in \mathcal{K}$$

[0185] [수학식 20]의 해인 $\boldsymbol{\theta}_0^{(i+1)}$ 및 시간 할당 $\tau^{(i)}$ 로 무선정보전송(WIT)의 지능반사표면 계수 $\boldsymbol{\theta}_1$ 을 최적화하기 위한 하위 문제는 [수학식 21]과 같이 명시된다.

[0187] [수학식 21]

$$\begin{aligned} \max_{\boldsymbol{\theta}_1 \in \mathbb{C}^N} \quad & \Gamma_1^{(i)}(\boldsymbol{\theta}_1) \quad (\triangleq \Gamma(\boldsymbol{\theta}_0^{(i+1)}, \boldsymbol{\theta}_1)) \\ \text{s.t.} \quad & \boldsymbol{\theta}_1^H \mathbf{S}_1^{(i)} \boldsymbol{\theta}_1 \leq 1, \\ & |\theta_{1n}|_2^2 \leq a_{\max}^2, \quad n \in \mathcal{N}, \end{aligned}$$

[0190] [수학식 21]에서 $\mathbf{S}_1^{(i)}$ 는 $\text{diag} \left(\frac{q(\tau^{(i)})}{P_a} \sum_{k=1}^K \zeta_k(\boldsymbol{\theta}_0^{(i+1)}) \mathbf{f}_k \circ \mathbf{f}_k^* + \frac{\sigma_a^2}{P_a} \right)$ 로 정의될 수 있다.

[0191] 또한, [수학식 20]의 해인 $\boldsymbol{\theta}_0^{(i+1)}$ 및 [수학식 21]의 해인 $\boldsymbol{\theta}_1^{(i+1)}$ 을 사용하여 TA 문제는 [수학식 22]와 같이 정의된다.

[0193] [수학식 22]

$$\begin{aligned} \max_{\tau \in [0,1]} \quad & R(\tau; \Gamma^{(i)}) \\ \text{s.t.} \quad & q(\tau) \leq q_{\max}^{(i)} \end{aligned}$$

[0196] [수학식 22]에서 $\Gamma^{(i)}$ 은 $\Gamma(\boldsymbol{\theta}_0^{(i+1)}, \boldsymbol{\theta}_1^{(i+1)})$ 로 정의될 수 있다.

[0197] 또한, [수학식 22]에서 $q_{\max}^{(i)}$ 는 [수학식 23]으로 정의될 수 있다.

[0199] [수학식 23]

$$[0200] \quad q_{\max}^{(i)} = \frac{P_a - \sigma_a^2 \|\boldsymbol{\theta}_1^{(i+1)}\|_2^2}{\sum_{k=1}^K \zeta_k(\boldsymbol{\theta}_0^{(i+1)}) \|\mathbf{f}_k \circ \boldsymbol{\theta}_1^{(i+1)}\|_2^2}$$

[0202] [수학식 20]은 볼록한 제약을 가진 비볼록 이차 제약 이차 프로그래밍(QCQP)이며, 이는 볼록 이차 제약에 따라

볼록 이차 함수를 극대화한다.

[0203] [수학식 21]도 이차 분수 목적 함수와 이차 제약을 가진 비볼록 최적화 문제이다.

[0204] [수학식 22]만이 간단한 제한 조건을 가진 볼록 최적화 문제이다.

[0205] 이후 설명할, [수학식 40]을 통해 산출한 SDR 및 SDR과 함께의 분수 변환 [수학식 43]은 각각 [수학식 20]과 [수학식 21]을 해결하는 데 적용될 수 있다.

[0206] 한편, 지능반사표면(IRS)의 요소 수인 N 이 증가함에 따라 SDR의 복잡성이 비수용적으로 증가하기 때문에, 바람직한 실시예에 따르면, 본 발명에서는 SCA와 이차 변환을 다루면서 각각 [수학식 20]과 [수학식 21]을 효율적으로 해결하는 동작을 제공할 수 있다.

[0207] 먼저, [수학식 6]을 통해 설명한 선형 EH 모델을 사용한 무선전력전송(WPT)의 IRS 빔포밍 최적화 문제인 [수학식 20]을 해결할 수 있다. 이 경우, EH 회로의 출력은 다음과 같이 다시 쓰인다.

[0209] [수학식 24]

$$\zeta_k(\boldsymbol{\theta}_0) = \eta_k P_{\text{in},k}(\boldsymbol{\theta}_0) = \eta_k \boldsymbol{\theta}_0^H \mathbf{Z}_k \boldsymbol{\theta}_0$$

[0212] [수학식 20]의 목적 함수는 [수학식 25]와 같이, $\boldsymbol{\theta}_0$ 의 볼록 이차 함수(convex quadratic function)로 표현된다.

[0214] [수학식 25]

$$\Gamma_0^{(i)}(\boldsymbol{\theta}_0) = \sum_{k=1}^K \zeta_k(\boldsymbol{\theta}_0) \rho_k^{(i)} = \boldsymbol{\theta}_0^H \left(\sum_{k=1}^K \rho_k^{(i)} \eta_k \mathbf{Z}_k \right) \boldsymbol{\theta}_0$$

[0217] [수학식 25]에서 $\rho_k^{(i)}$ 는 $\rho_k(\boldsymbol{\theta}_1^{(i)})$ 이다.

[0218] 볼록 이차 함수의 최대화는 볼록 최적화 문제가 아니기 때문에, 새로운 변수 $\mathbf{p} = [\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2, \dots, \mathbf{p}_K]^T$ 를 이용할 수 있다.

[0219] 여기서 $\mathbf{p}_k = \zeta_k(\boldsymbol{\theta}_0)$ 이며, 이는 [수학식 9]의 시간 의존 함수 $q(\tau)$ 를 제거한 후의 디바이스 k 의 정규화된 송신 전력으로 간주될 수 있다.

[0220] 선형 EH를 가진 문제인 [수학식 20]은 이후 다음의 [수학식 26]으로 가공될 수 있다.

[0222] [수학식 26]

$$\begin{aligned} \max_{\boldsymbol{\theta}_0 \in \mathbb{C}^N, \mathbf{p} \in \mathbb{R}_+^K} \quad & \mathbf{p}^T \boldsymbol{\rho}^{(i)} \\ \text{s.t.} \quad & (20b), (20d), \\ & \mathbf{p}^T \mathbf{c}^{(i)} + c_0^{(i)} \leq 1, \end{aligned}$$

[0223] $0 \leq \mathbf{p}_k \leq \eta_k P_{\text{in},k}(\boldsymbol{\theta}_0), k \in \mathcal{K}.$

[0225] [수학식 26]에서(20b)는 [수학식 20]의 2열의 수식을 의미하고,(20d)는 [수학식 20]의 4열의 수식을 의미한다. 즉, 20은 수식의 번호이고, 알파벳은 a, b, c, d 등의 순서로 해당하는 숫자인 1, 2, 3, 4 등의 열을 의미한다.

[0227] [수학식 26]에서 $\boldsymbol{\rho}^{(i)}$ 는 $[\rho_1^{(i)}, \dots, \rho_K^{(i)}]^T$ 이고, $\mathbf{c}^{(i)}$ 는 $[c_1^{(i)}, \dots, c_K^{(i)}]^T$ 로 해석될 수 있다.

[0229] 비블록 제약 조건(26d)을 다루기 위해 우리는 이전에 얻은 해인 $\boldsymbol{\theta}_0$ 주변의 첫 번째 차 테일러 급수 근사를 다음의 $\hat{P}_{\text{in},k}(\boldsymbol{\theta}_0, \boldsymbol{\theta}_0^{(i)})$ 에 적용할 수 있다.

[0231] [수학식 27]

$$\begin{aligned} \hat{P}_{\text{in},k}(\boldsymbol{\theta}_0, \boldsymbol{\theta}_0^{(i)}) &= P_{\text{in},k}(\boldsymbol{\theta}_0^{(i)}) \\ &+ 2 \operatorname{Re}\{(\boldsymbol{\theta}_0^{(i)})^H \mathbf{Z}_k(\boldsymbol{\theta}_0 - \boldsymbol{\theta}_0^{(i)})\} \end{aligned}$$

[0232]

[0234] [수학식 27]을 위해, 본 발명에 따른 최적화 처리부(140)는 $\frac{\partial P_{\text{in},k}}{\partial \boldsymbol{\theta}_0} = \boldsymbol{\theta}_0^H \mathbf{Z}_k$ 을 이용할 수 있다.

[0236] 이로 인해 [수학식 26]의 근사 블록 최적화 문제는 다음과 같이 간소화될 수 있다.

[0238] [수학식 28]

$$\begin{aligned} \max_{\boldsymbol{\theta}_0 \in \mathbb{C}^N, \mathbf{p} \in \mathbb{R}_+^K} \quad & \mathbf{p}^T \boldsymbol{\rho}^{(i)} \\ \text{s.t.} \quad & (26b), (26c), \\ & 0 \leq \mathbf{p}_k \leq \eta_k \hat{P}_{\text{in},k}(\boldsymbol{\theta}_0, \boldsymbol{\theta}_0^{(i)}), k \in \mathcal{K} \end{aligned}$$

[0239]

[0241] [수학식 28]에서(26b)는 [수학식 26]의 2열의 수식을 의미하고,(26c)는 [수학식 26]의 3열의 수식을 의미한다.

즉, 26은 수식의 번호이고, 알파벳은 a, b, c, d 등의 순서로 해당하는 숫자인 1, 2, 3, 4 등의 열을 의미한다.

[0242] 이는 기존의 볼록 최적화 솔버로 해결할 수 있는 2차원 콘 프로그램(SOCP)에 해당하며, $\hat{P}_{\text{in},k}(\boldsymbol{\theta}_0, \boldsymbol{\theta}_0^{(i)}) \leq P_{\text{in},k}(\boldsymbol{\theta}_0)$ 인 점을 고려할 때, [수학식 28]의 해인 $\boldsymbol{\theta}_0^{(i+1)}$ 은 항상 [수학식 26]의 실현 가능한 해이다.

[0243] 이를 배경으로, 본 발명에 따른 최적화 처리부(140)는 비선형 에너지하베스팅에서의 무선전력전송(WPT) 과정에서의 계수를 산출할 수도 있다.

[0244] 다음으로, 본 발명에 따른 최적화 처리부(140)는 [수학식 7]의 비선형 EH 모델을 사용한 무선전력전송(WPT)의 IRS 빔포밍 최적화 문제 [수학식 20]을 해결한다.

[0245] [수학식 29]

$$\zeta_k(\boldsymbol{\theta}_0) = P_{\text{sat},k} \left(1 - \frac{\eta_{k,c}}{P_{\text{in},k}(\boldsymbol{\theta}_0) + \eta_{k,c}} \right)$$

[0248] [수학식 30]

$$\Gamma_0^{(i)}(\boldsymbol{\theta}_0) = \nu_T^{(i)} - \sum_{k=1}^K \frac{\nu_k^{(i)} \eta_{k,c}}{P_{\text{in},k}(\boldsymbol{\theta}_0) + \eta_{k,c}}$$

[0251] 여기서 $\nu_k^{(i)}$ 는 $P_{\text{sat},k} \rho_k(\boldsymbol{\theta}_1^{(i)})$ 이고, $\nu_T^{(i)}$ 는 $\sum_{k=1}^K \nu_k^{(i)}$ 이다.

[0252] 또한, 이러한 과정에 따라 [수학식 20]은 [수학식 31]로 산출될 수 있다.

[0254] [수학식 31]

$$\begin{aligned} \min_{\boldsymbol{\theta}_0 \in \mathbb{C}^N} \quad & \sum_{k=1}^K \frac{\nu_k^{(i)} \eta_{k,c}}{P_{\text{in},k}(\boldsymbol{\theta}_0) + \eta_{k,c}} \\ \text{s.t.} \quad & (20b), (20d) \\ & \sum_{k=1}^K c_k^{(i)} P_{\text{sat},k} \left(1 - \frac{\eta_{k,c}}{P_{\text{in},k}(\boldsymbol{\theta}_0) + \eta_{k,c}} \right) + c_0^{(i)} \leq 1 \end{aligned}$$

[0257] [수학식 31]에서(20b)는 [수학식 20]의 2열의 수식을 의미하고, (20d)는 [수학식 20]의 4열의 수식을 의미한다. 즉, 20은 수식의 번호이고, 알파벳은 a, b, c, d 등의 순서로 해당하는 숫자인 1, 2, 3, 4 등의 열을 의미한다.

[0258] 목적 함수 및 제약 조건 [수학식 31]에서 나오는 [수학식 5]의 항인 $P_{\text{in},k}(\boldsymbol{\theta}_0) = \boldsymbol{\theta}_0^H \mathbf{Z}_k \boldsymbol{\theta}_0$ 가 분모에 나타나기 때문에, 최적화 처리부(140)는 $\boldsymbol{\lambda} = [\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_K]^T$ 와 $\lambda_k = \frac{1}{P_{\text{in},k}(\boldsymbol{\theta}_0) + \eta_{k,c}}$ 를 도입하여 [수학식 31]을 [수학식 32]로 변형하였다.

[0260] [수학식 32]

$$\begin{aligned} \min_{\boldsymbol{\theta}_0 \in \mathbb{C}^N, \boldsymbol{\lambda} \in \mathbb{R}_+^K} \quad & \sum_{k=1}^K \nu_k^{(i)} \eta_{k,c} \lambda_k \\ \text{s.t.} \quad & (20b), (20d), \\ & \sum_{k=1}^K c_k^{(i)} P_{\text{sat},k} (1 - \eta_{k,c} \lambda_k) + c_0^{(i)} \leq 1, \\ & \frac{1}{\lambda_k} \leq P_{\text{in},k}(\boldsymbol{\theta}_0) + \eta_{k,c}, \quad k \in \mathcal{K}, \\ & 0 \leq \lambda_k \leq \frac{1}{\eta_{k,c}}, \quad k \in \mathcal{K}, \end{aligned}$$

[0261]

[0263] [수학식 32]에서(20b)는 [수학식 20]의 2열의 수식을 의미하고,(20d)는 [수학식 20]의 4열의 수식을 의미한다. 즉, 20은 수식의 번호이고, 알파벳은 a, b, c, d 등의 순서로 해당하는 숫자인 1, 2, 3, 4 등의 열을 의미한다.

