

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)(11) 공개번호 10-2022-0115434
(43) 공개일자 2022년08월17일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04B 7/0413 (2017.01) *H02J 50/00* (2021.01)
H02J 50/40 (2016.01) *H04B 1/18* (2018.01)
H04B 7/06 (2017.01) *H04B 7/08* (2017.01)
H04L 1/00 (2006.01) *H04L 25/02* (2006.01)
 (52) CPC특허분류
H04B 7/0413 (2013.01)
H02J 50/001 (2020.01)
 (21) 출원번호 10-2021-0019450
 (22) 출원일자 2021년02월10일
 심사청구일자 2021년02월10일

(71) 출원인
경희대학교 산학협력단
 경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 (서천동, 경희대학교 국제캠퍼스내)
 (72) 발명자
김윤희
 경기도 성남시 분당구 정자로 144 406동 1602 (정자동, 정든마을우성4단지아파트)
제랄도 프란시스코 사카렐로 바스퀘즈
 경기도 수원시 영통구 청명로59번길 7-9, 202호(영통동)
 (74) 대리인
유미특허법인

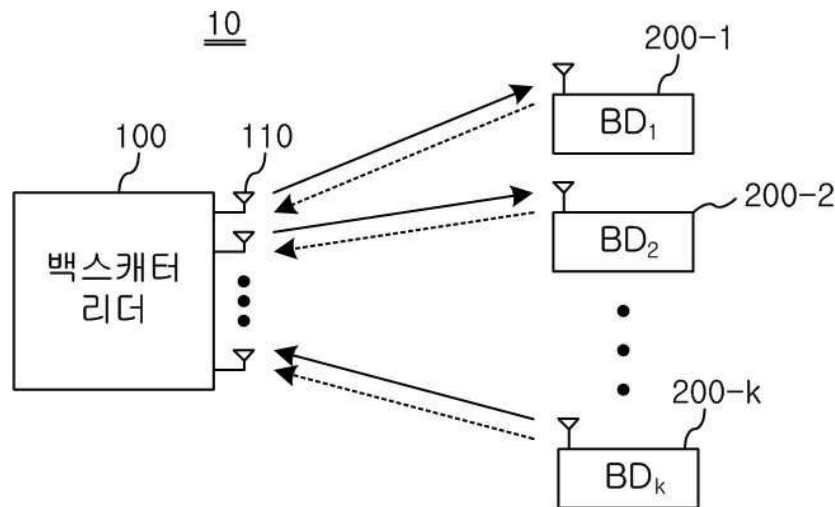
전체 청구항 수 : 총 17 항

(54) 발명의 명칭 **다중 디바이스 무선 충전 백스캐터 통신 시스템 및 그 최적화 방법****(57) 요약**

다중 디바이스 무선 충전 백스캐터 통신 시스템 및 그 최적화 방법이 개시된다.

이 장치는 백스캐터 리더 및 복수의 백스캐터 디바이스를 포함한다. 백스캐터 리더는 무선 충전 백스캐터 통신을 위한 에너지 소스로서 복수의 안테나를 통해 활성화 캐리어 신호를 전송하고, 복수의 안테나를 통해 복수의

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1

백스캐터 디바이스로부터 전송되는 백스캐터 신호에 포함된 심볼을 검출하여 수집한다. 복수의 백스캐터 디바이스는 백스캐터 리더에서 전송되는 활성화 캐리어 신호를 수신하고, 수신된 신호의 전력을 분할한 후 분할된 일부 전력의 신호를 일부 반사를 통해 심볼이 포함된 백스캐터 신호로 변조하여 백스캐터 리더로 전송하고, 분할된 나머지 전력의 신호를 에너지 하베스팅하여 저장한다. 이 장치의 송신 빔포밍, 수신 빔포밍 및 전력 분할 계수는 백스캐터 통신을 통해 검출되는 심볼이 겪는 신호대잡음비가 최대 최소 전송률을 최대로 하도록 최적화를 통해 선택된다.

(52) CPC특허분류

H02J 50/40 (2016.02)
H04B 1/18 (2018.01)
H04B 7/0617 (2013.01)
H04B 7/0697 (2013.01)
H04B 7/086 (2013.01)
H04L 1/0002 (2013.01)
H04L 1/0048 (2013.01)
H04L 25/0278 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1345316822
과제번호	2018R1D1A1B07045515
부처명	교육부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	이공학개인지초연구지원사업
연구과제명	초저전력 IoT 디바이스를 위한 무선에너지전송 매시브다중 접속 연구
기 여 율	1/2
과제수행기관명	경희대학교 산학협력단
연구기간	2018.03.01~2021.05.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711139229
과제번호	2021-0-02046-001
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	정보통신기획평가원
연구사업명	연구지원
연구과제명	6H 차세대 이동통신 기술 개발
기 여 율	1/2
과제수행기관명	경희대학교 산학협력단
연구기간	2021.07.01~2028.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

무선 충전 백스캐터 통신을 위한 에너지 소스로서 복수의 안테나를 통해 활성화 캐리어 신호를 전송하는 백스캐터 리더, 그리고

상기 백스캐터 리더에서 전송되는 활성화 캐리어 신호를 수신하고, 수신된 신호의 전력을 분할한 후 분할된 일부 전력의 신호를 일부 반사를 통해 심볼이 포함된 백스캐터 신호로 변조하여 상기 백스캐터 리더로 전송하고, 분할된 나머지 전력의 신호를 에너지 하베스팅(harvesting)하여 저장하는 복수의 백스캐터 디바이스

를 포함하며,

상기 백스캐터 리더는 상기 복수의 안테나를 통해 상기 복수의 백스캐터 디바이스로부터 전송되는 백스캐터 신호에 포함된 심볼을 검출하여 수집하는,

다중 디바이스 무선 충전 백스캐터 통신 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 백스캐터 리더는 상기 복수의 백스캐터 디바이스로부터 전송되는 백스캐터 신호에 대해 순차적 간섭 제거 방식을 사용하여 상기 복수의 백스캐터 디바이스가 전송한 심볼을 각각 검출하는,

다중 디바이스 무선 충전 백스캐터 통신 시스템.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 백스캐터 디바이스는,

상기 백스캐터 리더에서 전송되어 안테나를 통해 수신되는 활성화 캐리어 신호에 대해 미리 설정된 임피던스에 따른 정합을 수행하여 전력 분할되는 상기 활성화 캐리어 신호의 일부를 변조하여 상기 백스캐터 신호로서 상기 백스캐터 리더로 반사 전송하는 가변 임피던스,

상기 가변 임피던스에 의해 전력 분할된 신호의 나머지를 하베스팅하여 에너지로 변환하여 저장하는 에너지 하베스터, 그리고

상기 가변 임피던스에 대한 임피던스 설정을 수행하여 상기 전력 분할의 비율을 설정하고, 상기 에너지 하베스터에 의해 저장되는 에너지의 사용을 제어하는 제어부

를 포함하는, 다중 디바이스 무선 충전 백스캐터 통신 시스템.

청구항 4

제2항에 있어서,

상기 순차적 간섭 제거 방식을 통해 검출되는 심볼이 겪는 신호대잡음비가 상기 다중 디바이스 무선 충전 백스캐터 통신 시스템의 최대 최소 전송률(max-min rate)을 최대로 하는 송신 빔포밍, 수신 빔포밍 및 전력 분할의 계수가 적용되는,

다중 디바이스 무선 충전 백스캐터 통신 시스템.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 다중 디바이스 무선 충전 백스캐터 통신 시스템의 최대 최소 전송률을 최대로 하는 송신 빔포밍, 수신 빔

포밍 및 전력 분할의 계수는 다음의 관계식

$$\begin{aligned} & \max_{\mathbf{W} \in \mathbb{C}^{M \times K}, \mathbf{v} \in \mathbb{C}^M, \beta \in \mathbb{R}_+^K} \left\{ \min_{1 \leq k \leq K} \log_2 (1 + \gamma_k) \right\} \\ & \text{subject to } \|\mathbf{v}\|^2 \leq 1, \\ & \beta \leq 1 \end{aligned}$$

의 해답을 구하는 방식으로 선택되며,

여기서, k 는 상기 복수의 백스캐터 디바이스 중 하나를 나타내기 위한 0보다 큰 자연수이고, γ_k 는 상기 신호대 잡음비이며, $\mathbb{C}^{m \times n}$ 은 크기가 $m \times n$ 인 모든 복소행렬의 집합이고, $\mathbb{C}^m$ 은 크기가 $m \times 1$ 인 복소 벡터의 집합이며, $\mathbb{R}_+^m$ 은 크기가 $m \times 1$ 인 음이 아닌 원소를 갖는 모든 실수 벡터의 집합을 나타내고,

상기 신호대잡음비는 다음의 관계식

$$\gamma_k = \frac{P_T \beta_k |\mathbf{w}_k^H \mathbf{h}_k|^2 |\mathbf{h}_k^T \mathbf{v}|^2}{\sum_{l \in \mathfrak{I}_k} P_T \beta_l |\mathbf{w}_k^H \mathbf{h}_l \mathbf{h}_l^T \mathbf{v}|^2 + \sigma^2 \|\mathbf{w}_k\|^2}$$

에 따라 산출되며,

여기서, P_T 는 상기 백스캐터 리더의 송신 전력이고, β_k 는 상기 전력 분할의 계수이며, $\mathbf{w}_k$ 는 수신 빔포밍 벡터이며, $\mathbf{h}_k = [h_{k,1}, h_{k,2}, \dots, h_{k,M}]^T$ 는 상기 백스캐터 리더에서 상기 백스캐터 디바이스로의 채널 응답이고, $\mathbf{v}$ 는 빔포밍 벡터로서 $\mathbf{v} = [v_1, v_2, \dots, v_M]^T$ ($\|\mathbf{v}\| = 1$)이며, $\mathfrak{I}_k = \mathfrak{N}_k \triangleq \{k+1, k+2, \dots, K\}$ 이고, σ^2 은 분산을 나타내는,

다중 디바이스 무선 충전 백스캐터 통신 시스템.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 수신 빔포밍이 $\mathbf{W} = [\tilde{\mathbf{w}}_1, \tilde{\mathbf{w}}_2, \dots, \mathbf{w}_K]$ 이고, 상기 송신 빔포밍이 $\mathbf{v} = \tilde{\mathbf{v}}$ 로 설정된 경우, 상기 전력 분할의 계수는 다음의 관계식

$$\begin{aligned} & \max_{\beta \in [0,1]^K, \gamma \in \mathbb{R}_+} \gamma \\ & \text{subject to } \left(\Phi - \frac{1}{\gamma} \mathbf{I}_K \right) \beta + \mathbf{q} \leq 0 \end{aligned}$$

