



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0064154
(43) 공개일자 2022년05월18일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H02J 50/20 (2016.01) H02J 50/80 (2016.01)
H04B 5/00 (2006.01) H04B 7/06 (2017.01)
(52) CPC특허분류
H02J 50/20 (2016.02)
H02J 50/80 (2016.02)
(21) 출원번호 10-2020-0150352
(22) 출원일자 2020년11월11일
심사청구일자 2020년11월11일

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

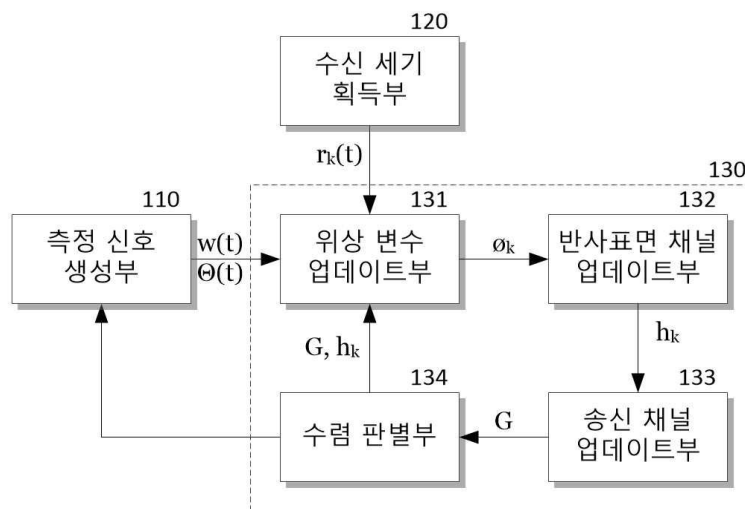
전체 청구항 수 : 총 20 항

(54) 발명의 명칭 지능형 반사 표면을 이용한 무선 전력 전송 시스템의 채널 추정 장치 및 방법

(57) 요약

본 발명은 IRS의 반사 소자의 개수나 단말의 개수에 무관하게 송신기에서 전송되는 측정 신호에 대해 단말이 수신한 수신 신호의 세기를 확인하고, 확인된 수신 신호의 세기를 기반으로 송신기와 IRS 사이의 채널과 IRS와 단말 사이의 채널을 추정할 수 있으므로 저전력 단말을 포함하는 무선 전력 전송 시스템에서도 효율적으로 채널 정보를 획득하는 지능형 반사 표면을 이용한 무선 전력 전송 시스템의 채널 추정 장치 및 방법을 제공할 수 있다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

H04B 5/0037 (2013.01)

H04B 7/0617 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

무선 전력 전송 시스템의 송신기가 측정 신호를 전송하기 위해 생성한 측정 빔포밍 벡터와 상기 송신기에서 전송된 신호를 반사하여 다수의 단말로 전달하는 지능형 반사표면(이하 IRS)이 측정 신호를 반사하면서 조절하는 위상을 지정하기 위해 생성된 측정 위상 변화 행렬 및 상기 측정 신호를 수신한 다수의 단말 각각에서 피드백된 수신 신호 세기(이하 RSS)를 인가받고, 최대 우도 추정 기법에 따라 추정되어야 하는 상기 다수의 단말 각각에 수신된 측정 신호의 위상을 나타내는 위상 변수와 상기 IRS와 상기 다수의 단말 사이의 채널인 반사표면 채널 및 상기 송신기와 상기 IRS 사이의 채널인 송신 채널 중 반사표면 채널과 송신 채널을 고정하고, 고정된 반사표면 채널과 송신 채널과 인가된 측정 빔포밍 벡터와 측정 위상 변화 행렬 및 RSS를 기반으로 위상 변수를 계산하여 업데이트하는 위상 변수 업데이트부;

상기 송신 채널과 업데이트된 위상 변수를 기반으로 반사표면 채널을 계산하여 업데이트하는 반사표면 채널 업데이트부;

업데이트된 위상 변수와 반사표면 채널을 기반으로 연속 컨벡스 근사 기법에 따라 송신 채널을 획득하여 업데이트하는 송신 채널 업데이트부; 및

업데이트된 위상 변수와 반사표면 채널 및 송신 채널의 수렴 여부를 판별하여, 수렴되면 최종 업데이트된 반사표면 채널 및 송신 채널을 추정된 채널 정보로 획득하는 수렴 판별부를 포함하는 채널 추정 장치.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 위상 변수 업데이트부는

측정 빔포밍 벡터와 측정 위상 변화 행렬 및 RSS를 인가받고, 반사표면 채널과 송신 채널과 인가된 측정 빔포밍 벡터와 측정 위상 변화 행렬 및 RSS를 기반으로 수학식

$$\phi_k = \arg(\mathbf{M}_G \mathbf{h}_k), \forall k$$

(여기서 \mathbf{h}_k 는 이전 기지정된 L개의 타임 슬롯 구간 동안 IRS와 다수의 단말 중 제k 단말 사이의 제k 반사표면 채널이고, ϕ_k 는 이전 L개의 타임 슬롯 구간 동안 K개의 단말에서 피드백된 RSS에 위상($e^{j\phi_k(T)}$) 정보를 추가하기 위해 적용되는 위상 변수이며, \mathbf{M}_G 는 현지 타임 슬롯(T)로부터 이전 L개의 타임 슬롯 구간 동안 송신기로부터 IRS가 반사할 때까지의 측정 빔포밍 벡터(\mathbf{w})와 송신 채널(\mathbf{G}) 및 측정 위상 변화 행렬(Θ)에 의한 송신 반사

$$\mathbf{M}_G(T) := \begin{bmatrix} (\mathbf{w}^H(T-L+1)\mathbf{G}\Theta^H(T-L+1))^T, \\ \dots, (\mathbf{w}^H(T)\mathbf{G}\Theta^H(T))^T \end{bmatrix}^T$$

채널로서 수학식 으로 계산된다.)

에 따라 업데이트되는 위상 변수를 계산하는 채널 추정 장치.

청구항 3

제2항에 있어서, 상기 반사표면 채널 업데이트부는

송신 채널과 업데이트된 위상 변수를 기반으로 수학식

$$\mathbf{h}_k = \left((\beta_k \circ \mathbf{M}_G)^H \tilde{\mathbf{R}}_k^{-1} (\beta_k \circ \mathbf{M}_G) \right)^{-1} (\beta_k \circ \mathbf{M}_G)^H \tilde{\mathbf{R}}_k^{-1} (\mathbf{r}_k \circ \mathbf{e}^{j\phi_k}), \forall k$$

(여기서 β_k 는 이전 L개의 타임 슬롯 구간 동안 제k 단말의 속도에 따라 결정되는 채널 상관 계수이고, \mathbf{r}_k 는 이

전 L개의 타임 슬롯 구간 동안 제k 단말로부터 피드백된 RSS이며, $\tilde{\mathbf{R}}_k$ 는 하다마드 곱셈 기호이다. 그리고 $\tilde{\mathbf{R}}_k$ 는 이전 L개의 타임 슬롯 구간 동안 송신기와 제k 단말 사이의 가우시안 노이즈 벡터에 대한 공분산 행렬(\mathbf{R}_k)을 근사하여 획득되는 근사 공분산 행렬을 나타낸다.)

에 따라 업데이트되는 반사표면 채널을 계산하는 채널 추정 장치.

청구항 4

제3항에 있어서, 상기 반사표면 채널 업데이트부는

상기 근사 공분산 행렬을

수학식

$$[\mathbf{R}_k(T)]_{p,q} = \begin{cases} \sigma_k^2 + (\beta_k^{2(p-L)} - 1) \mathbf{w}^H(p') \mathbf{G} \mathbf{G}^H \mathbf{w}(p') & p = q \\ (\beta_k^{p+q-2L} - \beta_k^{|q-p|}) \mathbf{w}^H(p') \mathbf{G} \mathbf{\Theta}^H(p') \mathbf{\Theta}(q') \mathbf{G}^H \mathbf{w}(q') & p \neq q \end{cases}$$

, $p' = T - L + p, q' = T - L + q$.

(여기서, p와 q는 각각 공분산 행렬(\mathbf{R}_k)의 행과 열을 나타낸다.)

에 따라 계산하는 가우시안 노이즈 벡터에 대한 공분산 행렬(\mathbf{R}_k)을

수학식

$$[\tilde{\mathbf{R}}_k]_{p,p} = \begin{cases} [\mathbf{R}_k]_{p,p} & p = q \\ 0 & p \neq q \end{cases}$$

에 따라 근사하여 획득하는 채널 추정 장치.

청구항 5

제4항에 있어서, 상기 송신 채널 업데이트부는

업데이트된 위상 변수와 업데이트된 반사표면 채널을 기반으로 수학식

$$\mathbf{G} = \overline{\mathbf{G}} - \frac{\nabla h(\overline{\mathbf{G}})}{\mathbf{K}}$$

(여기서 $\overline{\mathbf{G}}$ 는 업데이트되기 이전 송신 채널이고, \mathbf{K} 는 역추적 라인 탐색법으로 획득 스텝 사이즈이며, $\nabla h(\mathbf{G})$ 는 송신 채널(\mathbf{G})에 따른 반사표면 채널(h)의 기울기를 나타낸다.)

에 따라 업데이트되는 송신 채널을 계산하는 채널 추정 장치.

청구항 6

제5항에 있어서, 상기 송신 채널 업데이트부는

반사표면 채널(h)의 기울기($\nabla h(\mathbf{G})$)를 수학식

$$\nabla h(\mathbf{G}) = \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L 2 \left[\frac{(\beta_k^{2(l-L)} - 1) \mathbf{w}(l') \mathbf{w}^H(l') \mathbf{G}}{(\sigma_k^2 + (\beta_k^{2(l-L)} - 1) \|\mathbf{w}^H(l') \mathbf{G}\|^2)} - \frac{(\beta_k^{2(l-L)} - 1) \mathbf{w}(l') \mathbf{w}^H(l') \mathbf{G}}{(\sigma_k^2 + (\beta_k^{2(l-L)} - 1) \|\mathbf{w}^H(l') \mathbf{G}\|^2)} \right. \\ \left. - \frac{\beta_k^{-L+l} \mathbf{w}(l') (\mathbf{h}_k)^H \Theta(l') (r_k(l') e^{j\phi_k(l')} - \beta_k^{-L+l} \mathbf{w}^H(l') \mathbf{G} \Theta^H(l') \mathbf{h}_k)}{(\sigma_k^2 + (\beta_k^{2(l-L)} - 1) \|\mathbf{w}^H(l') \mathbf{G}\|^2)} \right] \\ , \quad l' = T - L + l$$

(여기서 송신기와 제k 단말 사이의 가우시안 노이즈의 표준 편차를 나타낸다.)

에 따라 계산하는 채널 추정 장치.

