



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0017161  
(43) 공개일자 2022년02월11일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
H02J 50/23 (2016.01) H01Q 3/26 (2006.01)  
H04B 7/0408 (2017.01) H04B 7/06 (2017.01)  
(52) CPC특허분류  
H02J 50/23 (2016.02)  
H01Q 3/26 (2018.05)  
(21) 출원번호 10-2020-0097321  
(22) 출원일자 2020년08월04일  
심사청구일자 2020년08월04일

(71) 출원인  
연세대학교 산학협력단  
서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)  
(72) 발명자  
이충용  
서울특별시 서대문구 연세로 50, 연세대학교 제3공학관 C527호(신촌동)  
임채훈  
서울특별시 서대문구 연세로 50, 연세대학교 제3공학관 C418호(신촌동)  
정상원  
서울특별시 서대문구 연세로 50, 연세대학교 제3공학관 C418호(신촌동)  
(74) 대리인  
민영준

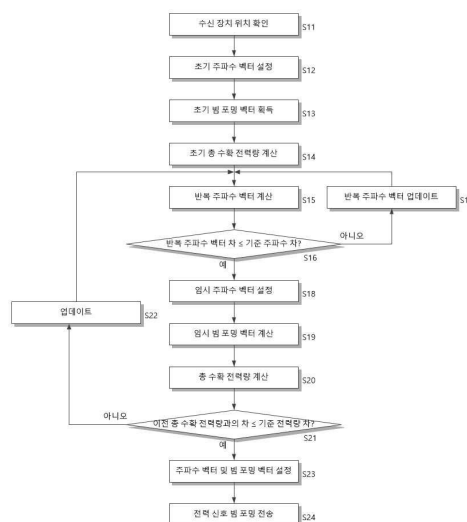
전체 청구항 수 : 총 18 항

(54) 발명의 명칭 무선 전력 전송 효율을 향상시키기 위한 무선 전력 전송 시스템의 송신 장치 및 방법

(57) 요약

본 발명은 다수의 수신 장치의 위치를 판별하는 수신 위치 확인부, 기지정된 패턴으로 배열된 다수의 안테나를 포함하고, 다수의 안테나 각각으로 급전된 신호에 대응하는 패턴의 빔을 형성하여 무선 전력 신호를 방사하는 신호 송신부 및 다수의 안테나에서 다수의 수신 장치 방향을 동시에 지향하는 다중 빔 패턴이 형성되도록, 다수의 수신 장치의 위치를 기반으로 다수의 안테나 각각으로 급전되는 신호의 주파수를 지정하는 주파수 벡터와 신호의 위상과 세기를 지정하는 빔 포밍 벡터를 임시 설정하여 전력 전송 효율이 향상되는 나머지 벡터를 교대로 반복적으로 추정하여 무선 전력 전송 효율을 개선하는 빔 포밍부를 포함하는 무선 전력 전송 시스템의 송신 장치 및 방법을 제공할 수 있다.

대표도 - 도5



(52) CPC특허분류

*H04B 7/0408* (2013.01)

*H04B 7/0617* (2013.01)

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

다수의 수신 장치의 위치를 판별하는 수신 위치 확인부;

기지정된 패턴으로 배열된 다수의 안테나를 포함하고, 상기 다수의 안테나 각각으로 급전된 신호에 대응하는 패턴의 빔을 형성하여 무선 전력 신호를 방사하는 신호 송신부; 및

상기 다수의 안테나에서 상기 다수의 수신 장치 방향을 동시에 지향하는 다중 빔 패턴이 형성되도록, 상기 다수의 수신 장치의 위치를 기반으로 상기 다수의 안테나 각각으로 급전되는 신호의 주파수를 지정하는 주파수 벡터와 신호의 위상과 세기를 지정하는 빔 포밍 벡터를 임시 설정하여 전력 전송 효율이 향상되는 나머지 벡터를 교대로 반복적으로 추정하여 무선 전력 전송 효율을 개선하는 빔 포밍부를 포함하는 무선 전력 전송 시스템의 송신 장치.

#### 청구항 2

제1항에 있어서, 상기 빔 포밍부는

교대로 반복하여 추정되어 임시 설정되는 임시 주파수 벡터와 임시 빔 포밍 벡터에 따라 상기 다수의 수신 장치 각각이 수확하는 수확 전력량의 총 합으로 계산되는 총 수확 전력량의 변화가 기지정된 기준 수확 전력량 차 이내가 되면, 현재 설정된 임시 주파수 벡터와 임시 빔 포밍 벡터에 따라 상기 다수의 안테나로 급전되는 신호의 주파수와 위상 및 세기를 조절하는 무선 전력 전송 시스템의 송신 장치.

#### 청구항 3

제2항에 있어서, 상기 빔 포밍부는

임시 주파수 벡터가 획득되면, 상기 송신 장치와 상기 다수의 수신 장치 각각 사이의 하향링크 채널을 계산하고, 계산된 하향링크 채널과 상기 다수의 수신 장치 각각의 에너지 변환 효율에 기초하여, 상기 임시 빔 포밍 벡터를 계산하여 획득하는 무선 전력 전송 시스템의 송신 장치.

#### 청구항 4

제3항에 있어서, 상기 빔 포밍부는

상기 송신 장치와 상기 다수의 수신 장치 중 k번째 수신 장치 사이의 하향링크 채널( $h_k$ )의 가시선(LOS) 성분을 수학식

$$\bar{\mathbf{h}}_k = \sqrt{\frac{1}{N}} [1, e^{j2\pi(f_2\tau_{k,2}-f_1\tau_{k,1})}, \dots, e^{j2\pi(f_N\tau_{k,N}-f_1\tau_{k,1})}]^T$$

(여기서  $f_n$  은 N개의 안테나 중 n번째 안테나로 급전되는 신호의 주파수를 나타내고,  $\tau_{k,n}$  은 n번째 안테나와 k번째 수신 장치 사이의 시간 지연을 의미한다.)

에 따라 계산하고,

하향링크 채널( $h_k$ )을

$$\mathbf{h}_k = \sqrt{\frac{\beta_k R}{1+R}} \bar{\mathbf{h}}_k + \sqrt{\frac{\beta_k}{1+R}} \tilde{\mathbf{h}}_k$$

(여기서,  $\beta_k$ 는 대규모 페이딩, R은 라이시안 매개변수,  $\tilde{\mathbf{h}}_k$ 는 비가시선(NLOS) 성분을 의미한다.)

에 따라 계산하는 무선 전력 전송 시스템의 송신 장치.

#### 청구항 5

제4항에 있어서, 상기 빔 포밍부는

상기 임시 빔 포밍 벡터를 수학식

$$\mathbf{w} = \sqrt{P_0} \mathbf{v}_{\max}(\mathbf{G})$$

(여기서  $P_0$ 는 최대 송신 전력,  $\mathbf{G}$ 는 에너지 변환 및 채널 효율로서  $\mathbf{G} = \sum_{k=1}^K \eta_k \mathbf{h}_k \mathbf{h}_k^H$ 로 계산되며,  $\mathbf{v}_{\max}(\mathbf{G})$ 는 에너지 변환 및 채널 효율( $\mathbf{G}$ )의 최대 고유값에 대응되는 고유벡터를 나타낸다.)

에 따라 계산하여 획득하는 무선 전력 전송 시스템의 송신 장치.

#### 청구항 6

제5항에 있어서, 상기 빔 포밍부는

상기 임시 빔 포밍 벡터가 획득되면, 수학식

$$\begin{aligned} \underset{\mathbf{f}}{\text{maximize}} \quad & g(\mathbf{f}) = \mathbf{w}^H \mathbf{G} \mathbf{w} \\ \text{subject to} \quad & f_L \leq f_n \leq f_U, \forall n \end{aligned}$$

에 따라 기지정된 주파수 범위( $[f_L, f_U]$ ) 내에서 에너지 변환 및 빔 포밍 채널 효율( $g(\mathbf{f})$ )을 최대로 하는 주파수( $f_n$ )를 탐색하여 획득하는 무선 전력 전송 시스템의 송신 장치.

#### 청구항 7

제5항에 있어서, 상기 빔 포밍부는

수학식

$$J_t(\mathbf{f}) = -\frac{1}{2}(\mathbf{f} - \mathbf{f}^{(t)})^T \mathbf{M}_t(\mathbf{f} - \mathbf{f}^{(t)}) - \mathbf{q}_t^T(\mathbf{f} - \mathbf{f}^{(t)}) + g(\mathbf{f}^{(t)})$$

(여기서  $\mathbf{f}$ 는 현재 임시로 설정된 주파수 벡터이고,  $\mathbf{f}^{(t)}$ 는  $t$ 번째 반복에서 목적 함수( $g(\mathbf{f})$ )에 대응하는 반복 주파수 벡터를 나타내고,  $\mathbf{M}_t$ 는 이차항을 나타내는 행렬 계수를 나타내며,  $\mathbf{q}_t$ 는 일차항을 나타내는 벡터 계수를 의미한다.)

에 따른 대체 함수( $J_t(\mathbf{f})$ )를 최대로 하도록 반복 추정되는 주파수 벡터( $\mathbf{f}^{(t+1)}$ )를

수학식

$$\mathbf{f}^{(t+1)} = \mathcal{P}(\mathbf{f}^{(t)} - \mathbf{M}_t^{-1} \mathbf{q}_t)$$

(여기서,  $\mathbf{f}^{(t+1)}$ 는  $t+1$ 번째 반복에서 목적 함수( $g(\mathbf{f})$ )와 접하는 반복 주파수 벡터,  $\mathcal{P}(\cdot)$ 는 반복 주파수 벡터( $\mathbf{f}^{(t+1)}$ )의 원소를 주파수 범위( $[f_L, f_U]$ ) 내로 정사영하기 위한 연산자를 의미한다.)

에 따라 계산하여 획득하는 무선 전력 전송 시스템의 송신 장치.

#### 청구항 8

제7항에 있어서, 상기 빔 포밍부는

현재 반복에서 획득된 반복 주파수 벡터와 이전 반복에서 획득된 반복 주파수 벡터 사이의 차가 기지정된 기준 주파수 차( $\varepsilon$ ) 이내가 될 때까지 반복하여 반복 주파수 벡터를 획득하고, 반복 주파수 벡터 사이의 차가 상기

기준 주파수 차( $\varepsilon$ ) 이내이면, 현재 획득된 반복 주파수 벡터를 임시 주파수 벡터로 설정하는 무선 전력 전송 시스템의 송신 장치.

