(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2019년04월18일
(11) 등록번호 10-1970409
(24) 등록일자 2019년04월12일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
*H02J 50/80* (2016.01) *H02J 50/20* (2016.01)
*H04L 25/02* (2006.01)
(52) CPC특허분류
*H02J 50/80* (2016.02)
*H02J 50/20* (2016.02)
(21) 출원번호 10-2017-0140238
(22) 출원일자 2017년10월26일
심사청구일자 2017년10월26일
(56) 선행기술조사문헌
KR101739187 B1
KR101629108 B1
KR101697431 B1*
한국통신학회 하계종합학술발표 논문지, 사단법인 한국통신학회, 2016.06., Vol.60, 263-264
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
**고려대학교 산학협력단**
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
(72) 발명자
**이인규**
서울특별시 강남구 선릉로 221, 302동 404호(도곡동, 도곡렉슬아파트)
**채주희**
부산광역시 금정구 중앙대로1685번길 24, 110동 1002호(부곡동, 경남한신아파트)
(74) 대리인
**송인호, 윤형근, 최영중, 최관락**

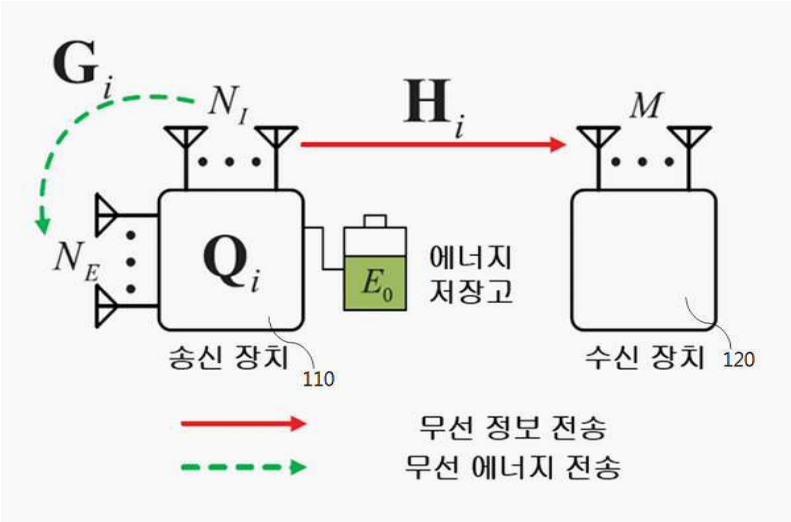
전체 청구항 수 : 총 3 항 심사관 : 신희상

(54) 발명의 명칭 **자기 에너지 재활용을 고려한 다중안테나 송신 장치 및 전송 방법**

## (57) 요 약

자기 에너지 재활용을 고려한 다중안테나 송신 장치 및 전송 방법이 개시된다. 다중안테나를 갖는 송신 장치는, 에너지 저장소; 복수의 안테나; 상기 에너지 저장소에 저장된 에너지 중 일부 또는 전체를 이용하여 상기 복수의 안테나 중 일부 안테나를 통해 무선 신호를 송신하는 송신부; 및 상기 복수의 안테나 중 나머지 안테나로 상기 무선 신호를 에너지로 수확하여 상기 에너지 저장소에 저장하는 에너지 수확부를 포함하되, 상기 송신부는, 주어진 시간 슬롯 내에서 복수의 안테나 중 일부를 이용하여 무선 신호를 수신측으로 전송하는 전송률과 상기 송신 장치의 에너지 재활용을 고려하여 전송 전력에 따른 합 전송률을 최대화할 수 있는 전송 공분산 행렬을 도출한 후 상기 도출된 전송 공분산 행렬을 적용하여 상기 복수의 안테나 중 일부를 이용하여 무선 신호를 송신할 수 있다.

*대 표 도* - 도1



(52) CPC특허분류
*H04L 25/021* (2013.01)

# 명 세 서

## 청구범위

### 청구항 1

송신 장치에서의 무선 신호 전송 방법에 있어서,

(a) 각 시간 슬롯에서 복수의 안테나 중 일부를 이용하여 무선 신호를 수신측으로 전송하는 전송률과 에너지 재활용에 따른 각 시간 슬롯에서의 전송 에너지 제약을 고려하여 전송 전력에 따른 합 전송률을 최대화할 수 있는 전송 공분산 행렬을 도출하는 단계; 및

(b) 상기 도출된 전송 공분산 행렬을 적용하여 복수의 안테나 중 일부를 이용하여 상기 무선 신호를 송신하고, 상기 복수의 안테나 중 나머지 안테나로 상기 무선 신호를 에너지로 수확하여 저장하는 단계를 포함하되,

상기 (a) 단계에서,

상기 송신 장치가 불완전한 채널 상태를 알고 있는 경우, 최악의 추정 오류에 따른 상기 수신측으로 전송하는 전송률과 상기 송신 장치의 에너지 재활용을 고려하여 전송 전력에 따른 합 전송률을 최대화할 수 있는 전송 공분산 행렬을 도출하는 것을 특징으로 하는 무선 신호 전송 방법.