청구항 7

제6항에 있어서, 상기 수렴 판별부는

업데이트된 위상 변수와 반사표면 채널 및 송신 채널의 누적 변화를 분석하여 위상 변수와 반사표면 채널 및 송신 채널과 이전 업데이트된 위상 변수와 반사표면 채널 및 송신 채널 사이의 편차가 기지정된 범위 이내로 수렴되는 것으로 판별되면, 최종 업데이트된 반사표면 채널 및 송신 채널을 추정된 채널 정보로 획득하고, 수렴되지 않는 것으로 판별되면, 위상 변수와 반사표면 채널 및 송신 채널이 반복 업데이트되도록 업데이트된 위상 변수와 반사표면 채널 및 송신 채널을 상기 위상 변수 업데이트부로 전달하는 채널 추정 장치.

청구항 8

제7항에 있어서, 상기 위상 변수 업데이트부는

현재 타임 슬롯에서 가장 최근 업데이트된 위상 변수와 반사표면 채널 및 송신 채널을 이용하여 업데이트되는 위상 변수를 계산하고, 현재 타임 슬롯에서 이전 업데이트된 위상 변수와 반사표면 채널 및 송신 채널이 존재하지 않으면, 이전 타임 슬롯에서 최종 업데이트된 위상 변수와 반사표면 채널 및 송신 채널을 이용하여 업데이트되는 위상 변수를 계산하는 채널 추정 장치.

청구항 9

제1항에 있어서, 상기 측정 빔포밍 벡터는

상기 송신기에 의해 평균이 0이고, 평균 측정 전력과 송신기 안테나 개수의 비에 따른 분산을 갖는 복소 가우시안 분포를 따르도록 임의로 생성되는 채널 추정 장치.

청구항 10

제1항에 있어서, 상기 측정 위상 변화 행렬은

상기 IRS를 제어하는 컨트롤러에 의해 IRS의 N개의 반사 소자에 따른 측정 신호의 위상 변화가 시간에 독립적으로 $0 \sim 2\pi$ 의 범위에서 균일하게 분포하도록 임의로 생성되는 채널 추정 장치.

청구항 11

컨트롤러의 제어에 따라 송신기에서 전송된 무선 전력 신호를 반사하여 다수의 단말로 전달하는 지능형 반사표면(이하 IRS)을 포함하는 무선 전력 전송 시스템의 채널 추정 방법에 있어서,

상기 송신기가 측정 신호를 전송하기 위해 생성한 측정 빔포밍 벡터와 상기 IRS가 측정 신호를 반사하면서 조절하는 위상을 지정하기 위해 생성된 측정 위상 변화 행렬을 획득하는 단계;

상기 측정 신호를 수신한 다수의 단말 각각에서 피드백된 수신 신호 세기(이하 RSS)를 인가받는 단계;

최대 우도 추정 기법에 따라 추정되어야 하는 상기 다수의 단말 각각에 수신된 측정 신호의 위상을 나타내는 위

상 변수와 상기 IRS와 상기 다수의 단말 사이의 채널인 반사표면 채널 및 상기 송신기와 상기 IRS 사이의 채널인 송신 채널 중 반사표면 채널과 송신 채널을 고정하고, 고정된 반사표면 채널과 송신 채널과 인가된 측정 빔포밍 벡터와 측정 위상 변화 행렬 및 RSS를 기반으로 위상 변수를 계산하여 업데이트하는 단계;

상기 송신 채널과 업데이트된 위상 변수를 기반으로 반사표면 채널을 계산하여 업데이트하는 단계;

업데이트된 위상 변수와 반사표면 채널을 기반으로 연속 컨벡스 근사 기법에 따라 송신 채널을 획득하여 업데이트하는 단계; 및

업데이트된 위상 변수와 반사표면 채널 및 송신 채널의 수렴 여부를 판별하여, 수렴되면 최종 업데이트된 반사표면 채널 및 송신 채널을 추정된 채널 정보로 획득하는 단계를 포함하는 채널 추정 방법.

청구항 12

제11항에 있어서, 상기 위상 변수를 계산하여 업데이트하는 단계는

측정 빔포밍 벡터와 측정 위상 변화 행렬 및 RSS를 인가받는 단계; 및

반사표면 채널과 송신 채널과 인가된 측정 빔포밍 벡터와 측정 위상 변화 행렬 및 RSS를 기반으로 수학적식

$$\phi_k = \arg(\mathbf{M}_G \mathbf{h}_k), \forall k$$

(여기서 \mathbf{h}_k 는 이전 기지정된 L개의 타임 슬롯 구간 동안 IRS와 다수의 단말 중 제k 단말 사이의 제k 반사표면 채널이고, ϕ_k 는 이전 L개의 타임 슬롯 구간 동안 K개의 단말에서 피드백된 RSS에 위상($\mathbf{e}^{j\phi_k(T)}$) 정보를 추가하기 위해 적용되는 위상 변수이며, \mathbf{M}_G 는 현지 타임 슬롯(T)로부터 이전 L개의 타임 슬롯 구간 동안 송신기로부터 IRS가 반사할 때까지의 측정 빔포밍 벡터(\mathbf{w})와 송신 채널(\mathbf{G}) 및 측정 위상 변화 행렬(Θ)에 의한 송신 반사

$$\mathbf{M}_G(T) := \begin{bmatrix} (\mathbf{w}^H(T-L+1)\mathbf{G}\Theta^H(T-L+1))^T, \\ \dots, (\mathbf{w}^H(T)\mathbf{G}\Theta^H(T))^T \end{bmatrix}^T$$

채널로서 수학적식 으로 계산된다.)

에 따라 업데이트되는 위상 변수를 계산하는 단계를 포함하는 채널 추정 방법.

청구항 13

제12항에 있어서, 상기 반사표면 채널을 계산하여 업데이트하는 단계는

송신 채널과 업데이트된 위상 변수를 기반으로 수학적식

$$\mathbf{h}_k = \left((\beta_k \circ \mathbf{M}_G)^H \tilde{\mathbf{R}}_k^{-1} (\beta_k \circ \mathbf{M}_G) \right)^{-1} (\beta_k \circ \mathbf{M}_G)^H \tilde{\mathbf{R}}_k^{-1} (\mathbf{r}_k \circ \mathbf{e}^{j\phi_k}), \forall k$$

(여기서 β_k 는 이전 L개의 타임 슬롯 구간 동안 제k 단말의 속도에 따라 결정되는 채널 상관 계수이고, \mathbf{r}_k 는 이전 L개의 타임 슬롯 구간 동안 제k 단말로부터 피드백된 RSS이며, \circ 는 하다마드 곱셈 기호이다. 그리고 $\tilde{\mathbf{R}}_k$ 는 이전 L개의 타임 슬롯 구간 동안 송신기와 제k 단말 사이의 가우시안 노이즈 벡터에 대한 공분산 행렬(\mathbf{R}_k)을 근사하여 획득되는 근사 공분산 행렬을 나타낸다.)

에 따라 업데이트되는 반사표면 채널을 계산하는 채널 추정 방법.

청구항 14

제13항에 있어서, 상기 근사 공분산 행렬은

수학식

$$[\mathbf{R}_k(T)]_{p,q} = \begin{cases} \sigma_k^2 + (\beta_k^{2(p-L)} - 1) \mathbf{w}^H(p') \mathbf{G} \mathbf{G}^H \mathbf{w}(p') & p = q \\ (\beta_k^{p+q-2L} - \beta_k^{-|q-p|}) \mathbf{w}^H(p') \mathbf{G} \mathbf{\Theta}^H(p') \mathbf{\Theta}(q') \mathbf{G}^H \mathbf{w}(q') & p \neq q \end{cases}$$

$$, \quad p' = T - L + p, \quad q' = T - L + q.$$

(여기서, p 와 q 는 각각 공분산 행렬(\mathbf{R}_k)의 행과 열을 나타낸다.)

에 따라 계산하되 가우시안 노이즈 벡터에 대한 공분산 행렬(\mathbf{R}_k)을

수학식

$$[\tilde{\mathbf{R}}_k]_{p,p} = \begin{cases} [\mathbf{R}_k]_{p,p} & p = q \\ 0 & p \neq q \end{cases}$$

에 따라 근사하여 획득되는 채널 추정 방법.

청구항 15

제14항에 있어서, 상기 송신 채널을 획득하여 업데이트하는 단계는

업데이트된 위상 변수와 업데이트된 반사표면 채널을 기반으로 수학식

$$\mathbf{G} = \bar{\mathbf{G}} - \frac{\nabla h(\bar{\mathbf{G}})}{\mathbf{K}}$$

(여기서 $\bar{\mathbf{G}}$ 는 업데이트되기 이전 송신 채널이고, \mathbf{K} 는 역추적 라인 탐색법으로 획득 스텝 사이즈이며, $\nabla h(\mathbf{G})$ 는 송신 채널(\mathbf{G})에 따른 반사표면 채널(h)의 기울기를 나타낸다.)

에 따라 업데이트되는 송신 채널을 계산하는 채널 추정 방법.

청구항 16

제15항에 있어서, 상기 반사표면 채널(h)의 기울기($\nabla h(\mathbf{G})$)는

수학식

$$\nabla h(\mathbf{G}) = \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L 2 \left[\frac{(\beta_k^{2(l-L)} - 1) \mathbf{w}(l') \mathbf{w}^H(l') \mathbf{G}}{(\sigma_k^2 + (\beta_k^{2(l-L)} - 1) \|\mathbf{w}^H(l') \mathbf{G}\|^2)} - \frac{(\beta_k^{2(l-L)} - 1) \mathbf{w}(l') \mathbf{w}^H(l') \mathbf{G}}{(\sigma_k^2 + (\beta_k^{2(l-L)} - 1) \|\mathbf{w}^H(l') \mathbf{G}\|^2)^2} \right. \\ \left. - \frac{\beta_k^{-L+l} \mathbf{w}(l') (\mathbf{h}_k)^H \mathbf{\Theta}(l') (r_k(l') e^{j\phi_k(l')} - \beta_k^{-L+l} \mathbf{w}^H(l') \mathbf{G} \mathbf{\Theta}^H(l') \mathbf{h}_k)}{(\sigma_k^2 + (\beta_k^{2(l-L)} - 1) \|\mathbf{w}^H(l') \mathbf{G}\|^2)} \right]$$

$$, \quad l' = T - L + l$$

(여기서 송신기와 제 k 단말 사이의 가우시안 노이즈의 표준 편차를 나타낸다.)

에 따라 계산되는 채널 추정 방법.

청구항 17

제16항에 있어서, 상기 추정된 채널 정보로 획득하는 단계는

업데이트된 위상 변수와 반사표면 채널 및 송신 채널의 누적 변화를 분석하여 위상 변수와 반사표면 채널 및 송신 채널과 이전 업데이트된 위상 변수와 반사표면 채널 및 송신 채널 사이의 편차가 기지정된 범위 이내로 수렴되는지 판별하는 단계;

수렴되는 것으로 판별되면, 최종 업데이트된 반사표면 채널 및 송신 채널을 추정된 채널 정보로 획득하는 단계; 및

수렴되지 않는 것으로 판별되면, 위상 변수와 반사표면 채널 및 송신 채널을 반복 업데이트하는 단계를 포함하는 채널 추정 방법.

