



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년06월03일

(11) 등록번호 10-2261004

(24) 등록일자 2021년05월31일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H04B 7/155 (2006.01) H02J 50/00 (2021.01)

H02J 50/20 (2016.01) H02J 50/80 (2016.01)

H04B 17/336 (2014.01) H04B 7/06 (2017.01)

H04B 7/08 (2017.01)

(52) CPC특허분류

H04B 7/15507 (2013.01)

H02J 50/001 (2020.01)

(21) 출원번호 10-2020-0076664

(22) 출원일자 2020년06월23일

심사청구일자 2020년06월23일

(56) 선행기술조사문헌

KR1020090125803 A

(뒷면에 계속)

(73) 특허권자

연세대학교 산학협력단

서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)

(72) 발명자

이충용

서울특별시 서대문구 연세로 50, 연세대학교 제3공학관 C418호(신촌동)

권구형

서울특별시 서대문구 연세로 50, 연세대학교 제3공학관 C418호(신촌동)

(74) 대리인

민영준

전체 청구항 수 : 총 8 항

심사관 : 신상길

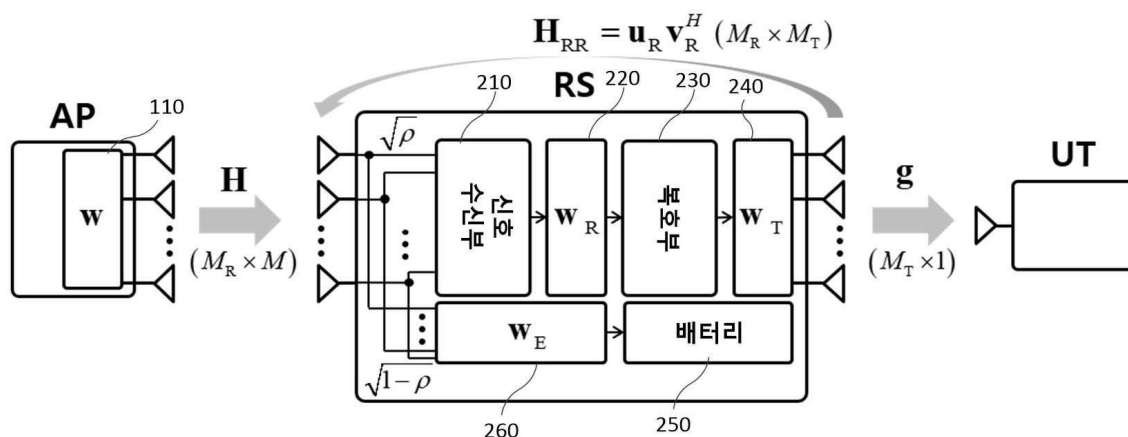
(54) 발명의 명칭 에너지 수확량을 향상시킬 수 있는 전이중 복호 후 전달 릴레이

### (57) 요약

본 발명은 전력 분할 기반 무선 정보 및 전력 동시 전송 전이중 복호 후 전달 릴레이 시스템에서 릴레이가 수신된 신호로부터 복호에 이용될 전력과 수확할 에너지의 비를 나타내는 전력 분할비( $\rho$ )와 신호를 단말로 전송하기 위한 송신 빔포밍 시에 제2 홉 채널과 자기 간섭 채널(이하 SI) 중 SI 채널로의 빔포밍 가중치를 나타내는 SI 채널

(뒷면에 계속)

### 대표도



널 전송 가중치( $\omega$ )에 관한 함수로 표현된 제1 홉 채널의 SINR( $\gamma_1$ )과 제2 홉 채널의 SINR( $\gamma_2$ ) 사이의 관계로부터 기지국과 단말 사이의 중단간 SINR( $\gamma$ )이 기지정된 기준 SINR( $\gamma^*$ ) 이상을 만족하는 장애 자유 영역(이하 OFR)을 검출하며, OFR에 대응하는 전력 분할비( $\rho$ )의 범위를 기지정된 K개의 구간으로 구분하여 K+1개의 대표 전력 분할비( $\rho_k$ )를 획득하고, K+1개의 대표 전력 분할비( $\rho_k$ ) 각각에 대해 에너지 수확량을 최대화 하는 SI 채널 전송 가중치( $\omega_{k,j}$ )를 검출한 후, 검출된 SI 채널 전송 가중치( $\omega_{k,j}$ )에 따른 에너지 중 최대 에너지 수확량을 획득하는 대표 전력 분할비( $\rho_k$ )와 SI 채널 전송 가중치( $\omega_{k,j}$ )를 선택하여, 중단간 SINR을 요구 레벨 이상으로 만족시키면서 동시에 에너지 수확량이 최대로 할 수 있는 전이중 복호 후 전달 릴레이를 제공할 수 있다.

(52) CPC특허분류

**H02J 50/20** (2016.02)

**H02J 50/80** (2016.02)

**H04B 17/336** (2015.01)

**H04B 7/0617** (2013.01)

**H04B 7/0848** (2013.01)

(56) 선행기술조사문헌

Fei Wang et al., "Relay and Power Splitting Ratio Selection for Cooperative Networks with Energy Harvesting," 2015 IEEE 21st International Conference on Parallel and Distributed Systems, p. 52, (2015)

Min Sheng et al., "Energy Efficient Beamforming in MISO Heterogeneous Cellular Networks With Wireless Information and Power Transfer," IEEE JOURNAL ON SELECTED AREAS IN COMM., VOL. 34, NO. 4, (2016)

ZHONGWEI HU et al., "Weighted Sum Transmit Power Minimization for Full-Duplex System With SWIPT and Self-Energy Recycling," IEEE Access, VOLUME 4, (2016)

O. T. Demir et al., "Robust Optimum and Near-Optimum Beamformers for Decode-and-Forward Full-Duplex Multi-Antenna Relay With Self-Energy Recycling," IEEE TR. WIRELESS COMM., VOL. 18, NO. 3, (2019.3)

공지예외적용 : 있음

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

기지국으로부터 빔포밍되어 제1 홉 채널을 통해 전송된 신호를 빔포밍하여 수신하고, 수신된 신호의 전력을 분할하여 신호를 복호 후 재부호화함과 동시에 에너지를 수확하고, 재부호화된 신호를 빔포밍하여 제2 홉 채널을 통해 단말로 전송하는 릴레이를 포함하는 전력 분할 기반 무선 정보 및 전력 동시 전송(이하 SWIPT) 전이중(이하 FD) 복호 후 전달(이하 DF) 릴레이 시스템의 릴레이에 있어서,

상기 수신된 신호로부터 복호에 이용될 전력과 수확할 에너지의 비를 나타내는 전력 분할비( $\rho$ )와 신호를 상기 단말로 전송하기 위한 송신 빔포밍 시에 상기 제2 홉 채널과 자기 간섭 채널(이하 SI) 중 SI 채널로의 빔포밍 가중치를 나타내는 SI 채널 전송 가중치( $\omega$ )에 관한 함수로 표현된 제1 홉 채널의  $\text{SINR}(\gamma_1)$ 과 제2 홉 채널의  $\text{SINR}(\gamma_2)$  사이의 관계로부터 상기 기지국과 상기 단말 사이의 종단간  $\text{SINR}(\gamma)$ 이 기지정된 기준  $\text{SINR}(\gamma^*)$  이상을 만족하는 장애 자유 영역(이하 OFR)을 검출하며, 상기 OFR에 대응하는 전력 분할비( $\rho$ )의 범위를 기지정된 K개의 구간으로 구분하여 K+1개의 대표 전력 분할비( $\rho_k$ )를 획득하고, K+1개의 대표 전력 분할비( $\rho_k$ ) 각각에 대해 에너지 수확량을 최대로 하는 SI 채널 전송 가중치( $\omega_{k,j}$ )를 검출한 후, 검출된 SI 채널 전송 가중치( $\omega_{k,j}$ )에 따른 에너지 중 최대 에너지 수확량을 획득하는 대표 전력 분할비( $\rho_k$ )와 SI 채널 전송 가중치( $\omega_{k,j}$ )를 선택하는 릴레이.

#### 청구항 2

제1항에 있어서, 상기 릴레이는

다수의 수신 안테나를 통해 수신되는 신호 중 상기 전력 분할비( $\rho$ )에 대응하는 비율의 전력으로 신호를 수신하는 신호 수신부;

상기 신호 수신부로 수신되는 신호에 대해 수신 빔포밍 벡터( $w_R$ )를 이용하여 빔포밍하는 수신 빔포머;

상기 수신 빔포머를 통해 획득된 신호를 복호하고 다시 재부호화하여 복호부;

상기 복호부에서 재부호화된 신호를 송신 빔포밍 벡터( $w_T$ )에 따라 빔포밍하여 다수의 송신 안테나를 통해 상기 단말로 전송하는 송신 빔포머; 및

다수의 수신 안테나를 통해 수신되는 신호 중 상기 신호 수신부로 전달되는 전력을 제외한 나머지 전력의 신호에 대해 에너지 빔포밍 벡터( $w_E$ )를 이용하여 빔포밍하는 에너지 빔포머; 및

상기 에너지 빔포머에 의해 빔포밍되어 전달된 신호의 전력을 에너지로 수확하여 저장하는 배터리를 포함하는 릴레이.

