



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2019-0056998
(43) 공개일자 2019년05월27일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04K 1/00 (2015.01) H04W 40/08 (2009.01)
(52) CPC특허분류
H04K 1/00 (2013.01)
H04W 40/08 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2018-0141787
(22) 출원일자 2018년11월16일
심사청구일자 2018년11월16일
(30) 우선권주장
1020170154173 2017년11월17일 대한민국(KR)

(71) 출원인
한밭대학교 산학협력단
대전광역시 유성구 동서대로 125 (덕명동)
(72) 발명자
이경재
대전광역시 유성구 학하로 33, 107동 2402호(계산동, 학하리슈빌 학의뜰아파트)
데렉 콰쿠 포비 아시두
대전광역시 유성구 학하중앙로121번길 165, 106호(덕명동, 미학아파트)
(74) 대리인
이은철, 이우영

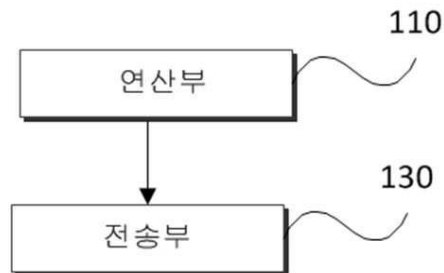
전체 청구항 수 : 총 13 항

(54) 발명의 명칭 무전원 다중 중계 시스템 및 그 제어방법

(57) 요약

본 기술은 무전원 다중 중계 시스템 및 그 제어방법이 개시한다. 구체적으로 본 기술에 의하면, 목적지 노드와 도청 노드 각각에서 수신 신호에 대한 SNR의 비를 토대로 활성 릴레이 노드의 풀 전력을 도출하고 도출된 활성 릴레이 노드의 풀 전력을 전력분할비율로 편미분하여 최적 전력분할비율을 도출하여 도출된 최적 전력분할비율을 각 릴레이 노드로 전달함에 따라 최대의 비밀 레이트(secret rate)를 얻을 수 있다.

대표도 - 도3



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2016-0-00500-002

부처명 과학기술정보통신부

연구관리전문기관 정보통신기술진흥센터

연구사업명 정보보호핵심원천기술개발

연구과제명 암호와 물리계층보안을 결합한 IoT 네트워크 보안 기술개발

기 여 율 1/1

주관기관 한밭대학교산학협력단

연구기간 2017.01.01 ~ 2020.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

다중 릴레이 노드를 구비하여 목적지 노드 및 도청 노드로 전력 및 정보 동시 전송 빔포밍하는 무 전원 다중 중계 시스템에 있어서,

상기 목적지 노드는

활성 릴레이 노드의 채널 정보를 이용하여 도출된 각 목적지 노드 및 도청 노드의 신호대 잡음 비(SNR)를 토대로 활성 릴레이 노드의 풀 전력을 도출하고 도출된 최대 풀 전력으로 상기 전력분할비율 및 전력분할요소에 대해 통합 최적화를 수행하는 연산부; 및

도출된 풀 파워를 통합 최적화된 전력분할비율로 편미분하여 최적 전력분할비율을 도출하고 도출된 최적 전력분할비율을 각 활성 릴레이 노드로 전달하는 전송부;를 포함하는 것을 특징으로 하는 무전원 다중 중계 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 활성 릴레이 노드는

목적지 노드로부터 최적 전력분할비율을 전달받아 소스 노드로부터 전달받은 신호를 상기 최적 전력분할비율로 토대로 전력 분할한 후 증폭하여 목적지 노드 및 도청 노드로 전력 및 정보를 동시 전송 빔포밍하도록 구비되는 것을 특징으로 하는 무전원 다중 중계 시스템.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 연산부는,

각 활성 릴레이 노드에 대해 전력분할요소 $\{\alpha_k\}$ 를 1로 설정하고,

각 활성 릴레이 노드의 풀 전력($f(\{\rho_k\})$)을 도출하며 도출된 풀 전력 $f(\{\rho_k\})$ 은 다음 식을 만족하는 것을 특징으로 하는 무전원 다중 중계 시스템.

$$f(\{\rho_k\}) = \frac{1 + \gamma_E(\{\alpha_k\}, \{\rho_k\})}{1 + \gamma_D(\{\alpha_k\}, \{\rho_k\})}$$

여기서, $\gamma_D(\{\alpha_k\}, \{\rho_k\})$ 는 목적지 노드의 신호대 잡음비(SNR)이고 $\gamma_E(\{\alpha_k\}, \{\rho_k\})$ 는 도청 노드의 신호대 잡음비(SNR)이며, $\{\alpha_k\}$ 는 전력분할요소이고, $\{\rho_k\}$ 는 전력분할비율이다.

청구항 4

제3항에 있어서, 상기 연산부는,

각 활성 릴레이 노드의 최대 풀 전력으로 전력분할요소 $\{\alpha_k\}$ 와 전력분할비율 $\{\rho_k\}$ 에 대해 통합 최적화를 수행하되, 전력분할요소 및 전력분할비율에 대한 통합 최적화는 다음 식을 만족하는 것을 특징으로 하는 무전원 다중 중계 시스템.

$$\max_{\{\rho_k\}} f(\{\rho_k\})$$

$$\text{subject to } 1 - \rho_k \geq 0, \forall k$$

$$\rho_k \geq \frac{P_{C,k}}{\beta_k P_T |h_k|^2}, \forall k$$

여기서, $P_{C,k}$ 는 정보 인식을 위한 소비전력이고, P_T 는 소스 노드(S)의 전송 전력이고, β_k 는 에너지 하베스트 효

을이며, h_k 는 활성 릴레이 노드와 목적지 노드 간의 통신 채널이다.

청구항 5

제1항에 있어서, 상기 전송부는,

다차원 경사하강법(gradient descent method)을 이용한 서브그라디언트 $\frac{\partial f}{\partial \rho_i}$ 으로 최적 전력분할비율을 도출되도록 구비되는 것을 특징으로 하는 무전원 다중 중계 시스템.

청구항 6

제5항에 있어서, 상기 최적 전력분할비율은,

하베스트 전력(Q_k)이 0 보다 큰 릴레이 노드를 활성화하고 전력분할요소 $\{\alpha_k\}$ 를 1로 설정한 다음

$\frac{P_{C,k}}{\beta_k P_T |h_k|^2} \leq \rho_k \leq 1$ 를 만족하는 전력분할비율 벡터 $D_0 = [r_1, r_2 \dots r_k]$ 를 초기화하고,

전력분할비율 D_n 에 대한 풀 전력 $f(D_n)$ 을 연산하며,

연산된 풀 전력 $f(D_n)$ 을 전력분할비율 벡터 $D_0 = [r_1, r_2 \dots r_k]$ 로 각각 편미분하여 전력분할비율 벡터 D_n 에 대

해 서브그라디언트 $\Pi = \left[\frac{\partial f(\Delta_1)}{\partial \rho_1}, \frac{\partial f(\Delta_2)}{\partial \rho_2}, \dots, \frac{\partial f(\Delta_n)}{\partial \rho_n} \right]$ 를 연산하며,

전력분할비율 벡터 D_n 에 대한 서브그라디언트 $\Pi = \left[\frac{\partial f(\Delta_1)}{\partial \rho_1}, \frac{\partial f(\Delta_2)}{\partial \rho_2}, \dots, \frac{\partial f(\Delta_n)}{\partial \rho_n} \right]$ 과 기 정해진 스텝 사이즈(d)를 곱한 다음 전력분할비율 벡터(D_n)을 가산하여 전력분할비율 벡터 D_{n+1} 를 업데이트한 다음 업데이트된 전력분할비율 벡터 D_{n+1} 에 대해 풀 전력($f(D_{n+1})$)을 연산하고,

전력분할비율 벡터 D_{n+1} 에 대한 풀 전력 $f(D_{n+1})$ 과 전력분할비율 벡터 D_n 에 대한 풀 전력 $f(D_n)$ 의 차가 기 정해진 임계치(e) 이하로 수렴할 때까지 반복 수행하도록 구비되는 것을 특징으로 하는 무전원 다중 중계 시스템.

청구항 7

활성 릴레이 노드로부터 목적지 노드 및 도청 노드에 각각 제공되는 채널 정보를 이용하여 도출된 신호대 잡음비를 토대로 풀 전력을 도출하고, 도출된 풀 전력의 최대화로 도출된 전력분할요소 및 전력분할비율을 통합 최적화하며, 도출된 풀 전력과 통합 최적화한 전력분할비율의 편미분으로 서브그라디언트를 연산하고 연산된 서브그라디언트를 토대로 최적 전력분할비율을 도출하여 활성 릴레이 노드로 전달하는 목적지 노드; 및

활성 릴레이 노드에서 소스 노드로부터 전달받은 신호를 상기 최적 전력분할비율로 토대로 전력 분할한 후 증폭한 다음 목적지 노드 및 도청 노드로 전력 및 정보를 동시 전송 빔포밍하는 다수의 릴레이 노드로 구비되는 것을 특징으로 하는 무전원 다중 중계 시스템.