[0264] 목적 함수 및 제약 조건은 [수학식 32]를 제외하고 모두 불록이 되며, 따라서 [수학식 27]의 일차 테일러 근사치로 [수학식 32]의 비불록 항인 $P_{\text{in},k}(\boldsymbol{\theta}_0)$ 를 근사화한다. 이로써 근사 불록 최적화 문제가 다음과 같이 얻어질 수 있다.

[0266] [수학식 33]

$$\begin{aligned} \min_{\boldsymbol{\theta}_0 \in \mathbb{C}^N, \boldsymbol{\lambda} \in \mathbb{R}_+^K} \quad & \sum_{k=1}^K \nu_k^{(i)} \eta_{k,c} \lambda_k \\ \text{s.t.} \quad & (32b), (32c), (32e), \\ & \frac{1}{\lambda_k} \leq \hat{P}_{\text{in},k}(\boldsymbol{\theta}_0, \boldsymbol{\theta}_0^{(i)}) + \eta_{k,c}, \quad k \in \mathcal{K} \end{aligned}$$

[0267]

[0269] 다음으로, 최적화 처리부(140)는 무선정보전송(WIT)에서의 능동 지능반사표면의 빔포밍을 최적화할 수 있다.

[0270] 무선정보전송(WIT)에서의 IRS 빔포밍 최적화 문제인 [수학식 21]을 해결하기 위해, 최적화 처리부(140)는 [수학식 47]에서 제안된 다차원 복소 분수 프로그램(FP)의 이차 변환을 사용한다.

[0271] 이를 위해, 최적화 처리부(140)는 목적 함수 [수학식 21]를 다음과 같이 다시 정의한다.

[0273] [수학식 34]

$$\Gamma_1^{(i)}(\boldsymbol{\theta}_1) = \sum_{k=1}^K \zeta_k(\boldsymbol{\theta}_0^{(i+1)}) \frac{\boldsymbol{\theta}_1^H \mathbf{h}_k^* \mathbf{h}_k^T \boldsymbol{\theta}_1}{\boldsymbol{\theta}_1^H \mathbf{G}_1 \boldsymbol{\theta}_1 + \sigma_h^2}$$

[0274]

[0275] [수학식 35]

$$= \sum_{k=1}^K \boldsymbol{\theta}_1^H (\tilde{\mathbf{h}}_k^{(i)})^* (\boldsymbol{\theta}_1^H \mathbf{G}_1 \boldsymbol{\theta}_1 + \sigma_h^2)^{-1} (\tilde{\mathbf{h}}_k^{(i)})^T \boldsymbol{\theta}_1$$

[0276]

[0278] 여기서, $\tilde{\mathbf{h}}_k^{(i)}$ 는 $\sqrt{\zeta_k(\boldsymbol{\theta}_0^{(i+1)})} \mathbf{h}_k$ 이고, $\mathbf{G}_1$ 는 $\sigma_a^2 \text{diag}(\mathbf{g} \circ \mathbf{g}^*)$ 이다.

[0279] 그런 다음 [수학식 21]은 보조 변수 $\beta \in \mathbb{C}^K$ 를 고려하여 다차원 단일 비율 FP [수학식 47]가 되어 다음과 같이 변환될 수 있다.

[0281] [수학식 36]

$$\begin{aligned} \max_{\theta_1 \in \mathbb{C}^N, \beta \in \mathbb{C}^K} \quad & F^{(i)}(\theta_1, \beta) \\ \text{s.t.} \quad & (21b), (21c) \end{aligned}$$

[0284] [수학식 36]에서(21b)는 [수학식 21]의 2열의 수식을 의미하고, (21c)는 [수학식 21]의 3열의 수식을 의미한다. 즉, 21은 수식의 번호이고, 알파벳은 a, b, c, d 등의 순서로 해당하는 숫자인 1, 2, 3, 4 등의 열을 의미한다.

[0285] 여기서, $F^{(i)}(\theta_1, \beta)$ 는 [수학식 37]과 같이 정의될 수 있다.

[0287] [수학식 37]

$$\sum_{k=1}^K \left[2 \operatorname{Re}\{\beta_k^* (\tilde{\mathbf{h}}_k^{(i)})^T \theta_1\} - |\beta_k|^2 (\theta_1^H \mathbf{G}_1 \theta_1 + \sigma_h^2) \right]$$

[0290] [수학식 36]은 θ_1 및 β 에 대해 양볼록이기 때문에 θ_1 및 β 를 교대로 최적화하여 해결할 수 있다.

[0291] 이를 순차적으로 $\theta_{1,0} = \theta_1^{(i)}$ 에서 시작하여 $\beta_1, \theta_{1,1}, \beta_2, \theta_{1,2}, \dots, \beta_l$ 을 얻기 위해 최적화 처리부(140)는 $\theta_1 = \theta_{1,l-1}$ 에 대해 문제 [수학식 36]의 해를 구할 수 있다.

[0293] [수학식 38]

$$\max_{\beta \in \mathbb{C}^K} F^{(i)}(\theta_{1,l-1}, \beta)$$

[0296] [수학식 38]은 [수학식 39]를 이용하여 $\frac{\partial F^{(i)}}{\partial \beta_k} = 0$ 을 찾음으로써 풀 수 있다.

[0298] [수학식 39]

$$[\beta_l]_k = \frac{(\tilde{\mathbf{h}}_k^{(i)})^T \theta_{1,l-1}}{\theta_{1,l-1}^H \mathbf{G}_1 \theta_{1,l-1} + \sigma_h^2}, \quad k \in \mathcal{K}$$

[0301] 최적화 처리부(140)는 $\beta = \beta_l$ 가 주어졌을 때, [수학식 40]과 [수학식 41]을 통해 θ_1 를 구함으로써, [수학식 36]의 해를 구할 수 있다.

[0303] [수학식 40]

$$\max_{\boldsymbol{\theta}_1 \in \mathbb{C}^N} -\boldsymbol{\theta}_1^H \mathbf{G}_1 \boldsymbol{\theta}_1 + 2 \operatorname{Re}\{\mathbf{b}_l^H \boldsymbol{\theta}_1\} - \sigma_h^2$$

[0304] s.t. (21b), (21c)

[0306] [수학식 41]

$$\mathbf{b}_l = \frac{1}{\|\boldsymbol{\beta}_l\|_2^2} \sum_{k=1}^K [\boldsymbol{\beta}_l]_k (\tilde{\mathbf{h}}_k^{(i)})^*$$

[0309] [수학식 41]에서(21b)는 [수학식 21]의 2열의 수식을 의미하고, (21c)는 [수학식 21]의 3열의 수식을 의미한다. 즉, 21은 수식의 번호이고, 알파벳은 a, b, c, d 등의 순서로 해당하는 숫자인 1, 2, 3, 4 등의 열을 의미한다.

[0310] [수학식 40]은 볼록 이차 함수에 대한 볼록 이차 제약 조건 하에서 오목한 이차 함수를 극대화하기 때문에 기존의 볼록 최적화 도구로 해결 가능한 볼록 QCQP이다. 그러나 제약 조건(21b) 및 (21c)이 $\boldsymbol{\theta}_1$ 의 위상 변화에 의존하지 않는다는 것을 고려하여 복잡성을 낮추기 위해 더 간소화될 수 있다.

[0311] 따라서 최적화 처리부(140)는 목적 함수를 극대화하는 최적의 IRS 위상 변화를 얻음으로써 [수학식 40]의 해인 $\boldsymbol{\theta}_{1,l}$ 을 두 단계로 얻을 수 있다.

[0313] [수학식 40]

$$\angle \boldsymbol{\theta}_{1,l} = \angle \mathbf{b}_l,$$

[0316] [수학식 40]을 다음과 같이 $\boldsymbol{\theta}_1 = \mathbf{a}_1 \circ \exp(j\angle \mathbf{b}_l)$ 로 대체한 후 $\mathbf{a}_1$ 에 대해 풀어내면 [수학식 43]과 같다.

[0318] [수학식 43]

$$\max_{\mathbf{a}_1 \in \mathbb{R}^N} -\mathbf{a}_1^T \mathbf{G}_1 \mathbf{a}_1 + 2\mathbf{b}_l^T \mathbf{a}_1 - \sigma_h^2$$

$$\text{s.t. } \mathbf{a}_1^T \mathbf{S}_1^{(i)} \mathbf{a}_1 \leq 1,$$

$$0 \leq a_{1n} \leq a_{\max}, \quad n \in \mathcal{N},$$

[0321] 여기서, $\mathbf{b}_l \in \mathbb{R}^N$ 이고, $[\mathbf{b}_l]_n = |[\mathbf{b}_l]_n|$ 이다.

[0322] [수학식 43]은 실수 변수를 가진 볼록 QCQP이므로, 그 해인 $\mathbf{a}_{1,l}$ 은 [수학식 40]을 푸는 경우에 비해 감소된 복잡성으로 기존의 볼록 최적화 솔버를 활용하여 얻을 수 있다. 해를 얻기 위한 제안된 과정은 최대 반복 횟수

I_{θ_1} 및 허용 오차 ϵ_1 과 함께 알고리즘 1에 요약되어 있다.

[0323] 일실시예에 따른 최적화 처리부(140)는 무선전력전송(WPT)과 무선정보전송(WIT) 간 시간 할당을 최적화할 수 있다.

[0325] [수학식 44]

[0326]
$$\max_{\tau} R(\tau; \Gamma^{(i)}) \quad \text{s.t.} \quad \tau_{\min}^{(i)} \leq \tau \leq 1,$$

[0328] [수학식 44]에서 $\tau_{\min}^{(i)}$ 은 $\frac{1}{1+q_{\max}^{(i)}}$ 이다.

[0330] [수학식 17]에서와 같이, $R(\tau; \Gamma)$ 는 τ 에 대한 고유 최댓값을 갖는 $\tau \in [0, 1]$ 범위에서의 오목한 함수이므로, [수학식 45]가 산출될 수 있다.

[0332] [수학식 45]

[0333]
$$\tau_R^*(\Gamma) = \arg \max_{\tau \in [0, 1]} R(\tau; \Gamma)$$

[0335] 일실시예에 따른 최적화 처리부(140)는 무선정보전송(WIT)에 대해 다음의 알고리즘1을 이용하여, 지능반사표면의 빔포밍 계수인 θ_1 를 최적화할 수 있다.

Initialize $l = 0$ and, $\theta_{1,0} = \theta_1^{(i)}$.

repeat

$l \leftarrow l + 1$.

Compute β_l with (39).

Obtain the phase shifts as (42) with (41).

Solve (43) to obtain $\mathbf{a}_{1,l}$.

Update $\theta_{1,l} = \mathbf{a}_{1,l} \odot \exp(j\angle \mathbf{b}_l)$.

until $|F^{(i)}(\theta_{1,l}, \beta_l) - F^{(i)}(\theta_{1,l-1}, \beta_l)| \leq \epsilon_1$ or $l \geq I_{\theta_1}$

Output: $\theta_1^{(i+1)} = \theta_{1,l}$.

[0339] 먼저, 일실시예에 따른 최적화 처리부(140)는 무선정보전송(WIT)에서의 능동 지능반사표면(IRS) 계수 θ_1 의 최적화 알고리즘(알고리즘1)을 기반으로 입력되는 능동 지능반사표면(IRS) 계수 $\theta_1^{(i)}$ 에 대한 능동 지능반사표면(IRS) 계수 $\theta_1^{(i+1)}$ 를 획득한다.

[0340] 다음으로, 일실시예에 따른 최적화 처리부(140)는 초기값 l , 무선전력전송(WPT)에서의 능동 지능반사표면(IRS)

계수 Θ_0 , 무선정보전송(WIT)에서의 능동 지능반사표면(IRS) 계수 Θ_1 을 초기화 하며, 초기값 l 을 1 증가시키고, [수학식 39]를 이용하여 보조 변수(auxiliary variables) β_1 을 산출한다.

[0341] 다음으로, 일실시예에 따른 최적화 처리부(140)는 산출된 보조 변수(auxiliary variables) β_1 를 이용하여, 위상 변화를 획득한다.

[0342] 또한, 일실시예에 따른 최적화 처리부(140)는 convex QCQP의 해인 $\mathbf{a}_{1,l}$ 을 획득하기 위해 [수학식 43]을 계산하고, 획득한 $\mathbf{a}_{1,l}$ 를 이용하여 $\theta_{1,l}$ 을 $\mathbf{a}_{1,l} \circ \exp(j\angle \mathbf{b}_l)$ 로 업데이트한다.

[0343] 다음으로, 일실시예에 따른 최적화 처리부(140)는 보조 변수(auxiliary variables) β_1 을 산출하는 과정에서부터 $\theta_{1,l}$ 을 업데이트 하는 과정을 선정된 조건에 부합될 때까지 반복하여 $\theta_1^{(i+1)}$ 를 출력한다.

[0344] 이 때, 선정된 조건은 $|F^{(i)}(\theta_{1,l}, \beta_l) - F^{(i)}(\theta_{1,l-1}, \beta_l)| \leq \epsilon_1$ or $l \geq I_{\theta_1}$ 이며, 출력은 $\theta_1^{(i+1)} = \theta_{1,l}$ 이다.

[0345] 알고리즘1은 $\frac{\partial R(\tau; \Gamma)}{\partial \tau} = 0$ 의 해를 구함으로써 해를 획득할 수 있고, [수학식 46]으로 표현될 수 있다.