#### 청구항 3

제2항에 있어서, 상기 송신 빔포머는

상기 SI 채널 전송 가중치( $\omega$ )에 따라 상기 송신 빔포밍 벡터( $w_T$ )를 설정하고, 설정된 송신 빔포밍 벡터( $w_T$ )에 따라 빔포밍하여 상기 제2 홉 채널과 상기 SI 채널로 재부호화된 신호를 전송하는 릴레이.

#### 청구항 4

제3항에 있어서, 상기 에너지 빔포머는

상기 제1 홉 채널로 전송되는 신호와 상기 SI 채널을 통해 전송되는 신호에 대한 수신 비율을 조절하는 포밍 가중치( $\zeta$ )에 따라 상기 에너지 빔포밍 벡터( $w_E$ )를 설정하고, 상기 포밍 가중치( $\zeta$ )는 상기 SI 채널 전송 가중치( $\omega$ )에 의해 결정되는 릴레이.

## 청구항 5

제4항에 있어서, 상기 릴레이는

상기 전력 분할비( $\rho$ )를 기지정된 최대값에 대응하는 최대 전력 분할비( $\rho_{\max} = 1$ )로부터 기지정된 단위로 감소 시키면서, 상기 제1 홉 채널의 SINR( $\gamma_1$ )과 상기 제2 홉 채널의 SINR( $\gamma_2$ )를 각각 계산하고, 계산된 상기 제1 홉 채널의 SINR( $\gamma_1$ )과 상기 제2 홉 채널의 SINR( $\gamma_2$ ) 중 작은 값으로 계산되는 종단간 SINR( $\gamma = \min(\gamma_1, \gamma_2)$ )이 상기 기준 SINR( $\gamma^*$ ) 이상인 OFR이 존재하는지 검출하여, 상기 OFR이 존재하는 전력 분할비( $\rho$ ) 중 최소값인 최소 전력 분할비( $\rho_{\min}$ )를 판별하며, 판별된 최소 전력 분할비( $\rho_{\min}$ )로부터 최대 전력 분할비( $\rho_{\max}$ )까지의 범위를 K개의 구간으로 구분하여 K+1개의 대표 전력 분할비( $\rho_k$ )를 획득하는 릴레이.

## 청구항 6

제5항에 있어서, 상기 릴레이는

K+1개의 대표 전력 분할비( $\rho_k$ )는 상기 최대 전력 분할비( $\rho_{\max}$ )로부터 균등 크기 단위( $\Delta\rho = \frac{\rho_{\max} - \rho_{\min}}{K}$ )로 반복 차감하여 획득하는 릴레이.

## 청구항 7

제6항에 있어서, 상기 릴레이는

K+1개의 대표 전력 분할비( $\rho_k$ )에 의해 구분된 구간 각각에 대응하는 SI 채널 전송 가중치( $\omega_k$ )의 하한( $\omega_{k,LB}$ )과 상한( $\omega_{k,UB}$ )을 판별하고, 판별된 SI 채널 전송 가중치( $\omega_k$ )의 하한( $\omega_{k,LB}$ )과 상한( $\omega_{k,UB}$ ) 범위 내에서 SI 채널 전송 가중치( $\omega_{k,j}$ )를 가변하면서, 기지정된 수확식에 따라 에너지 수확량을 계산하여, 계산된 에너지 수확량 중 최대값을 K+1개의 대표 전력 분할비( $\rho_k$ )에 대응하는 에너지 수확량으로 획득하는 릴레이.

## 청구항 8

제7항에 있어서, 상기 릴레이는

K+1개의 대표 전력 분할비( $\rho_k$ ) 각각에 대응하여 획득된 에너지 수확량 중 최대 에너지 수확량을 판별하고, 판별된 최대 에너지 수확량에 대응하는 대표 전력 분할비( $\rho_k$ )와 SI 채널 전송 가중치( $\omega_{k,j}$ )를 릴레이의 전력 분할비( $\rho$ )와 SI 채널 전송 가중치( $\omega$ )로 선택하는 릴레이.

## 발명의 설명

### 기술 분야

[0001] 본 발명은 전이중 복호 후 전달 릴레이에 관한 것으로, 무선 정보 및 전력 동시 전송 전이중 복호 후 전달 릴레이에 관한 것이다.

### 배경 기술

[0002] 전이중(Full-Duplex: 이하 FD) 송/수신 방식에서 FD로 작동하는 노드에서는 자기 간섭(self-interference: 이하 SI) 문제가 발생한다. SI는 특정 노드의 송신 신호가 동일 노드의 신호 수신 과정에서 간섭으로 작용하는 현상이다. SI는 동일 노드 내에서 발생하는 간섭이므로, 송/수신단 간 거리가 매우 가깝다. 따라서 다른 간섭들에 비해 그 크기가 크며, FD가 기존의 반이중(Half-Duplex; 이하 HD) 대비 성능 이점을 갖기 위해서는 반드시 제어 및 제거해야 하는 대상이다.

[0003] 한편, 전력 분할(power splitting) 기반 무선 정보 및 전력 동시 전송(Simultaneous Wireless Information and Power Transfer: 이하 SWIPT) FD 릴레이에서 수신기는 수신 신호의 전력에서 일정 비율을 데이터 디코딩에 활용하고 나머지 비율의 신호로부터 에너지를 수확한다. 이러한 SWIPT 구현을 위한 FD 복호 후 전달(Decode-and-Forward: 이하 DF) 릴레이에서는 수확 에너지 및 종단간(end-to-end) 신호 대 간섭 잡음비(signal-to-

interference-plus-noise ratio: 이하 SINR)의 두 성능 척도가 함께 고려되어야 한다. 그러나 기존의 FD DF 릴레이에서는 SINR에 대해서만 고려되었으며, 에너지 수확량(Energy Harvesting)은 고려되지 않았다. 특히 SI의 경우 제거 대상으로만 간주됨으로써, SI에 의한 에너지 수확은 더더욱 고려되지 않았다.

## 선행기술문헌

### 특허문헌

[0004] (특허문헌 0001) 한국 공개 특허 제10-2008-0066503호 (2008.07.16 공개)

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0005] 본 발명의 목적은 종단간 SINR을 요구 레벨 이상으로 만족시키면서 동시에 에너지 수확량이 최대로 할 수 있는 전력 분할 기반 SWIPT FD DF 릴레이 및 이의 에너지 수확량 향상 방법을 제공하는데 있다.

[0006] 본 발명의 다른 목적은 SI 채널에 의한 에너지도 수확할 수 있도록 빔포밍 기법을 적용하는 전력 분할 기반 SWIPT FD DF 릴레이 및 이의 에너지 수확량 향상 방법을 제공하는데 있다.

### 과제의 해결 수단

[0007] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 FD DF 릴레이는 기지국으로부터 빔포밍되어 제1 홉 채널을 통해 전송된 신호를 빔포밍하여 수신하고, 수신된 신호의 전력을 분할하여 신호를 복호 후 재부호화함과 동시에 에너지를 수확하고, 재부호화된 신호를 빔포밍하여 제2 홉 채널을 통해 단말로 전송하는 릴레이를 포함하는 전력 분할 기반 무선 정보 및 전력 동시 전송(이하 SWIPT) 전이중(이하 FD) 복호 후 전달(이하 DF) 릴레이 시스템의 릴레이에 있어서, 상기 수신된 신호로부터 복호에 이용될 전력과 수확할 에너지의 비를 나타내는 전력 분할비( $\rho$ )와 신호를 상기 단말로 전송하기 위한 송신 빔포밍 시에 상기 제2 홉 채널과 자기 간섭 채널(이하 SI) 중 SI 채널로의 빔포밍 가중치를 나타내는 SI 채널 전송 가중치( $\omega$ )에 관한 함수로 표현된 제1 홉 채널의 SINR( $\gamma_1$ )과 제2 홉 채널의 SINR( $\gamma_2$ ) 사이의 관계로부터 상기 기지국과 상기 단말 사이의 종단간 SINR( $\gamma$ )이 기 지정된 기준 SINR( $\gamma^*$ ) 이상을 만족하는 장애 자유 영역(이하 OFR)을 검출하며, 상기 OFR에 대응하는 전력 분할비( $\rho$ )의 범위를 기지정된 K개의 구간으로 구분하여 K+1개의 대표 전력 분할비( $\rho_k$ )를 획득하고, K+1개의 대표 전력 분할비( $\rho_k$ ) 각각에 대해 에너지 수확량을 최대로 하는 SI 채널 전송 가중치( $\omega_{k,j}$ )를 검출한 후, 검출된 SI 채널 전송 가중치( $\omega_{k,j}$ )에 따른 에너지 중 최대 에너지 수확량을 획득하는 대표 전력 분할비( $\rho_k$ )와 SI 채널 전송 가중치( $\omega_{k,j}$ )를 선택한다.