청구항 18

제17항에 있어서, 상기 위상 변수를 계산하는 단계는

현재 타임 슬롯에서 가장 최근 업데이트된 위상 변수와 반사표면 채널 및 송신 채널을 이용하여 업데이트되는 위상 변수를 계산하고, 현재 타임 슬롯에서 이전 업데이트된 위상 변수와 반사표면 채널 및 송신 채널이 존재하지 않으면, 이전 타임 슬롯에서 최종 업데이트된 위상 변수와 반사표면 채널 및 송신 채널을 이용하여 업데이트되는 위상 변수를 계산하는 채널 추정 방법.

청구항 19

제11항에 있어서, 상기 측정 빔포밍 벡터는

상기 송신기에 의해 평균이 0이고, 평균 측정 전력과 송신기 안테나 개수의 비에 따른 분산을 갖는 복소 가우시안 분포를 따르도록 임의로 생성되는 채널 추정 방법.

청구항 20

제11항에 있어서, 상기 측정 위상 변화 행렬은

상기 컨트롤러에 의해 상기 IRS의 N개의 반사 소자에 따른 측정 신호의 위상 변화가 시간에 독립적으로 $0 \sim 2\pi$ 의 범위에서 균일하게 분포하도록 임의로 생성되는 채널 추정 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 무선 전력 전송 시스템의 채널 추정 장치 및 방법에 관한 것으로, 지능형 반사 표면을 이용한 무선 전력 전송 시스템의 채널 추정 장치 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 최근 무선 네트워크 기술의 발전과 함께 사물 인터넷(Internet of Things: 이하 IoT) 장치의 수가 급격하게 증가하는 추세이다. 대규모 무선 네트워크를 효과적으로 관리하기 위해서는 IoT 장치를 위한 안정적인 전력 공급 시스템이 필요하다. 이를 위해 최근에는 무선주파수(Radio Frequency: RF) 신호 기반의 무선전력 전송(Wireless Energy Transfer: WET) 시스템이 주목받고 있다.

[0003] 특히 무선전력 전송의 효율을 높이기 위해 지능형 반사 표면(Intelligent Reflecting Surfaces: 이하 IRS) 사용에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다

[0004] 도 1은 지능형 반사 표면을 활용한 무선 전력 전송 시스템을 개념을 설명하기 위한 도면이다.

[0005] 도 1을 참조하면, IRS를 활용한 무선 전력 전송 시스템에서는 송신기(100)와 컨트롤러(200), IRS(300) 및 K개의 단말(401 ~ 40K)이 포함될 수 있다. 송신기(100)는 K개의 단말(401 ~ 40K)로 전력 신호를 송신하고, K개의 단말(401 ~ 40K) 각각은 송신기(100)에서 전송된 전력 신호로부터 동작에 필요한 무선 전력을 수확(wireless energy harvesting)한다.

[0006] 여기서 송신기(100)는 M개의 안테나를 구비하여 전력 신호를 빔포밍하여 전송함으로써 전력 전송 효율성을 향상시킬 수 있으며, K개의 단말(401 ~ 40K)은 각각 하나의 안테나를 구비하는 것으로 가정한다.

[0007] IRS(300)는 N개의 반사 소자를 포함하고, 컨트롤러(200)의 제어에 따라 N개의 반사 소자가 송신기(100)에서 전

송된 전력 신호를 반사하면서 위상을 변화시켜, 송신기(100)에서 방사된 전력 신호가 K개의 단말(401 ~ 40K)로 더 효율적으로 전송되도록 한다.

- [0008] IoT 시스템에서 K개의 단말(401 ~ 40K)은 다양한 임의의 위치에 분산 배치될 수 있다. 따라서 다수의 안테나를 구비하는 송신기(100)가 빔포밍 기법으로 전력 신호를 송신하더라도, K개의 단말(401 ~ 40K)의 배치 위치에 따라 요구되는 전력을 충분하게 공급하기 어려운 경우가 많다. 특히 송신기(100)와 K개의 단말(401 ~ 40K) 사이에 장애물 등이 위치하는 경우, 빔포밍 기법을 이용하더라도 각 단말에 안정적으로 전력을 공급하기 매우 어렵다.
- [0009] 이러한 한계를 극복하기 위해 IRS(300)는 송신기(100)에서 전송된 전력 신호를 반사하여 K개의 단말(401 ~ 40K) 방향으로 안정적으로 전송되도록 한다. 이때, IRS(300)는 송신기(100)에서 전송된 전력 신호를 위상을 변화시켜 반사하여 전력 전송 효율성을 높일 수 있다.
- [0010] 컨트롤러(200)는 송신기(100)에서 전송되는 전력 신호의 빔포밍 벡터에 따라 IRS(300)의 반사 위상을 조절하는 한편, IRS(300)의 반사 위상 정보를 송신기(100)로 전달하여, 송신기(100)가 빔포밍 벡터를 변경하도록 한다.
- [0011] 다만 전력 신호가 효율적으로 K개의 단말(401 ~ 40K)로 전송되도록 송신기(100)와 컨트롤러(200)가 빔포밍 벡터와 반사 위상을 조절하기 위해서는 송신기(100)와 K개의 단말(401 ~ 40K) 사이의 채널 상태 정보(channel state information: 이하 CSI)를 미리 알고 있어야만 한다.
- [0012] 도 1과 같은 IRS(300)를 활용한 무선 전력 전송 시스템에서는 채널은 송신기(100)와 IRS(300) 사이의 채널($G(t)$)과 IRS(300)와 K개의 단말(401 ~ 40K) 사이의 채널($h(t)$)로 구분된다. 또한 IRS(300)와 K개의 단말(401 ~ 40K) 사이의 채널($h(t)$)은 IRS(300)와 K개의 단말(401 ~ 40K) 각각에 대한 K개의 채널($h(t) = \{h_1(t), h_2(t), \dots, h_K(t)\}$)로 구분될 수 있다. 따라서 IRS를 활용한 무선 전력 전송 시스템에서 송신기(100)와 K개의 단말(401 ~ 40K) 사이의 CSI를 획득하는 것은 용이하지 않다.
- [0013] 가장 단순한 방법으로는 송신기(100)가 IRS(300)의 N개의 반사 소자와 K개의 단말(401 ~ 40K) 모두에 대한 파일럿 신호를 개별 전송하여 채널을 추정하는 방법이 있다. 이 경우, 파일럿 신호의 길이가 반사 소자의 개수(N)와 단말의 개수(K)의 곱(NK) 이상이어야 하며, 이에 K개의 단말(401 ~ 40K) 각각은 NK 이상의 길이를 갖는 파일럿 신호에 대한 응답을 송신기(100)로 전송해야 한다.
- [0014] 일반적으로 IRS(300)의 반사 소자 개수(N)는 16개 이상이므로 단말의 개수에 따라 파일럿 신호의 길이는 기하급수적으로 증가하게 된다. 따라서 K개의 단말(401 ~ 40K)가 파일럿 신호를 수신하고 이에 대한 응답을 송신기(100)로 전송하는 경우 전력 소모가 크게 발생한다.
- [0015] 전력 신호를 통해 무선으로 전력을 공급받는 K개의 단말(401 ~ 40K)은 전력 소비에 취약할 뿐만 아니라, 무선 전력 공급 효율성을 높이기 위해 길이가 긴 파일럿 신호를 송수신하는 것은 매우 비효율적이다.
- [0016] 따라서 IRS(300)를 활용한 무선 전력 전송 시스템에서 효율적으로 CSI를 추정할 수 있는 기술이 요구되고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0017] (특허문헌 0001) 한국 등록 특허 제10-1678640호 (2016.11.16 등록)

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0018] 본 발명의 목적은 지능형 반사 표면을 이용한 무선 전력 전송 시스템에서 IRS의 반사 소자의 개수나 단말의 개수에 무관하게 수신 신호의 세기를 기반으로 용이하게 채널을 추정할 수 있는 무선 전력 전송 시스템의 채널 추정 장치 및 방법을 제공하는데 있다.
- [0019] 본 발명의 다른 목적은 지능형 반사 표면을 이용한 무선 전력 전송 시스템에서 저전력 IoT 단말의 작은 전력량으로도 채널을 추정할 수 있는 무선 전력 전송 시스템의 채널 추정 장치 및 방법을 제공하는데 있다.

과제의 해결 수단

[0020] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 지능형 반사 표면을 이용한 무선 전력 전송 시스템의 채널 추정 장치는 무선 전력 전송 시스템의 송신기가 측정 신호를 전송하기 위해 생성한 측정 빔포밍 벡터와 상기 송신기에서 전송된 신호를 반사하여 다수의 단말로 전달하는 지능형 반사표면(이하 IRS)이 측정 신호를 반사하면서 조절하는 위상을 지정하기 위해 생성된 측정 위상 변화 행렬 및 상기 측정 신호를 수신한 다수의 단말 각각에서 피드백된 수신 신호 세기(이하 RSS)를 인가받고, 최대 우도 추정 기법에 따라 추정되어야 하는 상기 다수의 단말 각각에 수신된 측정 신호의 위상을 나타내는 위상 변수와 상기 IRS와 상기 다수의 단말 사이의 채널인 반사표면 채널 및 상기 송신기와 상기 IRS 사이의 채널인 송신 채널 중 반사표면 채널과 송신 채널을 고정하고, 고정된 반사표면 채널과 송신 채널과 인가된 측정 빔포밍 벡터와 측정 위상 변화 행렬 및 RSS를 기반으로 위상 변수를 계산하여 업데이트하는 위상 변수 업데이트부; 상기 송신 채널과 업데이트된 위상 변수를 기반으로 반사표면 채널을 계산하여 업데이트하는 반사표면 채널 업데이트부; 업데이트된 위상 변수와 반사표면 채널을 기반으로 연속 컨벡스 근사 기법에 따라 송신 채널을 획득하여 업데이트하는 송신 채널 업데이트부; 및 업데이트된 위상 변수와 반사표면 채널 및 송신 채널의 수렴 여부를 판별하여, 수렴되면 최종 업데이트된 반사표면 채널 및 송신 채널을 추정된 채널 정보로 획득하는 수렴 판별부를 포함한다.