에 대한 해답을 통해 결정되며,

여기서, $\mathbf{q} = [\frac{b_1}{\phi_{1,1}}, \frac{b_2}{\phi_{2,2}}, \dots, \frac{b_K}{\phi_{K,K}}]^T$ 이고, Φ 는 $K \times K$ 행렬로 (k, l) 번째 원소는

$$\Phi_{k,l} = \begin{cases} \frac{\phi_{k,l}}{\phi_{k,k}} & \text{if } l \in \mathcal{I}_k \\ 0 & \text{그 외} \end{cases} \quad \text{인,}$$

다중 디바이스 무선 충전 백스캐터 통신 시스템.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 전력 분할의 계수는 최적값 γ^+ 을 변경하지 않으면서 상기 전력 분할 계수의 최소값인 다음의 관계식

$$\beta_k^\dagger = \gamma^+ \left(\sum_{l=k+1}^K \Phi_{k,l} \beta_l^\dagger + q_k \right), \quad k < k_0$$

$$\beta_k^\dagger = \beta_k^+, \quad k \geq k_0$$

을 사용하여 상기 전력 분할의 계수를 결정하며,

여기서, k_0 는 선형 프로그래밍 가능성으로 얻어진 해로, 신호대잡음비 γ_k 를 구했을 때 $\gamma_k = \gamma^+$ 가 되는 상기 백스캐터 디바이스의 인덱스 가운데 최소 인덱스 값을 나타내는,

다중 디바이스 무선 충전 백스캐터 통신 시스템.

청구항 8

제5항에 있어서,

상기 송신 빔포밍이 $\mathbf{v} = \tilde{\mathbf{v}}$ 이고, 상기 전력 분할의 계수가 $\beta = \tilde{\beta}$ 로 설정된 경우, 상기 수신 빔포밍은 다음의 관계식

$$\mathbf{w}_k^\dagger = c_k \mathbf{R}_k^{-1} \mathbf{h}_k$$

에 대한 해답을 통해 결정되며,

여기서, $\mathbf{R}_k = \sum_{l \in \mathcal{I}_k} \tilde{p}_l \mathbf{h}_l \mathbf{h}_l^H + \sigma^2 \mathbf{I}_M$ 이고, $\tilde{p}_k = P_T \tilde{\beta}_k |\mathbf{h}_k^T \tilde{\mathbf{v}}|^2$ 이며, c_k 는 0이 아닌 임의의 상수인,

다중 디바이스 무선 충전 백스캐터 통신 시스템.

청구항 9

제5항에 있어서,

상기 수신 빔포밍이 $\mathbf{W} = [\tilde{\mathbf{w}}_1, \tilde{\mathbf{w}}_2, \dots, \mathbf{w}_K]$ 이고, 상기 전력 분할의 계수가 $\beta = \tilde{\beta}$ 로 설정된 경우, 상기 송신 빔포밍은 다음의 관계식

$$\max_{\mathbf{v} \in \mathbb{C}^M: \|\mathbf{v}\|^2 \leq 1, \tilde{t} \in \mathbb{R}_+} \tilde{t}$$

$$\text{subject to } \hat{\gamma}_k(\mathbf{v}, \mathbf{v}_o) \geq \tilde{t}, \quad \forall k$$

에 대한 해답을 통해 결정되며,

여기서, $\hat{\gamma}_k(\mathbf{v}, \mathbf{v}_\diamond) = \gamma_k(\mathbf{v}_\diamond) + \frac{\gamma_k(\mathbf{v}_\diamond)}{\rho_k(\mathbf{v}_\diamond)} L_k(\mathbf{v}, \mathbf{v}_\diamond)$ 이고, $\rho_k(\mathbf{v}) = |\mathbf{h}_k^T \mathbf{v}|^2$ 이며,

$$L_k(\mathbf{v}, \mathbf{v}_\diamond) = \tilde{\rho}_k(\mathbf{v}, \mathbf{v}_\diamond) - \frac{\gamma_k(\mathbf{v}_\diamond)}{a_{k,k}} \sum_{l=k+1}^K a_{k,l} \tilde{\rho}_l(\mathbf{v}, \mathbf{v}_\diamond) \quad \text{이고,}$$

$$\tilde{\rho}_l(\mathbf{v}, \mathbf{v}_\diamond) = 2\Re\{\mathbf{v}_\diamond^H \mathbf{h}_l^* \mathbf{h}_l^T (\mathbf{v} - \mathbf{v}_\diamond)\} \quad \text{인,}$$

다중 디바이스 무선 충전 백스캐터 통신 시스템.

청구항 10

다중 디바이스 무선 충전 백스캐터 통신 시스템을 최적화하기 위한 방법으로서,

상기 다중 디바이스 무선 충전 백스캐터 통신 시스템은 무선 충전 백스캐터 통신을 위한 에너지 소스로서 복수의 안테나를 통해 활성화 캐리어 신호를 전송하는 백스캐터 리더, 그리고 상기 백스캐터 리더에서 전송되는 활성화 캐리어 신호를 수신하고, 수신된 신호의 전력을 분할한 후 분할된 일부 전력의 신호를 일부 반사를 통해 심볼이 포함된 백스캐터 신호로 변조하여 상기 백스캐터 리더로 전송하고, 분할된 나머지 전력의 신호를 에너지 하베스팅(harvesting)하여 저장하는 복수의 백스캐터 디바이스를 포함하며,

초기값이 설정되는 단계,

상기 초기값에 기초하여 수신 빔포밍에 대한 최적화가 수행되어 상기 수신 빔포밍이 산출되는 단계,

산출된 수신 빔포밍을 사용하여 송신 빔포밍에 대한 최적화가 수행되어 상기 송신 빔포밍이 산출되는 단계, 그리고

상기 산출된 수신 빔포밍 및 송신 빔포밍을 사용하여 전력 분할 계수에 대한 최적화가 수행되어 상기 전력 분할 계수가 산출되는 단계

를 포함하는, 다중 디바이스 무선 충전 백스캐터 통신 시스템의 최적화 방법.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 송신 빔포밍이 산출되는 단계는,

미리 설정된 최대 반복 횟수에 도달하거나 또는 상기 송신 빔포밍 산출 과정에서 산출되는 최적값이 미리 설정된 허용 오차 내에서 수렴할 때까지 반복되는,

다중 디바이스 무선 충전 백스캐터 통신 시스템의 최적화 방법.

청구항 12

제10항에 있어서,

상기 전력 분할 계수가 산출되는 단계는,

미리 설정된 최대 반복 횟수에 도달하거나 또는 상기 전력 분할 계수 산출 과정에서 산출되는 최적값이 미리 설정된 허용 오차 내에서 수렴할 때까지 반복되는,

다중 디바이스 무선 충전 백스캐터 통신 시스템의 최적화 방법.

청구항 13

제10항에 있어서,

상기 다중 디바이스 무선 충전 백스캐터 통신 시스템의 최대 최소 전송률을 최대로 하는 송신 빔포밍, 수신 빔포밍 및 전력 분할 계수는 다음의 관계식

$$\begin{aligned} & \max_{\mathbf{W} \in \mathbb{C}^{M \times K}, \mathbf{v} \in \mathbb{C}^M, \boldsymbol{\beta} \in \mathbb{R}_+^K} \left\{ \min_{1 \leq k \leq K} \log_2 (1 + \gamma_k) \right\} \\ & \text{subject to } \|\mathbf{v}\|^2 \leq 1, \\ & \boldsymbol{\beta} \leq \mathbf{1} \end{aligned}$$

의 해답을 구하는 방식으로 산출되며,

여기서, k 는 상기 복수의 백스캐터 디바이스 중 하나를 나타내기 위한 0보다 큰 자연수이고, γ_k 는 상기 신호 대잡음비이며, $\mathbb{C}^{m \times n}$ 은 크기가 $m \times n$ 인 모든 복소행렬의 집합이고, $\mathbb{C}^m$ 은 크기가 $m \times 1$ 인 복소 벡터의 집합이며, $\mathbb{R}_+^m$ 은 크기가 $m \times 1$ 인 음이 아닌 원소를 갖는 모든 실수 벡터의 집합을 나타내고,

상기 신호대잡음비는 다음의 관계식

$$\gamma_k = \frac{P_T \beta_k |\mathbf{w}_k^H \mathbf{h}_k|^2 |\mathbf{h}_k^T \mathbf{v}|^2}{\sum_{l \in \mathfrak{J}_k} P_T \beta_l |\mathbf{w}_k^H \mathbf{h}_l \mathbf{h}_l^T \mathbf{v}|^2 + \sigma^2 \|\mathbf{w}_k\|^2}$$

에 따라 산출되며,

여기서, P_T 는 상기 백스캐터 리더의 송신 전력이고, β_k 는 상기 전력 분할 계수이며, $\mathbf{w}_k$ 는 수신 빔포밍이며, $\mathbf{h}_k = [h_{k,1}, h_{k,2}, \dots, h_{k,M}]^T$ 는 상기 백스캐터 리더에서 상기 백스캐터 디바이스로의 채널 응답이고, $\mathbf{v}$ 는 빔포밍 벡터로서 $\mathbf{v} = [v_1, v_2, \dots, v_M]^T$ ($\|\mathbf{v}\| = 1$)이며, $\mathfrak{J}_k = \mathfrak{K}_k \triangleq \{k+1, k+2, \dots, K\}$ 이고, σ^2 은 분산을 나타내는,

다중 디바이스 무선 충전 백스캐터 통신 시스템의 최적화 방법.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 수신 빔포밍이 $\mathbf{W} = [\tilde{\mathbf{w}}_1, \tilde{\mathbf{w}}_2, \dots, \mathbf{w}_K]$ 이고, 상기 송신 빔포밍이 $\mathbf{v} = \tilde{\mathbf{v}}$ 로 설정된 경우, 상기 전력 분할 계수는 다음의 관계식

$$\begin{aligned} & \max_{\boldsymbol{\beta} \in [0,1]^K, \gamma \in \mathbb{R}_+} \gamma \\ & \text{subject to } \left(\Phi - \frac{1}{\gamma} \mathbf{I}_K \right) \boldsymbol{\beta} + \mathbf{q} \leq \mathbf{0} \end{aligned}$$

에 대한 해답을 통해 산출되며,

여기서, $\mathbf{q} = [\frac{b_1}{\phi_{1,1}}, \frac{b_2}{\phi_{2,2}}, \dots, \frac{b_K}{\phi_{K,K}}]^T$ 이고, Φ 는 $K \times K$ 행렬로 (k, l) 번째 원소는

$$\Phi_{k,l} = \begin{cases} \frac{\phi_{k,l}}{\phi_{k,k}} & \text{if } l \in \mathcal{I}_k \\ 0 & \text{그 외} \end{cases} \quad \text{인,}$$

다중 디바이스 무선 충전 백스캐터 통신 시스템의 최적화 방법.