[0008] 상기 릴레이는 다수의 수신 안테나를 통해 수신되는 신호 중 상기 전력 분할비( $\rho$ )에 대응하는 비율의 전력으로 신호를 수신하는 신호 수신부; 상기 신호 수신부로 수신되는 신호에 대해 수신 빔포밍 벡터( $w_R$ )를 이용하여 빔포밍하는 수신 빔포머; 상기 수신 빔포머를 통해 획득된 신호를 복호하고 다시 재부호화하여 복호부; 상기 복호부에서 재부호화된 신호를 송신 빔포밍 벡터( $w_T$ )에 따라 빔포밍하여 다수의 송신 안테나를 통해 상기 단말로 전송하는 송신 빔포머; 및 다수의 수신 안테나를 통해 수신되는 신호 중 상기 신호 수신부로 전달되는 전력을 제외한 나머지 전력의 신호에 대해 에너지 빔포밍 벡터( $w_E$ )를 이용하여 빔포밍하는 에너지 빔포머; 및 상기 에너지 빔포머에 의해 빔포밍되어 전달된 신호의 전력을 에너지로 수확하여 저장하는 배터리를 포함할 수 있다.

[0009] 상기 송신 빔포머는 상기 SI 채널 전송 가중치( $\omega$ )에 따라 상기 송신 빔포밍 벡터( $w_T$ )를 설정하고, 설정된 송신 빔포밍 벡터( $w_T$ )에 따라 빔포밍하여 상기 제2 홉 채널과 상기 SI 채널로 재부호화된 신호를 전송할 수 있다.

[0010] 상기 에너지 빔포머는 상기 제1 홉 채널로 전송되는 신호와 상기 SI 채널을 통해 전송되는 신호에 대한 수신 비율을 조절하는 포밍 가중치( $\zeta$ )에 따라 상기 에너지 빔포밍 벡터( $w_E$ )를 설정하고, 상기 포밍 가중치( $\zeta$ )는 상기 SI 채널 전송 가중치( $\omega$ )에 의해 결정될 수 있다.

- [0011] 상기 릴레이는 상기 전력 분할비( $\rho$ )를 기지정된 최대값에 대응하는 최대 전력 분할비( $\rho_{\max} = 1$ )로부터 기지정된 단위로 감소시키면서, 상기 제1 홉 채널의 SINR( $\gamma_1$ )과 상기 제2 홉 채널의 SINR( $\gamma_2$ )를 각각 계산하고, 계산된 상기 제1 홉 채널의 SINR( $\gamma_1$ )과 상기 제2 홉 채널의 SINR( $\gamma_2$ ) 중 작은 값으로 계산되는 중단간 SINR( $\gamma = \min(\gamma_1, \gamma_2)$ )이 상기 기준 SINR( $\gamma^*$ ) 이상인 OFR이 존재하는지 검출하여, 상기 OFR이 존재하는 전력 분할비( $\rho$ ) 중 최소값인 최소 전력 분할비( $\rho_{\min}$ )를 판별하며, 판별된 최소 전력 분할비( $\rho_{\min}$ )로부터 최대 전력 분할비( $\rho_{\max}$ )까지의 범위를 K개의 구간으로 구분하여 K+1개의 대표 전력 분할비( $\rho_k$ )를 획득할 수 있다.
- [0012] 상기 릴레이는 K+1개의 대표 전력 분할비( $\rho_k$ )는 상기 최대 전력 분할비( $\rho_{\max}$ )로부터 균등 크기 단위( $\Delta\rho = \frac{\rho_{\max} - \rho_{\min}}{K}$ )로 반복 차감하여 획득할 수 있다.
- [0013] 상기 릴레이는 K+1개의 대표 전력 분할비( $\rho_k$ )에 의해 구분된 구간 각각에 대응하는 SI 채널 전송 가중치( $\omega_k$ )의 하한( $\omega_{k, LB}$ )과 상한( $\omega_{k, UB}$ )을 판별하고, 판별된 SI 채널 전송 가중치( $\omega_k$ )의 하한( $\omega_{k, LB}$ )과 상한( $\omega_{k, UB}$ ) 범위 내에서 SI 채널 전송 가중치( $\omega_{k, j}$ )를 가변하면서, 기지정된 수학식에 따라 에너지 수확량을 계산하여, 계산된 에너지 수확량 중 최대값을 K+1개의 대표 전력 분할비( $\rho_k$ )에 대응하는 에너지 수확량으로 획득할 수 있다.
- [0014] 상기 릴레이는 K+1개의 대표 전력 분할비( $\rho_k$ ) 각각에 대응하여 획득된 에너지 수확량 중 최대 에너지 수확량을 판별하고, 판별된 최대 에너지 수확량에 대응하는 대표 전력 분할비( $\rho_k$ )와 SI 채널 전송 가중치( $\omega_{k, j}$ )를 릴레이의 전력 분할비( $\rho$ )와 SI 채널 전송 가중치( $\omega$ )로 선택할 수 있다.

### 발명의 효과

- [0015] 따라서, 본 발명의 실시예에 따른 FD DF 릴레이는 중단간 SINR을 요구 레벨 이상으로 만족시키면서 SI 채널에 의한 에너지도 수확할 수 있도록 빔포밍 기법을 적용하여, 에너지 수확량이 최대로 할 수 있다.

### 도면의 간단한 설명

- [0016] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 전력 분할 기반 SWIPT FD 릴레이 시스템의 개략적 구조를 나타낸다.
- 도 2는 도 1의 전력 분할 기반 SWIPT FD 시스템을 간략화하여 재구성한 도면이다.
- 도 3은 릴레이의 SI 채널과 제2 홉 채널을 설명하기 위한 도면이다.
- 도 4는 SI 채널 전송 가중치와 전력 분할비에 따른 릴레이의 수신 채널과 송신 채널 각각의 SINR 변화를 나타낸다.
- 도 5는 전력 분할비의 변화에 따른 OFR의 변화를 설명하기 위한 도면이다.
- 도 6은 K개의 대표 전력 분할비에 대해 에너지를 최대화할 수 있는 SI 채널 전송 가중치를 탐색하는 개념을 나타낸다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0017] 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.
- [0018] 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.
- [0019] 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.

[0020] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 전력 분할 기반 SWIPT FD DF 릴레이의 개략적 구조를 나타내고, 도 2는 도 1의 전력 분할 기반 SWIPT FD 시스템을 간략화하여 재구성한 도면이며, 도 3은 릴레이의 SI 채널과 제2 홉 채널을 설명하기 위한 도면이다.

[0021] 도 1 및 도 2를 참조하면, 전력 분할 기반 SWIPT 시스템은 기지국(AP)과 적어도 하나의 릴레이(RS) 및 적어도 하나의 단말(UT)을 포함한다. 기지국(AP)은 릴레이(RS)로 신호와 전력을 전송하고, 릴레이(RS)는 기지국(AP)에서 인가된 신호와 전력을 다시 단말(UT)로 전달한다. 즉 도 1은 송신 노드인 기지국(AP)과 목적 노드인 단말(UT) 사이에 릴레이(RS)가 추가되어 신호를 전달하는 멀티 홉 릴레이 통신 시스템(multi-hop relay communication system)으로 볼 수 있다. 여기서는 기지국(AP)과 릴레이(RS) 사이를 제1 홉(1<sup>st</sup>-hop)이라 하고, 릴레이(RS)와 단말(UT) 사이를 제2 홉(2<sup>nd</sup>-hop)이라 한다.

[0022] 기지국(AP)의 기지국 빔포머(110)는 기지국 안테나의 개수(M)에 대응하는  $M \times 1$  크기의 기지국 빔포밍 벡터( $w$ )에 기반하여 신호( $x_s$ )를 ( $w x_s$ )로 빔포밍하여 릴레이(RS)로 전송하고, 릴레이(RS)는  $M_R$  개의 수신 안테나에 대응하는 수신 빔포밍 벡터( $w_R$ )를 이용하여 기지국(AP)에서 전송된 신호( $y_R$ )를 ( $w_R^H y_R$ )(여기서  $w_R^H$ 은  $w_R$ 의 에르미트 행렬이다.)로 빔포밍하여 수신한다. 따라서 기지국(AP)과 릴레이(RS) 사이의 제1 홉 채널은 ( $M_R \times M$ ) 크기의 제1 홉 행렬(H)로 표현될 수 있다.

[0023] 한편, DF 릴레이(RS)는 기지국(AP)으로부터 전송된 수신 신호를 복호 후 재부호화하여  $M_T$  개의 송신 안테나에 대응하는 송신 빔포밍 벡터( $w_T$ )를 이용하여 단말(UT)로 재부호화된 신호( $x_R$ )를 ( $w_T x_R$ )로 빔포밍하여 전달하고, 단말(UT)은 릴레이(RS)에서 전송된 신호( $y_D$ )를 수신한다. 여기서는 단말(UT)은 단일 안테나를 포함하는 것으로 가정한다. 따라서 릴레이(RS)와 단말(UT) 사이의 제2 홉 채널은 ( $M_T \times 1$ ) 크기의 제2 홉 벡터(g)로 표현될 수 있다.

[0024] 다만 릴레이(RS)에서 빔포밍되어 전송되는 재부호화된 신호( $w_T x_R$ )는 제2 홉 채널(g)을 통해 단말(UT)로 전송될 뿐만 아니라, SI 행렬( $H_{RR}$ )로 표현될 수 있는 SI 채널을 따라 다시 릴레이(RS)의 수신 안테나로 전달될 수 있다. 이때, SI 채널( $H_{RR}$ )과 제2 홉 채널(g) 각각의 경로 손실(Path loss)( $\alpha_R^2$ ,  $\alpha_D^2$ )에 의해 재부호화된 신호( $w_T x_R$ )가 릴레이(RS)와 단말(UT)로 전달될 수 있다.