#### 청구항 9

제7항에 있어서, 상기 빔 포밍부는

상기 다수의 수신 장치 각각에서 수확되는 수확 전력량을 수학식

$$Q_k = \eta_k \mathbb{E}\{|y_k|^2\} = \eta_k (|\mathbf{h}_k^H \mathbf{w}|^2 + \sigma_k^2)$$

(여기서  $Q_k$ 는  $k$ 번째 수신 장치의 수확 전력량을 나타내고,  $\eta_k$ 는 수신 장치의 정류 에너지 변환 효율을 의미하며,  $\mathbb{E}$ 는 에너지 함수를 나타낸다. 그리고  $\mathbf{h}_k^H$ 는 송신 장치와  $k$ 번째 수신 장치 사이의 채널에 대한 에르미트 행렬이고,  $\mathbf{w}$ 는 빔 포밍 벡터를 나타내며,  $\sigma_k^2$ 인 안테나 잡음( $n_k$ )의 분산을 나타낸다.)

에 따라 계산하는 무선 전력 전송 시스템의 송신 장치.

#### 청구항 10

기지정된 패턴으로 배열된 다수의 안테나를 포함하여 다수의 수신 장치로 무선 전력 신호를 빔 포밍하여 전송하는 무선 전력 전송 시스템의 송신 장치의 송신 방법에 있어서,

상기 다수의 수신 장치의 위치를 판별하는 단계;

상기 다수의 안테나에서 상기 다수의 수신 장치 방향을 동시에 지향하는 다중 빔 패턴이 형성되도록, 상기 다수의 수신 장치의 위치를 기반으로 상기 다수의 안테나 각각으로 급전되는 신호의 주파수를 지정하는 주파수 벡터와 신호의 위상과 세기를 지정하는 빔 포밍 벡터를 임시 설정하여 전력 전송 효율이 향상되는 나머지 벡터를 교대로 반복적으로 추정하는 단계; 및

추정된 빔 포밍 벡터와 주파수 벡터에 대응하여 상기 다수의 안테나 각각으로 급전되는 신호에 따른 패턴의 빔을 형성하여 상기 무선 전력 신호를 방사하는 단계를 포함하는 무선 전력 전송 시스템의 송신 방법.

#### 청구항 11

제10항에 있어서, 상기 추정하는 단계는

교대로 반복하여 추정되어 임시 설정되는 임시 주파수 벡터와 임시 빔 포밍 벡터에 따라 상기 다수의 수신 장치 각각이 수확하는 수확 전력량의 총 합으로 계산되는 총 수확 전력량의 변화가 기지정된 기준 수확 전력량 차 이내인지 판별하는 단계; 및

판별된 총 수확 전력량의 변화가 기지정된 기준 수확 전력량 차 이내이면, 현재 설정된 임시 주파수 벡터와 임시 빔 포밍 벡터를 상기 다수의 안테나로 급전되는 신호의 주파수와 위상 및 세기를 조절하기 위한 주파수 벡터와 빔 포밍 벡터로 설정하는 단계를 포함하는 무선 전력 전송 시스템의 송신 방법.

#### 청구항 12

제11항에 있어서, 상기 기준 수확 전력량 차 이내인지 판별하는 단계는

이전 획득된 임시 주파수 벡터로부터 상기 송신 장치와 상기 다수의 수신 장치 각각 사이의 하향링크 채널을 계산하는 단계;

계산된 하향링크 채널과 상기 다수의 수신 장치 각각의 에너지 변환 효율에 기초하여, 상기 임시 빔 포밍 벡터를 계산하는 단계;

상기 임시 빔 포밍 벡터를 이용하여 기지정된 방식으로 임시 주파수 벡터를 획득하는 단계;

상기 다수의 수신 장치 각각이 수확하는 상기 수확 전력량을 계산하고 가산하여 상기 총 수확 전력량을 계산하는 단계; 및

이전 계산된 총 수확 전력량과 현재 계산된 총 수확 전력량 사이의 차를 계산하는 단계를 포함하는 무선 전력

전송 시스템의 송신 방법.

### 청구항 13

제12항에 있어서, 상기 하향링크 채널을 계산하는 단계는

상기 송신 방법과 상기 다수의 수신 장치 중 k번째 수신 장치 사이의 하향링크 채널( $h_k$ )의 가시선(LOS) 성분을 수학식

$$\bar{\mathbf{h}}_k = \sqrt{\frac{1}{N}} [1, e^{j2\pi(f_2\tau_{k,2}-f_1\tau_{k,1})}, \dots, e^{j2\pi(f_N\tau_{k,N}-f_1\tau_{k,1})}]^T$$

(여기서  $f_n$  은 N개의 안테나 중 n번째 안테나로 급전되는 신호의 주파수를 나타내고,  $\tau_{k,n}$  은 n번째 안테나와 k번째 수신 장치 사이의 시간 지연을 의미한다.)

에 따라 계산하고,

하향링크 채널( $h_k$ )을

$$\mathbf{h}_k = \sqrt{\frac{\beta_k R}{1+R}} \bar{\mathbf{h}}_k + \sqrt{\frac{\beta_k}{1+R}} \tilde{\mathbf{h}}_k$$

(여기서,  $\beta_k$ 는 대규모 페이딩, R은 라이시안 매개변수,  $\tilde{\mathbf{h}}_k$ 는 비가시선(NLOS) 성분을 의미한다.)

에 따라 계산하는 무선 전력 전송 시스템의 송신 방법.

### 청구항 14

제13항에 있어서, 상기 임시 빔 포밍 벡터를 계산하는 단계는

상기 임시 빔 포밍 벡터를 수학식

$$\mathbf{w} = \sqrt{P_0} \mathbf{v}_{\max}(\mathbf{G})$$

(여기서  $P_0$ 는 최대 송신 전력, G는 에너지 변환 및 채널 효율로서  $\mathbf{G} = \sum_{k=1}^K \eta_k \mathbf{h}_k \mathbf{h}_k^H$ 로 계산되며,  $\mathbf{v}_{\max}(\mathbf{G})$ 는 에너지 변환 및 채널 효율(G)의 최대 고유값에 대응되는 고유벡터를 나타낸다.)

에 따라 계산하여 획득하는 무선 전력 전송 시스템의 송신 방법.

### 청구항 15

제14항에 있어서, 상기 임시 주파수 벡터를 획득하는 단계는

상기 임시 빔 포밍 벡터가 획득되면, 수학식

$$\begin{aligned} & \underset{\mathbf{f}}{\text{maximize}} \quad g(\mathbf{f}) = \mathbf{w}^H \mathbf{G} \mathbf{w} \\ & \text{subject to} \quad f_L \leq f_n \leq f_U, \forall n \end{aligned}$$

에 따라 기지정된 주파수 범위( $[f_L, f_U]$ ) 내에서 에너지 변환 및 빔 포밍 채널 효율( $g(\mathbf{f})$ )을 최대로 하는 주파수( $f_n$ )를 탐색하여 획득하는 무선 전력 전송 시스템의 송신 방법.

### 청구항 16

제14항에 있어서, 상기 임시 주파수 벡터를 획득하는 단계는

수학식

$$J_t(\mathbf{f}) = -\frac{1}{2}(\mathbf{f} - \mathbf{f}^{(t)})^T \mathbf{M}_t(\mathbf{f} - \mathbf{f}^{(t)}) - \mathbf{q}_t^T(\mathbf{f} - \mathbf{f}^{(t)}) + g(\mathbf{f}^{(t)})$$

(여기서  $\mathbf{f}$ 는 현재 임시로 설정된 주파수 벡터이고,  $\mathbf{f}^{(t)}$ 는  $t$ 번째 반복에서 목적 함수( $g(\mathbf{f})$ )에 대응하는 반복 주파수 벡터를 나타내고,  $\mathbf{M}_t$ 는 이차항을 나타내는 행렬 계수를 나타내며,  $\mathbf{q}_t$ 는 일차항을 나타내는 벡터 계수를 의미한다.)

에 따른 대체 함수( $J_t(\mathbf{f})$ )를 최대로 하도록 반복 추정되는 주파수 벡터( $\mathbf{f}^{(t+1)}$ )를

수학식

$$\mathbf{f}^{(t+1)} = \mathcal{P}(\mathbf{f}^{(t)} - \mathbf{M}_t^{-1}\mathbf{q}_t)$$

(여기서,  $\mathbf{f}^{(t+1)}$ 는  $t+1$ 번째 반복에서 목적 함수( $g(\mathbf{f})$ )와 접하는 반복 주파수 벡터,  $\mathcal{P}(\cdot)$ 는 반복 주파수 벡터( $\mathbf{f}^{(t+1)}$ )의 원소를 주파수 범위( $[f_L, f_U]$ ) 내로 정사영하기 위한 연산자를 의미한다.)

에 따라 계산하여 획득하는 무선 전력 전송 시스템의 송신 방법.

#### 청구항 17

제16항에 있어서, 상기 임시 주파수 벡터를 획득하는 단계는

현재 반복에서 획득된 반복 주파수 벡터와 이전 반복에서 획득된 반복 주파수 벡터 사이의 차가 기설정된 기준 주파수 차( $\varepsilon$ ) 이내가 될 때까지 반복하여 반복 주파수 벡터를 획득하고, 반복 주파수 벡터 사이의 차가 상기 기준 주파수 차( $\varepsilon$ ) 이내이면, 현재 획득된 반복 주파수 벡터를 임시 주파수 벡터로 설정하는 무선 전력 전송 시스템의 송신 방법.

#### 청구항 18

제14항에 있어서, 상기 총 수확 전력량을 계산하는 단계는

상기 다수의 수신 장치 각각에서 수확되는 수확 전력량을 수학식

$$Q_k = \eta_k \mathbb{E}\{|y_k|^2\} = \eta_k(|\mathbf{h}_k^H \mathbf{w}|^2 + \sigma_k^2)$$

(여기서  $Q_k$ 는  $k$ 번째 수신 장치의 수확 전력량을 나타내고,  $\eta_k$ 는 수신 방법의 정류 에너지 변환 효율을 의미하며,  $\mathbb{E}$ 는 에너지 함수를 나타낸다. 그리고  $\mathbf{h}_k^H$ 는 송신 방법과  $k$ 번째 수신 장치 사이의 채널에 대한 에르미트 행렬이고,  $\mathbf{w}$ 는 빔 포밍 벡터를 나타내며,  $\sigma_k^2$ 인 안테나 잡음( $n_k$ )의 분산을 나타낸다.)