청구항 8

다중 릴레이 노드를 구비하여 목적지 노드 및 도청 노드로 전력 및 정보 동시 전송 빔포밍을 수행하는 무 전원 다중 중계 시스템을 제어하는 방법에 있어서,

상기 목적지 노드에서 활성 릴레이 노드의 채널 정보를 이용하여 도출된 목적지 노드와 도청 노드 각각의 신호대 잡음비(SNR: Signal Noise Ratio)를 토대로 활성 릴레이 노드의 풀 전력을 도출한 다음 도출된 풀 전력의 최대화를 통해 전력분할비율 및 전력분할요소에 대해 통합 최적화를 수행하는 연산단계; 및

상기 풀 파워를 통합 최적화된 전력분할비율로 편미분하여 서브그라디언트를 도출하고 도출된 서브그라디언트로 최적 전력분할비율을 도출하며, 도출된 최적 전력분할비율을 각 활성 릴레이 노드로 전달하는 피드백 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 무전원 다중 중계 시스템의 제어 방법.

청구항 9

제8항에 있어서, 상기 무 전원 다중 중계 시스템의 제어 방법은,

활성 릴레이 노드에서 도출된 최적 전력분할비율을 전달받아 소스 노드로부터 전달받은 신호를 상기 최적 전력 분할비율로 토대로 전력 분할한 후 증폭한 다음 목적지 노드 및 도청 노드로 전력 및 정보를 동시 전송 빔포밍 하는 전송 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 무전원 다중 중계 시스템의 제어 방법.

청구항 10

제8항에 있어서, 상기 연산단계는,

각 활성 릴레이 노드에 대해, 전력분할요소 $\{\alpha_k\}$ 를 1로 설정하여 각 활성 릴레이 노드의 풀 전력($f(\{\rho_k\})$)을 도출 하며,

도출된 풀 전력 $f(\{\rho_k\})$ 은 다음 식을 만족하는 것을 특징으로 하는 무전원 다중 중계 시스템의 제어 방법.

$$f(\{\rho_k\}) = \frac{1 + \gamma_E(\{\alpha_k\}, \{\rho_k\})}{1 + \gamma_D(\{\alpha_k\}, \{\rho_k\})}$$

여기서, $\gamma_D(\{\alpha_k\}, \{\rho_k\})$ 는 목적지 노드의 신호대 잡음비(SNR)이고 $\gamma_E(\{\alpha_k\}, \{\rho_k\})$ 는 도청 노드의 신호대 잡음비 (SNR)이며, $\{\alpha_k\}$ 는 전력분할요소이고, $\{\rho_k\}$ 는 전력분할비율이다.

청구항 11

제10항에 있어서, 상기 연산단계는,

각 활성 릴레이 노드의 풀 전력의 최대화로 전력분할요소 $\{\alpha_k\}$ 와 전력분할비율 $\{\rho_k\}$ 의 통합 최적화를 수행하도록 구비되고, 전력분할요소 및 전력분할비율에 대한 통합 최적화는 다음 식을 만족하는 것을 특징으로 하는 무전원 다중 중계 시스템의 제어 방법.

$$\begin{aligned} \max_{\{\rho_k\}} \quad & f(\{\rho_k\}) \\ \text{subject to} \quad & 1 - \rho_k \geq 0, \forall k \\ & \rho_k \geq \frac{P_{C,k}}{\beta_k P_T |h_k|^2}, \forall k \end{aligned}$$

여기서, $P_{C,k}$ 는 정보 인식을 위한 소비전력이고, P_T 는 소스 노드(S)의 전송 전력이고, β_k 는 에너지 하베스트 효율이며, h_k 는 활성 릴레이 노드와 목적지 노드 간의 통신 채널이다.

청구항 12

제8항에 있어서, 상기 피드백 단계는

다차원 경사하강법(gradient descent method)을 이용한 서브그래디언트 $\frac{\partial f}{\partial \rho_i}$ 으로 최적 전력분할비율을 도출되도록 구비되는 것을 특징으로 하는 무전원 다중 중계 시스템의 제어 방법.

청구항 13

제12항에 있어서, 상기 최적 전력분할비율은

하베스트 전력(Q_k)이 0 보다 큰 릴레이 노드를 활성화하고 전력분할요소 $\{\alpha_k\}$ 를 1로 설정한 다음

$$\frac{P_{C,k}}{\beta_k P_T |h_k|^2} \leq \rho_k \leq 1$$

를 만족하는 전력분할비율(D_0)= $[r_1, r_2 \dots r_k]$ 를 초기화하는 단계;

전력분할비율 벡터 $D_n = [r_1, r_2, \dots, r_k]$ 에 대한 풀 전력 $f(D_n)$ 을 연산하는 단계;

연산된 풀 전력($f(D_n)$)을 전력분할비율 벡터 $D_n = [r_1, r_2, \dots, r_k]$ 로 각각 편미분하여 전력분할비율 벡터 D_n 에 대해 서브그라디언트 $\Pi = \left[\frac{\partial f(\Delta_1)}{\partial \rho_1}, \frac{\partial f(\Delta_2)}{\partial \rho_2}, \dots, \frac{\partial f(\Delta_n)}{\partial \rho_n} \right]$ 을 연산하는 단계;

전력분할비율 벡터 D_n 에 대해 서브그라디언트 $\Pi = \left[\frac{\partial f(\Delta_1)}{\partial \rho_1}, \frac{\partial f(\Delta_2)}{\partial \rho_2}, \dots, \frac{\partial f(\Delta_n)}{\partial \rho_n} \right]$ 와 기 정해진 스텝 사이즈(d)를 곱한 다음 전력분할비율 벡터 D_n 를 가산하여 전력분할비율 벡터 D_{n+1} 로 업데이트한 다음 업데이트된 전력분할비율 벡터 D_{n+1} 에 대해 풀 전력 $f(D_{n+1})$ 를 연산하는 단계; 및

전력분할비율 벡터 D_{n+1} 에 대한 풀 전력 $f(D_{n+1})$ 과 전력분할비율(D_n)에 대한 풀 전력 $f(D_n)$ 의 차가 기 정해진 임계치(ϵ) 이하로 수렴할 때까지 반복하여 풀 전력을 도출하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 무전원 다중 중계 시스템의 제어 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 무전원 다중 중계 시스템 및 그 제어방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 IoT(Internet of Thank) 디바이스용 물리계층 보안 무전원 다중 중계 시스템에서 목적지 노드와 도청 노드 각각의 신호대 노이즈 비(SNR)를 토대로 최적 전력분할비율(PS ratio)를 도출함에 따라, 최대 보안 레이트(Secrecy Rate)를 얻을 수 있는 기술에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 무선 통신기는 대기(air)로 신호를 송출하거나 대기 중의 신호를 수신하여 통신을 수행하는 방식으로, 대기라는 공개된 매체를 이용하기 때문에 허락 받지 않은 제3자가 수신자와 근접하여 위치하고 있으며 수신자로 송신되는 신호의 부호화 방식을 알고 있다면 송신 신호를 도청하여 수신자와 송신자 사이의 비밀 정보를 쉽게 빼낼 수 있는 위험을 가지고 있다.

[0004] 이렇게 송신자와 수신자가 통신을 수행하는 과정에서, 허락 받지 않은 제3자가 송신자와 수신자 사이에서 송수신되는 데이터를 도청하는 통신 모델은 위너(Wyner)에 의해 처음으로 연구되었다.

[0005] 즉, 소스 노드는 데이터 소스(U_k)를 입력받아 부호화 데이터(X_n)을 생성하고, 생성한 부호화 데이터(X_n)를 주 채널을 통해 목적 노드로 송신한다. 목적 노드는 주 채널을 통해 부호화된 데이터 신호를 수신하고 수신한 데이터 신호를 복호화하여 복원 신호를 생성한다. 한편, 목적 노드에서 수신한 데이터 신호는 도청 채널을 통해 허락받지 않은 제3자에 의해 도청된다.

[0006] 무선 통신에서 사용자의 가장 중요한 관심 중에 하나는 수신자와 송신자 사이에서 송수신되는 데이터를 허락받지 않은 제3자가 도청하지 못하도록 하는 것이다. 따라서 각각 정해진 채널 용량을 가지는 주 채널과 도청 채널에서 수신자가 데이터 신호를 도청자에 의해 도청되지 않고 수신할 수 있는 조건에 대해 관심을 가지게 된다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 이에 본 발명은 목적지 노드로 전달하는 신호의 품질을 향상시킬 수 있고, 최대 보안 레이트를 얻을 수 있는 무전원 다중 중계 시스템 및 그 제어방법을 제공하고자 함에 그 목적이 있다.