[0025] 따라서 제1 홉 채널(H)과 SI 채널( $H_{RR}$ )을 통해 전달되는 신호를 모두 고려한 릴레이(RS)의 제n 시간에서의 수신 신호( $y_R$ )와 단말(UT)의 수신 신호( $y_D$ )는 각각 수학식 1 및 2로 나타낼 수 있다.

### 수학식 1

[0026] 
$$y_R(n) = H w x_s(n) + \alpha_R H_{RR} w_T x_R(n) + n_{ant}(n)$$

### 수학식 2

[0027] 
$$y_D(n) = \alpha_D g^T w_T x_R(n) + n_D(n)$$

[0028] 여기서  $n_{ant}$  와  $n_D$  는 각각 릴레이(RS)의 수신 안테나와 단말(UT)로 유입되는 노이즈를 나타내고,  $g^T$  는 제2 홉 벡터(g)의 전치 표현을 나타낸다.

[0029] 다만 SWIPT 시스템에서 DF 릴레이(RS)는 기지국(AP)에서 전송된 수신 신호의 전력(또는 에너지)에서 기지정된 전력 분할비(Power splitting ratio)( $\rho$ ,  $0 \leq \rho \leq 1$ )에 따른 비율( $\rho$ )만큼을 데이터 복호에 이용하고 나머지 비율( $1-\rho$ )의 에너지를 자기 자신의 운용을 위해 수확한다.

[0030] 이에 릴레이(RS)는  $M_R$  개의 수신 안테나를 통해 신호를 수신하는 신호 처리부(210), 신호 처리부(210)로 수신되



는 신호에 대해 수신 빔포밍 벡터( $w_R$ )를 이용하여 빔포밍하는 수신 빔포머(220), 수신 빔포머(220)를 통해 획득된 신호를 복호하고 다시 재부호화하는 복호부(230)와 복호부(230)에서 재부호화된 신호를 송신 빔포밍 벡터( $w_T$ )에 따라 빔포밍하여  $M_T$  개의 송신 안테나를 통해 단말(UT)로 전송하는 송신 빔포머(240) 및 수확된 에너지를 저장하는 배터리(250)를 포함할 수 있다.

[0031] 이와 같이 릴레이(RS)가 전력 분할비( $\rho$ )에 따른 비율( $\sqrt{\rho}$ )만큼의 에너지를 이용하여 데이터 복호하고 재부호화하여 단말(UT)로 전달하는 경우, 릴레이(RS)의 수신 처리부(210)와 수신 빔포머(220)를 통해 복호부(230)에 인가되는 수신 신호( $y'_R$ )는 수학식 1의 수신 신호( $y_R$ )로부터 수학식 3과 같이 획득될 수 있다.

### 수학식 3

$$y'_R(n) = \sqrt{\rho} H w x_S(n) + \sqrt{\rho} \alpha'_R H_{RR} w_T x_R(n) + n_R(n)$$

[0033] 여기서  $\alpha'_R$ 은 SI 채널( $H_{RR}$ )의 경로 손실( $\alpha_R$ )에 수신 처리부(210)의 아날로그 구성에서의 SI 억압(suppression) 효과가 추가로 반영된 손실을 나타낸다.

[0034] 다만 기존의 FD DF 릴레이에서는 종단간 SINR를 최대화하는데 그 목적이 있었으므로, SI가 제거되도록 억제하는 방안만을 고려하였다. 즉 SI 채널의 널 스페이스(null-space)를 이용하는 널 스페이스 투영(null-space projection: NSP) 기법에 따라 SI 전력을 0( $H_{RR} w_T = 0$ )으로 유도하였으며, 제2 홉 채널의 SNR이 최대화( $\max |g w_T|^2$ )되도록 유도하였다.

[0035] 따라서 FD DF 릴레이에서 수신 빔포머(220)는 기지국(AP)로부터 전송되는 신호에 대한 SINR을 높이기 위해 기지국(AP)의 방향을 지향하도록 수신 빔포밍 벡터( $w_R$ )를 구성하고, 송신 빔포머(240)는 단말(UT)로 전송하는 신호에 대한 SINR을 높이기 위해 단말(UT)의 방향을 지향하도록 송신 빔포밍 벡터( $w_T$ )를 구성( $H_{RR} w_T = 0$ )하였다.

[0036] 그러나 본 실시예에 따른 SWIPT 시스템에서 FD DF 릴레이(RF)는 기지국(AP)에서 전송된 신호를 단말(UT)로 전달할 뿐만 아니라 기지국(AP)으로부터 에너지를 함께 인가받아야 한다. 그리고 FD DF 릴레이(RS)가 기지국(AP)에서 전달되는 신호의 전력에 의한 에너지만을 수확하는 경우, 신호를 전송하는 대상과 에너지를 전송하는 대상이 모두 기지국(AP)로 동일하다. 따라서 FD DF 릴레이에서 수신 빔포머(220)는 기지국(AP)로부터 전송되는 신호에 대한 SINR과 에너지 수확량을 높이기 위해 기지국(AP)의 방향을 지향하도록 수신 빔포밍 벡터( $w_R$ )를 구성될 수 있다. 그리고 송신 빔포머(240)는 단말(UT)로 전송하는 신호에 대한 SINR과 에너지 수확량을 높이기 위해 단말(UT)의 방향을 지향하도록 송신 빔포밍 벡터( $w_T$ )를 구성할 수 있다.

[0037] 그러나 실제 운용에 있어 단말(UT)은 요구되는 SINR 이상의 신호만을 수신할 수 있으면 된다. 이에 본 실시예에서는 FD DF 릴레이(RS)가 기지국(AP)뿐만 아니라 SI 채널을 통해서도 추가적으로 에너지를 수확할 수 있도록 하여 FD DF 릴레이(RS)의 에너지 수확량을 향상시킬 수 있도록 한다.

[0038] 이를 위해 본 실시예에서 FD DF 릴레이(RS)는 에너지 빔포머(260)를 더 포함하며, 에너지 빔포머(260)는 에너지 빔포밍 벡터( $w_E$ )를 이용하여  $M_R$  개의 수신 안테나를 통해 SI 채널로 전달되는 에너지의 수확량을 향상시킨다. 다만 송신 빔포머(240)가 단말(UT)로 전송하는 신호에 대한 SINR을 높이기 위해 SI 채널로의 신호를 최대한 억제하도록 송신 빔포밍 벡터( $w_T$ )를 구성하게 되면, 에너지 빔포머(260)가 에너지 수확량을 향상시키고자 에너지 빔포밍 벡터( $w_E$ )를 이용할 지라도 에너지 수확량의 증대를 기대하기 어렵다.

[0039] 따라서 본 실시예에서 송신 빔포머(240)는 도 3에 도시된 바와 같이, 단말(UT)로 전송되는 신호의 SINR이 기지정된 요구 SINR을 만족하도록 하면서, 나머지는 SI 채널을 통해  $M_R$  개의 수신 안테나로 전달되도록 하여 에너지 수확량이 증대되도록 한다. 도 3에서  $u_R$ 과  $v_R$ 은 각각 SI 채널을 표현하는 SI 행렬( $H_{RR}$ )에서  $M_R$  개의 수신 안테나와  $M_T$  개의 송신 안테나에 대응하는  $M_R \times 1$  크기와  $M_T \times 1$  크기의 단위 노름 벡터(unit-norm vector)이다.

[0040] 도 3을 참조하면, 송신 빔포머(240)는 단말(UT)로 전송되는 신호의 SINR과 SI 채널로 피드백되는 에너지 수확량



을 함께 고려하여 송신 빔포밍 벡터( $\mathbf{w}_T$ )를 구성해야 한다.

[0041] 이에 송신 빔포밍 벡터( $\mathbf{w}_T$ )에 대응하는 채널은 수학적 식 4와 같이 SI 채널( $\mathbf{H}_{RR}$ )에서  $M_T$  개의 송신 안테나로의 성분( $\mathbf{v}_R^H$ )과 제2 홉 채널( $\mathbf{g}^T$ )에 대한 QR 분해(QR decomposition) 형태로 표현될 수 있다. 도 3에서는 SI 채널( $\mathbf{H}_{RR}$ )의  $M_T$  개의 송신 안테나로의 성분( $\mathbf{v}_R^H$ )이 함께 고려되어야 함에 따라 변형된 제2 홉 채널( $\mathbf{g}^T$ )로 표현하였다.

#### 수학적 식 4

$$[\mathbf{v}_R, \mathbf{g}^*] = \begin{bmatrix} | & | \\ \mathbf{v}_R & \tilde{\mathbf{g}} \\ | & | \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{R}_{1,1} & \mathbf{R}_{1,2} \\ 0 & \mathbf{R}_{2,2} \end{bmatrix}$$

[0043] 여기서  $\mathbf{g}^*$  은 제2 홉 채널( $\mathbf{g}$ )의 켈레전치 행렬이고,  $\tilde{\mathbf{g}}$ 는 단위 놈 벡터( $\mathbf{v}_R$ )에 대한 직교 칼럼 벡터로서 단위 놈 벡터( $\mathbf{v}_R$ )에 대한 널 스페이스를 나타낸다. 그리고  $\mathbf{R}_{1,1}$ ,  $\mathbf{R}_{1,2}$ ,  $\mathbf{R}_{2,2}$  는 QR 분해로 획득되는 상삼각 행렬( $\mathbf{R}$ )의 원소들로서 복소수이다.