[0347] [수학식 46]

$$\tau_R^*(\Gamma) = \frac{\Gamma}{e^{1+W_0((\Gamma-1)/e)} + \Gamma - 1}$$

[0350] 여기서, $W_0(z)$ 는 $z \geq -1$ 동안 $W_0(z)e^{W_0(z)}$ 를 만족시키기 위한 Lambert W 함수에 해당한다.

[0351] 따라서, 일실시예에 따른 최적화 처리부(140)는 최적의 [수학식 44]에 따른 시간 할당에 대해 $\tau_R^*(\Gamma^{(i)})$ if $\tau_R^*(\Gamma^{(i)}) \geq \tau_{\min}^{(i)}$ 의 조건에서 얻어진다. 그렇지 않은 경우 $\tau_{\min}^{(i)}$ 의 조건에서 얻어진다.

[0352] 따라서, 일실시예에 따른 최적화 처리부(140)는 시간 할당을 [수학식 47]로 산출할 수 있다.

[0354] [수학식 47]

$$\tau^{(i+1)} = \max(\tau_{\min}^{(i)}, \tau_R^*(\Gamma^{(i)}))$$

[0357] 이고, 그 결과 합 전송률은 $R_{\text{sum}}^{(i+1)} = R(\tau^{(i+1)}, \Gamma^{(i)})$ 와 같다.

[0358] 일실시예에 따른 최적화 처리부(140)는 제안된 IRS 빔포밍 방법을 사용하는 전체 A0 알고리즘을 구현할 수 있으며, 초기 값 $\{\theta_m^{\text{init}}\}_{m=0}^1$, 허용 오차 ϵ 및 최대 A0 반복 횟수 I_{AO} 와 함께 아래 알고리즘 2을 통해 구현할 수 있다.

Initialize $i = 0$, $\theta_0^{(0)} = \theta_0^{\text{init}}$, $\theta_1^{(0)} = \theta_1^{\text{init}}$ and $\tau^{(0)} = \max(\tau_{\min}^{(0)}, \tau_R^*(\Gamma^{(0)}))$.

repeat

Obtain $\theta_0^{(i+1)}$ by solving (28) for the linear EH or

by solving (33) for the nonlinear EH.

Obtain $\theta_1^{(i+1)}$ through Algorithm 1 with input $\theta_1^{(i)}$.

Obtain $\tau^{(i+1)}$ as (47).

$i \leftarrow i + 1$

until $|R_{\text{sum}}^{(i)} - R_{\text{sum}}^{(i-1)}| \leq \epsilon$ or $i \geq I_{AO}$

Output: $\theta_0^* = \theta_0^{(i)}$, $\theta_1^* = \theta_1^{(i)}$, $\tau^* = \tau^{(i)}$.

[0360]

[0362] 초기 점 $\{\theta_m^{\text{init}}\}_{m=0}^1$ 은 저복잡성 솔루션을 채택하기 위해 더 나은 솔루션을 찾기 위해 중요하다. SDR 기반 AO 알고리즘도 부록에 제시된 해를 사용하여 알고리즘 2에서 $\theta_0^{(i)}$ 및 $\theta_1^{(i)}$ 을 업데이트함으로써 얻어질 수 있다.

[0363] 다음으로, 일실시에에 따른 최적화 처리부(140)는 능동 지능반사표면(140)의 각 요소들에 대한 개별 진폭 제어 를 사용하는 AO 알고리즘(알고리즘2)를 구현한다.

[0364] 일실시에에 따른 최적화 처리부(140)는 무선전력전송(WPT)에 대한 빔포밍, 무선정보전송(WIT)에 대한 빔포밍, 무선전력전송(WPT) 및 무선정보전송(WIT)에 대한 시간 할당(Time Allocation)을 최적화 할 수 있다.

[0365] 특히, 일실시에에 따른 최적화 처리부(140)는 무선전력전송(WPT)에서 선형 에너지하베스팅을 위한 능동 지능반사표면(IRS) 계수 $\theta_0^{(i+1)}$ 를 획득하고, 무선정보전송(WIT)에서 최적화 알고리즘(알고리즘 1)을 기반으로 입력되는 능동 지능반사표면(IRS) 계수 $\theta_1^{(i)}$ 에 대한 능동 지능반사표면(IRS) 계수 $\theta_1^{(i+1)}$ 를 획득한다. 또한, 일실시에에 따른 최적화 처리부(140)는 무선전력전송(WPT)과 상기 무선정보전송(WIT) 간의 시간 분할 $\tau^{(i+1)}$ 을 획득하고, 선정된 조건을 만족할 때까지 앞선 획득 과정을 반복할 수 있다.

[0366] 일실시에에 따른 최적화 처리부(140)는 선정된 조건을 만족하는 경우, 무선전력전송(WPT)에서의 능동 지능반사표면(IRS) 계수 $\theta_0^{(i+1)}$, 무선정보전송(WIT)에서의 능동 지능반사표면(IRS) 계수 $\theta_1^{(i+1)}$, 시간 분할 $\tau^{(i+1)}$ 을 출력하여 능동 지능반사표면(140)에서의 합 전송률을 최대로 제어한다.

[0367] 일실시에에 따른 최적화 처리부(140)는 무선전력전송(WPT)에서 선형 에너지하베스팅을 위한 능동 지능반사표면(IRS) 계수 $\theta_0^{(i+1)}$ 를 획득하기 위해, [수학식28]을 이용한다.

[0369] [수학식 28]

$$\begin{aligned} \max_{\theta_0 \in \mathbb{C}^N, \mathbf{p} \in \mathbb{R}_+^K} \quad & \mathbf{p}^T \boldsymbol{\rho}^{(i)} \\ \text{s.t.} \quad & (26b), (26c), \end{aligned}$$

$$0 \leq p_k \leq \eta_k \hat{P}_{\text{in},k}(\theta_0, \theta_0^{(i)}), \quad k \in \mathcal{K}$$

[0370]

[0372] [수학식 28]에서(26b)는 [수학식 26]의 2열의 수식을 의미하고, (26c)는 [수학식 26]의 3열의 수식을 의미한다.

즉, 26은 수식의 번호이고, 알파벳은 a, b, c, d 등의 순서로 해당하는 숫자인 1, 2, 3, 4 등의 열을 의미한다.

[0373] 또한, 일실시예에 따른 최적화 처리부(140)는 무선전력전송(WPT)과 무선정보전송(WIT) 간의 시간 분할 $\tau^{(i+1)}$ 을 획득하기 위해, 앞서 설명한 [수학식47]을 이용한다.

[0374] 또한, 일실시예에 따른 최적화 처리부(140)는 무선전력전송(WPT)에서 비선형 에너지하베스팅을 위한 능동 지능 반사표면(IRS) 계수 $\Theta_0^{(i+1)}$ 를 획득하고, 무선정보전송(WIT)에서 능동 지능반사표면(IRS) 계수 Θ_1 의 최적화 알고리즘(알고리즘1)을 기반으로 입력 무선정보전송(WIT)에서의 능동 지능반사표면(IRS) 계수 $\Theta_1^{(i)}$ 에 대한 능동 지능반사표면(IRS) 계수 $\Theta_1^{(i+1)}$ 를 획득하며, 시간 분할 $\tau^{(i+1)}$ 을 획득하고, 선정된 조건을 만족할 때까지 앞선 획득 과정을 반복할 수 있다.

[0375] 선정된 조건을 만족하는 경우, 무선전력전송(WPT)에서의 능동 지능반사표면(IRS) 계수 $\Theta_0^{(i+1)}$, 무선정보전송(WIT)에서의 $\Theta_1^{(i+1)}$, 시간 분할 $\tau^{(i+1)}$ 을 출력하여 지능반사표면(140)에서의 합 전송률을 최대로 제어할 수 있다.

[0376] 또한, 일실시예에 따른 최적화 처리부(140)는 무선전력전송(WPT)에서 비선형 에너지하베스팅을 위한 능동 지능 반사표면(IRS) 계수 $\Theta_0^{(i+1)}$ 를 획득하기 위해, [수학식 33]을 이용한다.

[0377] 또한, 일실시예에 따른 최적화 처리부(140)는 시간 분할 $\tau^{(i+1)}$ 을 획득하기 위해, [수학식 47]을 이용한다.

[0379] [수학식 47]

[0380]
$$\tau^{(i+1)} = \max(\tau_{\min}^{(i)}, \tau_R^*(\Gamma^{(i)}))$$

[0382] 제안된 AO 알고리즘은 목적 함수 $R_{\text{sum}}(\theta_0, \theta_1, \tau)$ 를 증가시키는 방식으로 솔루션을 업데이트하고, 구체적으로, 최적화 처리부(140)는 다음의 [수학식 48], [수학식 49], [수학식 50]을 통해 구현할 수 있다.

[0383] [수학식 48]

[0384]
$$R_{\text{sum}}(\theta_0^{(i)}, \theta_1^{(i)}, \tau^{(i)}) \leq_{(a)} R_{\text{sum}}(\theta_0^{(i+1)}, \theta_1^{(i)}, \tau^{(i)})$$

[0385] [수학식 49]

[0386]
$$\leq_{(b)} R_{\text{sum}}(\theta_0^{(i+1)}, \theta_1^{(i+1)}, \tau^{(i)})$$

[0387] [수학식 50]

[0388]
$$\leq_{(c)} R_{\text{sum}}(\theta_0^{(i+1)}, \theta_1^{(i+1)}, \tau^{(i+1)})$$

[0390] 부등식(a)는 $\theta_0^{(i+1)}$ 이 선형 EH에 대한 [수학식 28]과 비선형 EH에 대한 [수학식 33]의 해이기 때문에 성립한다. 이는 $\theta_0^{(i)}$ 를 포함하는 어떠한 실행 가능한 θ_0 에 대해서도 $\Gamma_0^{(i)}(\theta_0) \leq \Gamma_0^{(i)}(\theta_0^{(i+1)})$ 를 만족하는 볼록 최적화 문제들이다

[0391] 그러므로 $R_{\text{sum}}(\theta_0^{(i)}, \theta_1^{(i)}, \tau^{(i)}) \leq R_{\text{sum}}(\theta_0^{(i+1)}, \theta_1^{(i)}, \tau^{(i)})$ 이므로 부등식(b) 및 부등식(c)도 같은 이유에서 성립

할 수 있다.

[0392] 여기서 $\theta_1^{(i+1)}$ 은 실행 가능한 θ_1 및 $\tau(i+1)$ 은 실행 가능한 집합 내에서 $\tau(i)$ 를 고려하여 $\Gamma_1^{(i)}(\theta_1)$ 를 최대화하는 블록 최적화 문제의 해이다. 따라서 최적화 처리부(140)가 구현하는 A0 알고리즘은 국부적으로 최적의 해로 수렴을 보장한다.

[0393] 최적화 처리부(140)가 제안된 알고리즘을 실현하기 위해 채널상태정보로서 $\{\mathbf{h}_k = \mathbf{g} \circ \mathbf{f}_k\}_{k=1}^K, \mathbf{g} \circ \mathbf{g}$ 및 $\{\mathbf{f}_k \circ \mathbf{f}_k\}_{k=1}^K$ 는 기지국(110)에서 알려져야 한다.

[0394] 또한 연속된 채널 $\{\mathbf{h}_k\}_{k=1}^K$ 만 필요한 수동 지능반사표면과는 달리, 기지국(110)에서는 채널상태정보를 알아야 한다.

[0395] [수학식 34]에서 소개된 바와 같이 능동 지능반사표면(140) 지원 시스템에 필요한 채널상태정보는 능동 지능반사표면(140)에 액티브 센서를 설치하지 않고도 다음과 같이 얻을 수 있다.

[0396] 기지국(110)은 편제 신호를 능동 지능반사표면(140)으로 송신하고 능동 지능반사표면(140)에서 알려진 반사 패턴으로 반사된 신호를 수신하여 $\mathbf{g} \circ \mathbf{g}$ 를 추정할 수 있다.

[0397] 사용자 단말기(130)들이 송신하는 편제 신호는 수동 지능반사표면을 사용한 채널 추정 방법을 따라 능동 지능반사표면(140)에 의해 반사되어 채널을 추정할 수 있다.

[0398] 이후, 그런 다음, $\{\mathbf{f}_k \circ \mathbf{f}_k\}_{k=1}^K$ 은 추정된 $\{\mathbf{h}_k = \mathbf{g} \circ \mathbf{f}_k\}_{k=1}^K, \mathbf{g} \circ \mathbf{g}$ 에서 유도될 수 있다.

[0399] 일실시예에 따른 최적화 처리부(140)는 채널 기반으로 능동 지능반사표면의 위상을 최적화 하는 최적화 과정과, 상기 최적화 과정의 해를 이용하여 시간 할당을 산출하는 시간 할당 산출 과정, 및 상기 최적화 과정 및 상기 시간 할당 산출 과정의 해를 이용하여, 능동 지능반사표면의 진폭을 산출하는 능동 지능반사표면의 진폭 산출 과정을 수행할 수 있다.

[0400] 또한, 상기 채널 기반으로 능동 지능반사표면의 위상을 최적화 하는 최적화 과정은, 아래의 [수학식 60] 및 [수학식 61]을 이용할 수 있다.

[0402] [수학식 60]

$$\mathbf{v}_m^s = \exp(-j\angle \mathbf{h}_{k^s}), \quad m = \{0, 1\}$$

[0404] [수학식 61]

$$k^s = \arg \max_{1 \leq k \leq K} \zeta_k(\exp(-j\angle \mathbf{h}_k)) \|\mathbf{h}_k\|_1^2,$$

[0407] 또한, 일실시예에 따른 최적화 처리부(140)는 최적화 과정의 해를 이용하여 시간 할당을 산출하기 위해, 아래의 [수학식 70], [수학식 71] 및 [수학식 72]를 이용할 수 있다.