[0021] 상기 위상 변수 업데이트부는 측정 빔포밍 벡터와 측정 위상 변화 행렬 및 RSS를 인가받고, 반사표면 채널과 송신 채널과 인가된 측정 빔포밍 벡터와 측정 위상 변화 행렬 및 RSS를 기반으로 수학식

$$\phi_k = \arg(\mathbf{M}_G \mathbf{h}_k), \forall k$$

[0022] (여기서 \mathbf{h}_k 는 이전 기지정된 L개의 타임 슬롯 구간 동안 IRS와 다수의 단말 중 제k 단말 사이의 제k 반사표면 채널이고, ϕ_k 는 이전 L개의 타임 슬롯 구간 동안 K개의 단말에서 피드백된 RSS에 위상($\mathbf{e}^{j\phi_k(T)}$) 정보를 추가하기 위해 적용되는 위상 변수이며, \mathbf{M}_G 는 현지 타임 슬롯(T)로부터 이전 L개의 타임 슬롯 구간 동안 송신기로부터 IRS가 반사할 때까지의 측정 빔포밍 벡터(\mathbf{w})와 송신 채널(\mathbf{G}) 및 측정 위상 변화 행렬(Θ)에 의한 송신 반사

채널로서 수학식
$$\mathbf{M}_G(T) := \begin{bmatrix} (\mathbf{w}^H(T-L+1)\mathbf{G}\Theta^H(T-L+1))^T, \\ \dots, (\mathbf{w}^H(T)\mathbf{G}\Theta^H(T))^T \end{bmatrix}^T$$
 으로 계산된다.)에 따라 업데이트되는 위상 변수를 계산할 수 있다.

[0024] 상기 반사표면 채널 업데이트부는 송신 채널과 업데이트된 위상 변수를 기반으로 수학식

$$\mathbf{h}_k = \left((\beta_k \circ \mathbf{M}_G)^H \tilde{\mathbf{R}}_k^{-1} (\beta_k \circ \mathbf{M}_G) \right)^{-1} (\beta_k \circ \mathbf{M}_G)^H \tilde{\mathbf{R}}_k^{-1} (\mathbf{r}_k \circ \mathbf{e}^{j\phi_k}), \forall k$$

[0025] (여기서 β_k 는 이전 L개의 타임 슬롯 구간 동안 제k 단말의 속도에 따라 결정되는 채널 상관 계수이고, \mathbf{r}_k 는 이전 L개의 타임 슬롯 구간 동안 제k 단말로부터 피드백된 RSS이며, \circ 는 하다마드 곱셈 기호이다. 그리고 $\tilde{\mathbf{R}}_k$ 는 이전 L개의 타임 슬롯 구간 동안 송신기와 제k 단말 사이의 가우시안 노이즈 벡터에 대한 공분산 행렬(\mathbf{R}_k)을 근사하여 획득되는 근사 공분산 행렬을 나타낸다.)에 따라 업데이트되는 반사표면 채널을 계산할 수 있다.

[0027] 상기 반사표면 채널 업데이트부는 상기 근사 공분산 행렬을 수학식

$$[\mathbf{R}_k(T)]_{p,q} = \begin{cases} \sigma_k^2 + (\beta_k^{2(p-L)} - 1) \mathbf{w}^H(p') \mathbf{G} \mathbf{G}^H \mathbf{w}(p') & p = q \\ (\beta_k^{p+q-2L} - \beta_k^{|q-p|}) \mathbf{w}^H(p') \mathbf{G} \Theta^H(p') \Theta(q') \mathbf{G}^H \mathbf{w}(q') & p \neq q \end{cases}$$

[0028] , $p' = T - L + p, q' = T - L + q$.

[0029] (여기서, p와 q는 각각 공분산 행렬(\mathbf{R}_k)의 행과 열을 나타낸다.)에 따라 계산하는 가우시안 노이즈 벡터에 대한 공분산 행렬(\mathbf{R}_k)을 수학식

$$[\tilde{\mathbf{R}}_k]_{p,p} = \begin{cases} [\mathbf{R}_k]_{p,p} & p = q \\ 0 & p \neq q \end{cases}$$

에 따라 근사하여 획득할 수 있다.

상기 송신 채널 업데이트부는 업데이트된 위상 변수와 업데이트된 반사표면 채널을 기반으로 수학식

$$\mathbf{G} = \bar{\mathbf{G}} - \frac{\nabla h(\bar{\mathbf{G}})}{\mathbf{K}}$$

(여기서 $\bar{\mathbf{G}}$ 는 업데이트되기 이전 송신 채널이고, \mathbf{K} 는 역추적 라인 탐색법으로 획득 스텝 사이즈이며, $\nabla h(\mathbf{G})$ 는 송신 채널(\mathbf{G})에 따른 반사표면 채널(\mathbf{h})의 기울기를 나타낸다.)에 따라 업데이트되는 송신 채널을 계산할 수 있다.

상기 송신 채널 업데이트부는 반사표면 채널(\mathbf{h})의 기울기($\nabla h(\mathbf{G})$)를 수학식

$$\nabla h(\mathbf{G}) = \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L 2 \left[\frac{(\beta_k^{2(l-L)} - 1) \mathbf{w}(l') \mathbf{w}^H(l') \mathbf{G}}{(\sigma_k^2 + (\beta_k^{2(l-L)} - 1) \|\mathbf{w}^H(l') \mathbf{G}\|^2)} - \frac{(\beta_k^{2(l-L)} - 1) \mathbf{w}(l') \mathbf{w}^H(l') \mathbf{G}}{(\sigma_k^2 + (\beta_k^{2(l-L)} - 1) \|\mathbf{w}^H(l') \mathbf{G}\|^2)} \right. \\ \left. - \frac{\beta_k^{-L+l} \mathbf{w}(l') (\mathbf{h}_k)^H \Theta(l') (r_k(l') e^{j\phi_k(l')} - \beta_k^{-L+l} \mathbf{w}^H(l') \mathbf{G} \Theta^H(l') \mathbf{h}_k)}{(\sigma_k^2 + (\beta_k^{2(l-L)} - 1) \|\mathbf{w}^H(l') \mathbf{G}\|^2)} \right]$$

$$, l' = T - L + l$$

(여기서 송신기와 제k 단말 사이의 가우시안 노이즈의 표준 편차를 나타낸다.)에 따라 계산할 수 있다.

상기 수렴 판별부는 업데이트된 위상 변수와 반사표면 채널 및 송신 채널의 누적 변화를 분석하여 위상 변수와 반사표면 채널 및 송신 채널과 이전 업데이트된 위상 변수와 반사표면 채널 및 송신 채널 사이의 편차가 기지정된 범위 이내로 수렴되는 것으로 판별되면, 최종 업데이트된 반사표면 채널 및 송신 채널을 추정된 채널 정보로 획득하고, 수렴되지 않는 것으로 판별되면, 위상 변수와 반사표면 채널 및 송신 채널이 반복 업데이트되도록 업데이트된 위상 변수와 반사표면 채널 및 송신 채널을 상기 위상 변수 업데이트부로 전달할 수 있다.

상기 위상 변수 업데이트부는 현재 타임 슬롯에서 가장 최근 업데이트된 위상 변수와 반사표면 채널 및 송신 채널을 이용하여 업데이트되는 위상 변수를 계산하고, 현재 타임 슬롯에서 이전 업데이트된 위상 변수와 반사표면 채널 및 송신 채널이 존재하지 않으면, 이전 타임 슬롯에서 최종 업데이트된 위상 변수와 반사표면 채널 및 송신 채널을 이용하여 업데이트되는 위상 변수를 계산할 수 있다.

상기 측정 빔포밍 벡터는 상기 송신기에 의해 평균이 0이고, 평균 측정 전력과 송신기 안테나 개수의 비에 따른 분산을 갖는 복소 가우시안 분포를 따르도록 임의로 생성될 수 있다.

상기 측정 위상 변화 행렬은 상기 IRS를 제어하는 컨트롤러에 의해 IRS의 N개의 반사 소자에 따른 측정 신호의 위상 변화가 시간에 독립적으로 0 ~ 2π 의 범위에서 균일하게 분포하도록 임의로 생성될 수 있다.

상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 다른 실시예에 따른 무선 전력 전송 시스템의 채널 추정 방법은 컨트롤러의 제어에 따라 송신기에서 전송된 무선 전력 신호를 반사하여 다수의 단말로 전달하는 지능형 반사표면(이하 IRS)을 포함하는 무선 전력 전송 시스템에 있어서, 상기 송신기가 측정 신호를 전송하기 위해 생성한 측정 빔포밍 벡터와 상기 IRS가 측정 신호를 반사하면서 조절하는 위상을 지정하기 위해 생성된 측정 위상 변화 행렬을 획득하는 단계; 상기 측정 신호를 수신한 다수의 단말 각각에서 피드백된 RSS를 인가받는 단계; 최대 우도 추정 기법에 따라 추정되어야 하는 상기 다수의 단말 각각에 수신된 측정 신호의 위상을 나타내는 위상 변수와 상기 IRS와 상기 다수의 단말 사이의 채널인 반사표면 채널 및 상기 송신기와 상기 IRS 사이의 채널인 송신 채널 중 반사표면 채널과 송신 채널을 고정하고, 고정된 반사표면 채널과 송신 채널과 인가된 측정 빔포밍 벡터와 측정

위상 변화 행렬 및 RSS를 기반으로 위상 변수를 계산하여 업데이트하는 단계; 상기 송신 채널과 업데이트된 위상 변수를 기반으로 반사표면 채널을 계산하여 업데이트하는 단계; 업데이트된 위상 변수와 반사표면 채널을 기반으로 연속 컨벡스 근사 기법에 따라 송신 채널을 획득하여 업데이트하는 단계; 및 업데이트된 위상 변수와 반사표면 채널 및 송신 채널의 수렴 여부를 판별하여, 수렴되면 최종 업데이트된 반사표면 채널 및 송신 채널을 추정된 채널 정보로 획득하는 단계를 포함한다.

발명의 효과

[0043] 따라서, 본 발명의 실시예에 따른 지능형 반사 표면을 이용한 무선 전력 전송 시스템의 채널 추정 장치 및 방법은 IRS의 반사 소자의 개수나 단말의 개수에 무관하게 송신기에서 전송되는 측정 신호에 대해 단말이 수신한 수신 신호의 세기를 확인하고, 확인된 수신 신호의 세기를 기반으로 송신기와 IRS 사이의 채널과 IRS와 단말 사이의 채널을 추정할 수 있으므로 저전력 단말을 포함하는 무선 전력 전송 시스템에서도 효율적으로 채널 정보를 획득할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0044] 도 1은 지능형 반사 표면을 활용한 무선 전력 전송 시스템을 개념을 설명하기 위한 도면이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 지능형 반사 표면을 이용한 무선 전력 전송 시스템의 채널 추정 장치의 개략적 구조를 나타낸다.

도 3은 도 2에 도시된 무선 전력 전송 시스템의 채널 추정 장치가 채널 추정을 수행하는 동작을 설명하기 위한 도면이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 지능형 반사 표면을 이용한 무선 전력 전송 시스템의 채널 추정 방법을 나타낸다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0045] 본 발명과 본 발명의 동작상의 이점 및 본 발명의 실시예에 의하여 달성되는 목적을 충분히 이해하기 위해서는 본 발명의 바람직한 실시예를 예시하는 첨부 도면 및 첨부 도면에 기재된 내용을 참조하여야만 한다.