[0044] 수학적 식 4로부터 송신 빔포밍 벡터( $\mathbf{w}_T$ )의 지향 성분( $\mathbf{w}_T / \|\mathbf{w}_T\|$ )은 수학적 식 5로 도출될 수 있다.

#### 수학적 식 5

$$\begin{aligned} \mathbf{w}_T / \|\mathbf{w}_T\| &= \mathbf{Q} \begin{bmatrix} \omega, \kappa \sqrt{1-\omega^2} \end{bmatrix}^T \\ &= \omega \mathbf{v}_R + \kappa \sqrt{1-\omega^2} \tilde{\mathbf{g}}, \quad 0 \leq \omega \leq 1 \end{aligned}$$

[0046] 수학적 식 5로부터 송신 빔포밍 벡터( $\mathbf{w}_T$ )의 지향 성분( $\mathbf{w}_T / \|\mathbf{w}_T\|$ )은 SI 채널( $\mathbf{H}_{RR}$ )의  $M_T$  개의 송신 안테나에 매칭된 단위 놈 벡터( $\mathbf{v}_R$ )와 단위 놈 벡터( $\mathbf{v}_R$ )의 널 스페이스( $\tilde{\mathbf{g}}$ )에 대한 가중 합(weighted sum)으로 구성될 수 있음을 알 수 있다. 여기서  $\omega$  ( $0 \leq \omega \leq 1$ )는 SI 채널( $\mathbf{H}_{RR}$ )의  $M_R$  개의 수신 안테나로의 성분( $\mathbf{v}_R^H$ )과 제2 홉 채널( $\mathbf{g}^T$ ) 중 SI 채널 성분( $\mathbf{v}_R^H$ )에 대한 지향 성분의 비율을 나타내는 SI 채널 전송 가중치이고,  $\kappa = e^{-j\angle(\mathbf{R}_{1,2}\mathbf{R}_{2,2}^*)}$ 로서 두 복소수( $\mathbf{R}_{1,1}$ ,  $\mathbf{R}_{1,2}$ )의 위상을 매칭하는 위상 매칭 파라미터이다.

[0047]  $\mathbf{g}^* = \mathbf{R}_{1,2}\mathbf{v}_R + \mathbf{R}_{2,2}\tilde{\mathbf{g}}$ 이고,  $\mathbf{w}_T^H / \|\mathbf{w}_T\| = \omega \cdot \mathbf{v}_R^H + \kappa \sqrt{1-\omega^2} \tilde{\mathbf{g}}^H$ 이므로, 수학적 식 5의 송신 빔포밍 벡터( $\mathbf{w}_T$ )를 이용하는 경우, SI 채널( $\mathbf{v}_R^H$ )과 제2 홉 채널( $\mathbf{g}^T$ ) 각각에 대한 유효 채널(effective channel)은 수학적 식 6으로 표현될 수 있다.

#### 수학적 식 6

$$\begin{aligned} |\mathbf{v}_R^H \mathbf{w}_T| &= \omega \cdot \|\mathbf{w}_T\| \\ |\mathbf{g}^T \mathbf{w}_T| &= \left( |\mathbf{R}_{1,2}| \omega + |\mathbf{R}_{2,2}| \sqrt{1-\omega^2} \right) \|\mathbf{w}_T\| \end{aligned}$$

[0049] 수학적 식 6으로부터 SI 채널 전송 가중치( $\omega$ )로 표현되는 송신 빔포밍 벡터( $\mathbf{w}_T$ )는 채널 환경 및 에너지/데이터 성

능 척도를 종합적으로 표현할 수 있는 형태임을 알 수 있다. 이는 SI 채널 전송 가중치( $\omega$ )에 따라 SI를 완벽하게 제거하기 위해 널 스페이스 투영(NSP)하는 경우( $\omega = 0$ )로부터 FD DF 릴레이(RS)의 에너지 수확량을 최대화하기 위해 SI 채널로 최대비 전송(maximal-ratio transmission: MRT)하는 경우( $\omega = 1$ )를 모두 포괄하도록 표현된 일반화된 형태의 빔포밍 벡터로 볼 수 있다. 여기서 SI를 완벽하게 제거하기 위해 널 스페이스 투영(NSP)하는 경우로서 ( $H_{RR}w_T = 0$ )로 표현될 수도 있으며, 제2 홉 채널로 최대비 전송(MRT)하는 경우로 해석하여, 수학식 3의  $|g^T w_T|$ 가 최대인 경우로 표현될 수도 있다.

[0050] 한편, 수신 빔포밍 벡터( $w_R$ )는 기본적으로 제1 홉 채널(H)의 SINR에만 관여한다. 따라서 수신 빔포밍(220)는 제1 홉 채널을 통해 전송되는 신호의 SINR이 최대가 되도록 수신 빔포밍 벡터( $w_R$ )를 구성한다. 종단간 SINR( $\gamma$ )가 제1 홉 채널(H)의 SINR( $\gamma_1$ )과 제2 홉 채널(g)의 SINR( $\gamma_2$ ) 중 작은 값( $\gamma = \min(\gamma_1, \gamma_2)$ )으로 결정되므로, 종단간 SINR을 향상시키기 위해서는 제1 홉 채널(H)과 제2 홉 채널(g)의 SINR( $\gamma_1, \gamma_2$ )을 모두 높여야 하기 때문이다.

[0051] 한편 제1 홉의 유효 채널 벡터(h)는 제1 홉 채널(H)과 기지국 빔포밍 벡터(w)로부터  $h = Hw$ 로 표현될 수 있으며, 송신 빔포밍 벡터( $w_T$ )를 고려한 SI 채널( $H_{RR}$ )에 대한 유효 채널 벡터( $h_{RR}$ )는  $h_{RR} = H_{RR}w_T$ 로 표현될 수 있다. 이에 제1 홉의 SINR( $\gamma_1$ )은 수학식 7로 표현될 수 있다.

### 수학식 7

$$\gamma_1 = \frac{\rho P_S w_R^H h h^H w_R}{\rho \alpha_R'^2 P_R w_R^H H_{RR} w_T w_T^H H_{RR}^H w_R + 1}$$

$$= \frac{w_R^H (\rho P_S h h^H) w_R}{w_R^H (\rho \alpha_R'^2 P_R h_{RR} h_{RR}^H + I) w_R}$$

[0052]

[0053] 여기서  $P_S$ 와  $P_R$ 은 각각 기지국(AP)에서 전송된 신호( $x_s$ )와 릴레이(RS)에서 전송된 신호( $x_R$ )의 세기이다.

[0054] 수학식 7에 따른 제1 홉 채널(H)의 SINR( $\gamma_1$ )을 최대화하기 위한 수신 빔포밍 벡터( $w_R$ )를 구하는 문제는

$A = \rho \alpha_R'^2 P_R h_{RR} h_{RR}^H + I$ 이고,  $B = \rho P_S h h^H$ 라 할 때,  $\frac{w_R^H B w_R}{w_R^H A w_R}$ 를 최대화하는 문제이며, 이는 일반화된 고유값 문제(generalized eigenvalue problem)로 해석될 수 있다.

[0055] 그리고 이러한 최대화 문제의 해는 행렬  $A^{-1}B$ (여기서  $A^{-1}$ 은 A의 역행렬)의 가장 큰 고유값에 대응되는 고유 벡터(eigenvector)이다. 따라서 행렬  $A^{-1}B$ 에 대한 고유 해석(eigen analysis)을 위해, 수학식 7과 같이 A의 역행렬( $A^{-1}$ )에 대한 고유 분해(eigen decomposition)를 우선 수행할 수 있다.

### 수학식 8

$$\rho \alpha_R'^2 P_R h_{RR} h_{RR}^H + I \quad \otimes \quad \tilde{h}_{RR} = h_{RR} / \|h_{RR}\|$$

$$= U_{RR} \Lambda_{RR} U_{RR}^H$$

$$= \begin{pmatrix} | & | & | \\ \tilde{h}_{RR} & u_2 & \dots & u_{M_R} \\ | & | & | \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \rho \alpha_R'^2 P_R \|h_{RR}\|^2 + 1 & & 0 \\ & 1 & \\ 0 & & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} | \\ | \\ | \end{pmatrix} U_{RR}^H$$

[0056]

[0057] 수학식 8의 고유 분해를 바탕으로 행렬  $A^{-1}B$ 의 B를 구성하는 채널 벡터(h)는  $A^{-1}$ 를 구성하는 기저 벡터 형태인 수학식 9로 다시 표현될 수 있다.

### 수학식 9

[0058] 
$$\mathbf{h} = \delta \tilde{\mathbf{h}}_{RR} + \sum_{i=2}^M \delta_i \mathbf{u}_i$$

[0059] 여기서  $\delta = \mathbf{h}^H \tilde{\mathbf{h}}_{RR}$ 이며,  $\delta_i = \mathbf{h}^H \mathbf{u}_i$ 이다.

[0060] 그리고 수학식 9로부터 행렬  $A^{-1}B$ 는 수학식 10과 같이 랭크 원(rank-one) 행렬로 표현될 수 있다.