에 따라 계산하는 무선 전력 전송 시스템의 송신 방법.

### 발명의 설명

#### 기술 분야

[0001] 본 발명은 무선 전력 전송 시스템의 송신 장치 및 방법에 관한 것으로, 다수의 수신 장치로 무선 전력 신호를 전송하는 환경에서 무선 전력 전송의 효율 향상시킬 수 있는 무선 통신 시스템의 송신 장치 및 방법에 관한 것이다.

#### 배경 기술

[0002] 최근 무선 네트워크 기술의 발전과 함께 IoT(Internet of Things) 장치의 수가 급격하게 증가하는 추세이다. 대규모 무선 네트워크를 효과적으로 관리하기 위해서는 IoT 장치를 위한 안정적인 전력 공급 시스템이

필요하다.

- [0003] 이를 위해 최근에는 무선 주파수(RF: Radio Frequency) 신호 기반의 무선 전력 전송(Wireless Power Transmission: WPT) 시스템이 주목받고 있다. 특히 무선 전력 전송의 효율을 높이기 위해 다중 안테나를 사용하여 공간적으로 에너지를 집약시키기 위한 빔 포밍 기술에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다.
- [0004] 다만 전력을 수신해야 하는 다수의 수신 장치가 존재하는 환경에서는 무선 전력 전송 효율을 극대화하기가 용이하지 않다.
- [0005] 도 1은 무선 전력 전송 시스템의 일 예를 나타내고, 도 2는 기존의 빔 포밍 기법에 따른 무선 전력 신호의 빔 패턴의 일 예를 나타낸다.
- [0006] 도 1에서는 일 예로 N개의 안테나를 구비하는 송신 장치(Tx)와 송신 장치(Tx)의 기지정된 서비스 영역 내에 단 일 안테나를 장착한 K개의 수신 장치(Rx)로 구성되는 무선 전력 전송 시스템을 도시하였다. 이와 같은 환경에서 무선 전력 전송 효율을 향상시키고자 하는 경우, 기존의 빔 포밍 기법을 이용하는 송신 장치(Tx)는 도 2에 도시된 바와 같이, 무선 전력 신호를 수신해야 하는 K개의 수신 장치(Rx) 중 가장 가까운 거리의 수신 장치(Rx) 방향으로 빔이 형성되도록 빔 포밍하여 무선 전력 전송을 수행한다.
- [0007] 도 2에서는 3개의 제1 내지 제3 수신 장치(Rx1 ~ Rx3)가 송신 장치(Tx)로부터 서로 다른 방향에서 점차 먼 거리에 배치된 경우에, 기존의 빔 포밍 기법에 따라 형성된 빔 패턴을 도시하였다. 도 2에서는 제1 내지 제3 수신 장치(Rx1 ~ Rx3)로 전송되는 무선 전력의 세기를 제1 수신 장치(Rx1)로 전송되는 무선 전력 크기를 기준으로 정규화하여 나타낸 도면이다.
- [0008] 도 2에 도시된 바와 같이, 기존의 빔 포밍 기법에서는 무선 전력 전송 효율을 향상시키기 위해, 제1 내지 제3 수신 장치(Rx1 ~ Rx3) 중 가장 가까운 제1 수신 장치(Rx1) 방향으로 빔 패턴이 형성되도록 한다. 따라서 제1 수신 장치(Rx1)에 대해서만 최적화된 전력이 전송되는 반면, 나머지 수신 장치(Rx2, Rx3)로는 전송되는 전력이 크게 낮아진다.
- [0009] 도 2에서 제1 수신 장치(Rx1) 방향에 대해 90도 각도를 기준으로 대칭되는 각도에 나타나는 빔 패턴은, 송신 장치(Tx)가 다수의 안테나가 선형 배열된 구조를 갖는 경우를 가정하여 시뮬레이션함에 따라 나타난 빔 패턴이다.
- [0010] 즉 도 2에 도시된 바와 같이, 다수의 수신 장치가 배치된 무선 전력 전송 시스템에서 송신 장치(Tx)는 무선 전력 전송 효율을 최우선 시하여 기존의 빔 포밍 기법으로 전력 신호를 전송하는 경우, 가장 근거리에 위치한 수신 장치(Rx1) 방향으로 빔 패턴을 형성하였다. 이는 기존의 무선 전력 전송 효율 기반 빔 포밍 기법이 신호의 위상(phase)과 세기(gain)만을 조절하여 빔을 형성하여, 동시에 여러 방향을 지향하는 다중 빔 패턴을 형성할 수 없기 때문이다. 그러나 만일 송신 장치(Tx)가 다중 빔 패턴을 형성할 수 있도록 구성된다면, 다중 사용자 환경에서의 무선 전력 전송 효율을 더욱 향상시킬 수 있다.

## 선행기술문헌

### 특허문헌

- [0011] (특허문헌 0001) 한국 등록 특허 제10-1735145호 (2017.05.04 등록)

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

- [0012] 본 발명의 목적은 다수의 수신 장치가 배치된 무선 전력 전송 시스템에서 무선 전력 전송 효율을 최대화할 수 있는 무선 전력 전송 시스템의 송신 장치 및 방법을 제공하는데 있다.
- [0013] 본 발명의 다른 목적은 다수의 안테나를 포함하는 송신 장치의 무선 전력 전송 효율이 최대화되도록 다수의 안테나로 급전되는 신호의 주파수와 빔 포밍 벡터를 설정할 수 있는 무선 전력 전송 시스템의 송신 장치 및 방법을 제공하는데 있다.

### 과제의 해결 수단



[0014] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 무선 전력 전송 시스템의 송신 장치는 다수의 수신 장치의 위치를 판별하는 수신 위치 확인부; 기지정된 패턴으로 배열된 다수의 안테나를 포함하고, 상기 다수의 안테나 각각으로 급전된 신호에 대응하는 패턴의 빔을 형성하여 무선 전력 신호를 방사하는 신호 송신부; 및 상기 다수의 안테나에서 상기 다수의 수신 장치 방향을 동시에 지향하는 다중 빔 패턴이 형성되도록, 상기 다수의 수신 장치의 위치를 기반으로 상기 다수의 안테나 각각으로 급전되는 신호의 주파수를 지정하는 주파수 벡터와 신호의 위상과 세기를 지정하는 빔 포밍 벡터를 임시 설정하여 전력 전송 효율이 향상되는 나머지 벡터를 교대로 반복적으로 추정하여 무선 전력 전송 효율을 개선하는 빔 포밍부를 포함한다.

[0015] 상기 빔 포밍부는 교대로 반복하여 추정되어 임시 설정되는 임시 주파수 벡터와 임시 빔 포밍 벡터에 따라 상기 다수의 수신 장치 각각이 수확하는 수확 전력량의 총 합으로 계산되는 총 수확 전력량의 변화가 기지정된 기준 수확 전력량 차 이내가 되면, 현재 설정된 임시 주파수 벡터와 임시 빔 포밍 벡터에 따라 상기 다수의 안테나로 급전되는 신호의 주파수와 위상 및 세기를 조절할 수 있다.

[0016] 상기 빔 포밍부는 임시 주파수 벡터가 획득되면, 상기 송신 장치와 상기 다수의 수신 장치 각각 사이의 하향링크 채널을 계산하고, 계산된 하향링크 채널과 상기 다수의 수신 장치 각각의 에너지 변환 효율에 기초하여, 상기 임시 빔 포밍 벡터를 계산하여 획득할 수 있다.

[0017] 상기 빔 포밍부는 상기 송신 장치와 상기 다수의 수신 장치 중 k번째 수신 장치 사이의 하향링크 채널( $h_k$ )의 가시선(LOS) 성분을 수학식

$$\bar{\mathbf{h}}_k = \sqrt{\frac{1}{N}} [1, e^{j2\pi(f_2\tau_{k,2}-f_1\tau_{k,1})}, \dots, e^{j2\pi(f_N\tau_{k,N}-f_1\tau_{k,1})}]^T$$

[0018] (여기서  $f_n$  은 N개의 안테나 중 n번째 안테나로 급전되는 신호의 주파수를 나타내고,  $\tau_{k,n}$  은 n번째 안테나와 k번째 수신 장치 사이의 시간 지연을 의미한다.)에 따라 계산하고, 하향링크 채널( $h_k$ )을

$$\mathbf{h}_k = \sqrt{\frac{\beta_k R}{1+R}} \bar{\mathbf{h}}_k + \sqrt{\frac{\beta_k}{1+R}} \tilde{\mathbf{h}}_k$$

[0020] (여기서,  $\beta_k$ 는 대규모 페이딩, R은 라이시안 매개변수,  $\tilde{\mathbf{h}}_k$ 는 비가시선(NLOS) 성분을 의미한다.)에 따라 계산할 수 있다.

[0021] 상기 빔 포밍부는 상기 임시 빔 포밍 벡터를 수학식

$$\mathbf{w} = \sqrt{P_0} \mathbf{v}_{\max}(\mathbf{G})$$

[0023] (여기서  $P_0$ 는 최대 송신 전력, G는 에너지 변환 및 채널 효율로서  $\mathbf{G} = \sum_{k=1}^K \eta_k \mathbf{h}_k \mathbf{h}_k^H$ 로 계산되며,  $\mathbf{v}_{\max}(\mathbf{G})$ 는 에너지 변환 및 채널 효율(G)의 최대 고유값에 대응되는 고유벡터를 나타낸다.)에 따라 계산하여 획득할 수 있다.

[0024] 상기 빔 포밍부는 상기 임시 빔 포밍 벡터가 획득되면, 수학식

$$\begin{aligned} & \underset{\mathbf{f}}{\text{maximize}} && g(\mathbf{f}) = \mathbf{w}^H \mathbf{G} \mathbf{w} \\ & \text{subject to} && f_L \leq f_n \leq f_U, \forall n \end{aligned}$$

[0025] 에 따라 기지정된 주파수 범위( $[f_L, f_U]$ ) 내에서 에너지 변환 및 빔 포밍 채널 효율( $g(\mathbf{f})$ )을 최대로 하는 주파수( $f_n$ )를 탐색하여 획득할 수 있다.