[0409] [수학식 70]

$$R_{\text{sum}}^{\dagger}(\tau) = \begin{cases} R_{-}^{\dagger}(\tau), & \text{if } q_T \leq 0 \\ \min \left\{ R_{-}^{\dagger}(\tau), R \left(\tau; \frac{\Gamma_N}{\Gamma_D + q_T} \right) \right\}, & \text{if } q_T > 0 \end{cases}$$

[0410]

[0411] [수학식 71]

$$R_{-}^{\dagger}(\tau) = \tau \log_2 \left(1 + \frac{\Gamma_N q(\tau)}{\Gamma_D + q(\tau)} \right)$$

[0412]

[0413] [수학식 72]

$$\max_{\tau \in [0,1]} R_{\text{sum}}^{\dagger}(\tau)$$

[0414]

[0416] 또한, 일실시예에 따른 최적화 처리부(140)는 상기 최적화 과정 및 상기 시간 할당 산출 과정의 해를 이용하여, 능동 지능반사표면의 진폭을 산출하는 능동 지능반사표면의 진폭을 산출하기 위해, 아래의 [수학식 74a] 및 [수학식 74b]를 이용하여, 상기 능동 지능반사표면의 진폭을 산출할 수 있다.

[0418] [수학식 74a]

$$a_0^{\dagger} = \min \left(\sqrt{\frac{P_a}{P_h \|\mathbf{g}\|_2^2 + N\sigma_a^2}}, a_{\max} \right)$$

[0419]

[0420] [수학식 74b]

$$a_1^{\dagger} = \min \left(\sqrt{\frac{P_a}{q(\tau^{\dagger})(a_0^{\dagger})^2 P_a Q_s + N\sigma_a^2}}, a_{\max} \right)$$

[0421]

[0423] 보다 구체적으로, 개별 진폭 제어용으로 개발된 알고리즘의 복잡성을 줄이기 위해, 본 발명에서는 $m \in \{0, 1\}$ 의 조건 하에서, $\boldsymbol{\theta}_m = a_m \boldsymbol{\vartheta}_m$ 인 공유 진폭 제어를 고려할 수 있다.

[0424] 여기서 N개의 IRS 요소가 무선전력전송(WPT)에서는 동일한 진폭 a_0 을, 무선정보전송(WIT)에서는 동일한 진폭 a_1 을 공유한다.

[0425] 이 조건 하에서, 일실시예에 따른 최적화 처리부(140)는 IRS 진폭 $\mathbf{a} = [a_0, a_1]^T$ 와 시간 할당(TA) $\hat{\mathbf{0}}$ 를 독립적으로 선택한 위상 이동 $\boldsymbol{\vartheta} = [\boldsymbol{\vartheta}_1^T, \boldsymbol{\vartheta}_2^T]$ 를 통해 반복 없이 한 번만 계산되는 '원샷'(OS) 솔루션을 구현할 수 있다.

[0426] 제안된 위상 이동을 사용하여 최적의 IRS 진폭 및 TA는 즉시 폐형식(closed-form) 표현식으로 계산된다.

[0428] [수학식 51]

$$\begin{aligned}
 & \max_{\boldsymbol{\vartheta} \in \mathbb{C}^{2N}, \mathbf{a} \in \mathbb{R}^2, \tau \in \mathbb{R}} \tau \log_2(1 + q(\tau) \tilde{\Gamma}(\boldsymbol{\vartheta}, \mathbf{a})) \\
 & \text{s.t.} \quad a_0^2 \leq P_a / (P_h \|\mathbf{g}\|_2^2 + N\sigma_a^2), \\
 & \quad \mathfrak{C}(\boldsymbol{\vartheta}_0, \mathbf{a}, \tau) \leq 1, \\
 & \quad |\vartheta_{mn}| = 1, \quad m \in \{0, 1\}, \quad n \in \mathcal{N}, \\
 & \quad 0 \leq a_m \leq a_{\max}, \quad m \in \{0, 1\}, \\
 & \quad 0 \leq \tau \leq 1,
 \end{aligned}$$

[0429]

[0431] [수학식 51]에서 $\tilde{\Gamma}(\boldsymbol{\vartheta}, \mathbf{a})$ 는 $\Gamma(a_0 \boldsymbol{\vartheta}_0, a_1 \boldsymbol{\vartheta}_1)$ 이므로, $\tilde{\Gamma}(\boldsymbol{\vartheta}, \mathbf{a})$ 는 [수학식 52]로 구체화될 수 있고, $\mathfrak{C}(\boldsymbol{\vartheta}_0, \mathbf{a}, \tau)$ 는 [수학식 53]으로 구체화될 수 있다.

[0433] [수학식 52]

$$\tilde{\Gamma}(\boldsymbol{\vartheta}, \mathbf{a}) = \frac{a_0^2 a_1^2}{a_1^2 \|\mathbf{g}\|_2^2 \sigma_a^2 + \sigma_h^2} \sum_{k=1}^K \zeta_k(\boldsymbol{\vartheta}_0) |\mathbf{h}_k^T \boldsymbol{\vartheta}_1|^2$$

[0434]

[0436] [수학식 53]

$$\mathfrak{C}(\boldsymbol{\vartheta}_0, \mathbf{a}, \tau) = \frac{a_1^2}{P_a} \left(q(\tau) a_0^2 \sum_{k=1}^K \zeta_k(\boldsymbol{\vartheta}_0) \|\mathbf{f}_k\|_2^2 + N\sigma_a^2 \right)$$

[0437]

[0439] [수학식 51]의 목적 함수에서 [수학식 52]가 $\boldsymbol{\vartheta}$ 및 $\mathbf{a}$ 의 분리 가능한 요소로 구성되어 있음을 고려하면, 일실시예에 따른 최적화 처리부(140)는 $\boldsymbol{\vartheta}$, $\mathbf{a}$ 및 τ 를 순차적으로 최적화하는 최적화의 일반 원칙을 사용하여 [수학식 51]을 해결한다.

[0440] 구체적으로 주어진 $(\mathbf{a}, \tau)$ 에 대해 먼저 능동 지능반사표면(140)의 위상 이동 $\boldsymbol{\vartheta}$ 을 최적화하기 위해 [수학식 54]를 푸는 것으로 시작한다.

[0442] [수학식 54]

$$\begin{aligned}
 & \max_{\boldsymbol{\vartheta} \in \mathbb{C}^{2N}} \Lambda(\boldsymbol{\vartheta}) \quad \left(\triangleq \sum_{k=1}^K \zeta_k(\boldsymbol{\vartheta}_0) |\mathbf{h}_k^T \boldsymbol{\vartheta}_1|^2 \right) \\
 & \text{s.t.} \quad (51c), (51d)
 \end{aligned}$$

[0443]

[0445] [수학식 54]에서 (51c)는 [수학식 51]의 3열의 수식을 의미하고, (51d)는 [수학식 51]의 4열의 수식을 의미한다. 즉, 51은 수식의 번호이고, 알파벳은 a, b, c, d 등의 순서로 해당하는 숫자인 1, 2, 3, 4 등의 열을 의미한다.

[0447] [수학식 51]에서 로그 함수와 위상에 독립적인 항을 제거한 후에, 최적해는 [수학식 54]로 표현될 수 있다. $(\mathbf{a}, \mathcal{T})$ 각각에 대해 최적의 해 $\boldsymbol{\vartheta}^\dagger(\mathbf{a}, \tau)$ 를 얻는다. $\boldsymbol{\vartheta} = \boldsymbol{\vartheta}^\dagger(\mathbf{a}, \tau)$ 를 [수학식 51]에 대입하면, $\mathcal{T}$ 가 주어졌을 때 공유 진폭 $\mathbf{a}$ 의 최적화 문제가 발생한다.

[0449] [수학식 55]

$$\begin{aligned} \max_{\mathbf{a}} \quad & \tilde{\Gamma}(\boldsymbol{\vartheta}^\dagger(\mathbf{a}, \tau), \mathbf{a}) \\ \text{s.t.} \quad & (51\text{b}), (51\text{e}), \mathfrak{C}(\boldsymbol{\vartheta}_0^\dagger(\mathbf{a}, \tau), \mathbf{a}, \tau) \leq 1 \end{aligned}$$

[0450]

[0452] [수학식 55]를 푸는 것으로서 $\mathcal{T}$ 에 대한 최적 해 $\mathbf{a}^\dagger(\tau)$ 가 생성될 수 있고, 일실시예에 따른 최적화 처리부 (140)는 [수학식 56]과 같이 $\mathcal{T}$ 를 최적화한다.

[0454] [수학식 56]

$$\begin{aligned} \max_{\tau} \quad & R_{\text{sum}}^\dagger(\tau) \left\{ \triangleq R(\tau; \tilde{\Gamma}(\boldsymbol{\vartheta}^\dagger(\mathbf{a}^\dagger(\tau), \tau), \mathbf{a}^\dagger(\tau))) \right\} \\ \text{s.t.} \quad & (51\text{f}), \mathfrak{C}(\boldsymbol{\vartheta}_0^\dagger(\mathbf{a}^\dagger(\tau), \tau), \mathbf{a}^\dagger(\tau), \tau) \leq 1. \end{aligned}$$

[0455]

[0457] [수학식 56]의 해 $\tau^\dagger$ 는 최종적으로 [수학식 51]의 최적해로 이어지며, 이는 $(\boldsymbol{\vartheta}^\dagger(\mathbf{a}^\dagger(\tau^\dagger), \tau^\dagger), \mathbf{a}^\dagger(\tau^\dagger), \tau^\dagger)$ 로 표현될 수 있다. 이 접근 방식은 일반적으로 높은 복잡성을 유발시키며, 조건부 최적 해를 명시적으로 얻기 어렵기 때문에 각 조건에 대해 솔루션을 찾아야 한다.

[0458] 예를 들어, [수학식 51]에서는 제약 조건 때문에 $(\boldsymbol{\vartheta}, \mathbf{a}, \tau)$ 와 엉키게 되어 각 $(\mathbf{a}, \tau)$ 에 대해 $\boldsymbol{\vartheta}^\dagger(\mathbf{a}, \tau)$ 를 얻어야 한다.

[0459] 본 발명에서는, [수학식 51]의 제약 조건의 [수학식 53]에서, $\mathfrak{C}(\boldsymbol{\vartheta}_0, \mathbf{a}, \tau)$ 가 $\boldsymbol{\vartheta}_1$ 에 독립적이며, $\boldsymbol{\vartheta}_0$ 보다 $\mathbf{a}$ 와 $\mathcal{T}$ 에 의해 더 지배된다고 결론낼 수 있다.

[0460] 또한, 어떤 실행 가능한 $\boldsymbol{\vartheta}_0 \in \mathbb{C}^N$ 에 대해서도, [수학식 51]은 $(\mathbf{a}, \mathcal{T})$ 를 조절하여 강제로 만족시켜져야 한다.

[0461] 이는 [수학식 53]에서 주어진 $\mathfrak{C}(\boldsymbol{\vartheta}_0, \mathbf{a}, \tau)$ 는 $(\mathbf{a}, \mathcal{T})$ 를 $0 \leq \tau \leq 1$ 및 $0 \leq a_m \leq a_{\max} (m \in \{0, 1\})$ 에 대해 $0 \leq q(\tau) \leq \infty$ 로 변경함에 따라 0에서 무한대까지 변하기 때문이다.

[0462] 따라서 일실시예에 따른 최적화 처리부(140)는 [수학식 51]을 무시하고 $(\mathbf{a}, \mathcal{T})$ 에 의해 만족되도록 남겨두면서 $\boldsymbol{\vartheta}$ 를 최적화할 수 있다.

[0464] 제약 조건 [수학식 51]를 무시한 상태에서의 IRS 위상 변화에 대한 최적화 문제 [수학식 54]는 다음과 같이 정의된다.

[0466] [수학식 57]

$$\max_{\boldsymbol{\vartheta}} \Lambda(\boldsymbol{\vartheta})$$

[0467] s.t. $|\vartheta_{mn}| = 1, m \in \{0, 1\}, n \in \mathcal{N},$

[0469] [수학식 57]은 $(\mathbf{a}, \mathcal{T})$ 에 의존하지 않고, 단위 모듈러스 제약 조건 [수학식 57] 때문에 문제는 여전히 비볼록적이다. 이에, 본 발명에서는 [수학식 58], [수학식 59]와 같이, 간단한 해를 얻기 위해 목적 함수의 하한을 최대화한다.

[0471] [수학식 58]

$$\max_{\boldsymbol{\vartheta}} \Lambda(\boldsymbol{\vartheta}) \geq \max_{\boldsymbol{\vartheta}} \max_{1 \leq k \leq K} \zeta_k(\boldsymbol{\vartheta}_0) |\mathbf{h}_k^T \boldsymbol{\vartheta}_1|^2$$

[0474] [수학식 59]

$$= \max_{1 \leq k \leq K} \max_{\boldsymbol{\vartheta}} \zeta_k(\boldsymbol{\vartheta}_0) |\mathbf{h}_k^T \boldsymbol{\vartheta}_1|^2$$

[0477] [수학식 59]는 [수학식 57]에 따라 [수학식 60]과 같이 최적화될 수 있다.

[0479] [수학식 60]

$$\boldsymbol{\vartheta}_m^s = \exp(-j\angle \mathbf{h}_{k^s}), m = \{0, 1\}$$

[0482] 또한, [수학식 60]에서 k^s 는 [수학식 61]과 같이 산출될 수 있다.

[0484] [수학식 61]

$$k^s = \arg \max_{1 \leq k \leq K} \zeta_k(\exp(-j\angle \mathbf{h}_k)) \|\mathbf{h}_k\|_1^2,$$

[0487] 이는 [수학식 54]의 하위 최적해로, 최종적으로 무선전력전송(WPT) 및 무선정보전송(WIT)을 결합한 엔드-투-엔드 링크에서 최상의 품질을 가진 장치의 채널 상태에 지능반사표면의 위상 변화를 매칭시킬 수 있다.

[0488] 이 위상 변화의 최적화 방법은 선형 EH와 비선형 EH에 대해 $\zeta_k(\boldsymbol{\vartheta}_0)$ 의 계산을 제외하고는 동일하다.