[0046] 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 부재를 나타낸다.

[0047] 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.

[0048] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 지능형 반사 표면을 이용한 무선 전력 전송 시스템의 채널 추정 장치의 개략적 구조를 나타내고, 도 3은 도 2에 도시된 무선 전력 전송 시스템의 채널 추정 장치가 채널 추정을 수행하는 동작을 설명하기 위한 도면이다.

[0049] 본 실시예에 따른 채널 추정 장치는 도 1의 무선 전력 전송 시스템에서 송신기(100)에 포함되어 구성될 수 있으며, 경우에 따라서는 컨트롤러(200)에 포함되어 구성될 수도 있다. 여기서는 채널 추정 장치가 송신기(100)에 포함된 경우를 가정하여 설명한다.

[0050] 도 1 내지 도 3을 참조하면, 본 실시예에 따른 채널 추정 장치는 측정 신호 생성부(110), 수신 세기 획득부(120) 및 채널 추정부(130)를 포함할 수 있다.

[0051] 측정 신호 생성부(110)는 채널 추정을 위해 송신기(100)로부터 K개의 단말(401 ~ 40K)로 전송할 측정 신호를 생성한다. 여기서 측정 신호는 K개의 단말(401 ~ 40K)에서 수신되는 수신 신호의 세기를 측정하기 위한 기지정된 신호로서 단위 신호 또는 파일럿 신호일 수 있다.

[0052] 이때 측정 신호 생성부(110)는 M개의 안테나를 구비하는 송신기(100)가 제t 타임 슬롯(t)에서 측정 신호를 전송하기 위한 측정 빔포밍 벡터($w(t)$)를 임의로 생성한다. 여기서 측정 빔포밍 벡터($w(t)$)는 평균이 0이고, 송신

기(100)의 평균 측정 전력(p_0)과 안테나 개수(M)의 비(p_0/M)에 따른 분산을 갖는 복소 가우시안 분포를 따르도록 생성할 수 있다.

[0053] 또한 측정 신호 생성부(110)는 제t 타임 슬롯(t)에서 IRS(300)의 N개의 반사 소자가 송신기(100)에서 전송된 측정 신호를 반사하여 위상 변화시키는 수준을 나타내는 측정 위상 변화 행렬($\Theta(t)$)을 임의로 생성한다. 여기서 N개의 반사 소자를 구비하는 IRS(300)의 위상 변화 행렬($\Theta(t)$)은 N개의 반사 소자 각각의 위상 변화 ($e^{j\varphi_1(t)}, \dots, e^{j\varphi_n(t)}, \dots, e^{j\varphi_N(t)}$)를 원소로 포함하는 대각 행렬($\Theta(t) = \text{diag}(e^{j\varphi_1(t)}, \dots, e^{j\varphi_n(t)}, \dots, e^{j\varphi_N(t)})$)로 표현될 수 있으며, 측정 신호 생성부(110)는 측정 위상 변화($e^{j\varphi_1(t)}, \dots, e^{j\varphi_n(t)}, \dots, e^{j\varphi_N(t)}$)가 시간에 독립적으로 $0 \sim 2\pi$ 의 범위에서 균일하게 분포하도록 임의로 생성할 수 있다.

[0054] 송신기(100)는 생성된 빔포밍 벡터($w(t)$)와 위상 변화 행렬($\Theta(t)$)을 기반으로 측정 신호를 전송한다.

[0055] 송신기(100)에서 전송된 측정 신호는 송신기(100)와 IRS(300) 사이의 채널($G(t)$)을 통해 IRS(300)에 도달하고, IRS(300)의 N개의 반사 소자에 의해 반사되어 IRS(300)와 K개의 단말(401 ~ 40K) 사이의 채널($h(t)$)을 통해 K개의 단말(401 ~ 40K)로 전송된다.

[0056] 이하에서는 설명의 편의를 위하여, 송신기(100)와 IRS(300) 사이의 채널($G(t)$)을 송신 채널이라 하고, IRS(300)와 K개의 단말(401 ~ 40K) 사이의 채널($h(t)$)을 반사표면 채널이라 한다.

[0057] 이에 K개의 단말(401 ~ 40K) 중 반사표면 채널($h(t)$)을 통해 전송된 측정 신호를 수신 신호로 수신한 단말은 수신 신호 세기(Received Signal Strength: 이하 RSS)를 측정하고, 측정된 RSS를 다시 송신기(100)로 피드백한다. 본 실시예에서 K개의 단말(401 ~ 40K)은 전송된 측정 신호로부터 측정되는 RSS만을 피드백할 뿐, 다른 정보는 전송하지 않는다. 즉 스칼라 값인 RSS만을 회신하므로, 추가 정보를 전송하기 위한 전력 소비가 없어 전력 소모를 저감할 수 있다. 이는 제한된 전력으로 구동되는 IoT 장치에서는 매우 중요한 이슈이다.

[0058] 수신 세기 획득부(120)는 K개의 단말(401 ~ 40K)에서 피드백 되는 RSS를 인가받아 채널 추정부(130)로 전달한다.

[0059] 채널 추정부(130)는 수신 세기 획득부(120)에서 전달된 RSS와 측정 신호 생성부(110)에서 생성된 측정 빔포밍 벡터($w(t)$)와 측정 위상 변화 행렬($\Theta(t)$)을 인가받아 송신 채널($G(t)$)과 반사표면 채널($h(t)$)을 추정한다.

[0060] 채널 추정부(130)가 채널을 추정하기 위해서는 우선 RSS를 살펴봐야 한다.

[0061] 송신기(100)에서 측정 빔포밍 벡터($w(t)$)와 측정 위상 변화 행렬($\Theta(t)$)에 따라 전송된 측정 신호를 K개의 단말(401 ~ 40K) 중 제k 단말(40k)이 수신한 경우를 고려하면, 제k 단말(40k)의 수신 신호는 송신 채널($G(t)$)을 통해 IRS(300)에 전달된 후, IRS(300)과 제k 단말(40k) 사이의 제k 반사표면 채널($h_k(t)$)을 통해 전달된 측정 신호이다.

[0062] 따라서 제t 타임 슬롯(t)에서 제k 단말(40k)은 $RSS(r_k(t))$ 를 수신된 수신 신호 전력의 제곱근으로 수학적 식 1로 계산하여 피드백할 수 있다.

수학적 식 1

[0063]
$$r_k(t) = \left| \mathbf{h}_k^H(t) \Theta(t) \mathbf{G}^H(t) \mathbf{w}(t) + n_k(t) \right|$$

[0064] 여기서 $n_k(t)$ 는 평균이 0이고 분산이 σ_k^2 인 가우시안 노이즈이며, H는 에르미트 행렬(Hermitian matrix)을 의미한다.

[0065] 수학적 식 1에 나타난 바와 같이, 제k 단말(40k)의 무선 전력 수신 성능은 송신 채널($G(t)$)과 제k 반사표면 채널($h_k(t)$), 빔포밍 벡터($w(t)$) 및 위상 변화 행렬($\Theta(t)$)에 의해 결정됨을 알 수 있다.

[0066] 이중 빔포밍 벡터($w(t)$)와 위상 변화 행렬($\Theta(t)$)은 각각 송신기(100)와 컨트롤러(200)에 의해 조절될 수 있으므로, 결과적으로 무선 전력 수신 성능은 송신 채널($G(t)$)과 제k 반사표면 채널($h_k(t)$)에 의해 결정된다. 따라

서 IRS(300)을 이용하여 요구되는 무선 전력 수신 성능을 획득하기 위해서는 송신 채널($G(t)$)과 제 k 반사표면 채널($h_k(t)$)에 대한 정보를 획득해야만 한다.

[0067] 한편, 본 실시예에서는 제 k 반사표면 채널($h_k(t)$)이 시간에 따라 상관 관계를 가지고 변화하는 1차 자기 회귀 (first order auto-regressive) 채널 모델을 따르는 것으로 가정한다.

[0068] 제 k 반사표면 채널($h_k(t)$)이 1차 자기 회귀 채널 모델을 따르는 경우, 제 t 타임 슬롯(t)에서의 제 k 반사표면 채널($h_k(t)$)은 이전 제 $t-1$ 타임 슬롯($t-1$)에서의 제 k 반사표면 채널($h_k(t)$)과의 상관 관계 형식으로 수학식 2와 같이 표현될 수 있다.

수학식 2

$$\mathbf{h}_k(t) = \beta_k \mathbf{h}_k(t-1) + \mathbf{e}_k(t), \forall k$$

[0069]

[0070] 여기서 β_k 는 $\beta_k \in (0, 1]$ 인 제 k 반사표면 채널($h_k(t)$)에 대한 시간적 페이딩 계수로서 제 k 단말(40k)의 속도에 따라 결정되는 채널 상관 계수이며, $\mathbf{e}_k(t)$ 는 공간적 상관 관계없이 평균이 0이고 분산이 $1-\beta_k^2$ 인 가우시안 랜덤 벡터로 모델링되는 시변 잡음 항목이다.

[0071] 한편, 본 실시예에서 송신기(100)와 IRS(300)는 이동하지 않고 고정된 위치를 갖는 것으로 가정한다. 이에 송신기(100)와 IRS(300)의 상대 속도가 0이므로 송신 채널($G(t)$)에 대한 시간적 페이딩 계수(β_k)는 1이고, 따라서 제 t 타임 슬롯(t)에서의 송신 채널($G(t)$)과 제 $t-1$ 타임 슬롯($t-1$)에서의 송신 채널($G(t-1)$)은 수학식 3과 같이 동일하게 나타난다.

수학식 3

$$\mathbf{G}(t) = \mathbf{G}(t-1)$$

[0072]

[0073] 본 실시예에서 채널 추정부(130)는 최근 획득된 L 개의 RSS($r_k(t)$)를 이용하여 송신 채널($G(t)$)과 제 k 반사표면 채널($h_k(t)$)을 추정한다. 즉 현재 타임 슬롯이 T 라고 할 때, 채널 추정부(130)는 슬라이딩 윈도우의 길이(L)에 따라 제 $T-L+1$ 타임 슬롯($T-L+1$)부터 제 T 타임 슬롯(T)까지 L 개의 타임 슬롯 구간 동안 획득된 RSS($r_k(T-L+1), \dots, r_k(t)$)를 이용하여 송신 채널($G(t)$)과 제 k 반사표면 채널($h_k(t)$)을 추정한다.

[0074] 제 T 타임 슬롯(T)(여기서 $t < T$)의 제 k 반사표면 채널($h_k(t)$)은 수학식 2로부터 수학식 4와 같이 표현될 수 있다.