[0026] 상기 빔 포밍부는 수학식

$$J_t(\mathbf{f}) = -\frac{1}{2}(\mathbf{f} - \mathbf{f}^{(t)})^T \mathbf{M}_t(\mathbf{f} - \mathbf{f}^{(t)}) - \mathbf{q}_t^T(\mathbf{f} - \mathbf{f}^{(t)}) + g(\mathbf{f}^{(t)})$$

[0030] (여기서  $f$ 는 현재 임시로 설정된 주파수 벡터이고,  $f^{(t)}$ 는  $t$ 번째 반복에서 목적 함수( $g(f)$ )에 대응하는 반복 주파수 벡터를 나타내고,  $M_t$ 는 이차항을 나타내는 행렬 계수를 나타내며,  $q_t$ 는 일차항을 나타내는 벡터 계수를 의미한다.)에 따른 대체 함수( $J_t(f)$ )를 최대 하도록 반복 추정되는 주파수 벡터( $f^{(t+1)}$ )를 수학식

$$f^{(t+1)} = \mathcal{P}(f^{(t)} - M_t^{-1}q_t)$$

[0031] (여기서,  $f^{(t+1)}$ 는  $t+1$ 번째 반복에서 목적 함수( $g(f)$ )와 접하는 반복 주파수 벡터,  $P(\cdot)$ 는 반복 주파수 벡터( $f^{(t+1)}$ )의 원소를 주파수 범위( $[f_L, f_U]$ ) 내로 정사영하기 위한 연산자를 의미한다.)에 따라 계산하여 획득될 수 있다.

[0032] 상기 빔 포밍부는 현재 반복에서 획득된 반복 주파수 벡터와 이전 반복에서 획득된 반복 주파수 벡터 사이의 차가 기지정된 기준 주파수 차( $\varepsilon$ ) 이내가 될 때까지 반복하여 반복 주파수 벡터를 획득하고, 반복 주파수 벡터 사이의 차가 상기 기준 주파수 차( $\varepsilon$ ) 이내이면, 현재 획득된 반복 주파수 벡터를 임시 주파수 벡터로 설정할 수 있다.

[0033] 상기 빔 포밍부는 상기 다수의 수신 장치 각각에서 수확되는 수확 전력량을 수학식

$$Q_k = \eta_k \mathbb{E}\{|y_k|^2\} = \eta_k (|h_k^H w|^2 + \sigma_k^2)$$

[0034] (여기서  $Q_k$ 는  $k$ 번째 수신 장치의 수확 전력량을 나타내고,  $\eta_k$ 는 수신 장치의 정류 에너지 변환 효율을 의미하며,  $\mathbb{E}$ 는 에너지 함수를 나타낸다. 그리고  $h_k^H$ 는 송신 장치와  $k$ 번째 수신 장치 사이의 채널에 대한 에르미트 행렬이고,  $w$ 는 빔 포밍 벡터를 나타내며,  $\sigma_k^2$ 인 안테나 잡음( $n_k$ )의 분산을 나타낸다.)

[0035] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 다른 실시예에 따른 무선 전력 전송 시스템의 송신 방법은 기지정된 패턴으로 배열된 다수의 안테나를 포함하여 다수의 수신 장치로 무선 전력 신호를 빔 포밍하여 전송하는 무선 전력 전송 시스템의 송신 장치의 송신 방법에 있어서, 상기 다수의 수신 장치의 위치를 판별하는 단계; 상기 다수의 안테나에서 상기 다수의 수신 장치 방향을 동시에 지향하는 다중 빔 패턴이 형성되도록, 상기 다수의 수신 장치의 위치를 기반으로 상기 다수의 안테나 각각으로 급전되는 신호의 주파수를 지정하는 주파수 벡터와 신호의 위상과 세기를 지정하는 빔 포밍 벡터를 임시 설정하여 전력 전송 효율이 향상되는 나머지 벡터를 교대로 반복적으로 추정하는 단계; 및 추정된 빔 포밍 벡터와 주파수 벡터에 대응하여 상기 다수의 안테나 각각으로 급전되는 신호에 따른 패턴의 빔을 형성하여 상기 무선 전력 신호를 방사하는 단계를 포함한다.

### 발명의 효과

[0036] 따라서, 본 발명의 실시예에 따른 무선 전력 전송 시스템의 송신 장치 및 방법은 다수의 안테나를 포함하는 송신 장치가 무선 전력 신호를 수신하는 다수의 수신 장치의 위치에 따라 다수의 안테나로 급전되는 신호의 이득과 위상을 조절하는 빔 포밍 벡터와 함께 다수의 안테나로 급전되는 신호의 주파수를 함께 조절함으로써, 다수의 수신 장치에 대해 다중 빔 포밍하여 무선 전력 신호의 전송 효율이 최대화되어 전송되도록 할 수 있다.

### 도면의 간단한 설명

[0037] 도 1은 무선 전력 전송 시스템의 일 예를 나타낸다.

도 2는 기존의 빔 포밍 기법에 따른 무선 전력 신호의 빔 패턴의 일 예를 나타낸다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 무선 전력 전송 시스템의 송신 장치를 나타낸다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 무선 전력 전송 시스템의 수신 장치를 나타낸다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 무선 전력 전송 시스템의 송신 방법을 나타낸다.

도 6은 본 실시예에 따른 무선 전력 신호의 빔 패턴의 일 예를 나타낸다.

도 7은 기존의 전력 전송 효율과 본 실시예에 따른 전력 전송 효율을 비교하기 위한 도면이다.

## 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0040] 본 발명과 본 발명의 동작상의 이점 및 본 발명의 실시에 의하여 달성되는 목적을 충분히 이해하기 위해서는 본 발명의 바람직한 실시예를 예시하는 첨부 도면 및 첨부 도면에 기재된 내용을 참조하여야만 한다.
- [0041] 이하, 첨부한 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 설명함으로써, 본 발명을 상세히 설명한다. 그러나, 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며, 설명하는 실시예에 한정되는 것이 아니다. 그리고, 본 발명을 명확하게 설명하기 위하여 설명과 관계없는 부분은 생략되며, 도면의 동일한 참조부호는 동일한 부재임을 나타낸다.
- [0042] 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", "블록" 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어나 소프트웨어 또는 하드웨어 및 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.
- [0043] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 사용자 환경에서 송신 장치의 일 예를 나타내고, 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 사용자 환경에서 수신 장치의 일 예를 나타낸다.
- [0044] 도 3을 참조하면, 본 실시예에 따른 송신 장치(100)는 수신 위치 확인부(110), 빔 포밍부(120), 신호 송신부(130)를 포함할 수 있다. 수신 위치 확인부(110)는 무선 전력 신호를 전송해야 하는 서비스 영역 내에 배치된 다수의 수신 장치의 위치를 확인한다. 수신 위치 확인부(110)는 확인되는 다수의 수신 장치의 위치로부터 수신 장치가 배치된 거리(r) 및 각도( $\theta$ )를 획득한다.
- [0045] 여기서 수신 위치 확인부(110)는 다수의 수신 장치 각각과 통신을 수행하여 각 수신 장치의 위치를 판별할 수 있다. 그러나 수신 장치가 IoT 장치인 경우, 대부분의 수신 장치는 미리 지정된 위치에 배치되고 이동하지 않으므로, 수신 위치 확인부(110)는 다수의 수신 장치의 위치가 미리 획득되어 저장될 수도 있다.
- [0046] 빔 포밍부(120)는 수신 위치 확인부(110)에서 획득된 다수의 수신 장치 각각에 대한 거리(r) 및 방위각( $\theta$ )을 기반으로 무선 전력 신호의 전송 효율이 최대화할 수 있는 무선 전력 신호의 주파수 벡터(f)와 빔 포밍 벡터(w)를 설정한다. 여기서 주파수 벡터(f)는 송신 장치(100)의 다수의 송신 안테나 각각에 대응하는 주파수가 원소로 포함된 벡터이다. 즉 주파수 벡터(f)는 송신 안테나 개수에 대응하는 개수의 주파수를 원소로 갖는 벡터이다. 그리고 빔 포밍 벡터(w)는 다수의 안테나에서 다수의 수신 장치의 위치 방향으로 다중 빔이 형성되어 지향되도록 각 안테나로 인가되는 신호의 위상과 이득을 설정하는 벡터이다.
- [0047] 여기서 빔 포밍부(120)가 주파수 벡터(f)와 빔 포밍 벡터(w)를 획득하는 방식에 대한 상세한 설명은 후술하도록 한다.
- [0048] 신호 송신부(130)는 다수(여기서는 일 예로 N개)의 송신 안테나를 포함하고, 다수의 송신 안테나 각각에 대해 빔 포밍부(120)에서 설정된 주파수 벡터(f)에서 대응하는 주파수를 갖는 신호를 빔 포밍 벡터(w)에 의해 설정된 위상과 이득에 따라 조절하여 다수의 수신 장치 방향으로 다중 빔이 형성되도록 하여 전력 신호(x)를 방사한다.
- [0049] 여기서 신호 송신부(130)에서 전송되는 송신 신호(x)는 수학적 1로 표현될 수 있다.

## 수학적 1

$$\mathbf{X} = \mathbf{W}\mathbf{S}$$

- [0050]
- [0051] 여기서 s는 주파수 벡터(f)에서 대응하는 주파수를 갖는 신호로서 복소 정규 분포를 따르는 전력 심볼을 나타낸다.
- [0052] 도 3에 도시된 송신 장치(100)에서 다중 빔이 형성되어 송신 신호(x)가 전송되면, 다수의 수신 장치(200) 각각은 송신 신호(x)가 채널(h)을 통해 전달된 수신 신호( $y_k$ )를 인가받아 전력을 수확한다.
- [0053] 도 4를 참조하면, 다수의 수신 장치(200) 각각은 신호 수신부(210), 정류부(220) 및 전력 수확부(230)를 포함할 수 있다.

[0054] 신호 수신부(210)는 단일 안테나를 통해 채널(h)을 통해 전달되는 수신 신호( $y_k$ )를 획득한다.