[0489] 능동 지능반사표면에서 공유 진폭을 최적화하기 위해, 본 발명에서는 하위 최적의 지능반사표면의 위상 변화 솔

루션 $\boldsymbol{\vartheta}^s$ 가 주어진 경우, 본 발명에서는 $m \in \{0, 1\}$ 에 대해 $x_m = a_m^2$ 으로 [수학식 55]를 다시 정의한다.

[0491] [수학식 62]

$$\begin{aligned} \max_{x_0, x_1} \quad & \frac{x_0 x_1}{x_1 G + 1} \tilde{\Lambda}_s \\ \text{s.t.} \quad & x_1 (Q_s q(\tau) x_0 + \varsigma) \leq 1, \end{aligned}$$

$$0 \leq x_m \leq x_{m, \max}, \quad m \in \{0, 1\},$$

[0494] [수학식 62]에서는

$$\tilde{\Lambda}_s = \frac{1}{\sigma_h^2} \Lambda(\boldsymbol{\vartheta}^s), \quad Q_s = \frac{1}{P_a} \sum_{k=1}^K \zeta_k(\boldsymbol{\vartheta}_0^s) \|\mathbf{f}_k\|_2^2,$$

$$G = \|\mathbf{g}\|_2^2 \frac{\sigma_a^2}{\sigma_h^2}, \quad \varsigma = \frac{N \sigma_a^2}{P_a}, \quad x_{1, \max} = a_{\max}^2, \quad x_{0, \max} = \min \left(\frac{P_a}{P_h \|\mathbf{g}\|_2^2 + N \sigma_a^2}, a_{\max}^2 \right) \text{를}$$

만족한다.

[0497] 또한, 본 발명에서는 $y_1 = \frac{x_1 G + 1}{x_1}$ 를 이용하여 [수학식 62]을 [수학식 63]으로 가공할 수 있다.

[0499] [수학식 63]

$$\begin{aligned} \max_{x_0, y_1} \quad & \frac{x_0}{y_1} \tilde{\Lambda}_s \\ \text{s.t.} \quad & Q_s x_0 q(\tau) + \varsigma \leq y_1 - G, \\ & 0 \leq x_0 \leq x_{0, \max}, \\ & y_1 \geq G + \frac{1}{x_{1, \max}}, \end{aligned}$$

[0502] [수학식 63]은 제약 조건으로 형성된 (x_0, y_1) 의 폴리헤드론에서 $x_0 \Lambda_s = t y_1$ 의 기울기 t 를 최대화 하는 문제와 동등하다. 최적값은 제약 조건에 의해 형성된 폴리헤드론의 꼭지점에서 얻어질 수 있으며, 이 꼭지 점은 $x_0^\dagger = x_{0, \max}$ 이며, $y_1^\dagger$ 에 대해서는 [수학식 64]와 같이 산출될 수 있다.

[0504] [수학식 64]

$$y_1^\dagger = G + \max \left\{ Q_s x_{0,\max} q(\tau) + \varsigma, \frac{1}{x_{1,\max}} \right\}$$

[0507] 따라서, [수학식 62]에 대한 최적의 솔루션은 [수학식 65] 및 [수학식 66]과 같이 산출될 수 있다.

[0509] [수학식 65]

$$x_0^\dagger = x_{0,\max} = \min \left(\frac{P_a}{P_h \|\mathbf{g}\|_2^2 + N\sigma_a^2}, a_{\max}^2 \right)$$

[0512] [수학식 66]

$$x_1^\dagger(\tau) = \frac{1}{y_1^\dagger - G} = \min \left\{ \frac{1}{Q_s x_{0,\max} q(\tau) + \varsigma}, a_{\max}^2 \right\}$$

[0515] 따라서, $\mathcal{T}$ 에 대한 함수의 최적 값은 [수학식 67]로 산출될 수 있다.

[0517] [수학식 67]

$$\Gamma^\dagger(\tau) = \frac{x_0^\dagger x_1^\dagger(\tau)}{x_1^\dagger(\tau)G + 1} \tilde{\Lambda}_s = \frac{\Gamma_N}{\Gamma_D + \max(q(\tau), q_T)}$$

[0520] [수학식 67]에서 Γ_N 는 $\Gamma_N = \tilde{\Lambda}_s / Q_s$, $\Gamma_D = \frac{G+\varsigma}{x_{0,\max} Q_s}$ 와 같고, q_T 는 [수학식 68]로 산출될 수 있다.

[0522] [수학식 68]

$$q_T = \frac{1 - \varsigma a_{\max}^2}{x_{0,\max} Q_s a_{\max}^2} = \frac{P_a - N\sigma_a^2 a_{\max}^2}{x_{0,\max} a_{\max}^2 P_a Q_s}$$

[0525] 일실시에에 따른 최적화 처리부(140)는 $a_0^\dagger = \sqrt{x_0^\dagger}$ 와 $a_1^\dagger(\tau) = \sqrt{x_1^\dagger(\tau)}$ 를 통해 $\mathbf{a}^\dagger(\tau)$ 를 얻을 수 있다.

[0527] 다음으로, 일실시에에 따른 최적화 처리부(140)는 시간 할당 TA 문제에 대해, 해 $\mathbf{\vartheta}^s$ 및 $\mathbf{a}^\dagger(\tau)$ 를 얻

$\mathbf{x}^\dagger(\tau)$)로 다시 작성하여 [수학식 69]로 표현할 수 있다.

[0529] [수학식 69]

$$\begin{aligned} \max_{\tau \in [0,1]} \quad & R_{\text{sum}}^\dagger(\tau) \ (\triangleq R(\tau; \Gamma^\dagger(\tau))) \\ \text{s.t.} \quad & x_1^\dagger(\tau)(Q_s x_{0,\max} q(\tau) + \varsigma) \leq 1 \end{aligned}$$

[0530]

[0533] 또한, 목적 함수는 [수학식 70]과 같이 다시 작성할 수 있다.

[0535] [수학식 70]

$$R_{\text{sum}}^\dagger(\tau) = \begin{cases} R_-^\dagger(\tau), & \text{if } q_T \leq 0 \\ \min \left\{ R_-^\dagger(\tau), R \left(\tau; \frac{\Gamma_N}{\Gamma_D + q_T} \right) \right\}, & \text{if } q_T > 0 \end{cases}$$

[0536]

[0538] [수학식 70]에서 $R_-^\dagger(\tau)$ 은 [수학식 71]을 통해 산출될 수 있다.

[0540] [수학식 71]

$$R_-^\dagger(\tau) = \tau \log_2 \left(1 + \frac{\Gamma_N q(\tau)}{\Gamma_D + q(\tau)} \right)$$

[0541]

[0543] 제약 조건 [수학식 69]는 항상 $\min(1, a_{\max}^2(Q_s x_{0,\max} q(\tau) + \varsigma)) \leq 1$ 로 다시 쓰여져 항상 만족되므로, [수학식 69]은 [수학식 72]로 표현될 수 있다.

[0545] [수학식 72]

$$\max_{\tau \in [0,1]} R_{\text{sum}}^\dagger(\tau)$$

[0546]

[0548] $R_{\text{sum}}^\dagger(\tau)$ 는 $\hat{0} \in [0, 1]$ 에서 오목한 함수이다

[0549] 본 발명에서는 먼저 $R_-^\dagger(\tau)$ 를 $R_-^\dagger(\tau) = \log_2(n(\tau)/d(\tau))$ 로 다시 쓰고

$$n(\tau) = \Gamma_D \tau + (\Gamma_N + 1)(1 - \tau) \quad \text{및} \quad d(\tau) = \Gamma_D \tau + 1 - \tau \quad \text{로 유도하}$$

여 두 번째 도함수를 계산함으로써 $R_{-}^{\dagger}(\tau)$ 가 오목함을 증명할 수 있다.

[0550] 두 번째 도함수는 [수학식 73]과 같다.

[0552] [수학식 73]

$$\frac{d^2 R_{-}^{\dagger}}{d\tau^2} = - \frac{\Gamma_N \Gamma_D [(\Gamma_N + 2)\Gamma_D \tau + 2(\Gamma_N + 1)(1 - \tau)]}{d^2(\tau)n^2(\tau) \ln 2}$$

[0555] $\tau \in [0, 1]$ 의 조건 하에서, $\frac{d^2 R_{-}^{\dagger}}{d\tau^2} \leq 0$ 이므로, $R_{-}^{\dagger}(\tau)$ 는 $\tau \in [0, 1]$ 의 조건 하에서 오목하다.

[0556] 따라서, $R_{\text{sum}}^{\dagger}(\tau)$ 는 $q_T \leq 0$ 의 조건에 따라 오목하다.

[0557] 결국, [수학식 72]의 시간 할당 TA 솔루션 $\tau^{\dagger}$ 는 블록 최적화 솔버 또는 이분법 검색 방법을 사용하여 얻을 수 있다.

[0558] 결국, 일실시예에 따른 최적화 처리부(140)는 공유 진폭 제어에 대한 OS 최적화가 가능하다.

[0559] 무선전력전송(WPT) 및 무선정보전송(WIT)에서의 IRS 위상 이동은 [수학식 60]에 따라 계산된 $\vartheta^{\dagger} = \vartheta^s$ 로 얻어질 수 있다.

[0560] 최적화 처리부(140)는 시간 할당 TA에 대해 $\Gamma^{\dagger}(\tau)$ 를 이용하여 [수학식 72]를 풀어 획득할 수 있다.

[0561] 또한, 일실시예에 따른 최적화 처리부(140)는 지능반사표면에 대한 진폭을 [수학식 70a], [수학식 70b]와 같이 닫힌 형태로 산출할 수 있다.

[0563] [수학식 70a]

$$a_0^{\dagger} = \min \left(\sqrt{\frac{P_a}{P_h \|\mathbf{g}\|_2^2 + N\sigma_a^2}}, a_{\max} \right)$$

[0565] [수학식 70b]

$$a_1^{\dagger} = \min \left(\sqrt{\frac{P_a}{q(\tau^{\dagger})(a_0^{\dagger})^2 P_a Q_s + N\sigma_a^2}}, a_{\max} \right)$$

[0568] 이하에서는, 시뮬레이션을 통해 본 발명에 따른 시스템의 효율을 나타낸다.

[0569] 도 2a는 K=4, N=32 및 $a_{\max}^2=40\text{dB}$ 일 때, 선형 EH에 있어서 제안된 AO 알고리즘에 대한 처리량을 도시하는 도면이다.

- [0570] 도 2b는 $K=4$, $N=32$ 및 $a_{\max}^2=40\text{dB}$ 일 때, 비선형 EH에 있어서 제안된 AO 알고리즘에 대한 처리량을 도시하는 도면이다.
- [0571] 모든 노드가 미터(m) 단위로 주어진(x, y, z) 좌표에 위치할 때, NOMA를 사용한 능동 지능반사표면 지원 WPCN의 성능이 평가된다. HAP는(0, 0, 0) m에 위치하고 능동 지능반사표면은 천장에 배치되어(Da, 0, 2.5) m에 위치한다. 여기서 Da는 20이다. 장치는(19, -1, 0) m, (21, -1, 0) m, (19, 1, 0) m 및 (21, 1, 0) m의 네 꼭지점으로 형성된 정사각형 영역에 무작위로 배치된다. HAP의 송신 전력과 잡음 수준은 각각 $P_h = 1\text{ W}$ 및 $\sigma_{2h} = -110\text{ dBm}$ 로 설정되어 있으며, 능동 지능반사표면의 경우 $P_a = 10\text{ mW}$ 및 $\sigma_{2a} = -70\text{ dBm}$ 으로 설정되어 있다.
- [0572] 선형 EH 매개변수는 $\eta_k = 0.8$ 로 설정되어 있으며, 비선형 EH 매개변수는 $\eta_{k,a} = 2.463$, $\eta_{k,b} = 1.635$ 및 $\eta_{k,c} = 0.826$ 으로 설정되어 있다.
- [0573] 채널은 Rician 팩터인 $\kappa_g = \kappa_{f,k} = 4$ 와 경로 손실을 위한 $\omega_g = 10^{-3}d_g^{-2.87}$ 및 $\omega_{f,k} = 10^{-3}d_{f,k}^{-2.2}$ 로 생성된다. 여기서 d_g 는 HAP와 IRS 간의 거리를 나타내며, $d_{f,k}$ 는 IRS와 장치 k 간의 거리를 나타낸다(K에 대해).
- [0574] AO 알고리즘은 제안된 AO의 경우 $I_{AO} = 20$ 으로 구현되었으며, $I_{\theta_1} = 5$ 및 SDR 기반 AO의 경우 $N_c = 100$ 으로 설정되었다. 상대 오차 허용치를 $10^{(-4)}$ 로 설정하여 반복 알고리즘에 대해 1000개의 채널 샘플로 평균 처리량이 평가되었다.
- [0575] 최적화된 성능을 제공하기 전에 $N = 32$, $K = 4$ 및 $a_{\max}^2 = 40\text{ dB}$ 인 경우 제안된 AO 알고리즘의 수렴 특성을 조사했다.
- [0576] 선형 EH 모델에 대한 처리량은 도 2(a)에 나타나 있으며, 비선형 EH 모델에 대한 처리량은 도 2(b)에 나타나 있다. 초기 지점은 제안된 OS 솔루션에 의해 주어졌다.
- [0577] 점선은 각각의 네 개의 채널 샘플에 대한 처리량을 나타내며, AO 반복에 도달하기 전에 오차 허용 조건을 충족시키면 반복이 종료된다.
- [0578] 실선은 초기 종료 없이 모든 반복에 대해 표시된 평균 처리량을 나타낸다. 결과에서 WPT IRS 최적화, WIT IRS 최적화 및 TA가 반복적으로 수행됨에 따라 처리량이 향상되는 것을 볼 수 있다.
- [0579] 또한, 선형 EH 모델 대신 비선형 EH 모델을 사용할 경우 동일한 채널 샘플에 대한 처리량과 평균 처리량이 감소한다.
- [0580] 다양한 최적화 방법을 사용한 평균 처리량은 $K = 4$ 및 $a_{\max}^2 = 40\text{ dB}$ 일 때 N의 IRS 요소 수가 증가함에 따라 제시되었다.
- [0581] Prop-AO 및 Prop-OS는 각각 선형 및 비선형 EH 모델에 대해 제안된 AO 및 OS 알고리즘을 나타낸다. SDR-AO는 WPT [40] 및 Uplink NOMA [43]에 대해 제안된 SDR 기반 IRS 빔포밍 방법을 나타낸다.
- [0582] Prop-AO의 경우 Prop-AO(Rand)로 표시된 무작위 초기화 및 Prop-AO(Prop-OS)로 표시된 제안된 OS 솔루션을 사용한 초기화를 비교한다. Prop-AO는 초기 지점으로 무작위 지점 대신 OS 솔루션을 사용함으로써 약간의 이득을 얻으며, N이 증가함에 따라 그 이득이 더 커진다.
- [0583] 최고의 성능은 선형 및 비선형 EH 양쪽에 대해 Prop-AO(Prop-OS)로 얻어지며, 선형 EH에 대한 SDR-AO도 동일한 결과를 얻는다.
- [0584] 공유 진폭 제어를 사용한 Prop-OS는 개별 진폭 제어에 대한 AO 알고리즘에 비해 약간의 손실, 약 0.5 bps/Hz 정도를 나타낸다. 한편, 선형 대신 비선형 EH 모델을 사용할 경우 약 0.5 bps/Hz 정도의 손실이 발생한다.
- [0585] 도 3은 $K=4$ 이고 $a_{\max}^2=40\text{ dB}$ 일 때 지능반사표면의 각 소자(elements)들의 수인 N가 증가함에 따른 평균 처리량(Average throughput)을 도시하는 도면이고, 도 4는 $N=64$ 이고 $a_{\max}^2=20, 40\text{ dB}$ 일 때 사용자 단말기의 수 K가 증