### 수학식 10

[0061] 
$$\mathbf{A}^{-1}\mathbf{B} = \left( \lambda_0 \delta \tilde{\mathbf{h}}_{RR}^H + \sum_{k=2}^M \delta_k \mathbf{u}_k^H \right) \left( \delta \tilde{\mathbf{h}}_{RR} + \sum_{i=2}^M \delta_i \mathbf{u}_i \right)^H$$

[0062] 두 벡터 x와 y의 곱으로 정의되는 랭크 원 행렬( $xy^H$ )의 고유 벡터는 x임을 이용하면, 제1 홉의 SINR( $\gamma_1$ )을 최대화하기 위한 수신 빔포밍 벡터( $\mathbf{w}_R$ )에 대한 최종해는 수학식 11로 계산될 수 있다.

### 수학식 11

[0063] 
$$\mathbf{w}_R = \lambda_0 \delta \tilde{\mathbf{h}}_{RR}^H + \sum_{k=2}^M \delta_k \mathbf{u}_k$$

[0064] 그리고 수학식 11에 따라 획득될 수 있는 제1 홉 채널(H)의 최대 SINR( $\max \gamma_1$ )은  $\rho P_s \left\{ \|\mathbf{h}\|^2 - (1 - \lambda_0) |\delta|^2 \right\}$ 이고, 이는  $\lambda_0 = 1 / \left( \alpha_R'^2 P_R \|\mathbf{h}_{RR}\|^2 + 1 \right)$ 로 표현될 수 있으며, 임의의 송신 빔포밍 벡터( $\mathbf{w}_T$ )로 획득할 수 있는 최대 SINR을 나타낸다.

[0065] 수학식 11과 함께 수학식 6의 SI 채널 전송 가중치( $\omega$ )에 대한 함수 형태로 일반화된 송신 빔포밍 벡터( $\mathbf{w}_T$ )를 적용하면, 제1 홉 채널(H)과 제2 홉 채널(g)의 SINR( $\gamma_1, \gamma_2$ )은 각각 수학식 12 및 수학식 13으로 나타난다.

### 수학식 12

[0066] 
$$\gamma_1(\omega, \rho) = \rho P_s \left[ \|\mathbf{h}\|^2 - \left\{ 1 - \left( \rho \alpha_R'^2 P_R \omega^2 + 1 \right)^{-1} \right\} |\delta|^2 \right]$$

### 수학식 13

[0067] 
$$\gamma_2(\omega) = \alpha_D^2 P_R \Omega(\omega)$$

[0068] 수학식 12 및 13에서 제1 홉 채널(H)의 SINR( $\gamma_1(\omega, \rho)$ )은 SI 채널 전송 가중치( $\omega$ )에 대한 단조 감소 함수이

며, 전력 분할비( $\rho$ )에 대한 단조 증가 함수이다. 또한 제2 홉 채널( $g$ )의  $\text{SINR}(\gamma_2(\omega))$ 은 SI 채널 전송 가중치( $\omega$ )에 대한 오목(concave) 함수이다. 따라서 제1 및 제2 홉 채널( $H, g$ )의  $\text{SINR}(\gamma_1(\omega, \rho), \gamma_2(\omega))$ 은 도 4와 같은 그래프로 나타난다.

[0069] 도 4는 SI 채널 전송 가중치와 전력 분할비에 따른 릴레이의 수신 채널과 송신 채널 각각의 SINR 변화를 나타낸다.

[0070] 상기한 바와 같이, 릴레이(RS)의 수신 채널인 제1 홉 채널( $H$ )의  $\text{SINR}(\gamma_1(\omega, \rho))$ 은 SI 채널 전송 가중치( $\omega$ )에 대한 단조 감소 함수이며, 전력 분할비( $\rho$ )에 대한 단조 증가 함수이고, 송신 채널인 제2 홉 채널( $g$ )의  $\text{SINR}(\gamma_2(\omega))$ 은 SI 채널 전송 가중치( $\omega$ )에 대한 오목 함수이므로, 도 4에서 x축은 SI 채널 전송 가중치( $\omega$ )를 나타내고, y축은 제1 홉 채널( $H$ )의  $\text{SINR}(\gamma_1)$ 을 나타낸다.

[0071] 그리고 서로 다른 전력 분할비( $\rho = 0.3, 0.4, 0.6, 1$ ) 각각에서 SI 채널 전송 가중치( $\omega$ )의 변화에 따른 제1 홉 채널( $H$ )의  $\text{SINR}(\gamma_1(\omega, \rho))$ 의 변화를 서로 다른 다수의 곡선으로 표시하였으며, 다수의 제1 홉 채널( $H$ )의  $\text{SINR}(\gamma_1)$ 과 대비하기 위해, SI 채널 전송 가중치( $\omega$ )의 변화에 따른 제2 홉 채널( $g$ )의  $\text{SINR}(\gamma_2(\omega))$ 을 함께 도시하였다.

[0072] 상기한 바와 같이 종단간  $\text{SINR}(\gamma)$ 가 제1 홉 채널( $H$ )의  $\text{SINR}(\gamma_1)$ 과 제2 홉 채널( $g$ )의  $\text{SINR}(\gamma_2)$  중 작은 값으로 수학식 14에 따라 결정된다.

#### 수학식 14

[0073] 
$$\gamma = \min(\gamma_1, \gamma_2)$$

[0074] 그리고 릴레이(RS)의 에너지 수확량( $E$ )은 제1 홉 채널( $H$ ) 및 SI 채널( $H_{RR}$ )로 수신된 신호를 에너지 빔포머(260)가 에너지 빔포밍 벡터( $w_E$ )를 이용하여 빔포밍한 결과로 정의될 수 있으므로, 수학식 15로 정의될 수 있다.

#### 수학식 15

[0075] 
$$E \left[ \left| \mathbf{w}_E^H \mathbf{y}_R(n) \right|^2 \right] = \lambda_{\max} P_S \left| \mathbf{w}_E^H \mathbf{u} \right|^2 + \alpha_R^2 P_R \omega^2 \left| \mathbf{w}_E^H \mathbf{u}_R \right|^2$$

[0076] 여기서  $\lambda_{\max}$  는 제1 홉 채널( $H$ )의 최대 특이값(largest singular value)의 제곱을 나타내고,  $\mathbf{u}$ 는 제1 홉 채널( $H$ )에서  $M_R$  개의 수신 안테나에 대응하는  $M_R \times 1$  크기의 단위 노름 벡터로 제1 홉 수신 단위 노름 벡터라 할 수 있고,  $\mathbf{u}_R$  은 상기한 바와 같이, SI 채널( $H_{RR}$ )에서  $M_R$  개의 수신 안테나에 대응하는  $M_R \times 1$  크기의 단위 노름 벡터로서 SI 수신 단위 노름 벡터라 할 수 있다.

[0077] 수학식 15로부터 에너지 빔포밍 벡터( $w_E$ )는 제1 홉 수신 단위 노름 벡터( $\mathbf{u}$ )와 SI 수신 단위 노름 벡터( $\mathbf{u}_R$ )에 대한 가중합(weighted sum)으로 수학식 16으로 설계될 수 있음을 알 수 있다.

#### 수학식 16

[0078] 
$$\mathbf{w}_E = \frac{\sqrt{\zeta} \mathbf{u}_R + \sqrt{1-\zeta} \mathbf{u}}{\left\| \sqrt{\zeta} \mathbf{u}_R + \sqrt{1-\zeta} \mathbf{u} \right\|}$$

[0079] 여기서  $\zeta$  는 제1 홉 채널( $H$ )과 SI 채널( $H_{RR}$ ) 중 제1 홉 채널( $H$ )에 대한 포밍 가중치이다.

[0080] 제1 홉 수신 단위 높 벡터( $\mathbf{u}$ )와 SI 수신 단위 높 벡터( $\mathbf{u}_R$ )를 각각  $\alpha_R^2 P_R \omega^2$  와  $\lambda_{\max} P_S$  의 전력을 갖는 분기

(branch)로 해석하면, 포밍 가중치( $\zeta$ )는 
$$\zeta = \frac{\alpha_R^2 P_R \omega^2}{\alpha_R^2 P_R \omega^2 + \lambda_{\max} P_S}$$
 로 설정될 수 있다. 그리고 수학적 식 16의 에너지 빔포밍 벡터( $\mathbf{w}_E$ )를 적용하게 되면, 수학적 식 15의 릴레이(RS)의 에너지 수확량은 수학적 식 17과 같이, SI 채널 전송 가중치( $\omega$ )에 대한 유리 함수(rational function)( $f(\omega)$ )의 형태로 표현될 수 있다.