청구항 15

제14항에 있어서,

상기 전력 분할 계수는 최적값 γ^+ 을 변경하지 않으면서 상기 전력 분할 계수 최소값인 다음의 관계식

$$\beta_k^\dagger = \gamma^+ \left(\sum_{l=k+1}^K \Phi_{k,l} \beta_l^\dagger + q_k \right), \quad k < k_0$$

$$\beta_k^\dagger = \beta_k^+, \quad k \geq k_o$$

을 사용하여 상기 전력 분할 계수를 결정하며,

여기서, k_0 는 선형 프로그래밍 가능성으로 얻어진 해로, 신호대잡음비 γ_k 를 구했을 때 $\gamma_k = \gamma^+$ 가 되는 상기 백스캐터 디바이스의 인덱스 가운데 최소 인덱스 값을 나타내는,

다중 디바이스 무선 충전 백스캐터 통신 시스템의 최적화 방법.

청구항 16

제13항에 있어서,

상기 송신 빔포밍이 $\mathbf{v} = \tilde{\mathbf{v}}$ 이고, 상기 전력 분할 계수가 $\boldsymbol{\beta} = \tilde{\boldsymbol{\beta}}$ 로 설정된 경우, 상기 수신 빔포밍은 다음의 관계식

$$\mathbf{w}_k^\dagger = c_k \mathbf{R}_k^{-1} \mathbf{h}_k$$

에 대한 해답을 통해 산출되며,

여기서, $\mathbf{R}_k = \sum_{l \in \mathcal{I}_k} \tilde{p}_l \mathbf{h}_l \mathbf{h}_l^H + \sigma^2 \mathbf{I}_M$ 이고, $\tilde{p}_k = P_T \tilde{\beta}_k |\mathbf{h}_k^T \tilde{\mathbf{v}}|^2$ 이며, c_k 는 0이 아닌 임의의 상수인,

다중 디바이스 무선 충전 백스캐터 통신 시스템의 최적화 방법.

청구항 17

제13항에 있어서,

상기 수신 빔포밍이 $\mathbf{W} = [\tilde{\mathbf{w}}_1, \tilde{\mathbf{w}}_2, \dots, \mathbf{w}_K]$ 이고, 상기 전력 분할 계수가 $\boldsymbol{\beta} = \tilde{\boldsymbol{\beta}}$ 로 설정된 경우, 상기 송신 빔포밍은 다음의 관계식

$$\begin{aligned} & \max_{\mathbf{v} \in \mathbb{C}^M: \|\mathbf{v}\|^2 \leq 1, \tilde{t} \in \mathbb{R}_+} \tilde{t} \\ & \text{subject to } \hat{\gamma}_k(\mathbf{v}, \mathbf{v}_o) \geq \tilde{t}, \quad \forall k \end{aligned}$$

에 대한 해답을 통해 산출되며,

여기서, $\hat{\gamma}_k(\mathbf{v}, \mathbf{v}_\diamond) = \gamma_k(\mathbf{v}_\diamond) + \frac{\gamma_k(\mathbf{v}_\diamond)}{\rho_k(\mathbf{v}_\diamond)} L_k(\mathbf{v}, \mathbf{v}_\diamond)$ 이고, $\rho_k(\mathbf{v}) = |\mathbf{h}_k^T \mathbf{v}|^2$ 이며,

$$L_k(\mathbf{v}, \mathbf{v}_\diamond) = \tilde{\rho}_k(\mathbf{v}, \mathbf{v}_\diamond) - \frac{\gamma_k(\mathbf{v}_\diamond)}{a_{k,k}} \sum_{l=k+1}^K a_{k,l} \tilde{\rho}_l(\mathbf{v}, \mathbf{v}_\diamond)$$

이고,

$$\tilde{\rho}_l(\mathbf{v}, \mathbf{v}_\diamond) = 2\Re\{\mathbf{v}_\diamond^H \mathbf{h}_l^* \mathbf{h}_l^T (\mathbf{v} - \mathbf{v}_\diamond)\}$$

인,

다중 디바이스 무선 충전 백스캐터 통신 시스템의 최적화 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 다중 디바이스 무선 충전 백스캐터 통신 시스템 및 그 최적화 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 백스캐터 통신(backscatter communication)('후방 산란 통신'이라고도 함)은 최근 사물 인터넷(Internet of Things, IoT)의 핵심 구성 요소인 소형 디바이스의 전력 소모를 줄이기 위해 대두되었다. 이러한 백스캐터 통신은 전력 소모가 큰 반송파를 생성하지 않아 초저전력 또는 무전원 통신이 가능하다.

[0003] 예를 들어, 백스캐터 통신은, 우리 주변에 존재하는 TV, MF 라디오, LoRa(Long Range) 및 Wi-Fi 등의 반송파 신호를 이용하거나 또는 지정된 RF 소스에서 전송되는 반송파 신호를 이용한다.

[0004] 기존의 백스캐터 통신 시스템은 단일 송신기와 단일 수신기로 구성되거나, 기존의 방송, 무선랜 신호를 활용하여 신호가 존재할 때만 정보를 전송할 수 있었다. 따라서, 다수의 백스캐터 디바이스로 데이터를 수집하는 다중 디바이스 무선 충전 백스캐터 통신 시스템이 고려되는 경우, 더 많은 수의 백스캐터 디바이스가 접속할 수 있도록 하면서, 공정성 성능을 유지하고 더 높은 공정한 전송률을 지원할 수 있도록 하는 고려가 요구되고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 배터리 없이 동작하는 다수의 백스캐터 디바이스를 공정하게 지원할 때 전송률과 에너지 하베스팅 효율을 향상시키는 다중 디바이스 무선 충전 백스캐터 통신 시스템 및 그 최적화 방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0006] 본 발명의 하나의 특징에 따른 다중 디바이스 무선 충전 백스캐터 통신 시스템은,

[0007] 무선 충전 백스캐터 통신을 위한 에너지 소스로서 복수의 안테나를 통해 활성화 캐리어 신호를 전송하는 백스캐터 리더, 그리고 상기 백스캐터 리더에서 전송되는 활성화 캐리어 신호를 수신하고, 수신된 신호의 전력을 분할한 후 분할된 일부 전력의 신호를 일부 반사를 통해 심볼이 포함된 백스캐터 신호로 변조하여 상기 백스캐터 리더로 전송하고, 분할된 나머지 전력의 신호를 에너지 하베스팅(harvesting)하여 저장하는 복수의 백스캐터 디바이스를 포함하며, 상기 백스캐터 리더는 상기 복수의 안테나를 통해 상기 복수의 백스캐터 디바이스로부터 전송되는 백스캐터 신호에 포함된 심볼을 검출하여 수집한다.

[0008] 여기서, 상기 백스캐터 리더는 상기 복수의 백스캐터 디바이스로부터 전송되는 백스캐터 신호에 대해 순차적 간섭 제거 방식을 사용하여 상기 복수의 백스캐터 디바이스가 전송한 심볼을 각각 검출한다.

[0009] 또한, 상기 백스캐터 디바이스는, 상기 백스캐터 리더에서 전송되어 안테나를 통해 수신되는 활성화 캐리어 신호에 대해 미리 설정된 임피던스에 따른 정합을 수행하여 전력 분할되는 상기 활성화 캐리어 신호의 일부를 변조하여 상기 백스캐터 신호로서 상기 백스캐터 리더로 반사 전송하는 가변 임피던스, 상기 가변 임피던스에 의

해 전력 분할된 신호의 나머지를 하베스팅하여 에너지로 변환하여 저장하는 에너지 하베스터, 그리고 상기 가변 임피던스에 대한 임피던스 설정을 수행하여 상기 전력 분할의 비율을 설정하고, 상기 에너지 하베스터에 의해 저장되는 에너지의 사용을 제어하는 제어부를 포함한다.

[0010] 또한, 상기 순차적 간섭 제거 방식을 통해 검출되는 심볼이 겪는 신호대잡음비가 상기 다중 디바이스 무선 충전 백스캐터 통신 시스템의 최대 최소 전송률(max-min rate)을 최대로 하는 송신 빔포밍, 수신 빔포밍 및 전력 분할의 계수가 적용된다.

[0011] 또한, 상기 다중 디바이스 무선 충전 백스캐터 통신 시스템의 최대 최소 전송률을 최대로 하는 송신 빔포밍, 수신 빔포밍 및 전력 분할의 계수는 다음의 관계식

$$\begin{aligned} \max_{\mathbf{W} \in \mathbb{C}^{M \times K}, \mathbf{v} \in \mathbb{C}^M, \beta \in \mathbb{R}_+^K} & \left\{ \min_{1 \leq k \leq K} \log_2 (1 + \gamma_k) \right\} \\ \text{subject to } & \|\mathbf{v}\|^2 \leq 1, \\ & \beta \leq 1 \end{aligned}$$

[0012]의 해답을 구하는 방식으로 선택되며, 여기서, k 는 상기 복수의 백스캐터 디바이스 중 하나를 나타내기 위한 0보다 큰 자연수이고, γ_k 는 상기 신호대잡음비이며, $\mathbb{C}^{m \times n}$ 은 크기가 $m \times n$ 인 모든 복소행렬의 집합이고, $\mathbb{C}^m$ 은 크기가 $m \times 1$ 인 복소 벡터의 집합이며, $\mathbb{R}_+^m$ 은 크기가 $m \times 1$ 인 음이 아닌 원소를 갖는 모든 실수 벡터의 집합을 나타내고, 상기 신호대잡음비는 다음의 관계식

$$\gamma_k = \frac{P_T \beta_k |\mathbf{w}_k^H \mathbf{h}_k|^2 |\mathbf{h}_k^T \mathbf{v}|^2}{\sum_{l \in \mathcal{I}_k} P_T \beta_l |\mathbf{w}_k^H \mathbf{h}_l \mathbf{h}_l^T \mathbf{v}|^2 + \sigma^2 \|\mathbf{w}_k\|^2}$$

[0014]에 따라 산출되며, 여기서, P_T 는 상기 백스캐터 리더의 송신 전력이고, β_k 는 상기 전력 분할의 계수이며, $\mathbf{w}_k$ 는 수신 빔포밍이며, $\mathbf{h}_k = [h_{k,1}, h_{k,2}, \dots, h_{k,M}]^T$ 는 상기 백스캐터 리더에서 상기 백스캐터 디바이스로의 채널 응답이고, $\mathbf{v}$ 는 빔포밍 벡터로서 $\mathbf{v} = [v_1, v_2, \dots, v_M]^T$ ($\|\mathbf{v}\| = 1$)이며, $\mathcal{I}_k = \mathfrak{I}_k \triangleq \{k+1, k+2, \dots, K\}$ 이고, σ^2 은 분산을 나타낸다.