가함에 따른 평균 처리량(Average throughput)을 도시하는 도면이다.

[0586] 장치 수가 증가함에 따라 선형 및 비선형 EH 모델 모두에서 평균 처리량이 증가한다. Prop-A0의 초기화에 대해서는 작은 K 에 대해 무작위 초기화 대신 OS 솔루션이 선호된다. 도 3에서 보는 바와 같이, 선형 EH에 대해 Prop-A0(Prop-OS)는 선형 EH에 대한 SDR-A0와 거의 동일한 성능을 나타내며, 비선형 EH에 대한 손실은 K 와 $a_{\max}^2$ 와 상관없이 약 0.5 bps/Hz 정도이다.

[0587] Prop-OS의 Prop-A0에 대한 손실은 K 가 증가하고 $a_{\max}^2$ 가 증가함에 따라 약간 증가하며, 이는 Prop-OS가 작은 K 및 $a_{\max}^2$ 에 대해 더 경쟁력이 있다는 것을 나타낸다.

[0588] 지능반사표면의 각 요소별 증폭 전력 제한 $a_{\max}^2$ 는 성능에 뚜렷한 영향을 미치며, $a_{\max}^2$ 가 20 dB에서 40 dB로 증가함에 따라 3 bps/Hz의 큰 이득이 나타난다.

[0589] 비교를 위해, [표 1]에서는 제안된 알고리즘의 평균 계산 복잡성을 위해 평균 채널 샘플당 계산 시간을 제시한다.

[0591] [표 1]

Methods	EH	(N, K)					
		(32, 4)	(32, 8)	(64, 4)	(64, 8)	(128, 4)	(128, 8)
SDR-A0	LEH	2.14 s	2.45 s	28.8 s	36.2s	591 s	709 s
Prop-A0	LEH	1.51 s	1.63 s	1.55 s	1.68 s	1.59 s	1.72 s
	NLEH	1.56 s	1.73 s	1.60 s	1.78 s	1.63 s	1.81 s
Prop-OS	LEH	0.27 ms	0.36 ms	0.34 ms	0.41 ms	0.43 ms	0.48 ms
	NLEH	0.36 ms	0.51 ms	0.40 ms	0.54 ms	0.45 ms	0.56 ms

[0592]

[0594] [표 1]의 계산 시간은 MATLAB을 사용하여 평가되었다.

[0595] 간결성을 위해 Prop-A0는 Prop-A0(Prop-OS)를 나타내며, LEH 및 NLEH는 각각 선형 및 비선형 EH 모델을 나타낸다.

[0596] [표 1]에서 보는 바와 같이, N 이 증가함에 따라 선형 및 비선형 EH 모델 양쪽에 대해 SDR-A0의 계산 시간이 급격히 증가하는 반면, 선형 및 비선형 EH 모델에 대한 Prop-A0의 계산 시간은 매우 느리게 증가한다. 계산 시간은 K 가 증가함에 따라 약간 증가한다.

[0597] 즉, 공유 진폭 제어를 사용한 Prop-OS는 개별 진폭 제어에 대한 Prop-A0의 계산 시간을 1000 배 이상으로 크게 감소시킨다. 다음에서는 계산상 효율적인 제안된 알고리즘을 사용하여 다양한 구성에서 시스템 성능을 조사한다.

[0598] 도 5는 $K=4$, $N=64$ 및 $a_{\max}^2=20$, 40 dB 일 때 능동 지능반사표면의 위치 D_a 가 변할 때 평균 처리량(Average throughput)을 도시하는 도면이다.

[0599] 도 5는 $N = 64$, $K = 4$ 및 $a_{\max}^2 = 20$, 40 dB 일 때 IRS의 D_a 가 변할 때 평균 처리량을 비교한다.

[0600] 선형 EH에서 최적화된 수동 IRS 대응의 성능도 포함되어 있다. 비선형 EH 모델 대비 선형 EH 모델의 손실은 다양한 IRS 위치에 대해 0.5 bps/Hz 미만이다. 능동 지능반사표면의 지역이 장치에 가까워짐에 따라 성능이 향상되며, $a_{\max}^2$ 를 증가시킴으로써 이득이 더 커질 수 있다.

[0601] 이에 비해 수동 지능반사표면 대응의 성능은 지능반사표면이 기지국인 HAP에 가장 가까울 때 가장 좋지만, 능동

지능반사표면의 경우 장치에 더 가까워질수록 이득이 크게 증가한다.

- [0602] 단방향 통신의 경우 약한 입력 신호를 증폭함으로써 더 큰 이득을 얻기 위해 능동 지능반사표면은 수신기에 더 가까이 배치되어야 하지만, 수동 IRS는 곱셈 페이딩 효과를 최소화하기 위해 송신기 또는 수신기 어느 쪽이든 가까이 배치될 수 있음이 관찰되었다.
- [0603] WPCN의 경우, 다운링크 및 업링크의 연속된 채널에 의해 최종 성능이 결정되기 때문에 장치에 가까이 배치된 능동 지능반사표면이 더 유리하다.
- [0604] 무선전력전송(WPT)에서 HAP의 송신 전력이 무선정보전송(WIT)에서 수집한 에너지를 사용하는 장치보다 강력하기 때문이다.
- [0605] 그러나 수동 지능반사표면은 $D_a = 0$ 및 $D_a = 20$ 에서 두 개의 정적 지점을 제공하며, 이 중 $D_a = 0$ 에서의 더 큰 값은 HAP-IRS 링크에서의 패스 손실이 HAP-장치 링크보다 높기 때문이다. 도 5는 적절히 배치된 능동 지능반사표면이 수동 지능반사표면과 비교했을 때 평균 처리량을 상당히 향상시킨다는 것을 나타낸다.
- [0606] 도 6은 $K=4$, $N=64$, 256 및 $\alpha_{\max}^2 = 20$, 4 dB일 때 능동 지능반사표면의 잡음 전력이 증가함에 따른 평균 처리량(Average throughput)을 도시하는 도면이다.
- [0607] $K = 4$, $N = 64$, 256 및 $\alpha_{\max}^2 = 20$, 40 dB 일 때 능동 지능반사표면의 잡음 전력이 평균 처리량에 미치는 영향을 조사한 결과가 도 6에 제시되어 있다. 수동 IRS 대응의 성능도 참조로 포함되어 있으며, 이는 σ_a^2 에 관계없이 동일한 것으로 유지된다.
- [0608] Prop-A0 및 Prop-OS에 대한 유사한 성능 경향이 관찰되지만 Prop-OS가 Prop-A0에 비해 약간의 손실을 보이고 비선형 EH 모델이 선형 EH 모델에 비해 약간의 손실을 보일 수 있다.
- [0609] 능동 지능반사표면 잡음 증폭이 신호 전력을 감소시키기 때문에, $\alpha_{\max}^2 = 40$ dB 및 $\sigma_a^2 \geq -110$ dBm, $\alpha_{\max}^2 = 20$ dB 및 $\sigma_a^2 \geq -90$ dBm에서는 평균 처리량이 감소한다.
- [0610] 이는 OS 솔루션인 [수학식 74]에서 추정할 수 있다. 이는 더 작은 $\alpha_{\max}^2$ 로 설계된 능동 지능반사표면이 구현 비용을 줄일 수 있는 더 큰 σ_a^2 로 구현될 수 있다는 것을 의미한다.
- [0611] 또한, 능동 지능반사표면 잡음 전력의 유해한 영향에도 불구하고, 능동 지능반사표면 지원 시스템이 동일한 수의 지능반사표면의 요소를 가진 수동 지능반사표면 지원 시스템보다 넓은 범위에서 우수한 성능을 보여주는 것을 관찰할 수 있다.
- [0612] 도 7a는 $K=4$ 및 $N=64$ 일 때 능동 지능반사표면의 전력 P_a 가 증가함에 따른 평균 처리량(Average throughput)을 도시하는 도면이다.
- [0613] 도 7b는 $K=4$ 및 $N=64$ 일 때 능동 지능반사표면의 전력 P_a 가 증가함에 따른 평균 에너지 효율(Average energy efficiency)을 도시하는 도면이다.
- [0614] P_a 가 $\alpha_{\max}^2$ 의 여러 값에 대해 조사된 도 7에서 $K = 4$, $N = 64$ 및 $D_a = 20$ 일 때 능동 지능반사표면 전력 P_a 가 성능에 미치는 영향이 제시되어 있다.
- [0615] 참조를 위해 $P_a = 0$ W로 설정된 passive IRS 지원 시스템의 성능도 포함되어 있다.
- [0616] 도 7(a)에서 능동 지능반사표면 지원 시스템의 큰 P_a 에 대한 평균 처리량이 제공되며, 포화가 큰 P_a 에서 발생한다. 포화 후에는 $\alpha_{\max}^2$ 가 증가하면서 Prop-A0와 Prop-OS 간의 성능 차이가 $\alpha_{\max}^2$ 가 포화 이후에도 변하지 않은 상태로 증가한다.
- [0617] 또한, 능동 지능반사표면 지원 시스템이 작은 전력 예산($P_a = 10^{-4}$ W) 및 작은 증폭 전력 제한($\alpha_{\max}^2 = 10$

dB)으로 손상되어 있을 때에도 수동 지능반사표면 대응시스템을 증가하는 것이 관찰된다.