[0055] 일반적으로 송신 장치(100)와 다수의 수신 장치 중 k번째 수신 장치 사이의 무선 채널(h)은 라이시안(Rician) 채널 모델을 적용하여 수학식 2와 같이 모델링될 수 있다.

### 수학식 2

[0056]

$$\mathbf{h}_k = \sqrt{\frac{\beta_k R}{1+R}} \bar{\mathbf{h}}_k + \sqrt{\frac{\beta_k}{1+R}} \tilde{\mathbf{h}}_k$$

[0057] 여기서,  $\mathbf{h}_k$ 는 k번째 수신 장치에 대한 하향링크 채널,  $\beta_k$ 는 대규모 페이딩(large-scale fading), R은 라이시안(Rician) 매개변수,  $\bar{\mathbf{h}}_k$ 는 가시선(Line-Of-Site: LOS) 성분,  $\tilde{\mathbf{h}}_k$ 는 평균 벡터가 0이고 공분산 행렬이  $\frac{1}{N} \mathbf{I}$ 인 복소 가우시안(Gaussian) 분포를 따르는 비가시선(Non-Line-Of-Site: NLOS) 성분을 의미한다.

[0058] 송신 장치(100)에서 N개의 선형 배열 송신 안테나를 포함하는 신호 송신부(130)가 단일 주파수( $f_0$ ) 성분의 송신 신호(x)를 전송하는 경우, 하향링크 채널( $\mathbf{h}_k$ )의 가시선 성분( $\bar{\mathbf{h}}_k$ )은 수학식 3에 의하여 결정된다.

### 수학식 3

[0059]

$$\bar{\mathbf{h}}_k = \sqrt{\frac{1}{N}} [1, e^{-j2\pi f_0 d \theta_k / c}, \dots, e^{-j2\pi f_0 d (N-1) \theta_k / c}]^T$$

[0060] 여기서  $j = \sqrt{-1}$  이고,  $f_0$ 는 송신 신호의 중심 주파수, d는 안테나 간격,  $\theta_k$ 는 k번째 수신 장치의 방위각, c는 빛의 속도를 의미한다.

[0061] 다만, 본 실시예에서는 상기한 바와 같이, 송신 장치(100)의 신호 송신부(130)가 빔 포밍부(120)에 의해 설정된 주파수 벡터(f)에 따라 N개의 송신 안테나 각각에 대해 개별적으로 신호를 지정할 수 있으므로, 하향링크 채널( $\mathbf{h}_k$ )의 가시선 성분( $\bar{\mathbf{h}}_k$ )은 수학식 4로 구성될 수 있다.

### 수학식 4

[0062]

$$\bar{\mathbf{h}}_k = \sqrt{\frac{1}{N}} [1, e^{j2\pi(f_2 \tau_{k,2} - f_1 \tau_{k,1})}, \dots, e^{j2\pi(f_N \tau_{k,N} - f_1 \tau_{k,1})}]^T$$

[0063] 여기서  $f_n$  은 N개의 송신 안테나 중 n번째 송신 안테나의 송신 주파수를 나타내고,  $\tau_{k,n}$  은 n번째 송신 안테나와 k번째 수신 장치 사이의 시간 지연을 의미한다.

[0064] 따라서 k번째 수신 장치(200)의 신호 수신부(210)에 수신되는 수신 신호( $y_k$ )는 수학식 5로 표현될 수 있다.

### 수학식 5

[0065]

$$y_k = \mathbf{h}_k^H \mathbf{x} + n_k$$

[0066] 여기서,  $n_k$ 는 평균이 0이고 분산이  $\sigma_k^2$ 인 복소 가우시안(Gaussian) 분포를 따르는 안테나 잡음을 의미하며,  $h_k^H$ 는 하향링크 채널( $h_k$ )의 에르미트 행렬(Hermitian matrix)을 의미한다.

[0067] 그리고 정류부(220)는 신호 수신부(210)에서 획득된 수신 신호( $y_k$ )를 정류하여 직류 신호로 변환하고, 전력 수확부(230)는 정류부(220)에서 변환된 직류 신호의 전력을 수확하여 저장한다. 여기서 수확되어 전력 수확부(230)에 저장되는 전력량( $Q_k$ )은 수학식 6으로 계산될 수 있다.

### 수학식 6

$$Q_k = \eta_k \mathbb{E}\{|y_k|^2\} = \eta_k (|\mathbf{h}_k^H \mathbf{w}|^2 + \sigma_k^2)$$

[0069] 여기서  $\eta_k$ 는 정류부(220)의 에너지 변환 효율을 의미하고,  $\mathbb{E}$ 는 에너지 함수를 나타낸다.

[0070] 도 3 및 도 4에 도시된 송신 장치와 다수의 수신 장치를 포함하는 무선 전력 전송 시스템에서 전력 전송 효율성이 최대가 된다는 것은 다수의 수신 장치에서 수확된 전력량( $Q_1 \sim Q_K$ )의 총 합( $\sum Q_k$ )이 최대가 되어야 함을 의미한다.

[0071] 그리고 본 실시예에서 송신 장치(100)는 전력 전송 효율성이 최대가 되도록 주파수 벡터( $f$ )와 빔 포밍 벡터( $w$ )를 동시에 제어하여 다수의 수신 장치의 위치에 대응하는 적응적 빔 패턴을 형성할 수 있다.

[0072] 이하에서는 송신 장치(100)의 빔 포밍부(120)가 전력 전송 효율성이 최대가 되도록 주파수 벡터( $f$ )와 빔 포밍 벡터( $w$ )를 설정하는 과정을 설명한다.

[0073] 전력 전송 효율성이 최대가 되도록 하는 주파수 벡터( $f$ )와 빔 포밍 벡터( $w$ )를 설정하기 위한 목적 함수는 수학식 7과 같이 표현될 수 있다.

### 수학식 7

$$\begin{aligned} & \underset{\mathbf{w}, \mathbf{f}}{\text{maximize}} && \sum_{k=1}^K Q_k(\mathbf{w}, \mathbf{f}) \\ & \text{subject to} && \mathbf{w}^H \mathbf{w} \leq P_0, \\ & && f_L \leq f_n \leq f_U, \forall n \end{aligned}$$

[0075] 여기서  $P_0$ 는 최대 송신 전력,  $f_L$ 는 송신 주파수 범위의 최솟값,  $f_U$ 는 송신 주파수 범위의 최댓값을 의미한다.

[0076] 즉 빔 포밍부(120)가 수학식 7을 만족하는 주파수 벡터( $f$ )와 빔 포밍 벡터( $w$ )를 추출하여 설정하면, 무선 전력 전송 시스템에서 전력 전송 효율성이 최대가 될 수 있다. 다만 수학식 7은 주파수 벡터( $f$ )와 빔 포밍 벡터( $w$ )의 두 개의 변수가 결합된 non-convex 최적화 문제로서 수학식 7에 대한 최적해를 직접 구하기는 매우 어렵다.

[0077] 따라서 본 실시예에서는 두 개의 변수에 대한 해를 동시에 계산하지 않고, 주파수 벡터( $f$ )와 빔 포밍 벡터( $w$ ) 중 하나의 변수를 우선 임시로 설정하고, 나머지 변수를 설정된 변수에 기반하여 결정하는 과정을 교차 반복하여 최적해를 획득한다.

[0078] 본 실시예에서는 우선 주파수 벡터( $f$ )를 초기 주파수 벡터( $f^{(0)}$ )로 임시로 설정하여, 초기 빔 포밍 벡터( $w^{(0)}$ )를 수학식 8에 따라 획득한다. 여기서 초기 주파수 벡터( $f^{(0)}$ )는 기지정된 주파수 범위에서 최소 주파수( $f_L$ )와 최대 주파수( $f_U$ ) 사이의 중간값으로 설정될 수도 있으나, 지정된 주파수 범위의 임의의 값으로 설정될 수도 있다.

### 수학식 8

$$\mathbf{w} = \sqrt{P_0} \mathbf{v}_{\max}(\mathbf{G})$$

여기서  $\mathbf{G} = \sum_{k=1}^K \eta_k \mathbf{h}_k \mathbf{h}_k^H$ 로서 에너지 변환 및 채널 효율을 나타내고,  $\mathbf{v}_{\max}(\mathbf{G})$ 는 행렬  $\mathbf{G}$ 의 최대 고유값(eigenvalue)에 대응되는 고유벡터(eigenvector)를 의미한다.

수학식 8에 따라 초기 빔 포밍 벡터( $\mathbf{w}^{(0)}$ )가 획득되면, 획득된 초기 빔 포밍 벡터( $\mathbf{w}^{(0)}$ )를 기반으로 다시 최적의 주파수 벡터( $\mathbf{f}$ )를 탐색하는 수학식 9의 목적 함수( $g(\mathbf{f})$ )에 대한 해를 추출하여 주파수 벡터( $\mathbf{f}$ )의 최적화 문제를 해결할 수 있다.

### 수학식 9

$$\begin{aligned} & \underset{\mathbf{f}}{\text{maximize}} && g(\mathbf{f}) = \mathbf{w}^H \mathbf{G} \mathbf{w} \\ & \text{subject to} && f_L \leq f_n \leq f_U, \forall n \end{aligned}$$

수학식 9의 목적 함수( $g(\mathbf{f})$ )는 채널( $\mathbf{h}_k$ )을 통해 지정된 에너지 변환 효율( $\eta_k$ )을 갖는 수신 장치로 빔 포밍된 무선 전력 신호가 전송되는 경우에 전송되는 무선 신호의 전력 대비 수신 장치에서 수확되는 전력의 비를 나타내는 에너지 변환 및 빔 포밍 채널 효율로 볼 수 있다.

다만 수학식 9의 목적함수  $g(\mathbf{f})$  또한 주파수 벡터( $\mathbf{f}$ )에 대하여 논-컨벡스(non-convex) 형태를 갖는다. 따라서 수학식 9를 해결하기 위해서는 목적함수( $g(\mathbf{f})$ )를 컨벡스(convex) 형태의 이차식으로 표현되는 대체 함수( $J_t(\mathbf{f})$ )로 반복적으로 대체하여 최적해를 탐색하는 방식으로 수행해야 한다.