[0009] 본 발명의 목적은 이상에서 언급한 목적으로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 본 발명의 다른 목적 및 장점들은 하기의 설명에 의해서 이해될 수 있으며, 본 발명의 실시 예에 의해 보다 분명하게 알게 될 것이다. 또한, 본

발명의 목적 및 장점들은 특허청구 범위에 나타난 수단 및 그 조합에 의해 실현될 수 있음을 쉽게 알 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0010] 이에 전술한 목적을 달성하기 위해 제안된 본 발명의 일 측면에 따른 무 전원 다중 중계 시스템은,

[0011] 다중 릴레이 노드를 구비하여 목적지 노드 및 도청 노드로 전력 및 정보 동시 전송 빔포밍하는 무 전원 다중 중계 시스템에 있어서,

[0012] 상기 목적지 노드는

[0013] 활성 릴레이 노드의 채널 정보를 이용하여 도출된 각 목적지 노드 및 도청 노드의 신호대 잡음 비(SNR)를 토대로 활성 릴레이 노드의 풀 전력을 도출하고 도출된 최대 풀 전력으로 상기 전력분할비율 및 전력분할요소에 대해 통합 최적화를 수행하는 연산부; 및

[0014] 도출된 풀 파워를 통합 최적화된 전력분할비율로 편미분하여 최적 전력분할비율을 도출하고 도출된 최적 전력분할비율을 각 활성 릴레이 노드로 전달하는 전송부;를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0015] 상기 활성 릴레이 노드는

[0016] 목적지 노드로부터 최적 전력분할비율을 전달받아 소스 노드로부터 전달받은 신호를 상기 최적 전력분할비율로 토대로 전력 분할한 후 증폭하여 목적지 노드 및 도청 노드로 전력 및 정보를 동시 전송 빔포밍하도록 구비될 수 있다.

[0017] 바람직하게 상기 연산부는,

[0018] 각 활성 릴레이 노드에 대해 전력분할요소 $\{\alpha_k\}$ 를 1로 설정하고,

[0019] 각 활성 릴레이 노드의 풀 전력($f(\{\rho_k\})$)을 도출하며 도출된 풀 전력 $f(\{\rho_k\})$ 은 다음 식을 만족할 수 있다.

$$f(\{\rho_k\}) = \frac{1 + \gamma_E(\{\alpha_k\}, \{\rho_k\})}{1 + \gamma_D(\{\alpha_k\}, \{\rho_k\})}$$

[0020] 여기서, $\gamma_D(\{\alpha_k\}, \{\rho_k\})$ 는 목적지 노드의 신호대 잡음비(SNR)이고 $\gamma_E(\{\alpha_k\}, \{\rho_k\})$ 는 도청 노드의 신호대 잡음비(SNR)이며, $\{\alpha_k\}$ 는 전력분할요소이고, $\{\rho_k\}$ 는 전력분할비율이다.

[0021] 바람직하게 상기 연산부는,

[0022] 각 활성 릴레이 노드의 최대 풀 전력으로 전력분할요소 $\{\alpha_k\}$ 와 전력분할비율 $\{\rho_k\}$ 에 대해 통합 최적화를 수행하되, 전력분할요소 및 전력분할비율에 대한 통합 최적화는 다음 식을 만족할 수 있다.

$$\begin{aligned} & \max_{\{\rho_k\}} f(\{\rho_k\}) \\ & \text{subject to } 1 - \rho_k \geq 0, \forall k \\ & \rho_k \geq \frac{P_{C,k}}{\beta_k P_T |h_k|^2}, \forall k \end{aligned}$$

[0023] 여기서, $P_{C,k}$ 는 정보 인식을 위한 소비전력이고, P_T 는 소스 노드(S)의 전송 전력이고, β_k 는 에너지 하베스트 효율이며, h_k 는 활성 릴레이 노드와 목적지 노드 간의 통신 채널이다.

[0024] 바람직하게 상기 전송부는,

[0025] 다차원 경사하강법(gradient descent method)을 이용한 서브그라디언트 $\frac{\partial f}{\partial \rho_i}$ 으로 최적 전력분할비율을 도출되도록 구비될 수 있다.

[0026] 바람직하게 상기 최적 전력분할비율은,

- [0029] 하베스트 전력(Q_k)이 0 보다 큰 릴레이 노드를 활성화하고 전력분할요소 $\{\alpha_k\}$ 를 1로 설정한 다음
- $$\frac{P_{C,k}}{\beta_k P_T |h_{kl}|^2} \leq \rho_k \leq 1$$
- 를 만족하는 전력분할비율 벡터 $D_0 = [r_1, r_2 \dots r_k]$ 를 초기화하고,
- [0030] 전력분할비율 D_n 에 대한 풀 전력 $f(D_n)$ 을 연산하며,
- [0031] 연산된 풀 전력 $f(D_n)$ 을 전력분할비율 벡터 $D_0 = [r_1, r_2, \dots r_k]$ 로 각각 편미분하여 전력분할비율 벡터 D_n 에 대해 서브그래디언트 $\Pi = \left[\frac{\partial f(\Delta_1)}{\partial \rho_1}, \frac{\partial f(\Delta_2)}{\partial \rho_2}, \dots \frac{\partial f(\Delta_n)}{\partial \rho_n} \right]$ 를 연산하며,
- [0032] 전력분할비율 벡터 D_n 에 대한 서브그래디언트 $\Pi = \left[\frac{\partial f(\Delta_1)}{\partial \rho_1}, \frac{\partial f(\Delta_2)}{\partial \rho_2}, \dots \frac{\partial f(\Delta_n)}{\partial \rho_n} \right]$ 과 기 정해진 스텝 사이즈(d)를 곱한 다음 전력분할비율 벡터(D_n)을 가산하여 전력분할비율 벡터 D_{n+1} 를 업데이트한 다음 업데이트된 전력분할비율 벡터 D_{n+1} 에 대해 풀 전력($f(D_{n+1})$)을 연산하고,
- [0033] 전력분할비율 벡터 D_{n+1} 에 대한 풀 전력 $f(D_{n+1})$ 과 전력분할비율 벡터 D_n 에 대한 풀 전력 $f(D_n)$ 의 차가 기 정해진 임계치(ϵ) 이하로 수렴할 때까지 반복 수행하도록 구비될 수 있다.
- [0034] 한편, 본 발명의 다른 실시 태양으로 무 전원 다중 중계 시스템은,
- [0035] 활성 릴레이 노드로부터 목적지 노드 및 도청 노드에 각각 제공되는 채널 정보를 이용하여 도출된 신호대 잡음비를 토대로 풀 전력을 도출하고, 도출된 풀 전력의 최대화로 도출된 전력분할요소 및 전력분할비율을 통합 적화하며, 도출된 풀 전력과 통합 최적화한 전력분할비율의 편미분으로 서브그래디언트를 연산하고 연산된 서브그래디언트를 토대로 최적 전력분할비율을 도출하여 활성 릴레이 노드로 전달하는 목적지 노드와,
- [0036] 활성 릴레이 노드에서 소스 노드로부터 전달받은 신호를 상기 최적 전력분할비율로 토대로 전력 분할한 후 증폭한 다음 목적지 노드 및 도청 노드로 전력 및 정보를 동시 전송 빔포밍하는 다수의 릴레이 노드로 구비되는 것을 다른 특징으로 한다.
- [0037] 또한, 본 발명의 또 다른 실시 태양으로 무 전원 다중 중계 시스템의 제어 방법은, 다중 릴레이 노드를 구비하여 목적지 노드 및 도청 노드로 전력 및 정보 동시 전송 빔포밍을 수행하는 무 전원 다중 중계 시스템을 제어하는 방법에 있어서,
- [0038] 상기 목적지 노드에서 활성 릴레이 노드의 채널 정보를 이용하여 도출된 목적지 노드와 도청 노드 각각의 신호대 잡음비(SNR: Signal Noise Ratio)를 토대로 활성 릴레이 노드의 풀 전력을 도출한 다음 도출된 풀 전력의 최대화를 통해 전력분할비율 및 전력분할요소에 대해 통합 최적화를 수행하는 연산단계; 및
- [0039] 상기 풀 파워를 통합 최적화된 전력분할비율로 편미분하여 서브그래디언트를 도출하고 도출된 서브그래디언트로 최적 전력분할비율을 도출하며, 도출된 최적 전력분할비율을 각 활성 릴레이 노드로 전달하는 피드백 단계를 포함할 수 있다.
- [0040] 바람직하게 상기 무 전원 다중 중계 시스템의 제어 방법은,
- [0041] 활성 릴레이 노드에서 도출된 최적 전력분할비율을 전달받아 소스 노드로부터 전달받은 신호를 상기 최적 전력분할비율로 토대로 전력 분할한 후 증폭한 다음 목적지 노드 및 도청 노드로 전력 및 정보를 동시 전송 빔포밍하는 전송 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0042] 바람직하게 상기 연산단계는,
- [0043] 각 활성 릴레이 노드에 대해, 전력분할요소 $\{\alpha_k\}$ 를 1로 설정하여 각 활성 릴레이 노드의 풀 전력($f(\{\rho_k\})$)을 도출하며,
- [0044] 도출된 풀 전력 $f(\{\rho_k\})$ 은 다음 식을 만족할 수 있다.
- $$f(\{\rho_k\}) = \frac{1 + \gamma_E(\{\alpha_k\}, \{\rho_k\})}{1 + \gamma_D(\{\alpha_k\}, \{\rho_k\})}$$
- [0045]

[0046] 여기서, $\gamma_D(\{\alpha_k\}, \{\rho_k\})$ 는 목적지 노드의 신호대 잡음비(SNR)이고 $\gamma_E(\{\alpha_k\}, \{\rho_k\})$ 는 도청 노드의 신호대 잡음비(SNR)이며, $\{\alpha_k\}$ 는 전력분할요소이고, $\{\rho_k\}$ 는 전력분할비율이다.