### 청구항 2

삭제

### 청구항 3

제1 항에 있어서,

상기 에너지 재활용은,

상기 송신 장치가 주어진 시간 슬롯내에서 무선 신호를 전송하기 위해 상기 송신 장치에 저장된 에너지 중 일부 또는 전체를 이용하는 것을 의미하되,

상기 송신 장치는 외부 에너지 공급원을 가지지 않는 것을 특징으로 하는 무선 신호의 전송 방법.

### 청구항 4

다중 안테나를 가지는 송신 장치에 있어서,

에너지 저장소;

복수의 안테나;

상기 에너지 저장소에 저장된 에너지 중 일부 또는 전체를 이용하여 상기 복수의 안테나 중 일부 안테나를 통해 무선 신호를 송신하는 송신부; 및

상기 복수의 안테나 중 나머지 안테나로 상기 무선 신호를 에너지로 수확하여 상기 에너지 저장소에 저장하는 에너지 수확부를 포함하되,

상기 송신부는,

불완전한 채널 상태를 알고 있는 경우, 주어진 시간 슬롯 내에서 복수의 안테나 중 일부를 이용하여 무선 신호를 최악의 추정 오류에 따른 수신측으로 전송하는 전송률과 상기 송신 장치의 에너지 재활용을 고려하여 전송 전력에 따른 합 전송률을 최대화할 수 있는 전송 공분산 행렬을 도출한 후 상기 도출된 전송 공분산 행렬을 적용하여 상기 복수의 안테나 중 일부를 이용하여 무선 신호를 송신하는 것을 특징으로 하는 송신 장치.

**청구항 5**

삭제

## 발명의 설명

### 기 술 분 야

[0001] 본 발명은 자기 에너지 재활용을 고려한 다중안테나 송신 장치 및 전송 방법에 관한 것이다.

### 배 경 기 술

[0003] 최근 MIMO 시스템에서 radio-frequency (RF) 신호를 이용한 energy harvesting(이하, EH로 통칭함) 통신 시스템이 에너지 제약이 있는 차세대 통신 환경에서 큰 주목을 받고 있다. RF 신호를 이용한 EH 통신 시스템에서는 기지국에서 에너지를 필요로 하는 수신기에 신호를 송신하고, 수신기에서는 그 신호의 에너지를 받아 수확한다.

[0004] 종래의 에너지 재활용의 경우, 무선 신호 전송 전에 이용하는 것을 가정하여 연구가 진행되었다. 이로 인해, 실제 채널 환경에 따른 무선 신호를 전송하는데 에너지를 재활용할 수 있는 방안에 대한 연구가 필요하다.

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0006] 본 발명은 자기 에너지 재활용을 고려하여 최적의 합 전송률을 가지도록 정보를 전송할 수 있는 자기 에너지 재활용을 고려한 다중안테나 송신 장치 및 전송 방법을 제공하기 위한 것이다.

### 과제의 해결 수단

[0008] 본 발명의 일 측면에 따르면, 자기 에너지 재활용을 고려하여 최적의 합 전송률을 가지도록 정보를 전송할 수 있는 자기 에너지 재활용을 고려한 다중안테나 송신 장치 및 전송 방법이 제공된다.

[0009] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 송신 장치에서의 무선 신호 전송 방법에 있어서, (a) 각 시간 슬롯에서 복수의 안테나 중 일부를 이용하여 무선 신호를 수신측으로 전송하는 전송률과 에너지 재활용에 따른 각 시간 슬롯에서의 전송 에너지 제약을 고려하여 전송 전력에 따른 합 전송률을 최대화할 수 있는 전송 공분산 행렬을 도출하는 단계; 및 (b) 상기 도출된 전송 공분산 행렬을 적용하여 복수의 안테나 중 일부를 이용하여 상기 무선 신호를 송신하고, 상기 복수의 안테나 중 나머지 안테나로 상기 무선 신호를 에너지로 수확하여 저장하는 단계를 포함하는 무선 신호 전송 방법이 제공될 수 있다.

[0010] 상기 (a) 단계에서, 상기 송신 장치가 불완전한 채널 상태를 알고 있는 경우, 최악의 추정 오류에 따른 상기 수신측으로 전송하는 전송률과 상기 송신 장치의 에너지 재활용을 고려하여 전송 전력에 따른 합 전송률을 최대화할 수 있는 전송 공분산 행렬을 도출할 수 있다.