[0016] 또한, 상기 수신 빔포밍이 $\mathbf{W} = [\tilde{\mathbf{w}}_1, \tilde{\mathbf{w}}_2, \dots, \mathbf{w}_K]$ 이고, 상기 송신 빔포밍이 $\mathbf{v} = \tilde{\mathbf{v}}$ 로 설정된 경우, 상기 전력 분할의 계수는 다음의 관계식

$$\begin{aligned} \max_{\beta \in [0,1]^K, \gamma \in \mathbb{R}_+} & \gamma \\ \text{subject to } & \left(\Phi - \frac{1}{\gamma} \mathbf{I}_K \right) \beta + \mathbf{q} \leq 0 \end{aligned}$$

[0017]에 대한 해답을 통해 결정되며, 여기서, $\mathbf{q} = [\frac{b_1}{\phi_{1,1}}, \frac{b_2}{\phi_{2,2}}, \dots, \frac{b_K}{\phi_{K,K}}]^T$ 이고, Φ 는 $K \times K$ 행렬로 (k ,

$$\Phi_{k,l} = \begin{cases} \frac{\phi_{k,l}}{\phi_{k,k}} & \text{if } l \in \mathcal{I}_k \\ 0 & \text{그 외} \end{cases}$$

1)번째 원소는 이다.

또한, 상기 전력 분할의 계수는 최적값 γ^+ 을 변경하지 않으면서 상기 전력 분할 계수의 최소값인 다음의 관계식

$$\beta_k^\dagger = \gamma^+ \left(\sum_{l=k+1}^K \Phi_{k,l} \beta_l^\dagger + q_k \right), \quad k < k_0$$

$$\beta_k^\dagger = \beta_k^+, \quad k \geq k_0$$

을 사용하여 상기 전력 분할의 계수를 결정하며, 여기서, k_0 는 선형 프로그래밍 가능성으로 얻어진 해로, 신호 대잡음비 γ_k 를 구했을 때 $\gamma_k = \gamma^+$ 가 되는 상기 백스캐터 디바이스의 인덱스 가운데 최소 인덱스 값을 나타낸다.

또한, 상기 송신 빔포밍이 $\mathbf{v} = \tilde{\mathbf{v}}$ 이고, 상기 전력 분할의 계수가 $\beta = \tilde{\beta}$ 로 설정된 경우, 상기 수신 빔포밍은 다음의 관계식

$$\mathbf{w}_k^\dagger = c_k \mathbf{R}_k^{-1} \mathbf{h}_k$$

에 대한 해답을 통해 결정되며, 여기서, $\mathbf{R}_k = \sum_{l \in \mathcal{I}_k} \tilde{p}_l \mathbf{h}_l \mathbf{h}_l^H + \sigma^2 \mathbf{I}_M$ 이고, $\tilde{p}_k = P_T \tilde{\beta}_k |\mathbf{h}_k^T \tilde{\mathbf{v}}|^2$ 이며, c_k 는 0이 아닌 임의의 상수이다.

또한, 상기 수신 빔포밍이 $\mathbf{W} = [\tilde{\mathbf{w}}_1, \tilde{\mathbf{w}}_2, \dots, \mathbf{w}_K]$ 이고, 상기 전력 분할의 계수가 $\beta = \tilde{\beta}$ 로 설정된 경우, 상기 송신 빔포밍은 다음의 관계식

$$\begin{aligned} \max_{\mathbf{v} \in \mathbb{C}^M: \|\mathbf{v}\|^2 \leq 1, \tilde{t} \in \mathbb{R}_+} \quad & \tilde{t} \\ \text{subject to} \quad & \hat{\gamma}_k(\mathbf{v}, \mathbf{v}_\circ) \geq \tilde{t}, \quad \forall k \end{aligned}$$

에 대한 해답을 통해 결정되며, 여기서, $\hat{\gamma}_k(\mathbf{v}, \mathbf{v}_\circ) = \gamma_k(\mathbf{v}_\circ) + \frac{\gamma_k(\mathbf{v}_\circ)}{\rho_k(\mathbf{v}_\circ)} L_k(\mathbf{v}, \mathbf{v}_\circ)$ 이고,

$$\begin{aligned} \rho_k(\mathbf{v}) &= |\mathbf{h}_k^T \mathbf{v}|^2 \quad \text{이며,} \\ L_k(\mathbf{v}, \mathbf{v}_\circ) &= \tilde{\rho}_k(\mathbf{v}, \mathbf{v}_\circ) - \frac{\gamma_k(\mathbf{v}_\circ)}{a_{k,k}} \sum_{l=k+1}^K a_{k,l} \tilde{\rho}_l(\mathbf{v}, \mathbf{v}_\circ) \quad \text{ 이고,} \\ \tilde{\rho}_l(\mathbf{v}, \mathbf{v}_\circ) &= 2\Re\{\mathbf{v}_\circ^H \mathbf{h}_l^* \mathbf{h}_l^T (\mathbf{v} - \mathbf{v}_\circ)\} \quad \text{ 이다.} \end{aligned}$$

본 발명의 다른 특징에 따른 다중 디바이스 무선 충전 백스캐터 통신 시스템의 최적화 방법은,

다중 디바이스 무선 충전 백스캐터 통신 시스템을 최적화하기 위한 방법으로서, 상기 다중 디바이스 무선 충전 백스캐터 통신 시스템은 무선 충전 백스캐터 통신을 위한 에너지 소스로서 복수의 안테나를 통해 활성화 캐리어 신호를 전송하는 백스캐터 리더, 그리고 상기 백스캐터 리더에서 전송되는 활성화 캐리어 신호를 수신하고, 수신된 신호의 전력을 분할한 후 분할된 일부 전력의 신호를 일부 반사를 통해 심볼이 포함된 백스캐터 신호로 변

조하여 상기 백스캐터 리더로 전송하고, 분할된 나머지 전력의 신호를 에너지 하베스팅(harvesting)하여 저장하는 복수의 백스캐터 디바이스를 포함하며, 초기값이 설정되는 단계, 상기 초기값에 기초하여 수신 빔포밍에 대한 최적화가 수행되어 상기 수신 빔포밍이 산출되는 단계, 산출된 수신 빔포밍을 사용하여 송신 빔포밍에 대한 최적화가 수행되어 상기 송신 빔포밍이 산출되는 단계, 그리고 상기 산출된 수신 빔포밍 및 송신 빔포밍을 사용하여 전력 분할 계수에 대한 최적화가 수행되어 상기 전력 분할 계수가 산출되는 단계를 포함한다.

[0031] 여기서, 상기 송신 빔포밍이 산출되는 단계는, 미리 설정된 최대 반복 횟수에 도달하거나 또는 상기 송신 빔포밍 산출 과정에서 산출되는 최적값이 미리 설정된 허용 오차 내에서 수렴할 때까지 반복된다.

[0032] 또한, 상기 전력 분할 계수가 산출되는 단계는, 미리 설정된 최대 반복 횟수에 도달하거나 또는 상기 전력 분할 계수 산출 과정에서 산출되는 최적값이 미리 설정된 허용 오차 내에서 수렴할 때까지 반복된다.

[0033] 또한, 상기 다중 디바이스 무선 충전 백스캐터 통신 시스템의 최대 최소 전송률을 최대로 하는 송신 빔포밍, 수신 빔포밍 및 전력 분할 계수는 다음의 관계식

$$\max_{\mathbf{W} \in \mathbb{C}^{M \times K}, \mathbf{v} \in \mathbb{C}^M, \boldsymbol{\beta} \in \mathbb{R}_+^K} \left\{ \min_{1 \leq k \leq K} \log_2 (1 + \gamma_k) \right\}$$

$$\text{subject to } \|\mathbf{v}\|^2 \leq 1,$$

$$\boldsymbol{\beta} \leq 1$$

[0035] 의 해답을 구하는 방식으로 산출되며, 여기서, k 는 상기 복수의 백스캐터 디바이스 중 하나를 나타내기 위한 0보다 큰 자연수이고, γ_k 는 상기 신호대잡음비이며, $\mathbb{C}^{m \times n}$ 은 크기가 $m \times n$ 인 모든 복소행렬의 집합이고, $\mathbb{C}^m$ 은 크기가 $m \times 1$ 인 복소 벡터의 집합이며, $\mathbb{R}_+^m$ 은 크기가 $m \times 1$ 인 음이 아닌 원소를 갖는 모든 실수 벡터의 집합을 나타내고, 상기 신호대잡음비는 다음의 관계식

$$\gamma_k = \frac{P_T \beta_k |\mathbf{w}_k^H \mathbf{h}_k|^2 |\mathbf{h}_k^T \mathbf{v}|^2}{\sum_{l \in \mathcal{I}_k} P_T \beta_l |\mathbf{w}_k^H \mathbf{h}_l \mathbf{h}_l^T \mathbf{v}|^2 + \sigma^2 \|\mathbf{w}_k\|^2}$$

[0036] 에 따라 산출되며, 여기서, P_T 는 상기 백스캐터 리더의 송신 전력이고, β_k 는 상기 전력 분할 계수이며, $\mathbf{w}_k$ 는 수신 빔포밍이며, $\mathbf{h}_k = [h_{k,1}, h_{k,2}, \dots, h_{k,M}]^T$ 는 상기 백스캐터 리더에서 상기 백스캐터 디바이스로의 채널 응답이고, $\mathbf{v}$ 는 빔포밍 벡터로서 $\mathbf{v} = [v_1, v_2, \dots, v_M]^T$ ($\|\mathbf{v}\| = 1$)이며, $\mathcal{I}_k = \mathfrak{N}_k \triangleq \{k+1, k+2, \dots, K\}$ 이고, σ^2 은 분산을 나타낸다.