- [0618] 서로 다른 전력 소비를 갖는 네트워크를 비교하기 위 상대적으로 공정한 비교를 제공하려면, 도 7(b)에서 평균 에너지 효율성(EE)을 비교한다. 여기서 EE는 스펙트럼 효율성과 네트워크에 의해 소비된 에너지의 비율로 정의된다.
- [0619] 능동 지능반사표면 지원 WPCN의 EE는 최적화된 τ^* 로 계산되며, 여기서 HAP는 WPT에서 $1-\tau^*$ 의 지속 시간 동안 송신 전력 P_h 을 소비하지만 능동 지능반사표면은 WPT 및 WIT에서 전송 전력 P_a 를 소비한다. 수동 지능반사표면 대응시스템의 EE는
$$EE = \frac{R_{sum}}{P_h(1-\tau^*) + P_a} \text{ bps/Hz/J}$$
에서 $P_a = 0$ W로 설정하여 얻는다.
- [0620] 도 8a는 $K=1$ 이고 LoS 채널에서 $P_a=10$ mW인 경우 N 이 증가함에 따른 처리량(Throughput)을 도시하는 도면이다.
- [0621] 도 8b는 $K=1$ 이고 LoS 채널에서 $P_a=10$ mW인 경우 N 이 증가함에 따른 에너지 효율(Energy efficiency)을 도시하는 도면이다.
- [0622] 이제 선형 EH 및 $a_{max}^2 = \infty$ 에서 수행된 LoS 채널에서의 처리량 분석을 확인한다.(20, 0, 0) m에 위치한 단일 기기의 성능이 능동 또는 수동인 경우,(20, 0, 2.5) m에 위치한 지능반사표면과 $P_a = 10$ mW인 경우 N 이 증가함에 따라 도 8에 표시된다.
- [0623] 각 지능반사표면의 유형에 대해 'simul'은 시뮬레이션 결과를 나타내며 'anal'은 능동 지능반사표면에 대해 얻은 해석 결과를 나타낸다.
- [0624] 능동 지능반사표면은 신호 증폭을 통해 경로 손실의 곱을 줄이므로 작은 수의 지능반사표면 요소에 대해 수동 지능반사표면 보다 높은 처리량과 에너지 효율성을 제공한다. 수동 지능반사표면의 경우 N 에 대한 처리량 스케일링이 능동 지능반사표면에 비해 두 배 크기 때문에 교차점이 관찰되지만 교차점 N_+ 는 시뮬레이션에서 얻은 5470에 가깝고 분석에서 얻은 5481에 가깝다.
- [0625] 도 9a는 $P_a=10$ mW인 경우 LoS 채널에서 $K=16$ 이고 N 이 증가함에 따른 처리량(Throughput)을 도시하는 도면이다.
- [0626] 도 9b는 $P_a=10$ mW인 경우 LoS 채널에서 $N=64$ 및 1024이고, K 가 증가함에 따른 처리량(Throughput)을 도시하는 도면이다.
- [0627] 다수의 장치를 사용한 처리량은 $K = 16$ 으로 설정하여 N 의 함수로 표시된 도 9(a) 및 $N = 64$ 및 1024로 설정하여 K 의 함수로 표시된 도 9(b)에 나와 있다.
- [0628] LB(Lower Bound) 및 UB(Upper Bound)는 $K > 1$ 의 경우 다르며 차이는 N 이 증가함에 따라 유사하지만 K 가 증가함에 따라 증가한다.
- [0629] LB로 얻은 분석 결과는 N 이 크고 K 가 작은 경우 시뮬레이션 결과에 가까워지지만 UB로 얻은 결과는 모든 채널이 동일한 위상 벡터를 갖도록 정렬되었을 때에만 UB가 달성되기 때문에 K 가 증가함에 따라 더 크게 벗어나는 경향이 있다.
- [0630] 따라서 다양한 N 및 K 값에 대해 IRS 지원 WPCN의 성능을 더 정확하게 추정하기 위해 LB가 선호된다. 능동 지능반사표면 및 수동 지능반사표면간의 처리량 교차점 N_+ 는 예상한대로 $K = 1$ 및 16에 대해 유사하다. 이러한 결과에서 합리적인 시스템 매개변수 값으로 능동 지능반사표면이 수동 지능반사표면 보다 더 나은 성능을 발휘할 것으로 확인된다.
- [0631] 결국, 본 발명을 이용하면, 능동 지능반사표면의 증폭 전력 제한과 에너지 하베스팅에 대한 비선형성이 있는 능동 지능반사표면을 활용한 무선충전 비직교 다중접속 시스템의 주파수 효율을 최대로 하기 위한 능동 지능반사표면 소자 제어를 포함한 자원 최적화 방법에 있어, 능동 지능반사표면 소자 진폭을 소자 각각에 대해 제어하는 방법과 공통값으로 제어할 수 있다.
- [0632] 또한, 능동 지능반사표면 소자를 활용하여 적은 수의 지능반사표면 소자로 배터리 없는 디바이스로부터 데이터 수집을 효율적으로 제공할 수 있고, 능동 지능반사표면 소자 진폭을 각 소자에 따라 제어하는 전제 조건 하에 무선전력전송 단계에서의 능동 지능반사표면 빔포밍 최적화를 순차블록근사화 알고리즘으로, 무선정보전송 단계에서의 능동 지능반사표면 빔포밍 기술을 보조변수를 도입한 알고리즘으로, 무선전력전송 단계와 무선정보전송

단계의 시간 할당을 단한 식으로 얻으며, 세 해를 교대 최적화로(alternating optimization: A0) 차례로 업데이트 할 수 있다.

[0633] 뿐만 아니라, 본 발명을 이용하면, 능동 지능반사표면 빔포밍 위상을 단한 식으로 제공하고, 능동 지능반사표면 빔포밍 공통 진폭을 시간 할당의 함수로 단한 식으로 제안하여, 시간 할당만 찾으면 바로 시스템을 최적화하는 반복 없이 한 번에 해를 얻는 one-shot(OS) 최적화 방법을 제공 할 수 있고, 세번째로 첫번째 교대 최적화 알고리즘의 초기값으로 두번째로 제안한 OS 최적화 해를 이용 할 수 있다.

[0635] 이상에서 설명된 장치는 하드웨어 구성요소, 소프트웨어 구성요소, 및/또는 하드웨어 구성요소 및 소프트웨어 구성요소의 조합으로 구현될 수 있다. 예를 들어, 실시예들에서 설명된 장치 및 구성요소는, 예를 들어, 프로세서, 콘트롤러, ALU(arithmetic logic unit), 디지털 신호 프로세서(digital signal processor), 마이크로컴퓨터, FPA(field programmable array), PLU(programmable logic unit), 마이크로프로세서, 또는 명령(instruction)을 실행하고 응답할 수 있는 다른 어떠한 장치와 같이, 하나 이상의 범용 컴퓨터 또는 특수 목적 컴퓨터를 이용하여 구현될 수 있다. 처리 장치는 운영 체제(OS) 및 상기 운영 체제 상에서 수행되는 하나 이상의 소프트웨어 애플리케이션을 수행할 수 있다. 또한, 처리 장치는 소프트웨어의 실행에 응답하여, 데이터를 접근, 저장, 조작, 처리 및 생성할 수도 있다. 이해의 편의를 위하여, 처리 장치는 하나가 사용되는 것으로 설명된 경우도 있지만, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는, 처리 장치가 복수 개의 처리 요소(processing element) 및/또는 복수 유형의 처리 요소를 포함할 수 있음을 알 수 있다. 예를 들어, 처리 장치는 복수 개의 프로세서 또는 하나의 프로세서 및 하나의 콘트롤러를 포함할 수 있다. 또한, 병렬 프로세서(parallel processor)와 같은, 다른 처리 구성(processing configuration)도 가능하다.

[0636] 소프트웨어는 컴퓨터 프로그램(computer program), 코드(code), 명령(instruction), 또는 이들 중 하나 이상의 조합을 포함할 수 있으며, 원하는 대로 동작하도록 처리 장치를 구성하거나 독립적으로 또는 결합적으로(collectively) 처리 장치를 명령할 수 있다. 소프트웨어 및/또는 데이터는, 처리 장치에 의하여 해석되거나 처리 장치에 명령 또는 데이터를 제공하기 위하여, 어떤 유형의 기계, 구성요소(component), 물리적 장치, 가상 장치(virtual equipment), 컴퓨터 저장 매체 또는 장치, 또는 전송되는 신호 파(signal wave)에 영구적으로, 또는 일시적으로 구체화(embody)될 수 있다. 소프트웨어는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템 상에 분산되어서, 분산된 방법으로 저장되거나 실행될 수도 있다. 소프트웨어 및 데이터는 하나 이상의 컴퓨터 판독 가능 기록 매체에 저장될 수 있다.

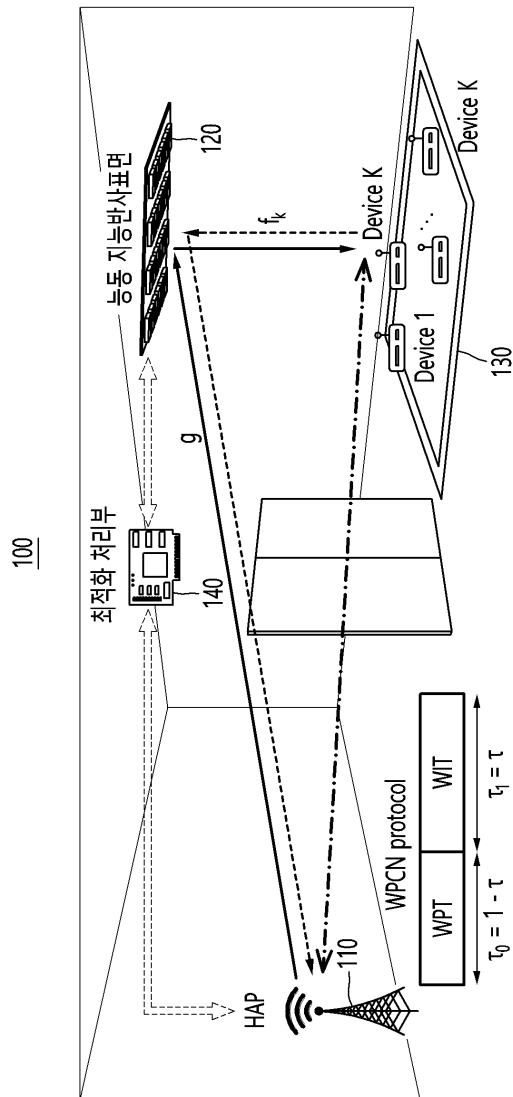
[0637] 실시예에 따른 방법은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 상기 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체에 기록되는 프로그램 명령은 실시예를 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 기록 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(magnetic media), CD-ROM, DVD와 같은 광기록 매체(optical media), 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광 매체(magneto-optical media), 및 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다. 상기된 하드웨어 장치는 실시예의 동작을 수행하기 위해 하나 이상의 소프트웨어 모듈로서 작동하도록 구성될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다.

[0638] 이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 도면에 의해 설명되었으나, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기의 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 시스템, 구조, 장치, 회로 등의 구성요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다.