### 수학적 식 17

$$\begin{aligned} E \left[ \left| \mathbf{w}_E^H \mathbf{y}_R(n) \right|^2 \right] &= f(\omega) \\ &= \frac{\alpha_R^2 P_R \omega^2}{\alpha_R^2 P_R \omega^2 - 2R(\mathbf{u}^H \mathbf{u}_R) \lambda_{\max} \alpha_R \sqrt{P_S P_R} \omega + \lambda_{\max}^2 P_S} \\ &\quad \cdot \left\{ \alpha_R^4 P_R^2 \omega^4 + 2\alpha_R^3 \sqrt{\lambda_{\max} P_S P_R^3} \left| \mathbf{u}^H \mathbf{u}_R \right| \omega^3 + 2\alpha_R^2 \lambda_{\max} P_S P_R \left| \mathbf{u}^H \mathbf{u}_R \right| \omega^2 \right. \\ &\quad \left. + 2\alpha_R \sqrt{\lambda_{\max}^3 P_S^3 P_R} \left| \mathbf{u}^H \mathbf{u}_R \right| \omega + \lambda_{\max}^4 P_S^2 \right\} \end{aligned}$$

[0081]

[0082] 그리고 에너지 수확을 위한 전력 분할비( $\rho$ )를 고려한 에너지 수확량( $E$ )에 대한 최종식은 수학적 식 17의 SI 채널 전송 가중치( $\omega$ )에 대한 유리 함수( $f(\omega)$ )로부터 수학적 식 18과 같이 간략화될 수 있다.

### 수학적 식 18

$$E = (1 - \rho) f(\omega)$$

[0083]

[0084] 본 실시예에 따른 릴레이(RS)는 수학적 식 14의 종단간 SINR( $\gamma$ )과 수학적 식 18의 에너지 수확량( $E$ )을 동시에 고려하여, 종단간 SINR( $\gamma$ )이 요구되는 기준 SINR( $\gamma^*$ ) 이상이 되도록 만족시키면서, 에너지 수확량( $E$ )을 최대화해야 한다.

[0085] 이에 본 실시예에서는 상기한 제1 홉 채널( $H$ )의 SINR( $\gamma_1(\omega, \rho)$ )과 제2 홉 채널( $g$ )의 SINR( $\gamma_2(\omega)$ ), 전력 분할비( $\rho$ ) 및 SI 채널 전송 가중치( $\omega$ ) 사이의 관계를 고려하면, 도 4에서 종단간 SINR( $\gamma = \min(\gamma_1, \gamma_2)$ )이 기준 SINR( $\gamma^*$ ) 이상을 만족하는 SI 채널 전송 가중치( $\omega$ ) 영역이 중요하며, 이 영역을 여기서는 장애 자유 영역(outage-free region: 이하 OFR)로 정의한다.

[0086] 수학적 식 12 및 13에므로 표현된 제1 홉 채널( $H$ )과 제2 홉 채널( $g$ )의 SINR( $\gamma_1, \gamma_2$ )을 고려할 때, 전력 분할비( $\rho$ )가 증가하면, 즉 SINR을 향상시키고자 하면, 두가지 트레이드 오프가 발생된다.

[0087] 첫째는 릴레이(RS)에서 에너지 수확 비율( $1 - \rho$ )이 감소하게 되어 에너지 수확량이 감소하게 되는 트레이드 오프가 발생한다. 그리고 두번째로는 제1 홉 채널( $H$ )의 SINR( $\gamma_1$ )이 감소하여 OFR이 감소되는 트레이드 오프가 발생된다. 이를 그래프로 표현하면 도 5로 나타나게 된다.

[0088] 도 5는 전력 분할비의 변화에 따른 OFR의 변화를 설명하기 위한 도면이다.

[0089] 도 5를 참조하면, 제1 홉 채널( $H$ )의 SINR( $\gamma_1$ )은 최대 전력 분할비( $\rho_{\max} = 1$ )에서 최대이다. 만일 최대 전력 분할비( $\rho_{\max}$ )에서도 OFR이 형성되지 않는 경우, 장애(outage) 발생으로 볼 수 있다. 그러나 OFR이 형성된다면, 최대 전력 분할비( $\rho_{\max} = 1$ )로부터 전력 분할비( $\rho$ )를 점차 감소시킨다. 전력 분할비( $\rho$ )가 감소함에 따라 OFR이 점차 감소되므로, 에너지 수확량을 최대화할 가능성이 있는 극점의 수가 줄어들게 된다. 이에 감소되는 전력 분할비( $\rho$ )에 의해 OFR이 형성될 수 있는 최소 전력 분할비( $\rho = \rho_{\min}$ )를 탐색한다. 전력 분할비( $\rho$ )가 최

소 전력 분할비( $\rho_{\min}$ ) 미만인 경우, OFR이 형성되지 않아 기준  $\text{SINR}(\gamma^*)$ 을 만족시킬 수 없게 되므로 장애가 발생하므로, 최소 전력 분할비( $\rho_{\min}$ ) 미만의 전력 분할비( $\rho$ )는 고려할 필요가 없다.

[0090] 다만, 전력 분할비( $\rho$ )가 최소 전력 분할비( $\rho_{\min}$ ) 이상인 OFR 영역에서도 전력 분할비( $\rho$ )와 SI 채널 전송 가중치( $\omega$ )의 두 파라미터가 높은 자유도로 선택될 수 있다면, 최적의 전력 분할비( $\rho$ )와 SI 채널 전송 가중치( $\omega$ )를 산출하기에 매우 복잡한 연산을 필요로 하게 된다.

[0091] 이에 본 발명에서는 전력 분할비( $\rho$ )를 최소 전력 분할비( $\rho_{\min}$ )와 최대 전력 분할비( $\rho_{\max} = 1$ )의 범위를 기지정된 K등분하여, K+1개의 대표 전력 분할비( $\rho_k$ , 여기서  $k = 0 \sim K$ )을 우선 설정한다. 그리고 K+1개의 대표 전력 분할비( $\rho_k$ ) 각각에 대해 에너지를 최대화할 수 있는 SI 채널 전송 가중치( $\omega$ )를 탐색한다.

[0092] 도 6은 K개의 대표 전력 분할비를 설정하여 에너지를 최대화할 수 있는 SI 채널 전송 가중치를 탐색하는 개념을 나타낸다.

[0093] 도 6을 참조하면, 우선 도 5에서 탐색된 최소 전력 분할비( $\rho_{\min}$ )와 최대 전력 분할비( $\rho_{\max} = 1$ )의 범위를 기지정된 K등분하여, K+1개의 대표 전력 분할비( $\rho_k$ )를 설정한다. 여기서 K+1개의 대표 전력 분할비( $\rho_k$ )는 최대 전력 분할비( $\rho_0 = \rho_{\max} = 1$ )로부터 균등 크기( $\Delta\rho = \frac{\rho_{\max} - \rho_{\min}}{K}$ ) 단위로 차감하여, 나머지 K개의 대표 전력 분할비( $\rho_k$ )를 설정한다.

[0094] 그리고 설정된 K+1개의 대표 전력 분할비( $\rho_k$ )에 의해 구분된 구간 각각에 대응하는 SI 채널 전송 가중치( $\omega_k$ )의 하한( $\omega_{k, \text{LB}}$ )과 상한( $\omega_{k, \text{UB}}$ )을 판별하고, 판별된 SI 채널 전송 가중치( $\omega_k$ )의 하한( $\omega_{k, \text{LB}}$ )과 상한( $\omega_{k, \text{UB}}$ ) 범위 내에서 SI 채널 전송 가중치( $\omega_{k, j}$ )를 가변하여, 수학적 식 18에 따른 에너지 수확량(E)을 최대로 할 수 있는 유리 함수( $f(\omega)$ )의 극값에 대응하는 SI 채널 전송 가중치( $\max \omega_{k, j}$ )를 검출한다.

### 수학적 식 19

$$\begin{aligned} E_{k, \text{LB}} &= (1 - \rho_k) f(\omega_{k, \text{LB}}) \\ E_{k, j} &= (1 - \rho_k) f(\omega_{k, j, \text{ext}}) \quad (j = 1, \dots, J) \\ E_{k, \text{UB}} &= (1 - \rho_k) f(\omega_{k, \text{UB}}) \\ \Rightarrow E_k &= \max(E_{k, \text{LB}}, E_{k, j, \text{ext}}|_{j=1, \dots, J}, E_{k, \text{UB}}) \end{aligned}$$

[0095]

[0096] 이때, 다수의 대표 전력 분할비( $\rho_k$ )에 대응하는 에너지 수확량( $E_k$ )을 검출하는 SI 채널 전송 가중치( $\omega$ )가 검출될 수 있으며, 이 경우 각 대표 전력 분할비( $\rho_k$ )에서 탐색된 에너지 수확량( $E_k$ ) 중 최대인 최대 에너지 수확량( $E_{\max} = \max(E_k | k=0, \dots, K)$ )을 나타내는 전력 분할비( $\rho_k$ )와 SI 채널 전송 가중치( $\omega_{k, j}$ )를 본 실시예에 따른 FD DF 릴레이(RS)를 위한 전력 분할비( $\rho$ )와 SI 채널 전송 가중치( $\omega$ )로 결정할 수 있다.

[0097] 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.

[0098] 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 청구범위의 기술적 사상에 의해 정해져야 할 것이다.