[0047] 바람직하게 상기 연산단계는,

[0048] 각 활성 릴레이 노드의 풀 전력의 최대화로 전력분할요소 $\{\alpha_k\}$ 와 전력분할비율 $\{\rho_k\}$ 의 통합 최적화를 수행하도록 구비되고, 전력분할요소 및 전력분할비율에 대한 통합 최적화는 다음 식을 만족할 수 있다.

$$\begin{aligned} \max_{\{\rho_k\}} \quad & f(\{\rho_k\}) \\ \text{subject to} \quad & 1 - \rho_k \geq 0, \forall k \\ & \rho_k \geq \frac{P_{C,k}}{\beta_k P_T |h_k|^2}, \forall k \end{aligned}$$

[0050] 여기서, $P_{C,k}$ 는 정보 인식을 위한 소비전력이고, P_T 는 소스 노드(S)의 전송 전력이고, β_k 는 에너지 하베스트 효율이며, h_k 는 활성 릴레이 노드와 목적지 노드 간의 통신 채널이다.

[0051] 바람직하게 상기 피드백 단계는

[0052] 다차원 경사하강법(gradient descent method)을 이용한 서브그라디언트 $\frac{\partial f}{\partial \rho_i}$ 으로 최적 전력분할비율을 도출되도록 구비될 수 있다.

[0053] 바람직하게 상기 최적 전력분할비율은

[0054] 하베스트 전력(Q_k)이 0 보다 큰 릴레이 노드를 활성화하고 전력분할요소 $\{\alpha_k\}$ 를 1로 설정한 다음 $\frac{P_{C,k}}{\beta_k P_T |h_k|^2} \leq \rho_k \leq 1$ 를 만족하는 전력분할비율(D_0)= $[r_1, r_2 \dots r_k]$ 를 초기화하는 단계;

[0055] 전력분할비율 벡터 $D_n = [r_1, r_2, \dots r_k]$ 에 대한 풀 전력 $f(D_n)$ 을 연산하는 단계;

[0056] 연산된 풀 전력($f(D_n)$)을 전력분할비율 벡터 $D_n = [r_1, r_2, \dots r_k]$ 로 각각 편미분하여 전력분할비율 벡터 D_n 에 대해 서브그라디언트 $\Pi = [\frac{\partial f(D_n)}{\partial \rho_1}, \frac{\partial f(D_n)}{\partial \rho_2}, \dots \frac{\partial f(D_n)}{\partial \rho_n}]$ 을 연산하는 단계;

[0057] 전력분할비율 벡터 D_n 에 대해 서브그라디언트 $\Pi = [\frac{\partial f(D_n)}{\partial \rho_1}, \frac{\partial f(D_n)}{\partial \rho_2}, \dots \frac{\partial f(D_n)}{\partial \rho_n}]$ 와 기 정해진 스텝 사이즈(d)를 곱한 다음 전력분할비율 벡터 D_n 를 가산하여 전력분할비율 벡터 D_{n+1} 로 업데이트한 다음 업데이트된 전력분할비율 벡터 D_{n+1} 에 대해 풀 전력 $f(D_{n+1})$ 를 연산하는 단계; 및

[0058] 전력분할비율 벡터 D_{n+1} 에 대한 풀 전력 $f(D_{n+1})$ 과 전력분할비율(D_n)에 대한 풀 전력 $f(D_n)$ 의 차가 기 정해진 임계치(ϵ) 이하로 수렴할 때까지 반복하여 풀 전력을 도출하는 단계를 구비될 수 있다.

발명의 효과

[0060] 상술한 바와 같이 본 발명에 따른 무 전원 다중 중계 시스템 및 제어 방법은 목적지 노드와 도청 노드 각각에서 수신 신호에 대한 SNR의 비를 토대로 활성 릴레이 노드의 풀 전력을 도출하고 도출된 활성 릴레이 노드의 풀 전력을 전력분할비율로 편미분하여 최적 전력분할비율을 도출하여 도출된 최적 전력분할비율을 각 릴레이 노드로 전달함에 따라 최대의 비밀 레이트(secretcy rate)를 얻을 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0062] 본 명세서에서 첨부되는 다음의 도면들은 본 발명의 바람직한 실시 예를 예시하는 것이며, 후술하는 발명의 상세한 설명과 함께 본 발명의 기술사상을 더욱 이해시키는 역할을 하는 것이므로, 본 발명은 그러한 도면에 기재된 사항에만 한정되어 해석되어서는 아니된다.

도 1은 본 실시 예가 적용되는 무선 통신 시스템의 구성을 보인 개념도이다.

도 2는 본 실시 예의 시스템의 릴레이 구성을 보인 개념도이다.

도 3은 본 실시 예의 시스템의 목적지 노드의 세부적인 구성을 보인 도이다.

도 4는 본 실시 예에 따른 비밀 레이트를 보인 그래프이다.

도 5는 본 다른 실시 예의 무선통신시스템의 제어 과정을 보인 흐름도이다.

도 6은 본 실시 예의 최적 전력분할비율의 연산 과정을 보인 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0063] 이하에서는 도면을 참조하여 본 발명의 실시예들을 보다 상세하게 설명한다.

[0064] 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 후술되어 있는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 수 있으며, 단지 본 실시예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하고, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다.

[0065] 본 명세서에서 사용되는 용어에 대해 간략히 설명하고, 본 발명에 대해 구체적으로 설명하기로 한다.

[0066] 본 발명에서 사용되는 용어는 본 발명에서의 기능을 고려하면서 가능한 현재 널리 사용되는 일반적인 용어들을 선택하였으나, 이는 당 분야에 종사하는 기술자의 의도 또는 관례, 새로운 기술의 출현 등에 따라 달라질 수 있다. 또한, 특정한 경우는 출원인이 임의로 선정한 용어도 있으며, 이 경우 해당되는 발명의 설명 부분에서 상세히 그 의미를 기재할 것이다. 따라서 본 발명에서 사용되는 용어는 단순한 용어의 명칭이 아닌, 그 용어가 가지는 의미와 본 발명의 전반에 걸친 내용을 토대로 정의되어야 한다.

[0067] 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 있음을 의미한다. 또한, 명세서에서 사용되는 "부"라는 용어는 소프트웨어, FPGA 또는 ASIC과 같은 하드웨어 구성요소를 의미하며, "부"는 어떤 역할들을 수행한다. 그렇지만 "부"는 소프트웨어 또는 하드웨어에 한정되는 의미는 아니다. "부"는 어드레싱할 수 있는 저장 매체에 있도록 구성될 수도 있고 하나 또는 그 이상의 프로세서들을 재생시키도록 구성될 수도 있다.

[0068] 따라서, 일 예로서 "부"는 소프트웨어 구성요소들, 객체지향 소프트웨어 구성요소들, 클래스 구성요소들 및 태스크 구성요소들과 같은 구성요소들과, 프로세스들, 함수들, 속성들, 프로시저들, 서브루틴들, 프로그램 코드의 세그먼트들, 드라이버들, 펌웨어, 마이크로 코드, 회로, 정보, 정보베이스, 정보 구조들, 테이블들, 어레이들 및 변수들을 포함한다. 구성요소들과 "부"들 안에서 제공되는 기능은 더 작은 수의 구성요소들 및 "부"들로 결합되거나 추가적인 구성요소들과 "부"들로 더 분리될 수 있다.

[0069] 아래에서는 첨부한 도면을 참고하여 본 발명의 실시예에 대하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다. 그리고 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략한다.

[0070] 이하에서는 본 발명의 실시 예에 대해 첨부된 도면을 참조하여 구체적으로 설명하기로 한다.

[0071] 도 1은 본 발명의 실시 예가 적용되는 무선 통신 시스템을 보인 도이다. 도 1을 참조하면, 무선 통신 시스템은 소스 노드(S), 다수의 중계 노드($R_1 \sim R_k$), 목적 노드(D), 및 도청 노드(E)를 포함한다.

[0072] 도 1을 참조하면, 소스 노드(S)와 목적지 노드(D) 또는 도청 노드(E) 사이에 총 L 개의 릴레이 노드 중 k 개의 활성화된 릴레이 노드와 $L-k$ 개의 비활성 릴레이 노드가 존재하고, 소스 노드(S)와 목적지 노드(D) 또는 도청 노드(E) 간에 직접적인 연결은 없다고 가정한다.

[0073] 그리고, 소스 노드(S)와 활성 릴레이 노드(R_k), 활성 릴레이 노드(R_k), 와 목적지 노드(D) 및 도청 노드(E) 간의

각 통신 채널이 각각 h_k , g_k , 및 e_k 이고, $S-R_k$ 채널, R_k-D 채널, 및 R_k-E 채널로 생성되며, k 번째 활성 릴레이 노드(R_k)는 수신된 소스 노드(S)의 송신 신호를 목적지 노드(D)로 재전송하기 위해 수신된 RF 신호 전력의 일부가 수집된다.

[0074] 도 2는 활성 릴레이 노드(R_k)의 세부적인 구성을 보인 보인 개념도이다. 활성 릴레이 노드(R_k)는 AF(Amplify and Forward) 다중 릴레이 시스템에서 정보 및 전력을 동시에 전송하는 SWIPT(Simultaneous Wireless Information and Power Transfer)를 수행하는 구성을 갖춘다.