[0639] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

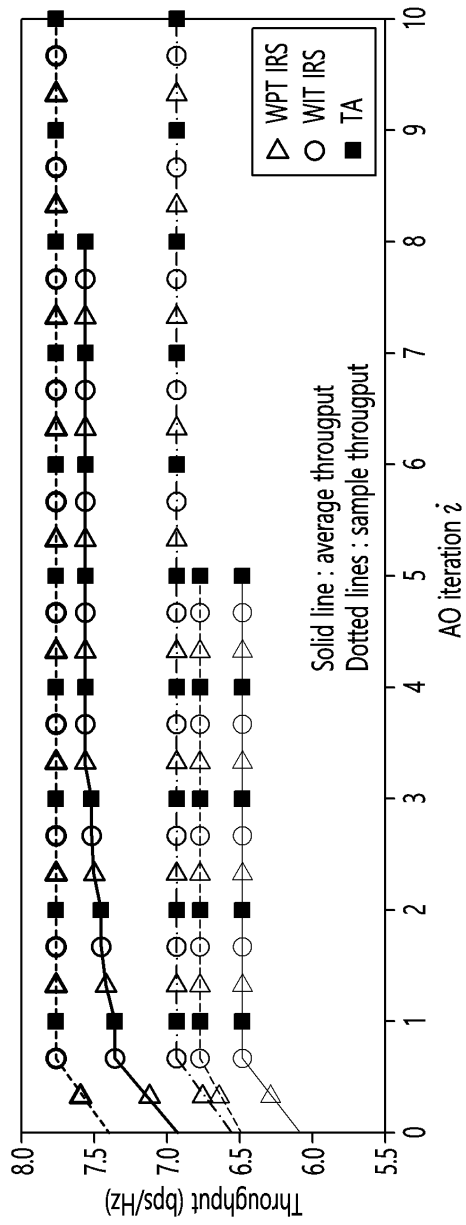
도면

도면1

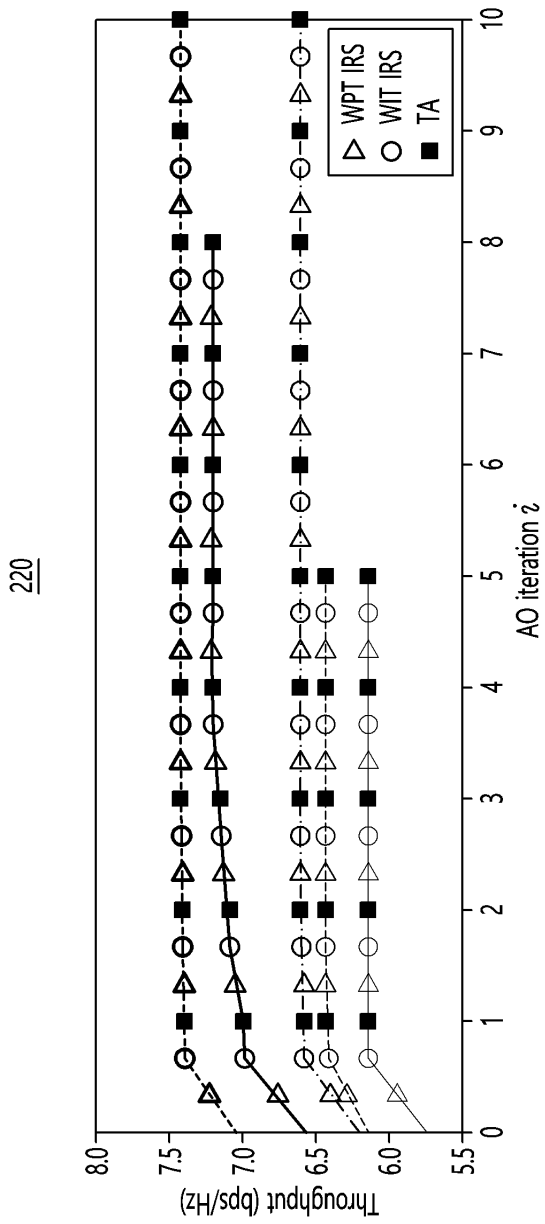


도면2a

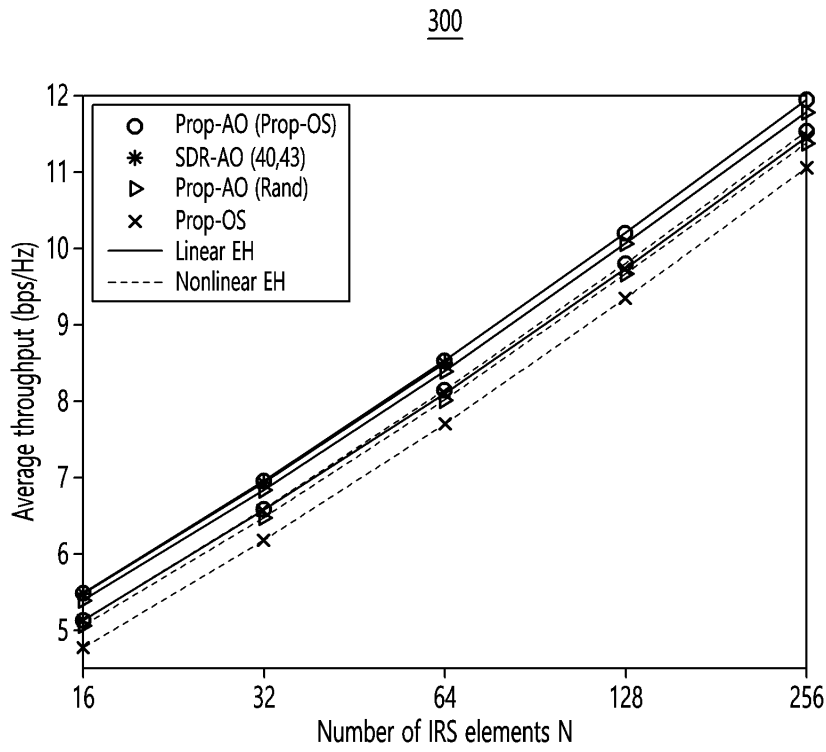
210



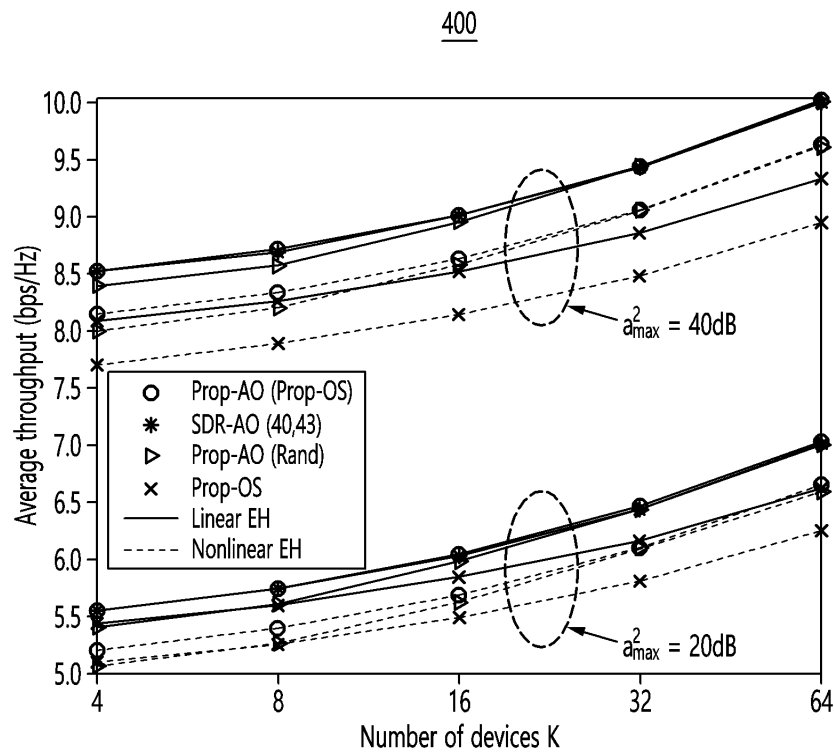
도면2b



도면3

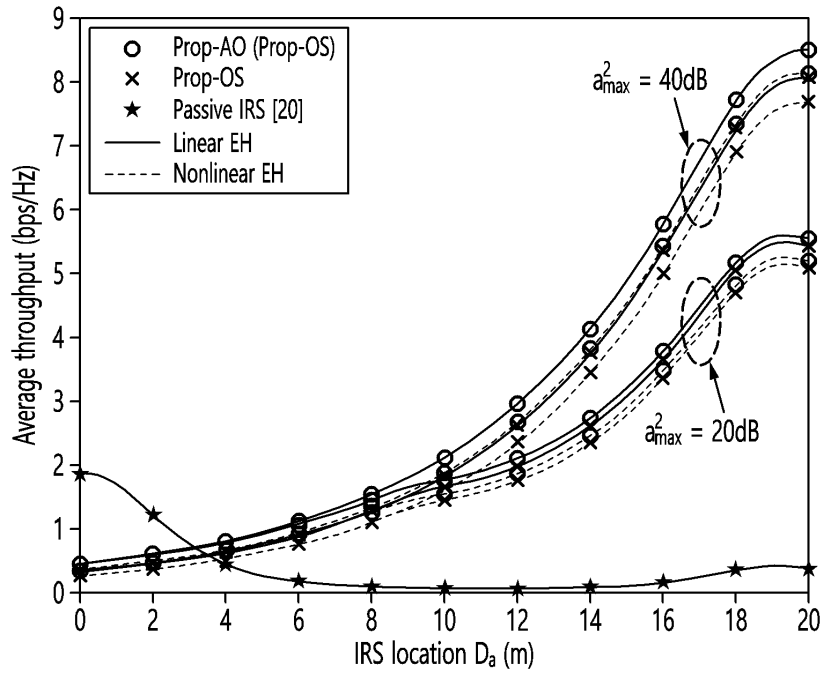


도면4



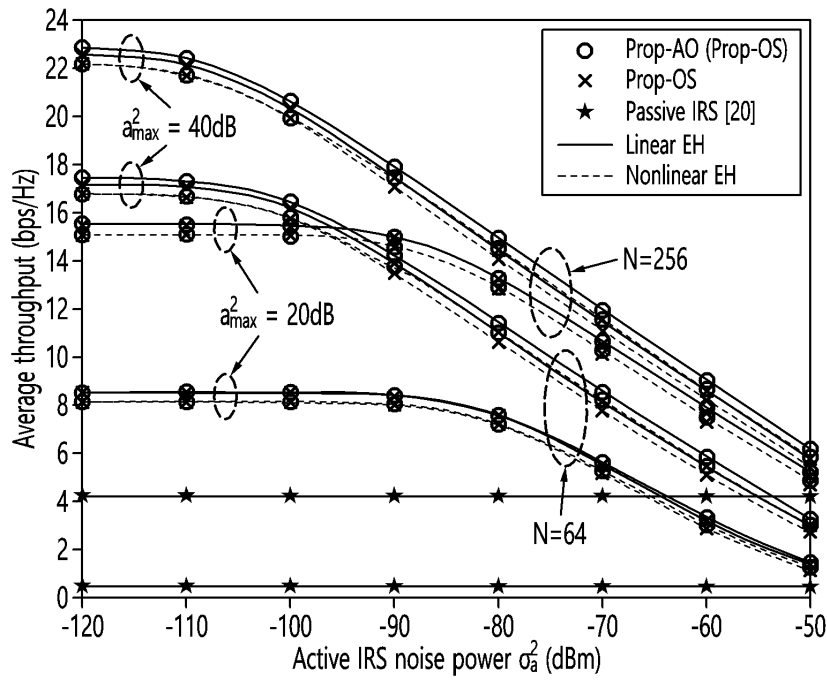
도면5

500



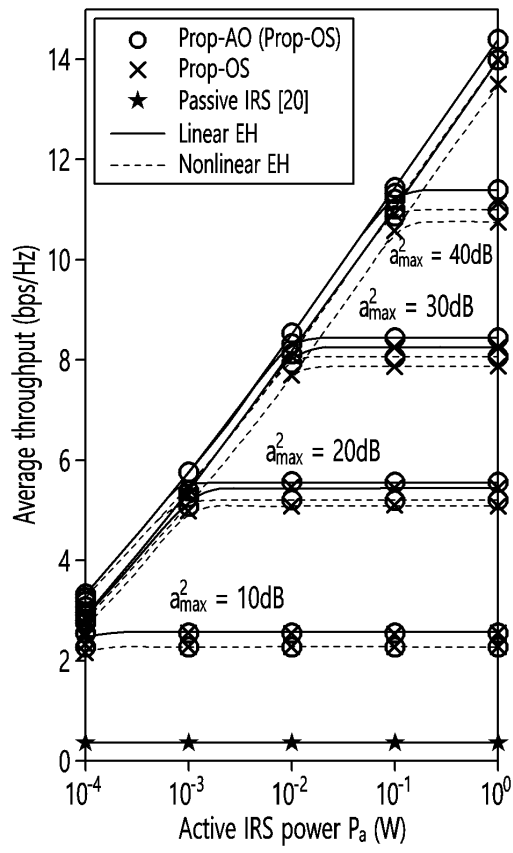
도면6

600

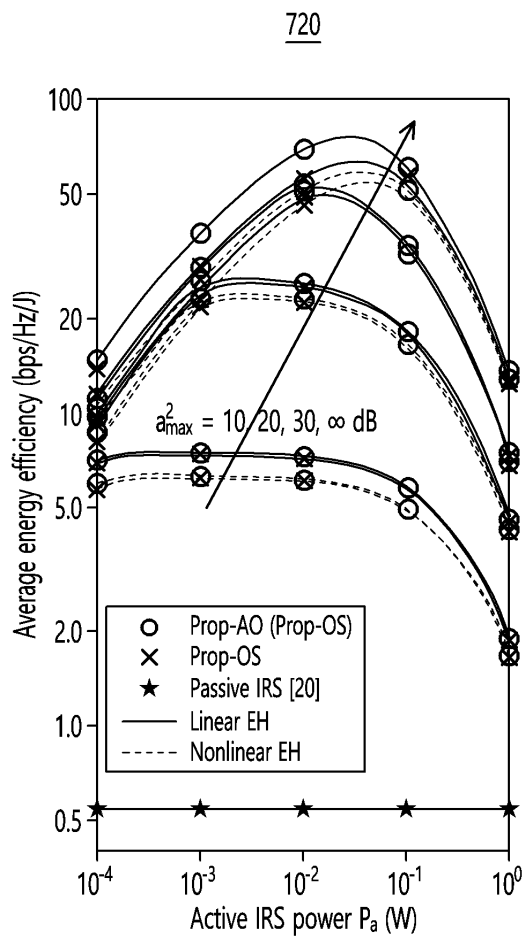


도면7a

710

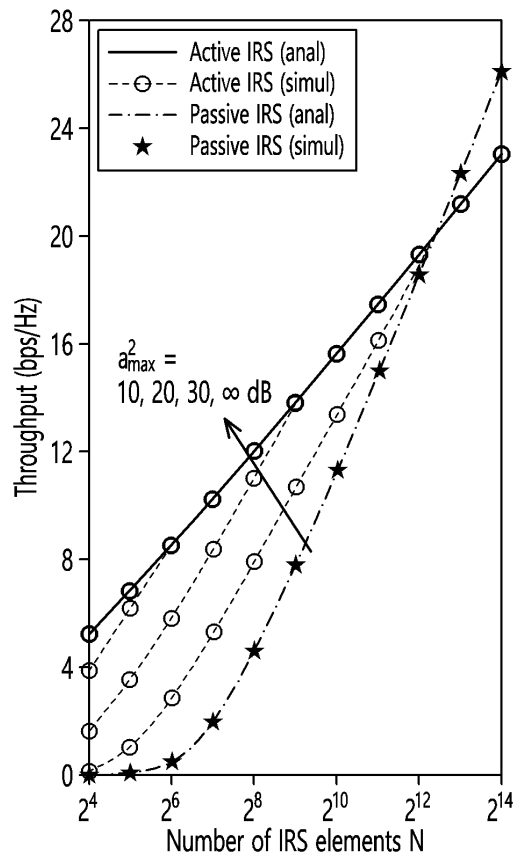


도면 7b



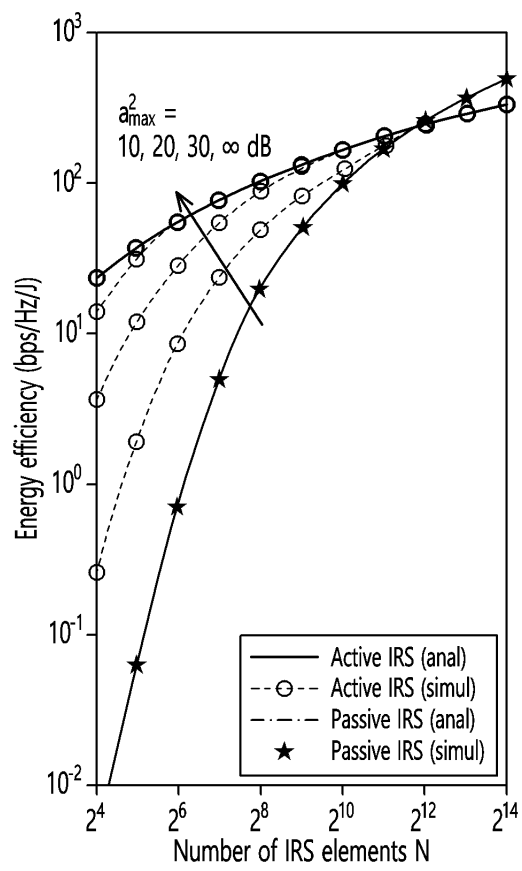
도면 8a

810



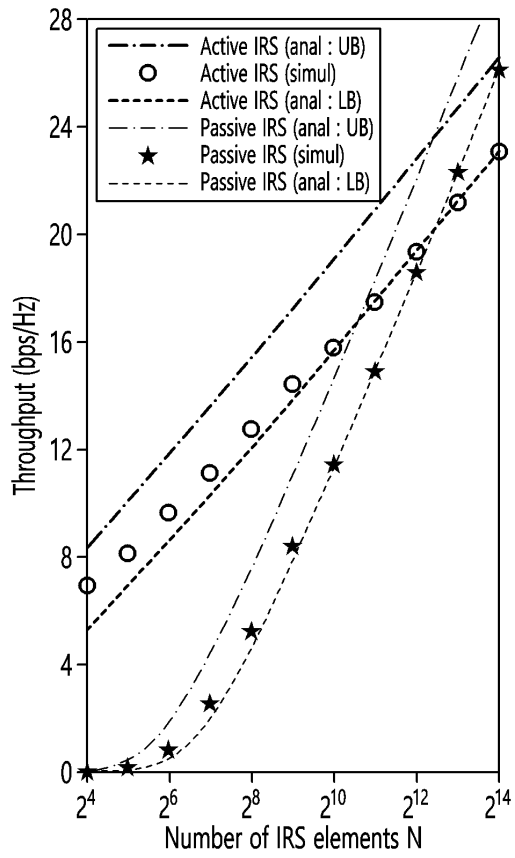
도면 8b

820



도면9a

910



도면9b

920