수학식 4

$$\mathbf{h}_k(t) = \beta_k^{t-T} \mathbf{h}_k(T) - \sum_{j=1}^{T-t-1} \beta_k^{t-T+j} \mathbf{e}_k(T-j)$$

[0075]

[0076] 그리고 수학식 4를 수학식 1에 대입하면, RSS($r_k(t)$)는 수학식 5로 다시 표현될 수 있다.

수학식 5

$$r_k(t) = \left| \beta_k^{t-T} \mathbf{w}^H(t) \mathbf{G} \Theta^H(t) \mathbf{h}_k(T) + \tilde{n}_k(t) \right|$$

$$\tilde{n}_k(t) = n_k(t) - \sum_{j=1}^{T-t-1} \beta_k^{t-T+j} \mathbf{w}^H(t) \mathbf{G} \Theta^H(t) \mathbf{e}_k(T-j)$$

여기서 이고, 수학식 3에 따라 $G(t) = G(t-1)$ 이므로, 수학식 5에서 타임 슬롯에 대한 색인은 생략하였다.

수학식 5에서는 절대값 함수($|\cdot|$)를 이용하여 위상에 대한 정보가 없는 $RSS(r_k(t))$ 를 표현하였으므로, 수학식 5의 $RSS(r_k(t))$ 에 위상 변수($\phi_k(t)$)를 추가로 반영하면, 수학식 6과 같이 표현될 수 있다.

수학식 6

$$r_k(t) e^{j\phi_k(t)} = \beta_k^{t-T} \mathbf{w}^H(t) \mathbf{G} \Theta^H(t) \mathbf{h}_k(T) + \tilde{n}_k(t)$$

수학식 6으로부터 상기한 바와 같이, L개의 $RSS(r_k(t))$ 로 이루어지는 RSS 벡터를 굵은 글씨($\mathbf{r}_k(t)$)로 $RSS(r_k(t))$ 와 구분하여 표현하면, RSS 벡터($\mathbf{r}_k(t) = [r_k(t-L+1), r_k(t-L+2), \dots, r_k(t)]^T$)는 수학식 7로 간략화될 수 있다.

수학식 7

$$\mathbf{r}_k(T) \circ e^{j\phi_k(T)} = \boldsymbol{\beta}_k(T) \circ \mathbf{M}_G(T) \mathbf{h}_k(T) + \tilde{\mathbf{n}}_k(T)$$

where

$$\mathbf{e}^{j\phi_k(T)} := \left[e^{j\phi_k(T-L+1)}, \dots, e^{j\phi_k(T)} \right]^T,$$

$$\boldsymbol{\beta}_k(T) := \left[\beta_k^{-L+1}, \beta_k^{-L+2}, \dots, 1 \right]^T,$$

$$\mathbf{M}_G(T) := \begin{bmatrix} \left(\mathbf{w}^H(T-L+1) \mathbf{G} \Theta^H(T-L+1) \right)^T, \\ \dots, \left(\mathbf{w}^H(T) \mathbf{G} \Theta^H(T) \right)^T \end{bmatrix}^T,$$

$$\tilde{\mathbf{n}}_k(T) := \left[\tilde{n}_k(T-L+1), \dots, \tilde{n}_k(T) \right]^T$$

여기서 \circ 는 하다마드 곱셈(Hadamard product) 기호이고, 굵은 글씨는 벡터를 나타내며, $\tilde{\mathbf{n}}_k(T)$ 는 평균이 0이고, 공분산 행렬이 $\mathbf{R}_k(T)$ 인 가우시안 노이즈 벡터로 볼 수 있다.

수학식 7에서 $\mathbf{M}_G(T)$ 는 송신기(100)의 빔포밍 벡터(\mathbf{w})와 송신 채널(\mathbf{G}) 및 측정 위상 변화 행렬($\Theta(t)$)이 결합되어, 송신기(100)로부터 전송된 측정 신호를 IRS(300)가 반사할 때까지의 채널 특성을 일괄하여 나타내는 송신 반사 채널 정보로 볼 수 있다.

[0085] 그리고 노이즈 벡터($\tilde{\mathbf{n}}_k(T)$)의 공분산 행렬($\mathbf{R}_k(T)$)은 수학식 8과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 8

$$[\mathbf{R}_k(T)]_{p,q} = \begin{cases} \sigma_k^2 + (\beta_k^{2(p-L)} - 1) \mathbf{w}^H(p') \mathbf{G} \mathbf{G}^H \mathbf{w}(p') & p = q \\ (\beta_k^{p+q-2L} - \beta_k^{-|q-p|}) \mathbf{w}^H(p') \mathbf{G} \mathbf{\Theta}^H(p') \mathbf{\Theta}(q') \mathbf{G}^H \mathbf{w}(q') & p \neq q \end{cases}$$

[0086] , $p' = T - L + p$, $q' = T - L + q$.

[0087] 여기서 p와 q는 각각 공분산 행렬($\mathbf{R}_k(T)$)의 행과 열을 나타낸다.

[0088] 한편 본 실시예에서는 송신 채널(G)과 K개의 단말(401 ~ 40K)에 대한 반사표면 채널($\mathbf{h} = \{\mathbf{h}_k\}_{k=1}^K$)을 추정하기 위해 최대 우도 추정(maximum likelihood estimation: MLE) 기법을 사용한다. 다만 최대 우도 추정을 적용하기 위해서는 추정되어야 하는 송신 채널(G)과 반사표면 채널($\{\mathbf{h}_k\}_{k=1}^K$) 사이의 확률 모델을 정의하는 과정이 필요하다.

[0089] 이에 RSS 벡터($\mathbf{r}_k(t)$)와 송신 채널(G) 및 반사표면 채널($\{\mathbf{h}_k\}_{k=1}^K$) 사이의 결합 우도 함수(Joint likelihood function)를 수학식 7로부터 수학식 9와 같이 도출할 수 있다.

수학식 9

$$F(\Psi) = \prod_{k=1}^K \left(\frac{1}{\pi^L |\mathbf{R}_k|} \exp \left\{ -\left\| \mathbf{R}_k^{-1/2} (\mathbf{r}_k \circ \mathbf{e}^{j\phi} - \beta_k \circ \mathbf{M}_G \mathbf{h}_k) \right\|^2 \right\} \right)$$

[0090]

[0091] 여기서 Ψ 는 추정되어야 하는 추정 변수 집합으로 여기서는 송신 채널(G)과 반사표면 채널($\{\mathbf{h}_k\}_{k=1}^K$) 및 위상 변수($\{\phi_k\}_{k=1}^K$)의 집합($\Psi = (\mathbf{G}, \{\mathbf{h}_k\}_{k=1}^K, \{\phi_k\}_{k=1}^K)$)을 나타낸다.

[0092] 수학식 9를 이용하여 최대 우도 추정 기법을 적용하면 채널 추정 문제는 수학식 10과 같이 정리된다.

수학식 10

$$\hat{\Psi} = \arg \min_{\Psi} \sum_{k=1}^K \left(\log |\mathbf{R}_k| + \left\| \mathbf{R}_k^{-1/2} (\mathbf{r}_k \circ \mathbf{e}^{j\phi} - \beta_k \circ \mathbf{M}_G \mathbf{h}_k) \right\|^2 \right)$$

[0093]

[0094] 수학식 10으로 정리된 채널 추정 문제를 여기서는 최대 우도 위상 탐색(Maximum Likelihood Phase Retrieval: 이하 MLPR) 문제라 한다. 수학식 10의 채널 추정 문제는 해를 도출하기 어려운 형태이므로, 우선 노이즈 벡터($\tilde{\mathbf{n}}_k(T)$)의 공분산 행렬($\mathbf{R}_k(T)$)을 수학식 11과 같이 근사한다.

수학식 11

$$[\tilde{\mathbf{R}}_k]_{p,p} = \begin{cases} [\mathbf{R}_k]_{p,p} & p = q \\ 0 & p \neq q \end{cases}$$

[0095]

[0096] 수학식 11로 근사된 공분산 행렬($\tilde{\mathbf{R}}_k$)을 이용하면, 최대 우도 추정 기법에 따른 수학식 10의 MLPR 문제는 수학식 12와 같이 근사된 MLPR(Approximated MLPR: AMLPR) 문제 형태로 재정리될 수 있다.

수학식 12

$$\hat{\Psi} = \arg \min_{\Psi} \sum_{k=1}^K \left(\log |\tilde{\mathbf{R}}_k| + \left\| \tilde{\mathbf{R}}_k^{-1/2} (\mathbf{r}_k \circ \mathbf{e}^{j\varphi} - \beta_k \circ \mathbf{M}_G \mathbf{h}_k) \right\|^2 \right)$$

[0098] 수학식 12와 같이, 정리된 AMLPR 문제는 추정 변수 집합($\Psi = (\mathbf{G}, \{\mathbf{h}_k\}_{k=1}^K, \{\phi_k\}_{k=1}^K)$)의 변수들인 송신 채널(G)과 반사표면 채널($\{\mathbf{h}_k\}_{k=1}^K$) 및 위상 변수($\{\phi_k\}_{k=1}^K$) 중 두 변수를 고정하고 나머지 하나의 변수를 교대로 업데이트하는 과정을 반복하는 반복 알고리즘(block coordinate descent algorithm)을 이용하여 해결할 수 있다.

[0099] 채널 추정부(130)는 우선 송신 채널(G)과 반사표면 채널($\{\mathbf{h}_k\}_{k=1}^K$) 및 위상 변수($\{\phi_k\}_{k=1}^K$)를 초기값을 설정한다. 여기서 초기값은 이전 타임 슬롯(T-1)에서 추정된 추정 변수 집합($\Psi = (\mathbf{G}, \{\mathbf{h}_k\}_{k=1}^K, \{\phi_k\}_{k=1}^K)$)으로 설정될 수 있다. 이전 타임 슬롯(T-1)에서 추정된 추정 변수 집합($\Psi = (\mathbf{G}, \{\mathbf{h}_k\}_{k=1}^K, \{\phi_k\}_{k=1}^K)$)이 존재하지 않는 경우에는 추정 변수 집합($\Psi = (\mathbf{G}, \{\mathbf{h}_k\}_{k=1}^K, \{\phi_k\}_{k=1}^K)$)의 송신 채널(G)과 반사표면 채널($\{\mathbf{h}_k\}_{k=1}^K$) 및 위상 변수($\{\phi_k\}_{k=1}^K$)의 초기값은 임의의 값으로 설정될 수 있다.

[0100] 추정 변수 집합($\Psi = (\mathbf{G}, \{\mathbf{h}_k\}_{k=1}^K, \{\phi_k\}_{k=1}^K)$)의 초기값이 설정되면, 송신 채널(G)과 반사표면 채널($\{\mathbf{h}_k\}_{k=1}^K$)의 값을 고정하고, 고정된 송신 채널(G)과 반사표면 채널($\{\mathbf{h}_k\}_{k=1}^K$)에 대응하는 최적의 위상 변수($\{\phi_k\}_{k=1}^K$)를 우선 수학식 13에 따라 계산하여 업데이트한다.