[0038] 또한, 상기 수신 빔포밍 $\mathbf{W} = [\tilde{\mathbf{w}}_1, \tilde{\mathbf{w}}_2, \dots, \mathbf{w}_K]$ 이고, 상기 송신 빔포밍이 $\mathbf{v} = \tilde{\mathbf{v}}$ 로 설정된 경우, 상기 전력 분할 계수는 다음의 관계식

$$\max_{\boldsymbol{\beta} \in [0,1]^K, \gamma \in \mathbb{R}_+} \gamma$$

$$\text{subject to } \left(\Phi - \frac{1}{\gamma} \mathbf{I}_K \right) \boldsymbol{\beta} + \mathbf{q} \leq 0$$

[0039] 에 대한 해답을 통해 산출되며, 여기서, $\mathbf{q} = [\frac{b_1}{\phi_{1,1}}, \frac{b_2}{\phi_{2,2}}, \dots, \frac{b_K}{\phi_{K,K}}]^T$ 이고, Φ 는 $K \times K$ 행렬로 (k ,

$$\Phi_{k,l} = \begin{cases} \frac{\phi_{k,l}}{\phi_{k,k}} & \text{if } l \in \mathcal{I}_k \\ 0 & \text{그 외} \end{cases}$$

1)번째 원소는 이다.

또한, 상기 전력 분할 계수는 최적값 γ^+ 을 변경하지 않으면서 상기 전력 분할 계수 최소값인 다음의 관계식

$$\beta_k^\dagger = \gamma^+ \left(\sum_{l=k+1}^K \Phi_{k,l} \beta_l^\dagger + q_k \right), \quad k < k_0$$

$$\beta_k^\dagger = \beta_k^+, \quad k \geq k_0$$

을 사용하여 상기 전력 분할 계수를 결정하며, 여기서, k_0 는 선형 프로그래밍 가능성으로 얻어진 해로, 신호대 잡음비 γ_k 를 구했을 때 $\gamma_k = \gamma^+$ 가 되는 상기 백스캐터 디바이스의 인덱스 가운데 최소 인덱스 값을 나타낸다.

또한, 상기 송신 빔포밍이 $\mathbf{v} = \tilde{\mathbf{v}}$ 이고, 상기 전력 분할 계수가 $\boldsymbol{\beta} = \tilde{\boldsymbol{\beta}}$ 로 설정된 경우, 상기 수신 빔포밍은 다음의 관계식

$$\mathbf{w}_k^\dagger = c_k \mathbf{R}_k^{-1} \mathbf{h}_k$$

에 대한 해답을 통해 산출되며, 여기서, $\mathbf{R}_k = \sum_{l \in \mathcal{I}_k} \tilde{p}_l \mathbf{h}_l \mathbf{h}_l^H + \sigma^2 \mathbf{I}_M$ 이고, $\tilde{p}_k = P_T \tilde{\beta}_k |\mathbf{h}_k^T \tilde{\mathbf{v}}|^2$ 이며, c_k 는 0이 아닌 임의의 상수이다.

또한, 상기 수신 빔포밍이 $\mathbf{W} = [\tilde{\mathbf{w}}_1, \tilde{\mathbf{w}}_2, \dots, \mathbf{w}_K]$ 이고, 상기 전력 분할 계수가 $\boldsymbol{\beta} = \tilde{\boldsymbol{\beta}}$ 로 설정된 경우, 상기 송신 빔포밍은 다음의 관계식

$$\begin{aligned} \max_{\mathbf{v} \in \mathbb{C}^M: \|\mathbf{v}\|^2 \leq 1, \tilde{t} \in \mathbb{R}_+} \quad & \tilde{t} \\ \text{subject to} \quad & \hat{\gamma}_k(\mathbf{v}, \mathbf{v}_\circ) \geq \tilde{t}, \quad \forall k \end{aligned}$$

에 대한 해답을 통해 산출되며, 여기서, $\hat{\gamma}_k(\mathbf{v}, \mathbf{v}_\circ) = \gamma_k(\mathbf{v}_\circ) + \frac{\gamma_k(\mathbf{v}_\circ)}{\rho_k(\mathbf{v}_\circ)} L_k(\mathbf{v}, \mathbf{v}_\circ)$ 이고,

$$\begin{aligned} \rho_k(\mathbf{v}) &= |\mathbf{h}_k^T \mathbf{v}|^2 \quad \text{이며,} \\ L_k(\mathbf{v}, \mathbf{v}_\circ) &= \tilde{\rho}_k(\mathbf{v}, \mathbf{v}_\circ) - \frac{\gamma_k(\mathbf{v}_\circ)}{a_{k,k}} \sum_{l=k+1}^K a_{k,l} \tilde{\rho}_l(\mathbf{v}, \mathbf{v}_\circ) \quad \text{ 이고,} \\ \tilde{\rho}_l(\mathbf{v}, \mathbf{v}_\circ) &= 2\Re\{\mathbf{v}_\circ^H \mathbf{h}_l^* \mathbf{h}_l^T (\mathbf{v} - \mathbf{v}_\circ)\} \quad \text{ 이다.} \end{aligned}$$

발명의 효과

본 발명에 따르면, 배터리 없이 동작하는 다수의 백스캐터 디바이스를 공정하게 지원할 때 전송률과 에너지 하베스팅 효율을 향상시킬 수 있다.

따라서, 다수의 디바이스를 지원하는 사물인터넷 시스템 등에서 더 많은 수의 디바이스가 접속될 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0053] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 다중 디바이스 무선 충전 백스캐터 통신 시스템의 개략적인 블록도이다.
- 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 백스캐터 디바이스의 구체적인 구성 블록도이다.
- 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 다중 디바이스 무선 충전 백스캐터 통신 시스템의 최적화 방법의 개략적인 흐름도이다.
- 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 다중 디바이스 무선 충전 백스캐터 통신 시스템의 최적화 알고리즘의 예를 도시한 도면이다.
- 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 다중 디바이스 무선 충전 백스캐터 통신 시스템의 최적화 알고리즘과 기존 알고리즘의 성능 비교 예를 도시한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0054] 아래에서는 첨부한 도면을 참고로 하여 본 발명의 실시예에 대하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다. 그러나 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다. 그리고 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다.
- [0055] 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 있는 것을 의미한다. 또한, 명세서에 기재된 "...부", "...기", "모듈" 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어나 소프트웨어 또는 하드웨어 및 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.
- [0056] 명세서 전체에서, "및/또는"이라는 용어는 관련된 객체를 기술하기 위한 연관 관계만을 설명하고 세 가지 관계가 존재할 수 있음을 나타낸다는 것이 이해되어야 한다. 예를 들어, A 및/또는 B는 A만 존재하고, A와 B가 모두 존재하며, B만 존재하는 세 가지 경우를 나타낼 수 있다. 또한, 명세서 전체에서 문자 "/"는 일반적으로 연관된 객체 사이의 "또는" 관계를 지시한다.
- [0057] 본 발명에서 설명하는 장치들은 적어도 하나의 프로세서, 메모리 장치, 통신 장치 등을 포함하는 하드웨어로 구성되고, 지정된 장소에 하드웨어와 결합되어 실행되는 프로그램이 저장된다. 하드웨어는 본 발명의 방법을 실행할 수 있는 구성과 성능을 가진다. 프로그램은 도면들을 참고로 설명한 본 발명의 동작 방법을 구현한 명령(instructions)을 포함하고, 프로세서와 메모리 장치 등의 하드웨어와 결합하여 본 발명을 실행한다.
- [0058] 이하, 도면을 참조하여 본 발명의 실시예에 따른 다중 디바이스 무선 충전 백스캐터 통신 시스템에 대해 설명한다.
- [0059] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 다중 디바이스 무선 충전 백스캐터 통신 시스템의 개략적인 블록도이다.
- [0060] 도 1에 도시된 바와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 다중 디바이스 무선 충전 백스캐터 통신 시스템(10)은 백스캐터 리더(100) 및 복수 개의 백스캐터 디바이스(200-1, 200-2, ..., 200-k)(여기서 k는 1 이상의 자연수임)를 포함한다.
- [0061] 백스캐터 리더(100)는 백스캐터 디바이스(200-1, 200-2, ..., 200-k)의 전력원으로서 작동하는 동시에 백스캐터 디바이스(200-1, 200-2, ..., 200-k)에서 감지된 데이터를 수집한다.
- [0062] 이러한 백스캐터 리더(100)는 복수 개의 안테나, 예를 들어 M(여기서 M은 2 이상의 자연수임) 개의 안테나(110)를 구비하고, M개의 안테나(110)를 사용하여 활성화 캐리어 신호를 백스캐터 디바이스(200-1, 200-2, ..., 200-k)로 전송한다.
- [0063] 또한, 백스캐터 리더(100)는 백스캐터 디바이스(200-1, 200-2, ..., 200-k)로부터 백스캐터 변조되어 전송되는 백스캐터 신호를 수신한다. 도 1을 참조하면, 백스캐터 리더(100)가 백스캐터 디바이스(200-1, 200-2, ..., 200-k)로 전송하는 활성화 신호는 실선으로 표시되어 있고, 백스캐터 디바이스(200-1, 200-2, ..., 200-k)로부터 백스캐터 리더(100)로 전송되는 백스캐터 신호는 점선으로 표시되어 있다.
- [0064] 또한, 백스캐터 리더(100)는 더 많은 백스캐터 디바이스(200-1, 200-2, ..., 200-k)의 동시 접속을 허용하기 위

해 순차적 간섭 제거(successive interference cancellation, SIC) 방식에 기초한 신호 검출을 수행한다. 여기서, 순차적 간섭 제거 방식은 수신된 신호 중에서 더 강한 신호를 먼저 디코딩하고, 수신된 신호에서 먼저 디코딩된 신호를 뺀 신호로부터 더 약한 신호를 디코딩하는 방식으로 수행됨으로써 달성된다. 이러한 방식에 대해서는 잘 알려져 있으므로 여기에서는 구체적인 설명을 생략한다.

[0065] 한편, 백스캐터 디바이스(200-1, 200-2, ..., 200-k)는 백스캐터 리더(100)에서 전송되는 활성화 캐리어 신호를 수신하고, 수신된 신호의 일부를 백스캐터 변조하여 백스캐터 신호로서 백스캐터 리더(100)로 전송하는 한편, 동시에 수신 신호의 남은 일부를 하베스팅(harvesting)하여 에너지, 즉 전력으로 저장한다.