### 부호의 설명

[0099]

AP: 기지국	RS: 릴레이
UT: 단말	110: 기지국 빔포머
210: 신호 수신부	220: 수신 빔포머
230: 복호부	240: 송신 빔포머

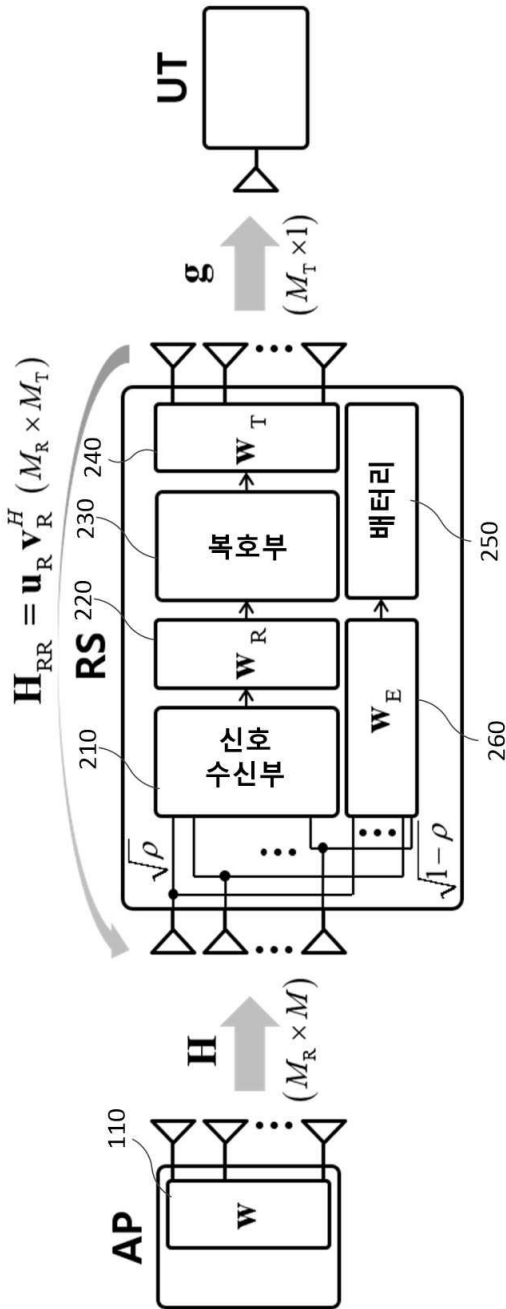


250: 배터리

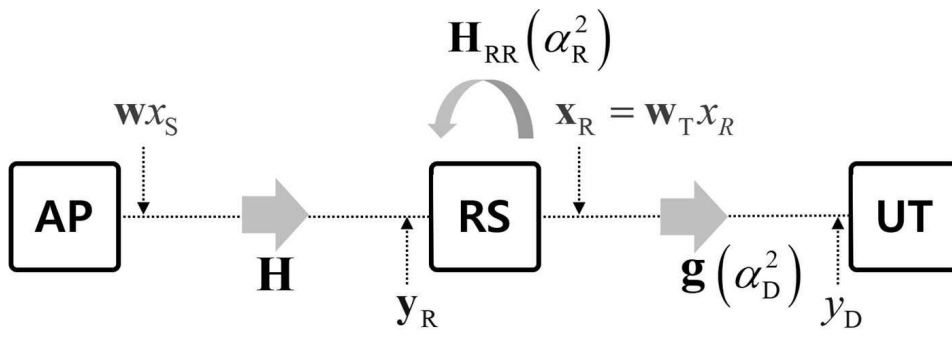
260: 에너지 빔포머

도면

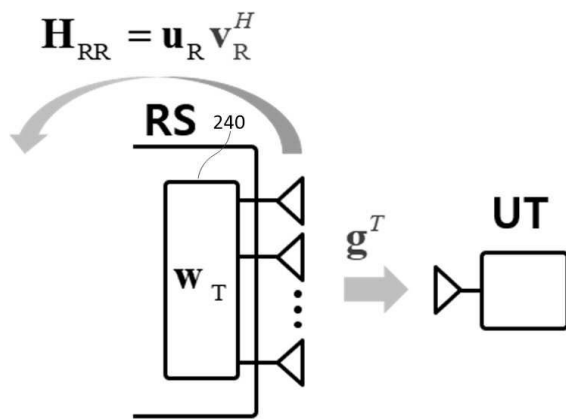
도면1



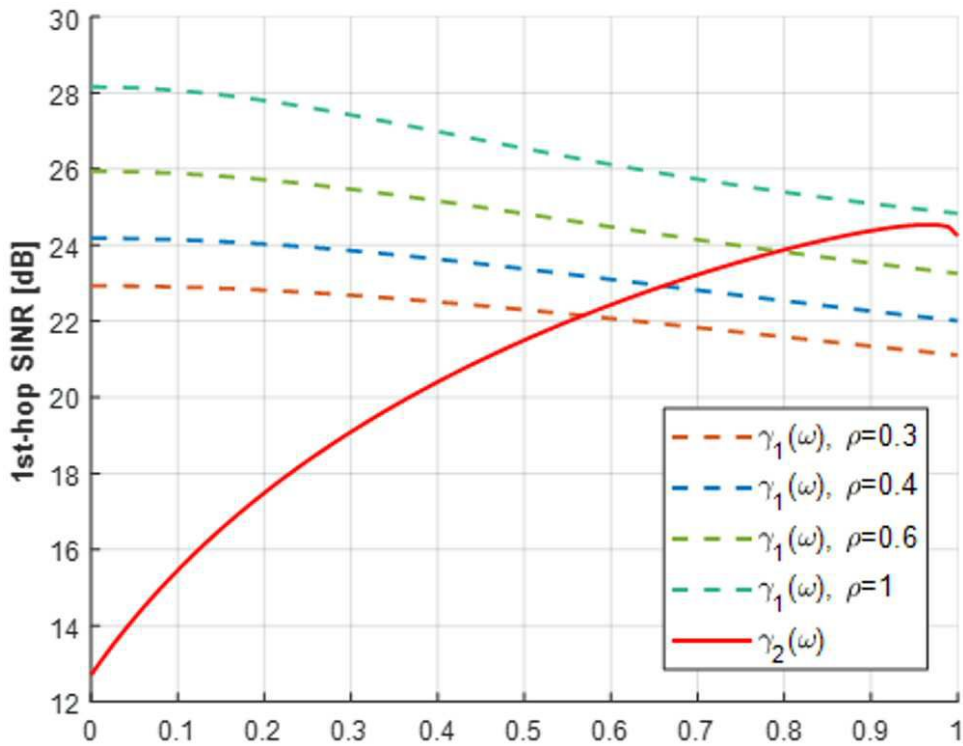
도면2



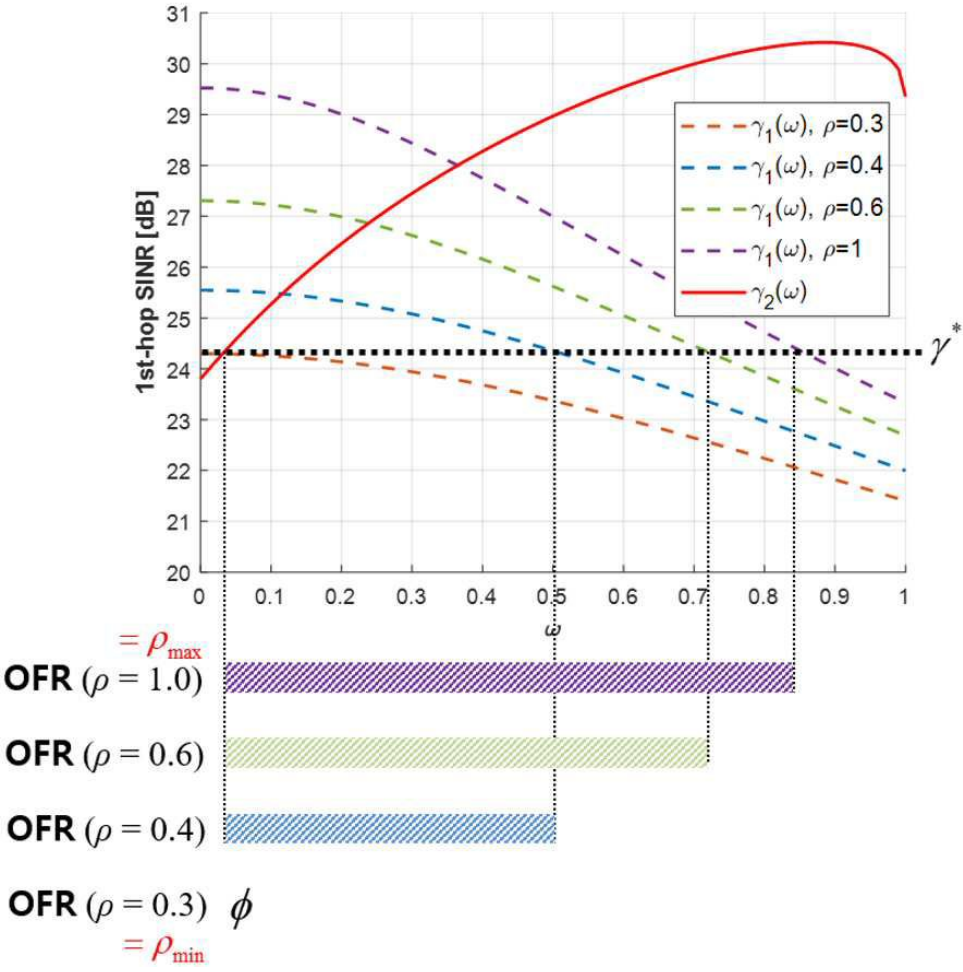
도면3



도면4



도면5



도면6