여기서 대체함수( $J_t(\mathbf{f})$ )는 다음과 같은 두 조건을 만족하도록 설정된다. 첫째로  $t$ 번째 반복에서 주어진 임시 주파수 벡터( $\mathbf{f}^{(t)}$ )에서 목적 함수( $g(\mathbf{f})$ )와 대체 함수( $J_t(\mathbf{f})$ )는 서로 접해야 한다. 즉 목적 함수( $g(\mathbf{f})$ )의 그래프와 대체 함수( $J_t(\mathbf{f})$ )의 그래프는 주어진 임시 주파수 벡터( $\mathbf{f}^{(t)}$ )에서 매치되어야 한다.

둘째로 임의의 주파수 벡터에 대하여 대체함수( $J_t(\mathbf{f})$ )의 함수값이 목적함수( $g(\mathbf{f})$ )의 함수값 보다 작아야 한다.

따라서  $t$ 번째 반복에서 목적함수( $g(\mathbf{f})$ )를 근사하기 위한 대체함수( $J_t(\mathbf{f})$ )는 수학식 10으로 설정될 수 있다.

### 수학식 10

$$J_t(\mathbf{f}) = -\frac{1}{2}(\mathbf{f} - \mathbf{f}^{(t)})^T \mathbf{M}_t(\mathbf{f} - \mathbf{f}^{(t)}) - \mathbf{q}_t^T(\mathbf{f} - \mathbf{f}^{(t)}) + g(\mathbf{f}^{(t)})$$

여기서,  $\mathbf{f}$ 는 현재 임시로 설정된 주파수 벡터이고,  $\mathbf{f}^{(t)}$ 는  $t$ 번째 반복에서 목적 함수( $g(\mathbf{f})$ )에 대응하는 반복 주파수 벡터를 나타내고,  $\mathbf{M}_t$ 는 이차항을 나타내는 행렬 계수를 나타내며,  $\mathbf{q}_t$ 는 일차항을 나타내는 벡터 계수를 의미한다.

최종적으로는 대체 함수( $J_t(\mathbf{f})$ )를 최대화 하는 다음 반복 주파수 벡터( $\mathbf{f}^{(t+1)}$ )는 수학식 11로 결정된다.



# 수학식 11

$$\mathbf{f}^{(t+1)} = \mathcal{P}(\mathbf{f}^{(t)} - \mathbf{M}_t^{-1} \mathbf{q}_t)$$

[0091]

[0092] 여기서,  $\mathbf{f}^{(t+1)}$  는 t+1번째 반복에서 목적 함수(g(f))와 접하는 반복 주파수 벡터,  $\mathcal{P}(\cdot)$ 는 반복 주파수 벡터( $\mathbf{f}^{(t+1)}$ )의 원소를 주파수 범위( $[f_L, f_U]$ ) 내로 정사영하기 위한 연산자를 의미한다.

[0093] 수학식 11에 의해 결정된 반복 주파수 벡터( $\mathbf{f}^{(t+1)}$ )는 다음 반복을 위해 다시 수학식 10에 적용될 수 있다. 즉 수학식 11에 의해 획득된 반복 주파수 벡터( $\mathbf{f}^{(t+1)}$ )는 다음 반복에서 목적 함수(g(f))와 접하는 반복 주파수 벡터로 업데이트된다.

[0094] 수학식 11에 의해 업데이트된 반복 주파수 벡터( $\mathbf{f}^{(t+1)}$ )는 목적 함수(g(f))에 대해 반복 임시 주파수 벡터( $\mathbf{f}^{(t)}$ )보다 더 큰 목적 함수값( $g(\mathbf{f}^{(t+1)}) \geq g(\mathbf{f}^{(t)})$ )을 가지게 된다. 즉 반복 탐색을 통해 수학식 9를 만족하는 반복 주파수 벡터( $\mathbf{f}^{(t+1)}$ )를 획득할 수 있다.

[0095] 빔 포밍부(120)는 i번째 빔 포밍 벡터( $\mathbf{w}^{(i)}$ )에 대해 업데이트된 반복 주파수 벡터( $\mathbf{f}^{(i,t+1)}$ )와 이전 반복 주파수 벡터( $\mathbf{f}^{(i,t)}$ ) 사이의 차가 기지정된 기준 주파수 차( $\epsilon$ ) 이내( $\|\mathbf{f}^{(i,t+1)} - \mathbf{f}^{(i,t)}\| \leq \epsilon$ )이면, 업데이트된 반복 주파수 벡터( $\mathbf{f}^{(i,t+1)}$ )를 i+1번째 임시 주파수 벡터( $\mathbf{f}^{(i+1)}$ )로 설정하고, 설정된 i+1번째 임시 주파수 벡터( $\mathbf{f}^{(i+1)}$ )를 기반으로 i+1번째 빔 포밍 벡터( $\mathbf{w}^{(i+1)}$ )를 수학식 8에 따라 다시 반복하여 획득한다. 그리고 획득된 i+1번째 빔 포밍 벡터( $\mathbf{w}^{(i+1)}$ )에 따라 다수의 수신 장치 각각에서 수확되는 전력량( $Q_k^{(i+1)}$ )을 계산하고 가산하여 수학식 7과 같이 수확된 전력량( $Q_L^{(i+1)} \sim Q_K^{(i+1)}$ )의 총 합( $\sum Q_k^{(i+1)}$ )으로 계산되는 총 수확 전력량을 획득한다.

[0096] 그리고 계산된 총 수확 전력량( $\sum Q_k^{(i+1)}$ )과 이전 계산된 총 수확 전력량( $\sum Q_k^{(i)}$ ) 사이의 차가 기지정된 기준 수확 전력량 차( $\delta$ )이내( $\|\sum Q_k^{(i+1)} - \sum Q_k^{(i)}\| \leq \delta$ )인지 판별한다. 만일 계산된 총 수확 전력량( $\sum Q_k^{(i+1)}$ )과 이전 계산된 총 수확 전력량( $\sum Q_k^{(i)}$ ) 사이의 차 기준 수확 전력량 차( $\delta$ )보다 크면, 다시 이전 획득된 i+1번째 임시 주파수 벡터( $\mathbf{f}^{(i+1)}$ )를 초기 반복 주파수 벡터( $\mathbf{f}^{(i+1,0)}$ )로 하여 대체함수( $J_t(f)$ )를 기반으로 수학식 11에 따라 반복적으로 임시 주파수 벡터( $\mathbf{f}^{(i+2,t+1)}$ )가 기지정된 기준 주파수 차( $\epsilon$ ) 이내가 되도록 반복 업데이트하고, 최종 업데이트된 임시 주파수 벡터( $\mathbf{f}^{(i+2,t+1)}$ )를 기반으로 빔 포밍 벡터( $\mathbf{w}^{(i+2)}$ )를 획득하여, 총 수확 전력량( $\sum Q_k^{(i+2)}$ )을 계산한다.

[0097] 그러나 계산된 총 수확 전력량( $\sum Q_k^{(i+1)}$ )과 이전 계산된 총 수확 전력량( $\sum Q_k^{(i)}$ ) 사이의 차가 기준 수확 전력량 차( $\delta$ )이내이면, 현재 총 수확 전력량( $\sum Q_k^{(i+1)}$ )에 적용된 임시 주파수 벡터( $\mathbf{f}^{(i+1)}$ )와 빔 포밍 벡터( $\mathbf{w}^{(i+1)}$ )를 송신 장치(100)가 무선 전력 전송을 수행하기 위해 다수의 안테나로 급전되는 신호를 빔 포밍하기 위한 파라미터로 적용한다. 이는 송신 장치(100)가 계산의 효율성을 고려하여 최대 전력 효율에 근접한 다중 빔을 형성할 수 있도록 한다.

[0098] 즉 본 실시예에 따른 무선 전력 송신 장치(100)는 다수의 안테나가 배열된 배열 안테나에서 최대 전력 효율로 다수의 수신 장치(200)로 무선 전력을 전송할 수 있도록 주파수 벡터( $\mathbf{f}^{(i+1,t+1)}$ )와 빔 포밍 벡터( $\mathbf{w}^{(i+1)}$ )를 계산하고, 계산된 주파수 벡터( $\mathbf{f}^{(i+1,t+1)}$ )와 빔 포밍 벡터( $\mathbf{w}^{(i+1)}$ )를 기반으로 다중 빔을 형성하여 다수의 수신 장치(200)로 무선 전력 신호를 전송할 수 있다.

[0099] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 무선 전력 전송 시스템의 송신 방법을 나타낸다.