[0066] 또한, 백스캐터 디바이스(200-1, 200-2, ..., 200-k)는 백스캐터 리더(100)에서의 순차적 간섭 제거의 성능 향상을 위해 백스캐터 변조를 위한 반사 전력을 채널 상태 및 간섭 특성에 따라 조절하고, 남은 전력은 에너지 하베스팅을 통해 에너지로 저장하여 백스캐터 디바이스(200-1, 200-2, ..., 200-k)를 제어하고 구동하는 데 활용한다.

[0067] 이하, 전술한 백스캐터 디바이스(200-1, 200-2, ..., 200-k)에 대해 보다 구체적으로 설명한다. 본 발명의 실시예에 따른 백스캐터 디바이스(200-1, 200-2, ..., 200-k)는 모두 동일한 구성을 가지므로, 설명의 편의를 위해 하나의 백스캐터 디바이스(200)로 대표하여 설명한다.

[0068] 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 백스캐터 디바이스의 구체적인 구성 블록도이다.

[0069] 도 2에 도시된 바와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 백스캐터 디바이스(200)는 안테나(210), 가변 임피던스(variable impedance)(220), 에너지 하베스터(230), 에너지 저장부(240) 및 제어부(250)를 포함한다.

[0070] 안테나(210)는 백스캐터 리더(100)에서 전송되는 활성화 캐리어 신호를 수신한다.

[0071] 가변 임피던스(220)는 안테나(210)를 통해 수신되는 신호, 즉 활성화 캐리어 신호에 대해 미리 설정된 임피던스에 따른 정합을 수행하여 수신 신호의 일부를 백스캐터 변조된 신호로서 반사하여 안테나(210)를 통해 백스캐터 리더(100)로 전송되도록 한다. 즉, 가변 임피던스(220)는 수신 신호의 전력의 일부가 백스캐터 변조를 위한 반사 전력이 되도록 임피던스 정합을 수행한다.

[0072] 에너지 하베스터(230)는 가변 임피던스(220)의 임피던스 정합에 의해 남은 수신 신호의 나머지를 하베스팅하여 에너지로 변환한 후 에너지 저장부(240)에 저장한다.

[0073] 제어부(250)는 가변 임피던스(220)에 대한 임피던스 설정을 수행한다. 즉 안테나(210)를 통해 수신되는 신호에 대해 백스캐터 신호로서 반사되는 전력과 에너지 하베스팅을 통해 저장되는 전력의 비율을 설정하기 위해 가변 임피던스(220)의 임피던스 설정을 수행한다.

[0074] 또한, 제어부(250)는 에너지 저장부(240)에 대한 제어를 수행하여, 수신 신호의 일부가 에너지로서 변환되어 에너지 저장부(240)에 저장되도록 하거나, 또는 에너지 저장부(240)에 저장된 에너지, 즉 전력이 백스캐터 디바이스(200)를 구동하는 데 사용되도록 할 수 있다.

[0075] 이하, 본 발명의 실시예에 따른 다중 디바이스 무선 충전 백스캐터 통신 시스템이 더 높은 공정한 전송률을 제공하면서 에너지 하베스팅 효율을 제공하기 위한 방식에 대해 설명한다.

[0076] 도 1에 도시된 본 발명의 실시예에 따른 다중 디바이스 무선 충전 백스캐터 통신 시스템(10)에서, 안테나 개수가 M인 백스캐터 리더(100)가 송신 전력 P_T 로 M×1 빔포밍 벡터 $\mathbf{v} = [v_1, v_2, \dots, v_M]^T$ ($\|\mathbf{v}\| = 1$)로

활성화 캐리어 신호를 전송할 경우, 백스캐터 리더(100)의 전송 신호는 $\sqrt{P_T}\mathbf{v}$ 이다. 이 때, 임의의 백스캐터 디바이스(BD_k)에서 수신되는 신호는 다음의 [수학식 1]과 같다.

[0077] [수학식 1]

$$\sqrt{P_T}\mathbf{h}_k^T\mathbf{v}$$

[0078]

[0079] 여기서, $\mathbf{h}_k = [h_{k,1}, h_{k,2}, \dots, h_{k,M}]^T$ 는 백스캐터 리더(100)에서 백스캐터 디바이스(

BD_k)로의 채널 응답으로 경로 손실, 페이딩 등을 포함한다.

이 때, 백스캐터 디바이스(BD_k)는 수신 신호를 $\beta_k : 1 - \beta_k$ ($\beta_k \in [0, 1]$)로 전력 분할하고, 분할된 일부 전력 β_k 는 임피던스 매칭을 통해 백스캐터 변조되어 백스캐터 리더(100)로 반사 전송된다. 그리고, 수신 신호 전력의 나머지 $1 - \beta_k$ 는 에너지 하베스터(230)를 거쳐 에너지로 변환된 후 에너지 저장부(240)에 저장된다.

위에서 백스캐터 디바이스(BD_k)에 의해 반사 전송되는 백스캐터 신호는 다음의 [수학식 2]와 같고, 에너지 하베스터(230)의 출력은 다음의 [수학식 3]과 같다.

[수학식 2]

$$x_k = \sqrt{P_T \beta_k} \mathbf{h}_k^T \mathbf{v} s_k$$

여기서, s_k 는 반사시 전송되는 백스캐터 변조 심볼을 나타낸다.

[수학식 3]

$$E_k = \Phi_k(P_T(1 - \beta_k)|\mathbf{h}_k^T \mathbf{v}|^2)$$

여기서, $\Phi_k(\cdot)$ 는 백스캐터 디바이스(BD_k)의 에너지 하베스터(230)의 입출력 함수로 사용되는 회로 특성에 따라 정의된다. 가장 간단하게는 $\Phi_k(x) = \eta x$ 와 같이, 기울기가 η 인 선형 특성으로 모델링될 수 있다.

한편, 백스캐터 디바이스(BD_k)에 의해 반사 전송되는 백스캐터 신호가 전송한 [수학식 2]와 같이 주어질 때, 백스캐터 리더(100)에서 수신되는 신호는 다음의 [수학식 4]와 같다.

[수학식 4]

$$\mathbf{y} = \sum_{l=1}^K \sqrt{P_T \beta_l} \mathbf{h}_l \mathbf{h}_l^T \mathbf{v} s_l + \mathbf{n}$$

여기서, $\mathbf{n}$ 은 백스캐터 리더(100)의 안테나 잡음 벡터로, 각각의 원소들이 서로 독립적이고 평균이 0이며 분산이 σ^2 인 정규 분포를 갖는다.

백스캐터 리더(100)는 전송한 수신 신호에 대해 채널 전력이 가장 큰 백스캐터 디바이스 순으로 신호를 검출하고 제거하는 방식으로 신호를 검출한다. 즉, 백스캐터 리더(100)는 순차적 간섭 제거 방식으로 신호를 검출한다. 예를 들어, 설명의 편의를 위해, 채널 전력이 $\|\mathbf{h}_1\| > \|\mathbf{h}_2\| > \dots > \|\mathbf{h}_K\|$ 인 것으로 가정한다. 즉, 백스캐터 디바이스(BD_1)의 채널 전력이 가장 크고, 그 다음으로 백스캐터 디바이스(BD_2), ... 백스캐터 디바이스(BD_k) 순서로 채널 전력이 큰 것으로 가정한다. 그러면, 백스캐터 리더(100)는 가장 먼저, 백스캐터 디바이스(BD_1)의 심볼 s_1 을 검출하기 위해 전송한 [수학식 4]에 수신 빔포밍 $\mathbf{w}_1$ 을 적용한

$z_1 = \mathbf{w}_1^H \mathbf{y}$ 으로부터 s_1 을 검출한다.

[0093] 이와 같이, 백스캐터 디바이스(BD_1)에 대한 신호 검출이 완료되었으므로, 수신 신호로부터 이미 검출된 백스캐터 디바이스(BD_1)의 심볼을 제거한 신호, 즉 $\hat{\mathbf{y}}_2 = \mathbf{y} - \sqrt{P_T \beta_1} \mathbf{h}_1 \mathbf{h}_1^T \mathbf{v} s_1$ 를 생성하고, 그 후 생성된 신호를 사용하여 백스캐터 디바이스(BD_2)에 대한 심볼 검출을 수행한다. 즉, 생성된 신호에 수신 빔포밍 $\mathbf{w}_2$ 를 적용한 $z_2 = \mathbf{w}_2^H \hat{\mathbf{y}}_2$ 로부터 백스캐터 디바이스(BD_2)의 심볼 s_2 를 검출한다.

[0094] 전술한 바와 같이, 순차적 간섭 제거 방식을 통해 획득되는 신호 $\hat{\mathbf{y}}_{k+1} = \hat{\mathbf{y}}_k - \sqrt{P_T \beta_k} \mathbf{h}_k \mathbf{h}_k^T \mathbf{v} s_k$ 에 수신 빔포밍 $\mathbf{w}_{k+1}$ 를 적용한 $z_{k+1} = \mathbf{w}_{k+1}^H \hat{\mathbf{y}}_{k+1}$ 로부터 심볼 s_{k+1} 을 차례로 획득하는 방식으로 전체 백스캐터 디바이스에 대한 심볼 검출이 수행될 수 있다.

[0095] 이와 같이, 순차적 간섭 제거 방식을 적용하는 경우, 심볼 s_k 검출이 겪는 신호대잡음비는 다음의 [수학식 5]와 같다.

[0096] [수학식 5]

$$\gamma_k = \frac{P_T \beta_k |\mathbf{w}_k^H \mathbf{h}_k|^2 |\mathbf{h}_k^T \mathbf{v}|^2}{\sum_{l \in \mathfrak{I}_k} P_T \beta_l |\mathbf{w}_k^H \mathbf{h}_l \mathbf{h}_l^T \mathbf{v}|^2 + \sigma^2 \|\mathbf{w}_k\|^2}$$

[0097]

[0098] 여기서, $\mathfrak{I}_k = \mathfrak{N}_k \triangleq \{k+1, k+2, \dots, K\}$ 이다.

[0099] 본 발명에서는 모든 백스캐터 디바이스에 대한 공정성을 최대로 하기 위해 최대 최소 전송률(max-min rate)을 최대로 하는 송신 빔포밍 $\mathbf{v}$, 수신 빔포밍 $\mathbf{W} = [\mathbf{w}_1, \mathbf{w}_2, \dots, \mathbf{w}_K]$ 및 전력 분할 계수 $\boldsymbol{\beta} = [\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_K]^T$ 을 선택한다. 즉, 송신 빔포밍 $\mathbf{v}$, 수신 빔포밍 $\mathbf{W} = [\mathbf{w}_1, \mathbf{w}_2, \dots, \mathbf{w}_K]$ 및 전력 분할 계수 $\boldsymbol{\beta} = [\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_K]^T$ 의 최적화가 수행된다.