[0075] 즉, 소스 노드(S)로부터 전달받은 심볼(s)은 안테나를 통해 수신되며, 이때 소스 노드(S)로부터 활성 릴레이 노드(R_k)에 수신된 신호($x_{in,k}$)는 다음과 같이 나타낸다.

$$x_{in,k} = \sqrt{P_T} h_{kS} s + n_{A,k} \quad \dots \text{식 1}$$

[0077] 여기서, P_T 는 소스 노드(S)의 전송 전력이고, $n_{A,k}$ 는 $S-R_k$ 의 안테나 노이즈이며, h_k 는 채널 정보이다.

[0078] 그리고, 수신된 신호($x_{in,k}$)는 전력 및 정보를 동시에 전달하기 위해 활성 릴레이 노드(R_k)는 전송 받은 신호를 목적지 노드(D)로 전송하기 위하여, RF 신호에서 전력을 하베스트하여야 한다.

[0079] 입력된 신호($x_{in,k}$) 중 일부는 하베스트 모듈(EH)로 입력되어 에너지를 생성되고 상기 하베스트 모듈(EH)로 전달된 신호를 제외한 나머지 신호는 정보 인식모듈(ID)로 전달된다. 여기서, 하베스트 모듈(EH)과 정보 인식모듈(ID)로 전달되는 전력은 전력분할비율(Power Splitting ratio: r_k)로 결정된다. 즉, 전력분할비율(r_k)은 하베스트 모듈(EH)로 전달되고 나머지 $1 - r_k$ 의 신호는 정보 인식모듈(ID)로 전달된다. 이에 하베스트 전력(Q_k)은 다음 식2로 나타낸다.

$$Q_k = \beta_k \rho_k P_T |h_k|^2 - P_{C,k} \quad \dots \text{식 2}$$

[0081] 여기서 $P_{C,k}$ 는 정보 인식모듈(ID)에서의 소비전력이고, $0 \leq \beta_k \leq 1$ 및 $0 \leq \rho_k \leq 1$ 은 각각의 에너지 하베스트 효율(β_k) 및 전력분할비율(r_k)이다.

[0082] 활성 릴레이 노드(R_k)에서 수집된 하베스트 전력(Q_k)이 정보 인식모듈(ID)에서의 소비전력($P_{C,k}$)보다 약한 경우, 즉, $Q_k \leq 0$ 인 경우 R_k 는 비활성된다.

[0083] 따라서, 활성 릴레이 노드(R_k)에서의 전력분할비율(r_k)은 $\frac{P_{C,k}}{\beta_k P_T |h_k|^2} \leq \rho_k \leq 1$ 만족하여야 하므로, 활성 릴레이 노드(R_k)의 개수 k 는 전체 릴레이 개수 L 보다 작거나 같다($k \leq L$).

[0084] 이 후 전력분할(PS) 후에 재전송을 위한 정보 인식모듈(ID)의 출력 신호($x_{id,k}$)는 다음 식 3과 같다.

$$x_{id,k} = \sqrt{1 - \rho_k} x_{in,k} + n_{P,k} \quad \dots \text{식 3}$$

[0086] 여기에서, $n_{P,k}$ 는 RF 밴드를 기저대역 밴드 신호로 변환할 때 발생하는 부가 노이즈이다.

[0087] 즉, 정보 인식모듈(ID)의 출력 신호($x_{id,k}$)는 다음 식 4로 정리된다.

$$x_{id,k} = \sqrt{(1 - \rho_k) P_T} h_{kD} s + n_{T,k} \quad \dots \text{식 4}$$

[0089] 여기에서, $n_{T,k}$ 는 전체 노이즈이며, $n_{T,k} = \sqrt{(1 - \rho_k)} n_{A,k} + n_{P,k}$ 를 만족한다.

[0090] 또한, 활성 릴레이 노드(R_k)에서 목적지 노드(D)로 전송되는 신호($x_{out,k}$)는 수학적 식 5로 나타낼 수 있다.

$$x_{out,k} = \frac{\sqrt{P_{R,k}}}{\sqrt{(1-\rho_k)P_T|h_k|^2 + \sigma_{T,k}^2}} x_{id,k}$$

$$= \frac{\alpha_k e^{j\theta_k} \sqrt{Q_k}}{\sqrt{(1-\rho_k)P_T|h_k|^2 + \sigma_{T,k}^2}} \{ \sqrt{(1-\rho_k)P_T} h_k s + n_{T,k} \}$$

[0091] .. 식 5

[0092] 여기에서, α_k 는 전력 조절 요소(power control factor)이고, θ_k 는 위상 맞춤 요소(phase alignment factor)이다. 그리고 $P_{R,k}$ 는 활성 릴레이 노드(R_k)에서 수신된 신호를 목적지 노드(D)로 재전송하는 전력으로 $P_{R,k} = \alpha_k^2 Q_k$ 이다.

[0093] 그리고, 전체 노이즈 편차 $\sigma_{T,k}^2$ 는 $\sigma_{T,k}^2 = (1-\rho_k)\sigma_{A,k}^2 + \sigma_{P,k}^2$ 를 만족한다.

[0094] 여기에서, $\sigma_{T,k}^2$ 는 안테나 노이즈의 편차이고, $\sigma_{P,k}^2$ 는 프로세싱 노이즈의 편차이다.

[0095] 도 3은 도 1에 도시된 목적지 노드(D)의 세부적인 구성을 보인 도면으로서, 도 3을 참조하면, 목적지 노드(D)는 연산부(110) 및 전송부(130)을 포함할 수 있다.

[0096] 여기서 연산부(110)는 활성 릴레이 노드($R_1 - R_k$)의 출력 신호($x_{out,k}$)를 수신하여 목적지 노드와 도청 노드 각각의 신호대 잡음비(SNR: Signal Noise Ratio)를 연산하도록 구비될 수 있다.

[0097] 즉, 목적지 노드(D)에서 수신되는 신호(information signal: y_D)는 다음 식 6으로 나타낸다.

$$y_D = \sum_{k=1}^k g_k x_{out,k} + n_D = \sum_{k=1}^k \tilde{g}_k x_{id,k} + n_D$$

$$= \sum_{k=1}^k \sqrt{(1-\rho_k)P_T} h_k \tilde{g}_k s + \sum_{k=1}^k \tilde{g}_k \tilde{n}_{T,k} + n_D$$

[0099]

[0100] .. 식 6

[0101] 여기에서, $\tilde{n}_{T,k} = n_{T,k} e^{j\theta_k}$ 이고, n_D 는 목적지 노드(D)의 노이즈이고, g_k 는 k 번째 릴레이 노드(R_k)에서 목적지 노드(D)로 전송되는 채널 정보이고, 전력 조정된 채널(power scaled channel: $\tilde{g}_k$) 는 식 7로 주어진다.

$$\tilde{g}_k = \frac{\alpha_k e^{j\theta_k} \sqrt{Q_k} g_k}{\sqrt{(1-\rho_k)P_T|h_k|^2 + \sigma_{T,k}^2}}$$

[0102] .. 식 7

[0103] 최적 위상 맞춤 요소(θ_k^*)는 모든 릴레이 채널의 위상이 정렬되도록 $\theta_k^* = -(\arg h_k + \arg g_k)$ 로 주어진다.

[0104] 이에 다중 중계 시스템에서의 목적지 노드(D)의 신호대 잡음비(SNR)는 식 8로 주어진다.

$$\gamma_D(\{\alpha_k\}, \{\rho_k\}) = \frac{(\sum_{k=1}^k \sqrt{(1-\rho_k)P_T} |h_k \tilde{g}_k|)^2}{\sum_{k=1}^k |\tilde{g}_k|^2 \sigma_{T,k}^2 + \sigma_D^2}$$

$$= \frac{P_T \left(\sum_{k=1}^k \frac{\alpha_k |h_k g_k| \sqrt{(1-\rho_k)Q_k}}{\sqrt{\sigma_{P,k}^2 + (1-\rho_k)(\sigma_{A,k}^2 + P_T |h_k|^2)}} \right)^2}{\sigma_D^2 + \sum_{k=1}^k \frac{\alpha_k^2 |g_k|^2 (\sigma_{P,k}^2 + (1-\rho_k)\sigma_{A,k}^2) Q_k}{\sigma_{P,k}^2 + (1-\rho_k)(\sigma_{A,k}^2 + P_T |h_k|^2)}}$$

[0106] .. 식 8

[0107] 여기에서, σ_D^2 은 목적지 노드(D)의 노이즈 분산이다.

[0108] 한편, 도청 노드(E)에서 수신되는 신호(information signal: y_E)는 다음 식 9으로 나타낸다.

$$[0109] \quad y_E = \sum_{k=1}^k e_k x_{out,k} + n_E = \sum_{k=1}^k \tilde{e}_k x_{id,k} + n_E$$

$$[0110] \quad = \sum_{k=1}^k \sqrt{(1-\rho_k)P_T h_k} \tilde{e}_k s + \sum_{k=1}^k \tilde{e}_k \tilde{n}_{T,k} + n_E$$

[0112] .. 식 9

[0113] 여기에서, $\tilde{n}_{T,k} = n_{T,k} e^{j\theta_k}$ 이고, n_E 는 도청 노드(E)의 노이즈이고, e_k 는 k 번째 릴레이 노드(R_k)에서 도청 노드(E)로 전송되는 채널 정보이고, 전력 조정된 채널(power scaled channel: $\tilde{e}_k$)는 식 10로 주어진다.

$$[0114] \quad \tilde{e}_k = \frac{\alpha_k e^{j\theta_k^*} \sqrt{Q_k} g_k}{\sqrt{(1-\rho_k)P_T |h_k|^2 + \sigma_{T,k}^2}} \quad \text{.. 식 10}$$

[0116] 최적 위상 맞춤 요소(θ_k^*)는 모든 릴레이 채널의 위상이 정렬되도록 $\theta_k^* = -(\arg h_k + \arg g_k)$ 로 주어진다.