- [0100] 도 3 및 도 4를 참조하여, 도 5의 무선 전력 전송 시스템의 송신 방법을 설명하면, 우선 송신 장치(100)는 무선 전력 신호를 전송해야 하는 서비스 영역 내에 배치된 다수의 수신 장치의 위치를 확인한다(S11). 그리고 다수의 수신 장치로 다수의 안테나 각각을 통해 전송할 신호의 주파수를 원소로 포함하는 초기 임시 주파수 벡터( $f^{(0)}$ )를 설정한다(S12). 여기서 초기 임시 주파수 벡터( $f^{(0)}$ )는 기지정된 주파수 범위( $[f_L, f_U]$ ) 내에서 기지정된 주파수 또는 임의의 주파수로 설정될 수 있다. 그리고 설정된 초기 임시 주파수 벡터( $f^{(0)}$ )를 기반으로 수학식 8로부터 초기 빔 포밍 벡터( $w^{(0)}$ )를 획득한다(S13). 초기 주파수 벡터( $f^{(0)}$ )와 초기 빔 포밍 벡터( $w^{(0)}$ )가 획득되면, 수학식 6 및 7에 따라 초기 총 수확 전력량( $\sum Q_k^{(0)}$ )을 계산한다(S14).
- [0101] 이후, 이전  $i$  ( $i = \{0, 1, 2, \dots\}$ )번째 획득된 주파수 벡터( $f^{(i)}$ )와 빔 포밍 벡터( $w^{(i)}$ )를 기반으로  $i+1$  번째 주파수 벡터( $f^{(i+1)}$ )에 대한  $t+1$  ( $t = \{0, 1, 2, \dots\}$ )번째 반복 주파수 벡터( $f^{(i+1, t+1)}$ )를 수학식 10의 대체함수( $J_t(f)$ )를 이용하여 수학식 11에 따라 계산한다(S15). 여기서  $i+1$  번째 주파수 벡터( $f^{(i+1)}$ )에 대한 0번째 초기 반복 주파수 벡터( $f^{(i+1, 0)}$ )는 이전  $i$ 번째 획득된 임시 주파수 벡터( $f^{(i)}$ )이다.
- [0102] 그리고 현재 계산된  $t+1$ 번째 반복 주파수 벡터( $f^{(i+1, t+1)}$ )와 이전 계산된  $t$ 번째 반복 주파수 벡터( $f^{(i+1, t)}$ ) 사이의 차가 기지정된 기준 주파수 차( $\varepsilon$ ) 이내( $\|f^{(i+1, t+1)} - f^{(i+1, t)}\| \leq \varepsilon$ )인지 판별한다(S16). 만일  $t+1$ 번째 반복 주파수 벡터( $f^{(i+1, t+1)}$ )와 이전 계산된  $t$ 번째 반복 주파수 벡터( $f^{(i+1, t)}$ ) 사이의 차가 기준 주파수 차( $\varepsilon$ )보다 크면, 현재 획득된  $t+1$ 번째 임시 주파수 벡터( $f^{(i+1, t+1)}$ )를 다음  $t+2$ 번째 반복 주파수 벡터( $f^{(i+1, t+2)}$ )를 획득하기 위한 주파수 벡터( $f$ )로 업데이트한다(S17).
- [0103] 그러나  $t+1$ 번째 반복 주파수 벡터( $f^{(i+1, t+1)}$ )와 이전 계산된  $t$ 번째 반복 주파수 벡터( $f^{(i+1, t)}$ ) 사이의 차가 기지정된 기준 주파수 차( $\varepsilon$ ) 이내이면, 반복을 종료하고, 현재 계산된 반복 주파수 벡터( $f^{(i+1, t+1)}$ )를 임시 주파수 벡터( $f^{(i+1)}$ )로 설정한다(S18).
- [0104] 그리고 설정된 임시 주파수 벡터( $f^{(i+1)}$ )를 기반으로 수학식 8을 계산하여, 임시 빔 포밍 벡터( $w^{(i+1)}$ )를 계산한다(S19). 임시 빔 포밍 벡터( $w^{(i+1)}$ )가 계산되면, 임시 주파수 벡터( $f^{(i+1)}$ )와 임시 빔 포밍 벡터( $w^{(i+1)}$ )에 기초하여 총 수확 전력량( $\sum Q_k^{(i+1)}$ )을 수학식 6 및 7에 따라 다시 계산한다(S20).
- [0105] 그리고 계산된 총 수확 전력량( $\sum Q_k^{(i+1)}$ )과 이전 총 수확 전력량( $\sum Q_k^{(i)}$ ) 사이의 차가 기지정된 기준 수확 전력량 차( $\delta$ ) 이내( $\|\sum Q_k^{(i+1)} - \sum Q_k^{(i)}\| \leq \delta$ )인지 판별한다(S21). 만일 총 수확 전력량 차( $\|\sum Q_k^{(i+1)} - \sum Q_k^{(i)}\|$ )가 기준 수확 전력량 차( $\delta$ )보다 크면, 이전 계산된 임시 주파수 벡터( $f^{(i)}$ )와 임시 빔 포밍 벡터( $w^{(i)}$ )를 현재 계산된 임시 주파수 벡터( $f^{(i+1)}$ )와 임시 빔 포밍 벡터( $w^{(i+1)}$ )로 업데이트 한다(S22). 그리고 업데이트된 임시 주파수 벡터( $f^{(i+1)}$ )를  $i+2$ 번째 임시 주파수 벡터( $f^{(i+2)}$ )를 획득하기 위한 초기 반복 주파수 벡터( $f^{(i+2, 0)}$ )로 하여 대체함수( $J_t(f)$ )를 기반으로 수학식 11에 따라 반복적으로 임시 주파수 벡터( $f^{(i+2, t+1)}$ )를 계산한다(S15).
- [0106] 그러나 총 수확 전력량 차( $\|\sum Q_k^{(i+1)} - \sum Q_k^{(i)}\|$ )가 기준 수확 전력량 차( $\delta$ ) 이내이면, 현재 계산된 임시 주파수 벡터( $f^{(i+1)}$ )와 임시 빔 포밍 벡터( $w^{(i+1)}$ )를 송신 장치(100)의 신호 송신부(130)의 다수의 안테나에 적용할 주파수 벡터( $f$ )와 빔 포밍 벡터( $w$ )로 설정한다(S23). 그리고 설정된 주파수 벡터( $f$ )와 빔 포밍 벡터( $w$ )에 따라 신호 송신부(130)의 다수의 안테나 각각에 기지정된 주파수와 세기 및 위상을 갖는 신호를 급전하여 송신 신호를 다중 빔 포밍하여 전송한다(S24).
- [0107] 도 6은 본 실시예에 따른 무선 전력 신호의 빔 패턴의 일 예를 나타낸다.
- [0108] 도 6에서도 도 2에서와 마찬가지로, 송신 장치가 점차 먼 거리에 배치된 제1 내지 제3 수신 장치(Rx1 ~ Rx3)로 무선 전력은 전송하는 경우를 도시하였다. 도 6의 빔 패턴을 도 2의 빔 패턴과 비교하면, 도 2에서는 3개의 수



신 장치(Rx1 ~ Rx3)가 송신 장치를 기준으로 서로 다른 방향에 위치함에도 가장 가깝게 배치된 제1 수신 장치(Rx1) 방향으로만 빔 패턴이 형성되어 제2 및 제3 수신 장치(Rx2, Rx3)에는 전력 전송 효율성이 크게 낮아졌다. 그에 반해 도 6에 도시된 본 실시예에 따른 송신 장치는 3개의 수신 장치(Rx1 ~ Rx3) 방향으로 다중 빔 패턴이 형성됨에 따라 도 2에 비해 전력 전송 효율성을 향상시킬 수 있다.

[0109] 여기서도 3개의 수신 장치(Rx1 ~ Rx3) 방향의 빔 패턴과 90도 각도로 대칭되는 빔 패턴은 송신 장치의 다수의 안테나가 선형 배열된 구조를 갖는 경우를 가정하여 발생된 빔 패턴이다.

[0110] 도 7은 기존의 전력 전송 효율과 본 실시예에 따른 전력 전송 효율을 비교하기 위한 도면이다.

[0111] 도 7은 송신 장치가 도 2 및 도 6의 빔 패턴으로 무선 전력을 전송할 때, 다수의 수신 장치에 수집되는 총 수확 전력량( $\sum Q_k$ )을 나타낸 도면이다. 도 7을 참조하면, 본 실시예에 따른 무선 전력 송신 방법으로 다수의 수신 장치 방향으로 다중 빔 패턴을 형성하여 무선 전력 신호를 전송하게 되면, 가장 인접한 단일 수신 장치 방향으로만 빔 패턴을 형성하던 기존 송신 방법에 비해 총 수확 전력량( $\sum Q_k$ )이 증가됨을 알 수 있다. 즉 전력 전송 효율을 크게 개선할 수 있다.

[0112] 본 발명에 따른 방법은 컴퓨터에서 실행시키기 위한 매체에 저장된 컴퓨터 프로그램으로 구현될 수 있다. 여기서 컴퓨터 판독가능 매체는 컴퓨터에 의해 액세스 될 수 있는 임의의 가용 매체일 수 있고, 또한 컴퓨터 저장 매체를 모두 포함할 수 있다. 컴퓨터 저장 매체는 컴퓨터 판독가능 명령어, 데이터 구조, 프로그램 모듈 또는 기타 데이터와 같은 정보의 저장을 위한 임의의 방법 또는 기술로 구현된 휘발성 및 비휘발성, 분리형 및 비분리형 매체를 모두 포함하며, ROM(판독 전용 메모리), RAM(랜덤 액세스 메모리), CD(컴팩트 디스크)-ROM, DVD(디지털 비디오 디스크)-ROM, 자기 테이프, 플로피 디스크, 광데이터 저장장치 등을 포함할 수 있다.

[0113] 본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다.

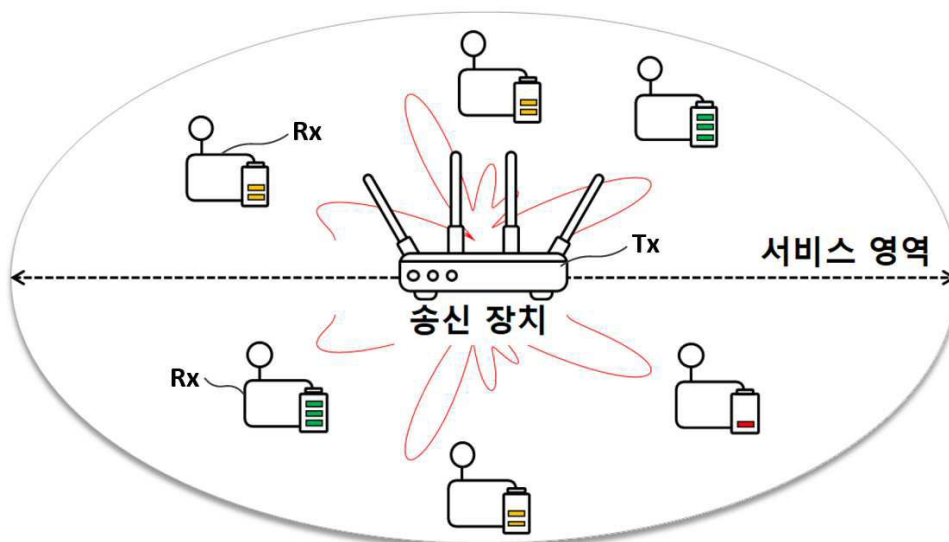
[0114] 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 청구범위의 기술적 사상에 의해 정해져야 할 것이다.