[0100] 여기서, 최적화 문제는 다음의 [수학식 6]의 해답을 구하는 방식으로 해결될 수 있다.

[0101] [수학식 6]

$$\begin{aligned} & \max_{\mathbf{W} \in \mathbb{C}^{M \times K}, \mathbf{v} \in \mathbb{C}^M, \boldsymbol{\beta} \in \mathbb{R}_+^K} \left\{ \min_{1 \leq k \leq K} \log_2 (1 + \gamma_k) \right\} \\ & \text{subject to } \|\mathbf{v}\|^2 \leq 1, \\ & \boldsymbol{\beta} \leq \mathbf{1} \end{aligned}$$

[0102]

[0103] 여기서, $\mathbb{C}^{m \times n}$ 은 크기가 $m \times n$ 인 모든 복소행렬의 집합이고, $\mathbb{C}^m$ 은 크기가 $m \times 1$ 인 복소 벡터의 집합이며, $\mathbb{R}_+^m$ 은 크기가 $m \times 1$ 인 음이 아닌 원소를 갖는 모든 실수 벡터의 집합을 나타낸다.

[0104] 전술한 최적화 문제에 대한 해결수단은 크게 3가지 방식을 통해 획득될 수 있다.

[0105] 먼저, 도 1에 도시된 본 발명의 실시예에 따른 다중 디바이스 무선 충전 백스캐터 통신 시스템(10)에서 수신 빔 포밍과 송신 빔포밍이 각각 $W = [\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, w_K]$ 와 $v = \tilde{v}$ 와 같이 임의로 주어진 것으로 가정하면, 전력 분할 계수 $\beta = [\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_K]^T$ 의 성능을 최적화하면서 에너지 하베스팅을 최대로 하는 방식이 수행될 수 있다. 이러한 방식은 고정 빔포밍 시 [수학식 6]에 해당하는 다음의 [수학식 7]의 문제에 대한 해를 얻는 방식이다.

[0106] [수학식 7]

$$\max_{0 \leq \beta \leq 1} \left\{ \min_{1 \leq k \leq K} \gamma_k \triangleq \frac{\phi_{k,k} \beta_k}{\sum_{l \in \mathcal{J}_k} \phi_{k,l} \beta_l + b_k} \right\}$$

[0107]

[0108] 여기서, $\phi_{k,l} = P_T |\tilde{w}_k^H h_l|^2 |h_l^T \tilde{v}|^2$ 이고, $b_k = \sigma^2 \|\tilde{w}_k\|^2$ 이다.

[0109] 먼저, [수학식 7]은 다음의 [수학식 8]과 같이 선형 프로그래밍 가능성(Linear Programing Feasibility) 문제로 변경될 수 있다.

[0110] [수학식 8]

$$\begin{aligned} & \max_{\beta \in [0,1]^K, \gamma \in \mathbb{R}_+} \gamma \\ & \text{subject to } \left(\Phi - \frac{1}{\gamma} I_K \right) \beta + q \leq 0 \end{aligned}$$

[0111]

[0112] 여기서, $q = [\frac{b_1}{\phi_{1,1}}, \frac{b_2}{\phi_{2,2}}, \dots, \frac{b_K}{\phi_{K,K}}]^T$ 이고, Φ 는 $K \times K$ 행렬로 (k, l) 번째 원소는 다음과 같다.

$$\Phi_{k,l} = \begin{cases} \frac{\phi_{k,l}}{\phi_{k,k}} & \text{if } l \in \mathcal{J}_k \\ 0 & \text{그 외} \end{cases}$$

[0113]

[0114] 전술한 [수학식 8]의 해는 선형 프로그래밍 가능성 문제 해로 얻을 수 있으며, 이 때 얻은 최적해를 β^+ 로 나타내고, 그에 대한 최적값을 γ^+ 로 나타내는 경우, β^+ 는 각 원소가 $0 \leq \beta_k^+ \leq 1$ 이면서, 최적값 γ^+ 를 만족시키는 합당한 해이지만, 최적값 γ^+ 를 만족시키는 여러 해 가운데 최소값은 아니다.

[0115] 본 발명에서는 데이터 전송률뿐만 아니라 에너지 하베스팅 성능도 함께 최대로 하기 위해서 최적값 γ^+ 를 바꾸지 않으면서 전력 분할 계수의 최소값인 다음의 [수학식 9]로 전력 분할 계수를 선정할 수 있다.

[0116] [수학식 9]

$$\beta_k^\dagger = \gamma^+ \left(\sum_{l=k+1}^K \Phi_{k,l} \beta_l^\dagger + q_k \right), \quad k < k_0$$

[0117]

$$\beta_k^\dagger = \beta_k^+, \quad k \geq k_0$$

[0118]

[0119] 여기서, k_0 는 선형 프로그래밍 가능성으로 얻어진 해로, 신호대잡음비 γ_k 를 구했을 때 $\gamma_k = \gamma^+$ 가 되는

백스캐터 디바이스 가운데 최소 인덱스 값을 나타낸다.

다음, 송신 빔포밍이 $\mathbf{v} = \tilde{\mathbf{v}}$ 와 같이 특정 값으로 주어지고, 전력 분할 계수가 $\boldsymbol{\beta} = \tilde{\boldsymbol{\beta}}$ 로 주어진 것으로 가정하면, 최적의 수신 빔포밍은 다음의 [수학식 10]과 같이 나타낼 수 있다.

[수학식 10]

$$\mathbf{w}_k^\dagger = c_k \mathbf{R}_k^{-1} \mathbf{h}_k$$

여기서, $\mathbf{R}_k = \sum_{l \in \mathcal{I}_k} \tilde{\rho}_l \mathbf{h}_l \mathbf{h}_l^H + \sigma^2 \mathbf{I}_M$ 이고, $\tilde{\rho}_k = P_T \tilde{\beta}_k |\mathbf{h}_k^T \tilde{\mathbf{v}}|^2$ 이며, c_k 는 0이 아닌 임의의 상수이다.

다음, 수신 빔포밍과 전력 분할 계수가 각각 $\mathbf{W} = [\tilde{\mathbf{w}}_1, \tilde{\mathbf{w}}_2, \dots, \mathbf{w}_K]$ 와 $\boldsymbol{\beta} = \tilde{\boldsymbol{\beta}}$ 로 주어진 것으로 가정하면, 최적의 송신 빔포밍은 다음의 [수학식 11]과 같이 나타낼 수 있다.

[수학식 11]

$$\max_{\mathbf{v} \in \mathbb{C}^M: \|\mathbf{v}\|^2 \leq 1} \left\{ \min_{1 \leq k \leq K} \gamma_k(\mathbf{v}) \right\}$$

$$\gamma_k(\mathbf{v}) = \frac{a_{k,k} |\mathbf{h}_k^T \mathbf{v}|^2}{\sum_{l \in \mathcal{I}_k} a_{k,l} |\mathbf{h}_l^T \mathbf{v}|^2 + b_k}$$

여기서, $a_{k,l} = P_T \tilde{\beta}_l |\tilde{\mathbf{w}}_k^H \mathbf{h}_l|^2$ 이다.

이러한 문제는 비볼록(Nonconvex) 문제라서 최적값을 찾기가 매우 어려우므로, 본 발명의 실시예에서는 순차 볼록 근사화(successive convex approximation, SCA) 방법을 적용하여, 다음의 [수학식 12]와 같이 QCLP(quadratically constrained linear program)를 풀어서 근사해를 얻는다.

[수학식 12]

$$\max_{\mathbf{v} \in \mathbb{C}^M: \|\mathbf{v}\|^2 \leq 1, \tilde{t} \in \mathbb{R}_+} \tilde{t}$$

$$\text{subject to } \hat{\gamma}_k(\mathbf{v}, \mathbf{v}_\diamond) \geq \tilde{t}, \forall k$$

여기서, $\hat{\gamma}_k(\mathbf{v}, \mathbf{v}_\diamond) = \gamma_k(\mathbf{v}_\diamond) + \frac{\gamma_k(\mathbf{v}_\diamond)}{\rho_k(\mathbf{v}_\diamond)} L_k(\mathbf{v}, \mathbf{v}_\diamond)$ 이고, $\rho_k(\mathbf{v}) = |\mathbf{h}_k^T \mathbf{v}|^2$ 이며,

$L_k(\mathbf{v}, \mathbf{v}_\diamond) = \tilde{\rho}_k(\mathbf{v}, \mathbf{v}_\diamond) - \frac{\gamma_k(\mathbf{v}_\diamond)}{a_{k,k}} \sum_{l=k+1}^K a_{k,l} \tilde{\rho}_l(\mathbf{v}, \mathbf{v}_\diamond)$ 이고, $\tilde{\rho}_l(\mathbf{v}, \mathbf{v}_\diamond) = 2\Re\{\mathbf{v}_\diamond^H \mathbf{h}_l^* \mathbf{h}_l^T (\mathbf{v} - \mathbf{v}_\diamond)\}$ 이다.

한편, 전술한 [수학식 6]의 해결수단을 찾는 방법은 도 3에 도시된 방법을 통해 수행될 수 있다.

도 3은 본 발명의 실시예에 따른 다중 디바이스 무선 충전 백스캐터 통신 시스템에서 최적 효율을 제공하기 위한 최적 변수 산출 방법의 개략적인 흐름도이다.

도 3을 참조하면, 먼저, 초기값 설정이 수행된다(S100). 예를 들어, 송신 빔포밍 및 전력 분할 계수에 대한 초기값이 설정된다.

그 후, 전술한 [수학식 10]을 사용하여 수신 빔포밍에 대한 최적화가 수행되어, 최적화된 수신 빔포밍이 산출된다(S110).