수학식 13

$$\phi_k = \arg(\mathbf{M}_G \mathbf{h}_k), \forall k$$

[0102] 여기서 $\arg(\circ)$ 함수는 벡터의 각 성분의 위상을 나타낸다.

[0103] 수학식 13에 따라 고정된 송신 채널(G)과 반사표면 채널($\{\mathbf{h}_k\}_{k=1}^K$)에 대응하는 위상 변수($\{\phi_k\}_{k=1}^K$)가 계산되면, 송신 채널(G)과 계산된 위상 변수($\{\phi_k\}_{k=1}^K$)가 고정된 상태에서 최적의 반사표면 채널($\{\mathbf{h}_k\}_{k=1}^K$)을 수학식 14에 따라 계산하여 업데이트한다.

수학식 14

$$\mathbf{h}_k = \left((\beta_k \circ \mathbf{M}_G)^H \tilde{\mathbf{R}}_k^{-1} (\beta_k \circ \mathbf{M}_G) \right)^{-1} (\beta_k \circ \mathbf{M}_G)^H \tilde{\mathbf{R}}_k^{-1} (\mathbf{r}_k \circ \mathbf{e}^{j\phi_k}), \forall k$$

[0105] 위상 변수($\{\phi_k\}_{k=1}^K$)와 반사표면 채널($\{\mathbf{h}_k\}_{k=1}^K$)이 각각 수학식 13 및 수학식 14에 의해 계산되면, 계산된 위상 변수($\{\phi_k\}_{k=1}^K$)와 반사표면 채널($\{\mathbf{h}_k\}_{k=1}^K$)을 기반으로 최적의 송신 채널(G)을 계산한다. 다만 최적의 송신 채널(G)

을 획득하는 문제는 논컨벡스(non-convex) 문제로 연속 컨벡스 근사(Successive Convex Approximation) 기법을 적용하여 수학적 식 15에 따라 획득되어 업데이트 될 수 있다.

수학적 식 15

$$\mathbf{G} = \bar{\mathbf{G}} - \frac{\nabla h(\bar{\mathbf{G}})}{\mathbf{K}}$$

[0106]

여기서 $\bar{\mathbf{G}}$ 는 업데이트되기 이전 송신 채널을 나타내고, \mathbf{K} 는 스텝 사이즈로서 역추적 라인 탐색법(backtracking line search method)으로 획득될 수 있다. 그리고 $\nabla h(\mathbf{G})$ 는 송신 채널(\mathbf{G})에 따른 반사표면 채널(h)의 기울기(gradient)로서 수학적 식 16에 따라 계산될 수 있다.

수학적 식 16

$$\nabla h(\mathbf{G}) = \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L 2 \left[\frac{(\beta_k^{2(l-L)} - 1) \mathbf{w}(l') \mathbf{w}^H(l') \mathbf{G}}{(\sigma_k^2 + (\beta_k^{2(l-L)} - 1) \|\mathbf{w}^H(l') \mathbf{G}\|^2)} - \frac{(\beta_k^{2(l-L)} - 1) \mathbf{w}(l') \mathbf{w}^H(l') \mathbf{G}}{(\sigma_k^2 + (\beta_k^{2(l-L)} - 1) \|\mathbf{w}^H(l') \mathbf{G}\|^2)^2} \right. \\ \left. - \frac{\beta_k^{-L+l} \mathbf{w}(l') (\mathbf{h}_k)^H \Theta(l') (r_k(l') e^{j\phi_k(l')} - \beta_k^{-L+l} \mathbf{w}^H(l') \mathbf{G} \Theta^H(l') \mathbf{h}_k)}{(\sigma_k^2 + (\beta_k^{2(l-L)} - 1) \|\mathbf{w}^H(l') \mathbf{G}\|^2)} \right]$$

[0108]

$$, l' = T - L + l$$

채널 추정부(130)는 추정 변수 집합($\Psi = (\mathbf{G}, \{\mathbf{h}_k\}_{k=1}^K, \{\phi_k\}_{k=1}^K)$)에서 송신 채널(\mathbf{G})과 반사표면 채널($\{\mathbf{h}_k\}_{k=1}^K$) 및 위상 변수($\{\phi_k\}_{k=1}^K$)를 하나씩 교대로 선택하여 업데이트를 수행한다.

그리고 반복하여 업데이트되는 추정 변수 집합($\Psi = (\mathbf{G}, \{\mathbf{h}_k\}_{k=1}^K, \{\phi_k\}_{k=1}^K)$)의 변화를 분석하여, 반복 업데이트되는 추정 변수 집합($\Psi = (\mathbf{G}, \{\mathbf{h}_k\}_{k=1}^K, \{\phi_k\}_{k=1}^K)$)이 기지정된 범위 이내의 편차로 수렴되는지 판별하고, 수렴되지 않으면 다시 반복하여 송신 채널(\mathbf{G})과 반사표면 채널($\{\mathbf{h}_k\}_{k=1}^K$) 및 위상 변수($\{\phi_k\}_{k=1}^K$)를 하나씩 교대로 선택하여 수학적 식 13 내지 15에 따라 업데이트한다. 그러나 수렴하는 것으로 판별되면, 업데이트를 종료하고, 마지막으로 업데이트된 추정 변수 집합($\Psi = (\mathbf{G}, \{\mathbf{h}_k\}_{k=1}^K, \{\phi_k\}_{k=1}^K)$)의 송신 채널(\mathbf{G})과 반사표면 채널($\{\mathbf{h}_k\}_{k=1}^K$)을 추정 채널 정보로 설정한다.

이에 송신기(100)는 추정 채널 정보에 따라 빔포밍 벡터($\mathbf{w}(t)$)를 생성하여 무선 전력 신호를 전송한다. 그리고 IRS(300)를 제어하는 컨트롤러(200)는 추정 채널 정보에 따라 위상 변화 행렬($\Theta(t)$)을 생성하여, IRS(300)의 N개의 반사 소자의 반사 위상을 조절함으로써, 송신기(100)에서 전송된 무선 전력 신호가 효율적으로 K개의 단말(401 ~ 40K)로 전달되도록 한다.

다시 도 2를 참조하면, 채널 추정부(130)는 일 예로 위상 변수 업데이트부(131), 반사표면 채널 업데이트부(132), 송신 채널 업데이트부(133) 및 수렴 판별부(134)를 포함할 수 있다.

위상 변수 업데이트부(131)는 측정 신호 생성부(110)로부터 빔포밍 벡터($\mathbf{w}(t)$)와 위상 변화 행렬($\Theta(t)$)을 인가받고, 수신 신호 세기 획득부(120)로부터 $RSS(r_k(t))$ 를 인가받아, 이전 획득된 추정 변수 집합

($\Psi = (\mathbf{G}, \{\mathbf{h}_k\}_{k=1}^K, \{\phi_k\}_{k=1}^K)$)의 송신 채널(\mathbf{G})과 반사표면 채널($\{\mathbf{h}_k\}_{k=1}^K$)를 이용하여 위상 변수($\{\phi_k\}_{k=1}^K$)를 수학적 식 13에 따라 계산하여 업데이트한다.

[0114] 그리고 반사표면 채널 업데이트부(132)는 추정 변수 집합($\Psi = (\mathbf{G}, \{\mathbf{h}_k\}_{k=1}^K, \{\phi_k\}_{k=1}^K)$)의 송신 채널(\mathbf{G})과 위상 변수 업데이트부(131)에서 업데이트된 위상 변수($\{\phi_k\}_{k=1}^K$)를 이용하여 수학적 식 14에 따라 반사표면 채널($\{\mathbf{h}_k\}_{k=1}^K$)을 계산하여 업데이트 한다.

[0115] 한편 송신 채널 업데이트부(133)는 위상 변수 업데이트부(131)와 반사표면 채널 업데이트부(132) 각각에서 업데이트된 위상 변수($\{\phi_k\}_{k=1}^K$)와 반사표면 채널($\{\mathbf{h}_k\}_{k=1}^K$)을 이용하여 수학적 식 15에 따라 송신 채널(\mathbf{G})을 획득하여 업데이트 한다.

[0116] 추정 변수 집합($\Psi = (\mathbf{G}, \{\mathbf{h}_k\}_{k=1}^K, \{\phi_k\}_{k=1}^K)$)의 모든 변수가 업데이트되면, 수렴 판별부(134)는 업데이트된 추정 변수 집합($\Psi = (\mathbf{G}, \{\mathbf{h}_k\}_{k=1}^K, \{\phi_k\}_{k=1}^K)$)과 이전 추정 변수 집합을 비교하여, 추정 변수 집합($\Psi = (\mathbf{G}, \{\mathbf{h}_k\}_{k=1}^K, \{\phi_k\}_{k=1}^K)$)의 각 변수값의 변화가 이전 변화에 비해 점차 감소하는지 판별한다.

[0117] 수렴 판별부(134)는 변수값의 변화로부터 각 변수의 값이 기지정된 범위 이내로 수렴되는 것으로 판별되면, 최종 업데이트된 추정 변수 집합($\Psi = (\mathbf{G}, \{\mathbf{h}_k\}_{k=1}^K, \{\phi_k\}_{k=1}^K)$)의 송신 채널(\mathbf{G})과 반사표면 채널($\{\mathbf{h}_k\}_{k=1}^K$)를 추정 채널 정보로 설정한다. 그러나 변수값의 변화가 감소되지 않거나, 감소되더라도 기지정된 범위 이내로 수렴되지 않는 것으로 판별되면, 업데이트된 추정 변수 집합($\Psi = (\mathbf{G}, \{\mathbf{h}_k\}_{k=1}^K, \{\phi_k\}_{k=1}^K)$)을 위상 변수 업데이트부(131)로 전달하여, 추정 변수 집합($\Psi = (\mathbf{G}, \{\mathbf{h}_k\}_{k=1}^K, \{\phi_k\}_{k=1}^K)$)이 다시 반복하여 업데이트 되도록 한다. 즉 수렴 판별부(134)는 반복 업데이트되는 추정 변수 집합($\Psi = (\mathbf{G}, \{\mathbf{h}_k\}_{k=1}^K, \{\phi_k\}_{k=1}^K)$)의 누적 변화를 분석하여 특정값으로 수렴되는 것으로 판별되는 경우, 업데이트를 중지하고 최종 업데이트된 추정 변수 집합($\Psi = (\mathbf{G}, \{\mathbf{h}_k\}_{k=1}^K, \{\phi_k\}_{k=1}^K)$)을 추정된 채널 정보로 획득한다.

[0118] 결과적으로 본 실시예의 지능형 반사 표면을 이용한 무선 전력 전송 시스템의 채널 추정 장치는 K개의 단말(401 ~ 40K)로부터 스칼라값인 RSS($r_k(t)$)만을 피드백 받아도 지능형 반사 표면으로 인해 구분되는 송신 채널(\mathbf{G})과 반사표면 채널($\{\mathbf{h}_k\}_{k=1}^K$)을 모두 추정할 수 있으므로, 제한된 전력으로 동작하는 단말(401 ~ 40K)의 전력 소비를 저감시킬 수 있다.