## 부호의 설명

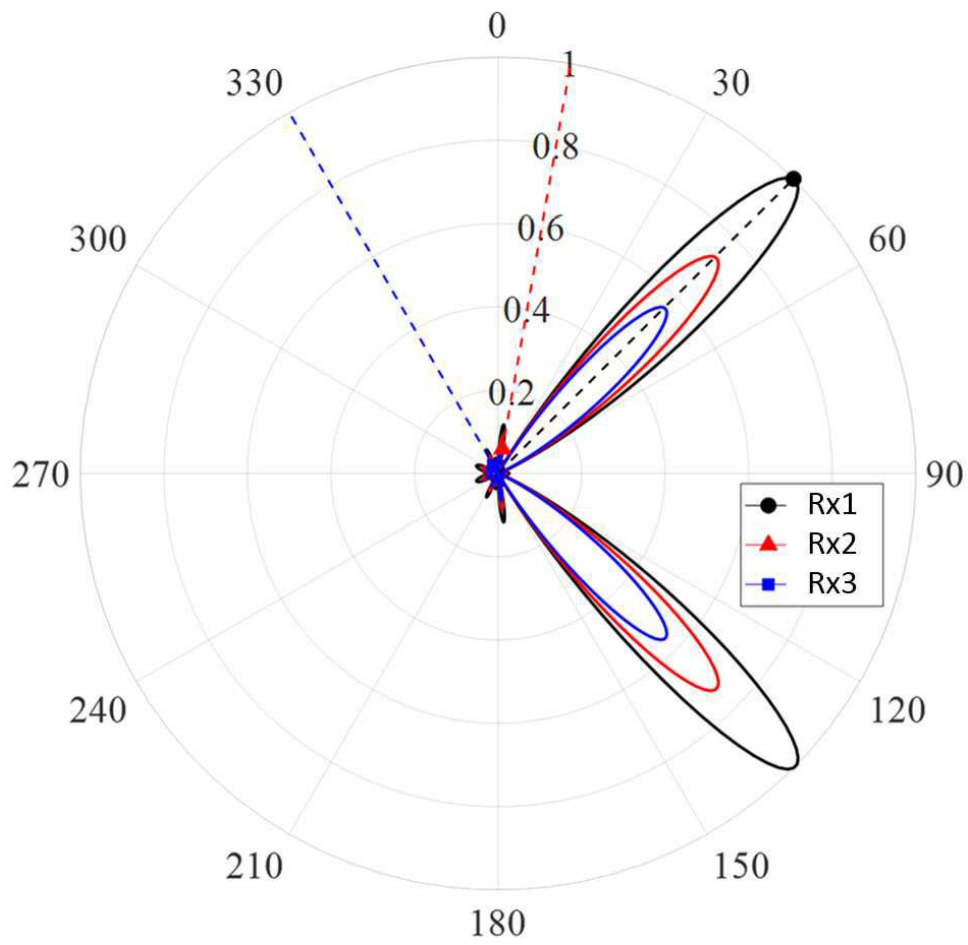
[0115] 100: 송신 장치 110: 수신 위치 확인부  
120: 빔 포밍부 130: 신호 송신부  
200: 수신 장치 210: 신호 수신부  
220: 정류부 230: 전력 수확부

## 도면

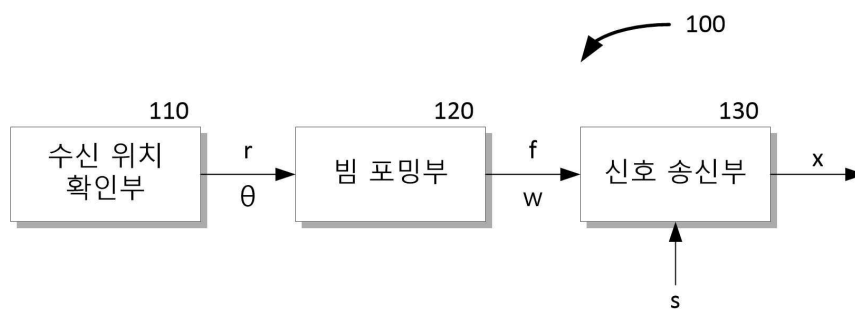
### 도면1



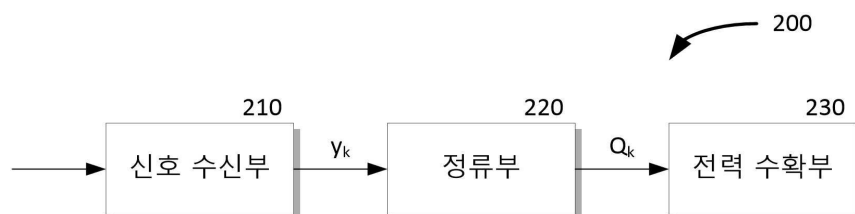
도면2



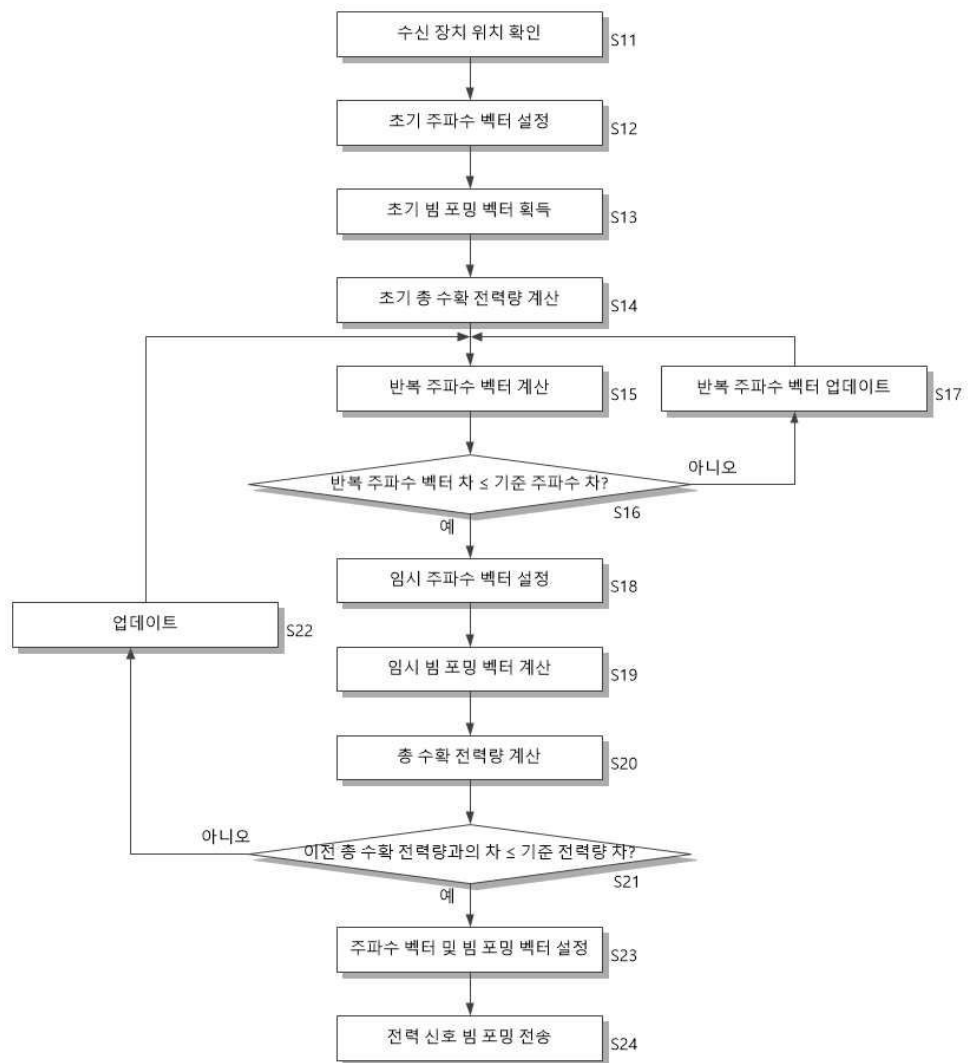
도면3



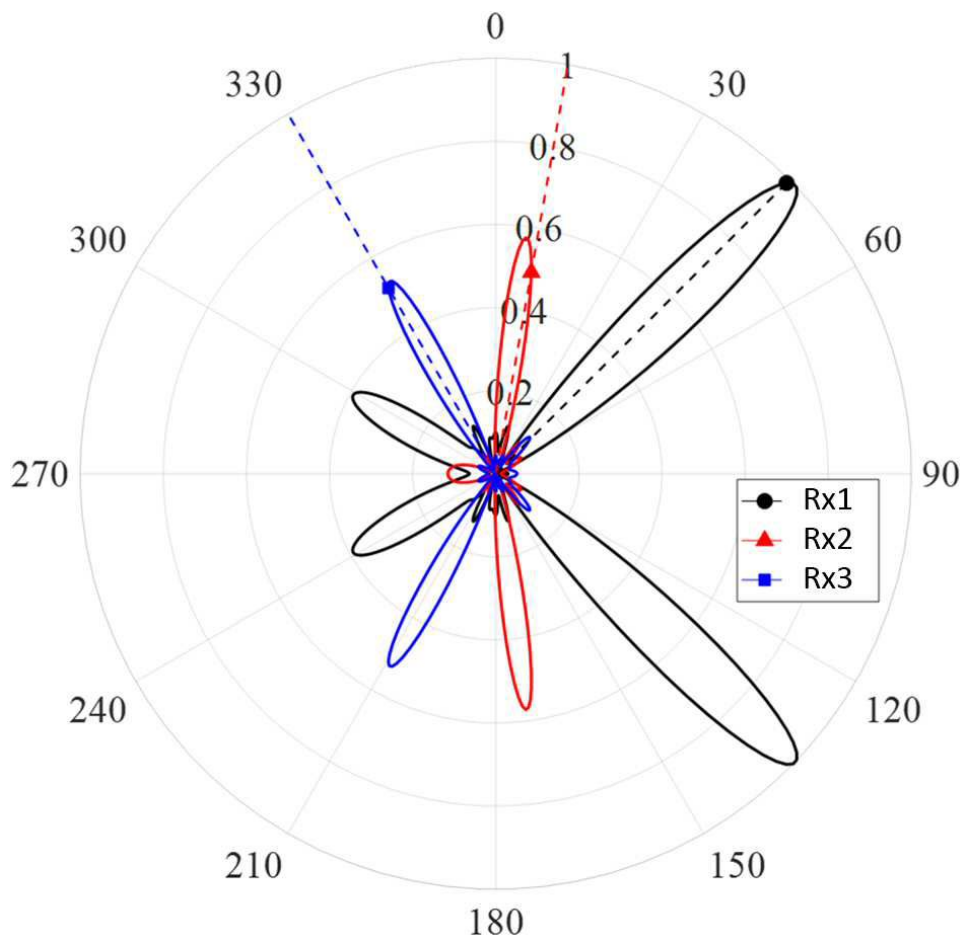
도면4



도면5



도면6



도면7