[0117] 이에 도청 노드(E)의 신호대 잡음비(SNR)는 식 11로 주어진다.

$$[0118] \quad \gamma_E(\{\alpha_k\}, \{\rho_k\}) = \frac{(\sum_{k=1}^k \sqrt{(1-\rho_k)P_T} |h_k| |\tilde{e}_k|)^2}{\sum_{k=1}^k |\tilde{e}_k|^2 \sigma_{T,k}^2 + \sigma_E^2}$$

$$[0119] \quad = \frac{P_T \left| \sum_{k=1}^k \frac{\alpha_k |h_k| e_k \sqrt{(1-\rho_k)Q_k}}{\sqrt{\sigma_{P,k}^2 + (1-\rho_k)(\sigma_{A,k}^2 + P_T |h_k|^2)}} \right|^2}{\sigma_E^2 + \sum_{k=1}^k \frac{\alpha_k^2 |e_k|^2 (\sigma_{P,k}^2 + (1-\rho_k)\sigma_{A,k}^2) Q_k}{\sigma_{P,k}^2 + (1-\rho_k)(\sigma_{A,k}^2 + P_T |h_k|^2)}} \quad \text{.. 식 11}$$

[0120] σ_E^2 은 도청 노드(E)의 노이즈 분산이다.

[0121] 각 목적지 노드 및 도청 노드의 신호대 잡음 비를 토대로 활성 릴레이 노드의 풀 전력을 도출하고 도출된 최대 풀 전력으로 상기 전력분할비율 및 전력분할요소에 대해 통합 최적화를 수행한다.

[0122] 즉, 비밀 레이트(secretcy rate)를 최대화하기 위해 전력분할요소 $\{\alpha_k\}$ 와 전력분할비율 $\{\rho_k\}$ 은 최적화되어야 하고 여기서 비밀 레이트는 목적지 노드(D)의 SNR의 로그함수와 도청 노드(E)의 SNR의 로그 함수의 차로 나타낸다.

$$[0123] \quad \text{비밀 레이트} = \max_{\{\alpha_k\}, \{\rho_k\}} [\log_1(1 + \gamma_D) - \log_2(1 + \gamma_E)]^+$$

$$0 \leq \alpha_k \leq 1, \forall k$$

$$[0124] \quad \frac{P_{C,k}}{\beta_k P_T |h_k|^2} \leq \rho_k \leq 1, \forall k$$

[0125] 전술한 비밀 레이트 최대화를 위한 전력분할요소 $\{\alpha_k\}$ 와 전력분할비율 $\{\rho_k\}$ 에 대한 최적화 문제는 식 13으로 정리된다.

$$[0126] \quad \max_{\{\alpha_k\}, \{\rho_k\}} \frac{1 + \gamma_E(\{\alpha_k\}, \{\rho_k\})}{1 + \gamma_D(\{\alpha_k\}, \{\rho_k\})}$$

$$1 - \alpha_k \geq 0, \forall k$$

$$1 - \rho_k \geq 0, \forall k$$

$$\alpha_k \geq 0, \forall k$$

$$\rho_k \geq \frac{P_{C,k}}{\beta_k P_T |h_k|^2}, \forall k$$

[0127]

[0129] .. 식 13

[0131] 식 13에서 전력분할요소{ a_k }와 전력분할비율{ ρ_k }에 대하여 통합 최적화를 하려면 최적의 전력 조절 요소(power control factor) a_k 는 모든 k 에 대해 항상 1되고, 이 경우 릴레이 노드의 풀 파워 전송은 다음 식 14로 정리된다.

$$f(\{\rho_k\}) = \frac{1 + \frac{P_T \left(\sum_{k=1}^K \frac{|h_k g_k| \sqrt{(1-\rho_k)(\beta_k \rho_k P_T |h_k|^2 - P_{C,k})}}{\sqrt{\sigma_{P,k}^2 + (1-\rho_k)(\sigma_{A,k}^2 + P_T |h_k|^2)}} \right)^2}{\sigma_D^2 + \sum_{k=1}^K \frac{|g_k|^2 \left\{ \sigma_{P,k}^2 + (1-\rho_k)\sigma_{A,k}^2 \right\} (\beta_k \rho_k P_T |h_k|^2 - P_{C,k})}{\sigma_{P,k}^2 + (1-\rho_k)(\sigma_{A,k}^2 + P_T |h_k|^2)}}}{1 + \frac{P_T \left| \sum_{k=1}^K \frac{h_k e_k e^{\theta_k^*} \sqrt{(1-\rho_k)(\beta_k \rho_k P_T |h_k|^2 - P_{C,k})}}{\sqrt{\sigma_{P,k}^2 + (1-\rho_k)(\sigma_{A,k}^2 + P_T |h_k|^2)}} \right|^2}{\sigma_E^2 + \sum_{k=1}^K \frac{|e_k|^2 \left\{ \sigma_{P,k}^2 + (1-\rho_k)\sigma_{A,k}^2 \right\} (\beta_k \rho_k P_T |h_k|^2 - P_{C,k})}{\sigma_{P,k}^2 + (1-\rho_k)(\sigma_{A,k}^2 + P_T |h_k|^2)}}}, \quad \dots \text{식 14}$$

[0132] .. 식 14

[0133] 이에 전력분할요소{ a_k }와 전력분할비율{ ρ_k }에 대해 통합 최적화는 간단하게 다음 식 15로 정리된다.

$$\max_{\{\rho_k\}} f(\{\rho_k\})$$

$$\text{subject to } 1 - \rho_k \geq 0, \forall k$$

$$\rho_k \geq \frac{P_{C,k}}{\beta_k P_T |h_k|^2}, \forall k$$

[0134] .. 식 15

[0135] 한편, 연산부(110)에서 도출된 릴레이 노드의 풀 전력 $f(\{\rho_k\})$ 는 전송부(130)로 전달된다.

[0136] 전송부(130)는 도출된 풀 파워를 전력분할비율로 편미분하여 최적 전력분할비율을 도출하고 도출된 최적 전력분할비율을 각 활성 릴레이 노드로 전달하는 구성을 갖춘다.

[0137] 즉, 비밀 레이트를 최대화 하기 위해 최적 전력분할비율{ ρ_k^* }은 식 15의 풀 전력 $f(\{\rho_k\})$ 를 전력분할비율(ρ_k)로

편미분하여 구하는 서브그래디언트(subgradient) $\frac{\partial f}{\partial \rho_i}$ 에 의한 다차원 경사하강법(gradient descent method)으로 획득될 수 있다.

[0138] 여기에서 서브그래디언트 $\frac{\partial f}{\partial \rho_i}$ 는 수학식 11로부터 얻을 수 있으며, 수학식 16과 같이 주어진다.

$$\frac{\partial f}{\partial \rho_i} = \frac{\left(\frac{\Sigma_{D,i} P_i N_D}{D_D} - \frac{\Upsilon_{D,i} P_i N_D^2}{D_D^2} \right)}{\left(1 + \frac{P_i N_D^2}{D_D} \right)} - \frac{\left(1 + \frac{P_i N_D^2}{D_D} \right) \left(\frac{\Sigma_{E,i} P_i N_E}{D_E} - \frac{\Upsilon_{E,i} P_i N_E^2}{D_E^2} \right)}{\left(1 + \frac{P_i N_E^2}{D_E} \right)^2}$$

[0139] .. 식 16

[0141] 여기서,
$$N_D = P_T \left(\sum_{k=1}^K \frac{|h_k g_k| \sqrt{(1-\rho_k)(\beta_k \rho_k P_T |h_k|^2 - P_{C,k})}}{\sqrt{\sigma_{P,k}^2 + (1-\rho_k)(\sigma_{A,k}^2 + P_T |h_k|^2)}} \right)$$
 .. 식 17

$$D_D = \sigma_D^2 + \sum_{k=1}^K \frac{|g_k|^2 \{ \sigma_{P,k}^2 + (1 - \rho_k) \sigma_{A,k}^2 \} (\beta_k \rho_k P_T |h_k|^2 - P_{C,k})}{\sigma_{P,k}^2 + (1 - \rho_k) (\sigma_{A,k}^2 + P_T |h_k|^2)}, \dots \text{식 18}$$

$$\Upsilon_{D,i} = \left[(|g_i| |h_i| P_T)^2 \left\{ \beta_i (\sigma_{P,i}^2 + (1 - \rho_i) \sigma_{A,i}^2)^2 + \beta_i P_T |h_i|^2 (\sigma_{P,i}^2 + (1 - \rho_i) \sigma_{A,i}^2) - P_{C,i} \sigma_{P,i}^2 \right\} \right] / \left[\left\{ \sigma_{P,i}^2 + (1 - \rho_i) (\sigma_{A,i}^2 + P_T |h_i|^2) \right\}^2 \right], \dots \text{식 19}$$