[0119] 상기에서는 설명의 편의를 위해 측정 신호 생성부(110)와 수신 세기 획득부(120)를 포함하는 것으로 설명하였으나, 이는 채널 추정 장치가 송신기(100)에 포함되는 경우를 가정한 것으로서, 본 실시예에 따른 채널 추정 장치는 채널 추정부(130)로 구성될 수 있다.

[0120] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 지능형 반사 표면을 이용한 무선 전력 전송 시스템의 채널 추정 방법을 나타낸다.

[0121] 도 2 및 도 3을 참조하여, 도 4의 채널 추정 방법을 설명하면, 우선 송신기(100)가 측정 신호를 송신하기 위한 측정 빔포밍 벡터($\mathbf{w}(t)$)와 IRS(300)가 전송된 측정 신호의 반사 시에 변경하는 위상을 설정하기 위한 측정 위상 변화 행렬($\Theta(t)$)을 생성한다(S10). 여기서 빔포밍 벡터($\mathbf{w}(t)$)와 위상 변화 행렬($\Theta(t)$)은 임의로 생성될 수 있다.

[0122] 측정 빔포밍 벡터($\mathbf{w}(t)$)와 측정 위상 변화 행렬($\Theta(t)$)이 생성되면, 송신기(100)는 생성된 측정 빔포밍 벡터($\mathbf{w}(t)$)에 따라 측정 신호를 빔포밍하여 전송하고, IRS(300)는 측정 위상 변화 행렬($\Theta(t)$)에 의해 지정된 반사 위상으로 송신기(100)에서 전송된 측정 신호의 위상을 조절하여 반사한다(S20).

[0123] 그리고 무선 전력 전송 시스템의 다수의 단말 중 IRS(300)에 반사되어 전송된 측정 신호를 수신한 단말로부터

피드백되는 $RSS(r_k(t))$ 를 확인한다(S30). 여기서 $RSS(r_k(t))$ 는 측정 신호를 수신한 각 단말이 수학식 1에 따라 수신 신호 전력의 제곱근으로 계산하여 획득하여 송신기(100)로 피드백 할 수 있다.

[0124] 이후, 추정되어야 하는 추정 변수인 송신 채널(G)과 반사표면 채널($\{h_k\}_{k=1}^K$) 및 위상 변수($\{\phi_k\}_{k=1}^K$)의 초기값을 설정한다(S40). 여기서 초기값은 이전 마지막으로 추정된 추정 변수들의 값으로 설정될 수 있으며, 이전 설정된 추정 변수들이 존재하지 않는다면 임의의 값으로 설정될 수 있다.

[0125] 측정 빔포밍 벡터($w(t)$)와 측정 위상 변화 행렬($\Theta(t)$) 및 $RSS(r_k(t))$ 가 확인되고, 추정 변수인 송신 채널(G)과 반사표면 채널($\{h_k\}_{k=1}^K$) 및 위상 변수($\{\phi_k\}_{k=1}^K$)의 초기값이 설정되면, 3개의 추정 변수 중 우선 송신 채널(G)과 반사표면 채널($\{h_k\}_{k=1}^K$)을 현재 설정된 값으로 고정한 상태에서의 최적의 위상 변수($\{\phi_k\}_{k=1}^K$)를 수학식 13에 따라 계산하여 업데이트한다(S50).

[0126] 위상 변수($\{\phi_k\}_{k=1}^K$)가 업데이트되면, 송신 채널(G)과 업데이트된 위상 변수($\{\phi_k\}_{k=1}^K$)가 고정된 상태에서 최적의 반사표면 채널($\{h_k\}_{k=1}^K$)을 수학식 14에 따라 계산하여 업데이트한다(S60).

[0127] 이후, 업데이트된 위상 변수($\{\phi_k\}_{k=1}^K$)와 반사표면 채널($\{h_k\}_{k=1}^K$)을 고정된 상태에서 최적의 송신 채널(G)을 연속 컨벡스 근사(Successive Convex Approximation) 기법을 적용하여 수학식 15 및 16에 따라 획득하여 업데이트한다(S70).

[0128] 추정되어야 하는 3개의 추정 변수가 모두 업데이트되면, 이전 업데이트 추정 변수들과의 누적된 변화를 분석하여, 추정 변수들이 수렴되는지 여부를 판별한다(S80).

[0129] 만일 수렴되는 것으로 판별되면, 추정 변수들에 대한 추가적인 업데이트를 중지하고 최종 업데이트된 추정 변수들 중 송신 채널(G)과 반사표면 채널($\{h_k\}_{k=1}^K$)을 추정된 채널 정보로 획득하고, 무선 전력 전송 시스템의 송신기(100)와 컨트롤러(200)가 획득된 추정 채널 정보에 따라 빔포밍 벡터($w(t)$)와 위상 변화 행렬($\Theta(t)$)을 생성하여 무선 전력 신호를 송신 및 반사하도록 한다.

[0130] 그러나 수렴되지 않는 것으로 판별되면, 현재 업데이트된 추정 변수들을 기반으로 다시 추정 변수들을 계산하여 업데이트한다(S50 ~ S70).

[0131] 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.

[0132] 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.

[0133] 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 청구범위의 기술적 사상에 의해 정해져야 할 것이다.

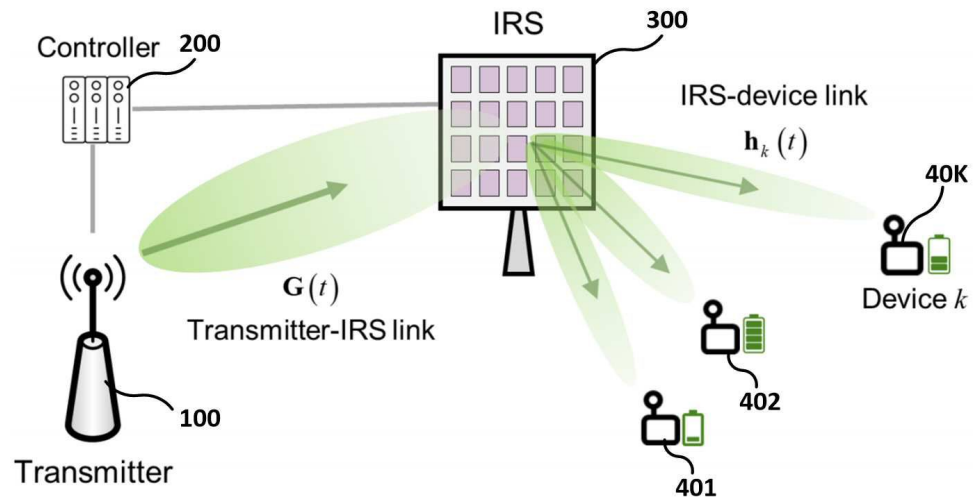
부호의 설명

[0134] 100: 송신기 200: 컨트롤러
300: 지능형 반사 표면(IRS) 401 ~ 40K: 단말
110: 측정 신호 생성부 120: 수신 세기 획득부
130: 채널 추정부 131: 위상 변수 업데이트부
132: 반사표면 채널 업데이트부 133: 송신 채널 업데이트부

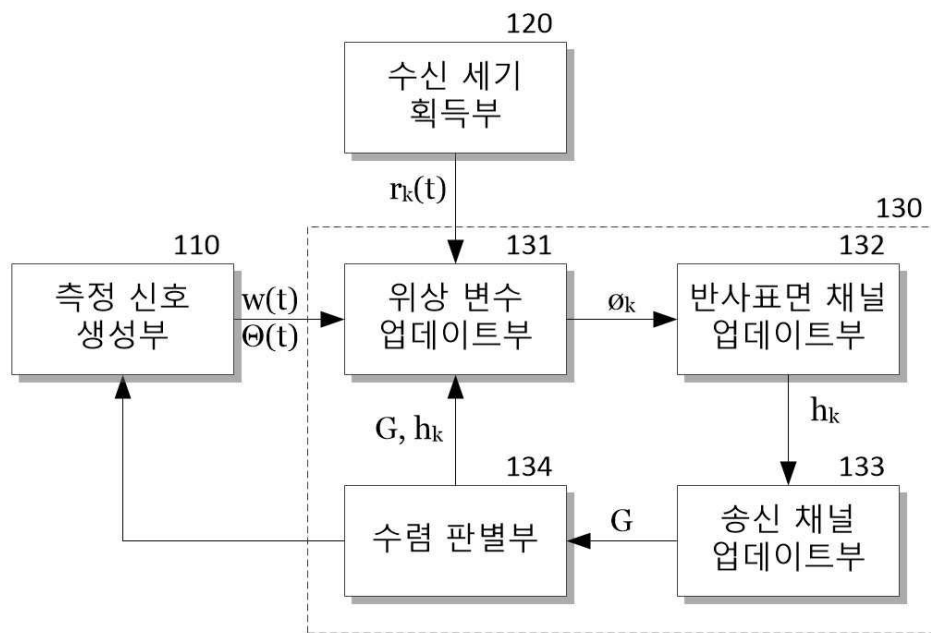
134: 수렴 판별부

도면

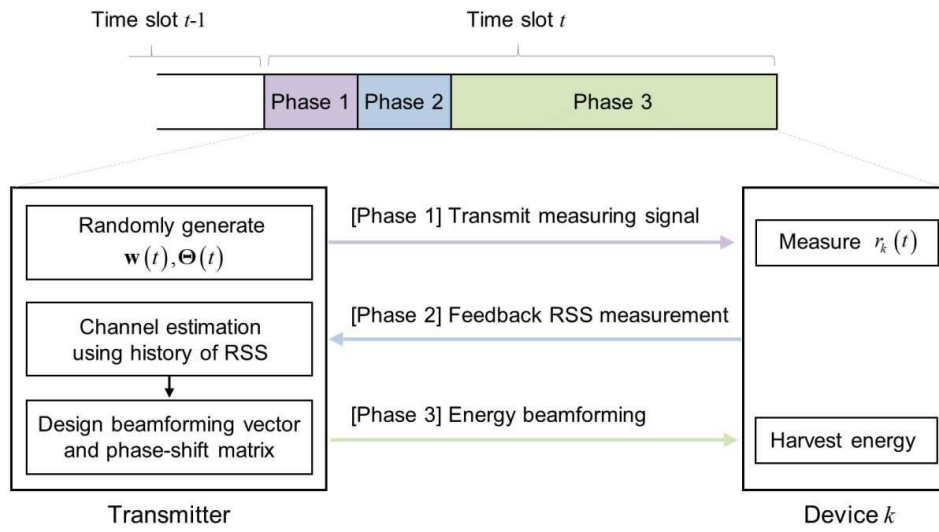
도면1



도면2



도면3



도면4