- [0136] 다음, 전술한 단계에서 산출된 수신 빔포밍을 사용하여 전술한 [수학식 12]에 따라 송신 빔포밍에 대한 최적화가 수행되어, 최적화된 송신 빔포밍이 산출된다(S120).
- [0137] 전술한 단계(S120)가 미리 설정된 제1 최대 반복 횟수가 되거나 또는 산출되는 최적값이 미리 설정된 허용 오차 내에서 수렴할 때까지 반복 수행된다(S130).
- [0138] 그 후, 전술한 [수학식 8] 및 [수학식 9]를 사용하여 전력 분할 계수에 대한 최적화가 수행되어, 최적화된 전력 분할 계수가 산출된다(S140).
- [0139] 전술한 단계(S110 내지 S140)가 미리 설정된 제2 최대 반복 횟수가 되거나 또는 산출되는 최적값이 미리 설정된 허용 오차 내에서 수렴할 때까지 반복 수행된다(S150).
- [0140] 마지막으로, 전술한 단계(S110 내지 S150)를 통해 산출된 최적화된 수신 빔포밍, 송신 빔포밍 및 전력 분할 계수를 출력한다(S160).
- [0141] 도 3을 참조하여 설명한 방법은 예를 들어, 도 4에 도시된 알고리즘을 통해 하나의 예로서 구체화될 수 있다.
- [0142] 도 4를 참조하면, 초기에, 송신 빔포밍이 등방성이 되도록 $\mathbf{v}^{(0)} = \frac{1}{\sqrt{M}} \mathbf{1}_K$ 으로 설정되고, 전력 할당 계수가 최대가 되도록 $\boldsymbol{\beta}^{(0)} = \mathbf{1}_K$ 로 설정된다.
- [0143] 그 후, [수학식 10]을 사용하여 수신 빔포밍이 최적화된 후, 그 다음 SCA 반복이 최대값 $I_{\max}^{\text{sca}}$ 에 도달하거나 또는 최적값이 허용 오차 내에서 수렴($|\tilde{t}_t - \tilde{t}_{t-1}| < \epsilon$)될 때까지 업데이트되는 수신 빔포밍으로 SCA를 통해 [수학식 12]를 사용하여 송신 빔포밍이 최적화되고, 그 후 [수학식 8] 및 [수학식 9]를 사용하여 전력 분할 계수가 최적화된다. 이러한 프로세스는 외부 반복이 최대값 $I_{\max}^{\text{out}}$ 에 도달하거나 최적값이 허용 오차 내에서 수렴($|\gamma^{(n)} - \gamma^{(n-1)}| < \epsilon$)될 때까지 계속된다. 이러한 알고리즘은 최대-최소 비율이 최적값 $\hat{R}_{\min}^o = \log_2(1 + \hat{\gamma}_o)$ 로써 계산되는 거의 근사한 최적 변수 $(\hat{\mathbf{W}}^o, \hat{\mathbf{v}}^o, \hat{\boldsymbol{\beta}}^o)$ 와 값($\hat{\gamma}_o$)을 출력한다.
- [0144] 전술한 알고리즘은 순차적 간섭 제거가 없는 공간 분할 다중 액세스(space division multiple access, SDMA)용으로 설계된 기존 SRM 기반 알고리즘과 비교하여 교번 최적화에서 송신 빔포밍 및 전력 분할 계수 최적화에서 다른 접근 방식을 제공한다. 전술한 알고리즘에서 송신 빔포밍 최적화는 최대 $I_{\max}^{\text{sca}}$ 횟수까지 내부 점 방법(interior-point method)을 사용하는 복잡도 $O(8M^3)$ 의 M개의 복소 변수로 QCLP 문제를 해결함으로써 $O(8I_{\max}^{\text{sca}}M^3)$ 의 복잡도를 요구한다. 전술한 알고리즘에서의 전력 분할 계수 최적화는 K개의 변수가 있는 LPF 문제로 최적값의 이분법 탐색을 통해 $O(\lceil \log_2 \frac{1}{\epsilon} \rceil K^3)$ 에서 해결된다. 반면에, 기존 알고리즘은 송신 빔포밍과 전력 분할 계수를 공동으로 찾기 위해 M^2 개의 복소 변수와 K+2개의 실수 변수로 일반적인 볼록 문제를 풀 때 $O((2M^2 + K + 2)^3)$ 가 필요하다. 따라서, 최대값 $I_{\max}^{\text{sca}}$ 및 허용 오차에 대한 합리적인 선택에 따른 전술한 알고리즘은 기존 알고리즘의 계산 복잡도를 낮추기 위해 SIC가 없는 경우에 적용될 수 있다.
- [0145] 전술한 알고리즘에 따른 시뮬레이션 결과로는 도 5가 참조될 수 있다. 도 5에서의 알고리즘은 $P_T = 30$ dBm이고 M=4인 경우이다. 최대-최소 SINR $\gamma^{(n)}$ 은 제1 최대값 $I_{\max}^{\text{sca}}$ 을 갖는 본 발명에서의 알고리즘("Prop"로 표시됨)과 기존 알고리즘("Conv"로 표시됨)에 대해 허용 오차가 $\epsilon = 10^{-3}$ 로 설정되는 경우 외부 반복 n의 기능으로서 도시된다.
- [0146] 도 5의 (a)는 SIC가 없는 K=4인 SDMA 사례를 나타내고, 도 5의 (b)는 SIC가 채택된 K=8인 NOMA(nonorthogonal multiple access)/SDMA 사례를 나타낸다. 도 5에서, "Ch1" 및 "Ch2"는 각각의 도면에서 랜덤하게 선택된 2개

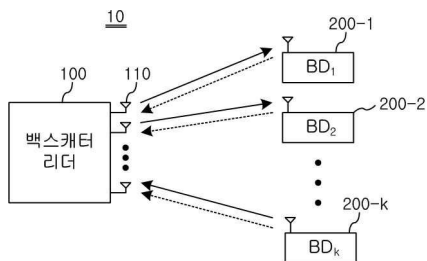
의 단일 채널 실험의 결과를 나타내고, "Avg"는 각각의 도면에서 10^3 채널에 의해 평균화된 결과를 나타낸다. 두 알고리즘 모두 복잡한 그래프를 피하도록 두 채널 실험에 대한 결과만이 도시되지만 대부분의 채널 실험에서 평균적으로 $n > 3$ 에 대한 수렴을 나타낸다. 본 발명에 따른 알고리즘은 SIC가 없는 SDMA를 나타내는 도 5의 (a)에서의 기존 알고리즘과 유사한 성능을 제공하는 반면, 본원 발명에 따른 알고리즘은 SIC가 있는 NOMA/SDMA를 나타내는 도 5의 (b)에서 기존 알고리즘을 훨씬 능가한다. 본 발명에서의 알고리즘은 균형잡힌 SINR 조건이 만족되는지 여부에 관계없이 제안된 알고리즘이 적용될 수 있음을 보장한다.

[0147] 이상에서 설명한 본 발명의 실시예는 장치 및 방법을 통해서만 구현이 되는 것은 아니며, 본 발명의 실시예의 구성에 대응하는 기능을 실현하는 프로그램 또는 그 프로그램이 기록된 기록 매체를 통해 구현될 수도 있다.

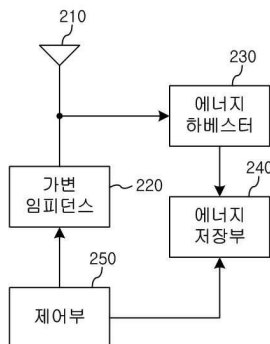
[0148] 이상에서 본 발명의 실시예에 대하여 상세하게 설명하였지만 본 발명의 권리범위는 이에 한정되는 것은 아니고 다음의 청구범위에서 정의하고 있는 본 발명의 기본 개념을 이용한 당업자의 여러 변형 및 개량 형태 또한 본 발명의 권리범위에 속하는 것이다.

도면

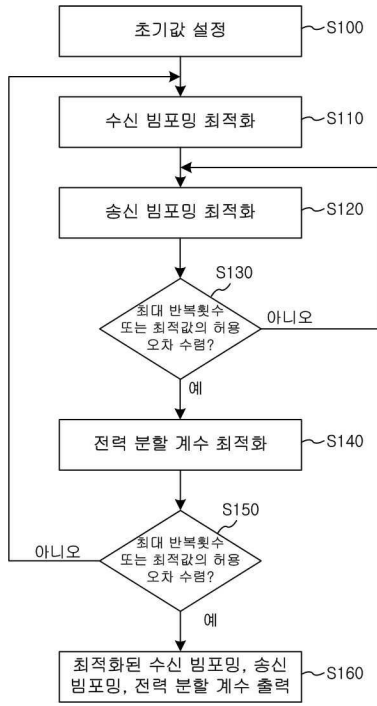
도면1



도면2



도면3



도면4

- 1: Initialize: Set $n \leftarrow 0$, $\mathbf{v}^{(0)} \leftarrow \frac{1}{\sqrt{M}} \mathbf{1}_K$, and $\beta^{(0)} \leftarrow \mathbf{1}_K$.
- 2: **repeat**
- 3: $n \leftarrow n + 1$.
- 4: Receive BF: Compute (Eqa. 10) for $\mathbf{W}^{(n)}$ with $\tilde{\mathbf{v}} = \mathbf{v}^{(n-1)}$ and $\tilde{\beta} = \beta^{(n-1)}$.
- 5: Transmit BF: Set $l \leftarrow 0$, $\tilde{\mathbf{W}} \leftarrow \mathbf{W}^{(n)}$, $\tilde{\beta} \leftarrow \beta^{(n-1)}$, and $\mathbf{v}_o \leftarrow \mathbf{v}^{(n-1)}$.
- 6: **repeat**
- 7: $l \leftarrow l + 1$.
- 8: Solve (Eqa. 12) to find the optimal solution $(\mathbf{v}_l^*, \tilde{t}_l^*)$.
- 9: $\mathbf{v}_o \leftarrow \mathbf{v}_l^*$.
- 10: **until** $l \leq J_{\max}^{\text{sca}}$ and $|\tilde{t}_l^* - \tilde{t}_{l-1}^*| < \epsilon$.
- 11: Set $\mathbf{v}^{(n)} \leftarrow \mathbf{v}_l^*$.
- 12: Reflection coefficient : Solve (Eqa. 8) with $\tilde{\mathbf{W}} = \mathbf{W}^{(n)}$ and $\tilde{\mathbf{v}} = \mathbf{v}^{(n)}$ to obtain $(\gamma^{(n)}, \beta^{(n)})$.
- 13: Update $\beta^{(n)}$ with (Eqa. 9).
- 14: **until** $n \leq J_{\max}^{\text{out}}$ or $|\gamma^{(n)} - \gamma^{(n-1)}| < \epsilon$.
- 15: Output: $(\hat{\gamma}^o, \hat{\mathbf{W}}^o, \hat{\mathbf{v}}^o, \hat{\beta}^o) \leftarrow (\gamma^{(n)}, \mathbf{W}^{(n)}, \mathbf{v}^{(n)}, \beta^{(n)})$.

도면5