$$\Sigma_{D,i} = \left[(|g_i| |h_i| P_T) \left\{ \beta_i (P_T |h_i|^2 (1 - \rho_i))^2 + P_{C,i} \sigma_{P,i}^2 + \beta_i P_T |h_i|^2 \left((1 - 2\rho_i) \sigma_{P,i}^2 + (1 - \rho_i)^2 \sigma_{A,i}^2 \right) \right\} \right] / \left[\left\{ \sigma_{P,i}^2 + (1 - \rho_i) (\sigma_{A,i}^2 + P_T |h_i|^2) \right\}^{\frac{3}{2}} \left\{ (1 - \rho_i) (\beta_i \rho_i P_T |h_i|^2 - P_{C,i}) \right\}^{\frac{1}{2}} \right], \dots \text{식 20}$$

$$N_E = P_T \left| \sum_{k=1}^K \frac{h_k e_k e^{\theta_k^*} \sqrt{(1 - \rho_k) (\beta_k \rho_k P_T |h_k|^2 - P_{C,k})}}{\sqrt{\sigma_{P,k}^2 + (1 - \rho_k) (\sigma_{A,k}^2 + P_T |h_k|^2)}} \right|^2 \dots \text{식 21}$$

$$D_E = \sigma_E^2 + \sum_{k=1}^K \frac{|e_k|^2 \{ \sigma_{P,k}^2 + (1 - \rho_k) \sigma_{A,k}^2 \} (\beta_k \rho_k P_T |h_k|^2 - P_{C,k})}{\sigma_{P,k}^2 + (1 - \rho_k) (\sigma_{A,k}^2 + P_T |h_k|^2)} \dots \text{식 22}$$

$$\Upsilon_{E,i} = \left[(|e_i| |h_i| P_T)^2 \left\{ \beta_i (\sigma_{P,i}^2 + (1 - \rho_i) \sigma_{A,i}^2)^2 + \beta_i P_T |h_i|^2 (\sigma_{P,i}^2 + (1 - \rho_i) \sigma_{A,i}^2) - P_{C,i} \sigma_{P,i}^2 \right\} \right] / \left[\left\{ \sigma_{P,i}^2 + (1 - \rho_i) (\sigma_{A,i}^2 + P_T |h_i|^2) \right\}^2 \right], \dots \text{식 23}$$

$$\Sigma_{E,i} = \left[(|e_i| e^{\theta_k^*} |h_i| P_T) \left\{ \beta_i (P_T |h_i|^2 (1 - \rho_i))^2 + P_{C,i} \sigma_{P,i}^2 + \beta_i P_T |h_i|^2 \left((1 - 2\rho_i) \sigma_{P,i}^2 + (1 - \rho_i)^2 \sigma_{A,i}^2 \right) \right\} \right] / \left[\left\{ \sigma_{P,i}^2 + (1 - \rho_i) (\sigma_{A,i}^2 + P_T |h_i|^2) \right\}^{\frac{3}{2}} \left\{ (1 - \rho_i) (\beta_i \rho_i P_T |h_i|^2 - P_{C,i}) \right\}^{\frac{1}{2}} \right],$$

.. 식 24

로 각각 정의된다.

이러한 서브그라디언트 $\Pi = \left[\frac{\partial f(\Delta_1)}{\partial \rho_1}, \frac{\partial f(\Delta_2)}{\partial \rho_2}, \dots, \frac{\partial f(\Delta_n)}{\partial \rho_n} \right]$ 를 도출하는 알고리즘은 다음과 같다.

Algorithm 1 Proposed Secrecy Rate Optimization

Activate K relays with $Q_k > 0$ and set $\alpha_k = 1$ for $k = 1, \dots, K$.

Initialize $\Delta_0 = [\rho_1, \dots, \rho_K]$ such that $\frac{P_{C,k}}{\beta_k P_T |h_k|^2} < \rho_k < 1$.

repeat

 Compute $f(\Delta_n)$.

 Compute $\Pi = \left[\frac{\partial f(\Delta_n)}{\partial \rho_1}, \dots, \frac{\partial f(\Delta_n)}{\partial \rho_K} \right]$.

 Update $\Delta_{n+1} = \Delta_n + \delta \Pi$.

 Compute $f(\Delta_{n+1})$.

until $|f(\Delta_{n+1}) - f(\Delta_n)| \leq \epsilon$.

즉, 서브그라디언트 $\Pi = \left[\frac{\partial f(\Delta_1)}{\partial \rho_1}, \frac{\partial f(\Delta_2)}{\partial \rho_2}, \dots, \frac{\partial f(\Delta_n)}{\partial \rho_n} \right]$ 를 이용한 최적 전력분할비율을 도출하는 전송부(130)는 하베스트 전력(Q_k)이 0 보다 큰 릴레이 노드에 대해 전력분할요소 α_k 를 1로 설정한 다음 $\frac{P_{C,k}}{\beta_k P_T |h_k|^2} \leq \rho_k \leq 1$ 를 만족하는 초기값으로 전력분할비율 벡터 $D_0 = [r_1, r_2, \dots, r_K]$ 를 초기화한다.

그리고, 기 도출된 전력분할비율 벡터 D_n 에 대해, 풀 전력($f(D_n)$)을 연산하며, 연산된 풀 전력 $f(D_n)$ 을 전력분할비율 $D_n = [r_1, r_2, \dots, r_K]$ 로 각각 편미분하여 서브그라디언트 $\Pi = \left[\frac{\partial f(\Delta_1)}{\partial \rho_1}, \frac{\partial f(\Delta_2)}{\partial \rho_2}, \dots, \frac{\partial f(\Delta_n)}{\partial \rho_n} \right]$ 을 연산한다.

[0155] 그리고, 전송부(130)는 전력분할비율 벡터 D_n 에 대한 서브그래디언트 $\Pi = \left[\frac{\partial f(\Delta_1)}{\partial \rho_1}, \frac{\partial f(\Delta_2)}{\partial \rho_2}, \dots, \frac{\partial f(\Delta_n)}{\partial \rho_n} \right]$ 과 기 정해진 스텝 사이즈(d)를 곱한 다음 전력분할비율 벡터 D_n 을 가산하여 전력분할비율 벡터 D_{n+1} 로 업데이트한 다음 업데이트된 전력분할비율 벡터 D_{n+1} 에 대한 풀 전력($f(D_{n+1})$)을 연산한다.

[0156] 그리고 전력분할비율 벡터 D_{n+1} 에 대한 풀 전력 $f(D_{n+1})$ 과 전력분할비율 벡터 D_n 에 대한 풀 전력 $f(D_n)$ 의 차이가 정해진 임계치(e) 이하로 수렴될 때까지 전술한 풀 전력 $f(D_n)$ 도출을 반복 수행하며, 도출된 서브그래디언트 $\Pi = \left[\frac{\partial f(\Delta_1)}{\partial \rho_1}, \frac{\partial f(\Delta_2)}{\partial \rho_2}, \dots, \frac{\partial f(\Delta_n)}{\partial \rho_n} \right]$ 로 최적 전력분할비율 ρ_k^* 를 도출하여 활성 릴레이 노드(R_k)로 전송한다.

[0158] 최적화 성능 평가

[0159] L개의 릴레이 노드가 25 m^2 의 정사각형 영역에 랜덤하게 분포되어 있고, 소스와 목적지 노드는 중앙선 상에 5m 거리를 두고 떨어진 위치에 놓여있다고 가정한다.

[0160] 모든 k 에 대하여 에너지 하베스트(EH) 효율이 70%인 경우, 즉 $\beta_k = 0.7$ 에 대하여 시뮬레이션 하였다. 모든 k 에 대해 $\sigma_{A,k}^2 = 0.6$, $\sigma_{P,k}^2 = 0.4$, $\sigma_D^2 = 1$ 인 경우, 전송 신호대 잡음비(transmit SNR)는 $P_T = P_T / \sigma_D^2 = P_T / (\sigma_{A,k}^2 + \sigma_{P,k}^2)$ 으로 구할 수 있다.

[0161] 또한, 목적지 노드(D)의 채널 정보(h_k) 및 도청 노드(E)의 채널 정보(g_k)는 다음 식을 만족한다.

$$[0162] \quad h_k = d_{h,k}^{-\varepsilon_h/2} \zeta_{h,k}, \quad g_k = d_{g,k}^{-\varepsilon_g/2} \zeta_{g,k}$$

[0163] 여기서, $d_{h,k}$ 는 소스와 릴레이간 거리이고, $d_{g,k}$ 는 릴레이와 목적지간 거리이다. 또한, 경로 손실 지수(path loss exponents)는 $\varepsilon_h = \varepsilon_g = 5$ 이고, $\zeta_{h,k}$ 와 $\zeta_{g,k}$ 는 평균이 0이고, 분산이 1인 원형 복소 가우스 분포(circularly complex Gaussian distribution)로 가정한다. 도출된 채널 정보(h_k)(g_k)를 이용하여 도출된 최적 전력분할비율을 토대로 도출된 비밀 레이트는 도 4에 도시된 바와 같다.

[0164] 도 4는 최적 전력분할비율에 의거 도출된 비밀 레이트와 기존의 기법으로 도출된 비밀 레이트를 나타낸 그래프로서, 도 4를 참조하면, 본 실시 예에 따라 최적 전력분할비율에 의거 도출된 비밀 레이트(secret rate bps/Hz)가 기존의 최대 속도 기법과 비 순응적인 기법으로 도출된 비밀 레이트 보다 우수함을 알 수 있다.

[0165] 다중 릴레이 빔포밍을 위해서, SWIPT 시스템의 전력 분할 기반 릴레이에서는 최적화된 전력분할비(PS ratio) ρ_k^* 가 전력 제어 요소(power control factor) a_k 의 영향을 커버할 수 있으므로, 전력 제어 요소 a_k 에 대한 최적화는 무시될 수 있다. 즉, 릴레이에서 수확된 전력을 신호를 재전송하는데 최대한 이용하는 것이, 채널과 노이즈 상태와 무관하게 최적의 릴레이 전략이다.

[0166] 도 5는 본 다른 실시 예에 따른 무전원 다중 중계 시스템의 제어방법을 보인 흐름도로서, 무전원 다중 중계 시스템의 제어 방법은, 연산단계(S310), 피드백 단계(S330), 및 전송단계(S350)를 포함할 수 있다.

[0167] 먼저, 연산단계(S310)는 전체 릴레이 노드가 소스 노드로부터 신호를 수신하고, 릴레이 노드($R_1 \sim R_L$)는 소스 노드(S)로부터 전송 받은 신호에서 전력을 하베스트한 다음 하베스트된 전력이 $Q_k > 0$ 인 활성화된 k 개의 릴레이 노드($R_1 \sim R_k$)가 목적지 노드(D)로 채널상태정보(CSI)를 전송한다. 목적지 노드(D)는 활성화된 각 릴레이 노드의 채널상태정보(CSI)를 저장할 수 있다.

[0168] 그리고 피드백 단계(S330)는 목적지 노드(D)에서 하베스트된 전력 $Q_k > 0$ 인 활성화된 K 개의 릴레이 노드($R_1 \sim R_k$)를 선택한 후(S330) 활성화된 각 릴레이 노드의 최적 전력분할비율(PS ratio) ρ_k^* 값($k = 1, \dots, K$)을 연산한 다음 각 릴레이 노드의 최적 전력분할비율 ρ_k^* 값($k = 1, \dots, K$)을 각 릴레이 노드로 피드백하는 신호를 전송한다.

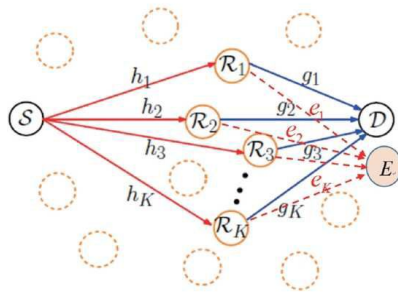
- [0169] 또한 전송단계(S350)는 각 릴레이 노드($R_1 \sim R_K$)는 목적지 노드(D)로부터 피드백으로 전달받은 최적 전력분할비율을 이용하여 소스 노드(S)로부터 전송된 신호를 전력 분할한 다음 증폭하여 빔포밍한다.
- [0170] 도 6은 도 5에 도시된 단계(S330)에서 최적 전력분할비율을 구하는 순서도로서, 단계(S331) ~ 단계(S337)를 포함한다.
- [0171] 목적지 노드(D)에서 다음의 단계들을 거쳐 각 릴레이 노드($R_1 \sim R_K$)에 최적인 전력분할비율(PS ratio) ρ_k ($k = 1, \dots, K$)를 구할 수 있다.
- [0172] (1) 하베스트된 전력 $Q_k > 0$ 인 K 개의 릴레이 노드에 대해, $k = 1, \dots, K$ 에 대해 전력 조절 요소(power control factor) $a_k = 1$ 로 설정한다(S331).
- [0173] (2) 활성화된 K 개의 릴레이 노드에 대해서, 전력분할비율 ρ_k 가 $\frac{P_{C,k}}{\beta_k P_T |h_k|^2} < \rho_k < 1$ 을 만족하는 초기값으로, 전력분할비율 벡터 $\Delta_0 = [\rho_1, \dots, \rho_K]$ 를 초기화 한다(S332).
- [0174] (3) 이미 구해진 전력분할비율 벡터 Δ_n 에 대해, 목적지 노드 및 도청 노드 각각에 대한 신호대 잡음비(SNR)를 토대로 풀 전력($f(\Delta_n)$)을 도출한다(S333)
- [0175] (4) 연산된 풀 전력($f(\Delta_n)$)에 대해, 전력분할비율 $[r_1, r_2, \dots, r_K]$ 로 각각 편미분하여 서브그라디언트 ($\Pi = [\frac{\partial f(\Delta_1)}{\partial \rho_1}, \frac{\partial f(\Delta_2)}{\partial \rho_2}, \dots, \frac{\partial f(\Delta_n)}{\partial \rho_n}]$)을 연산한다(S334).
- [0176] (5) 그리고, 전력분할비율 벡터 D_n 에 대해, 서브그라디언트와 기 정해진 스텝 사이즈(d)를 곱한 다음 전력분할비율 벡터 D_n 를 가산하여 전력분할비율 벡터 D_{n+1} 로 업데이트한 다음(S335) 업데이트된 전력분할비율 벡터 D_{n+1} 에 대해, 풀 전력 $f(D_{n+1})$ 를 연산한다(S336).
- [0177] 여기에서, δ 는 스텝 사이즈(step size)로서 수렴속도를 조절하기 위해 사용한다. 너무 작은 값을 사용하는 경우에는 계산이 늦어지고, 너무 큰 값을 사용하면 발산할 수 있으므로, δ 값은 시스템에 맞추어 적당한 값을 선택하는 것이 바람직하다.
- [0178] 업데이트된 전력분할비율 D_{n+1} 에 대해, 풀 전력 $f(D_{n+1})$ 과 전력분할비율 D_n 에 대해 풀 전력 $f(D_n)$ 의 차가 기 정해진 임계치(ϵ) 이하인 지를 확인하여 풀 전력 차가 수렴하지 아니한 경우 (3) 단계로 반복한다(S337). 여기에서, ϵ 은 시스템에 따라 적당히 작은 값을 선택하여 사용할 수 있다.
- [0179] 이상의 통합 최적화 방법을 이용하면, 다중 릴레이 네트워크에서 전체적으로 최적화된 성능(globally optimal performance)을 얻을 수 있다.
- [0180] 이상에서 대표적인 실시 예를 통하여 본 발명에 대하여 상세하게 설명하였으나, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자는 상술한 실시 예에 대하여 본 발명의 범주에서 벗어나지 않는 한도 내에서 다양한 변형이 가능함을 이해할 것이다. 그러므로 본 발명의 권리 범위는 설명된 실시 예에 국한되어 정해져서는 안 되며, 후술하는 특허청구범위뿐만 아니라 이 특허청구범위와 균등 개념으로부터 도출되는 모든 변경 또는 변형된 형태에 의하여 정해져야 한다.

산업상 이용가능성

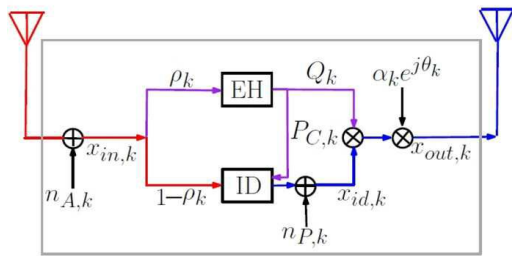
부호의 설명

도면

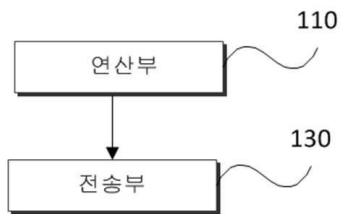
도면1



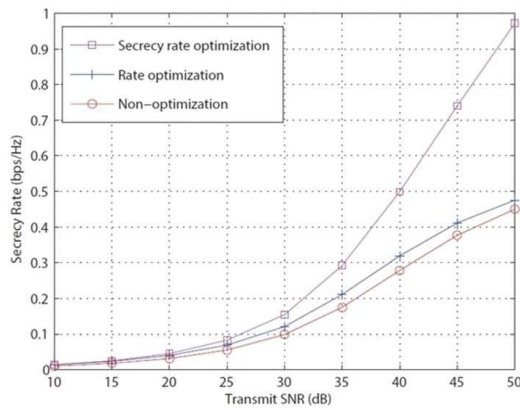
도면2



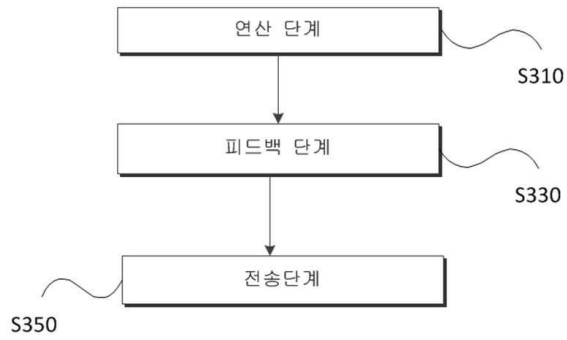
도면3



도면4



도면5



도면6