[0011] 상기 에너지 재활용은, 상기 송신 장치가 주어진 시간 슬롯내에서 무선 신호를 전송하기 위해 상기 송신 장치에 저장된 에너지 중 일부 또는 전체를 이용하는 것을 의미하되, 상기 송신 장치는 외부 에너지 공급원을 가지지 않을 수 있다.

[0013] 본 발명의 다른 실시예에 따르면, 다중 안테나를 가지는 송신 장치에 있어서, 에너지 저장소; 복수의 안테나; 상기 에너지 저장소에 저장된 에너지 중 일부 또는 전체를 이용하여 상기 복수의 안테나 중 일부 안테나를 통해 무선 신호를 송신하는 송신부; 및 상기 복수의 안테나 중 나머지 안테나로 상기 무선 신호를 에너지로 수확하여 상기 에너지 저장소에 저장하는 에너지 수확부를 포함하되, 상기 송신부는, 주어진 시간 슬롯 내에서 복수의 안테나 중 일부를 이용하여 무선 신호를 수신측으로 전송하는 전송률과 상기 송신 장치의 에너지 재활용을 고려하여 전송 전력에 따른 합 전송률을 최대화할 수 있는 전송 공분산 행렬을 도출한 후 상기 도출된 전송 공분산 행렬을 적용하여 상기 복수의 안테나 중 일부를 이용하여 무선 신호를 송신하는 것을 특징으로 하는 송신 장치가 제공될 수 있다.

[0014] 상기 송신부는, 불완전한 채널 상태를 알고 있는 경우, 최악의 추정 오류에 따른 상기 수신측으로 전송하는 전송률과 상기 송신 장치의 에너지 재활용을 고려하여 전송 전력에 따른 합 전송률을 최대화할 수 있는 전송 공분산 행렬을 도출한 후 상기 도출된 전송 공분산 행렬을 적용하여 상기 복수의 안테나 중 일부를 이용하여 무선

신호를 송신할 수 있다.

## 발명의 효과

[0016] 본 발명의 일 실시예에 따른 자기 에너지 재활용을 고려한 다중안테나 송신 장치 및 전송 방법을 제공함으로써, 자기 에너지 재활용을 고려하여 최적의 합 전송률을 가지도록 전송 공분산 행렬을 도출하고, 이를 이용하여 정보를 전송할 수 있다.

## 도면의 간단한 설명

[0018] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 안테나 무선 통신 시스템을 개략적으로 도시한 도면.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 최적의 전송 공분산 행렬을 도출하는 알고리즘의 의사코드를 나타낸 도면.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 송신 장치의 내부 구성을 개략적으로 도시한 블록도

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 안테나 송신 장치에서의 무선 신호 송신 방법을 나타낸 순서도.

도 5는 종래와 본 발명의 일 실시예에 따른 송신 장치에서 완벽한 채널 상태 정보를 알고 있는 경우 전송 전력에 따른 합 전송률을 나타낸 그래프.

도 6은 종래와 본 발명의 일 실시예에 따른 송신 장치에서 불완전한 채널 상태 정보를 알고 있는 경우 전송 전력에 따른 합 전송률을 나타낸 그래프.

## 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0019] 본 발명은 다양한 변환을 가할 수 있고 여러 가지 실시예를 가질 수 있는 바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 상세한 설명에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변환, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 본 발명을 설명함에 있어서 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명을 생략한다.

[0020] 본 발명을 설명함에 있어서, 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명을 생략한다. 또한, 본 명세서의 설명 과정에서 이용되는 숫자(예를 들어, 제1, 제2 등)는 하나의 구성요소를 다른 구성요소와 구분하기 위한 식별기호에 불과하다.

[0021] 또한, 본 명세서에서, 일 구성요소가 다른 구성요소와 "연결된다" 거나 "접속된다" 등으로 언급된 때에는, 상기 일 구성요소가 상기 다른 구성요소와 직접 연결되거나 또는 직접 접속될 수도 있지만, 특별히 반대되는 기재가 존재하지 않는 이상, 중간에 또 다른 구성요소를 매개하여 연결되거나 또는 접속될 수도 있다고 이해되어야 할 것이다.

[0022] 이하, 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명의 실시예를 상세히 설명한다.

[0024] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 안테나 무선 통신 시스템을 개략적으로 도시한 도면이고, 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 최적의 전송 공분산 행렬을 도출하는 알고리즘의 의사코드를 나타낸 도면이다.

[0025] 도 1을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 안테나 무선 통신 시스템은 송신 장치(110)와 수신 장치(120)를 포함한다.

[0026] 송신 장치(110)는 ( $N_I + N_E$ )개의 안테나를 구비하고, 수신 장치(120)는 M개의 안테나를 구비한 것을 가정하기로 한다. 여기서, $N_I$, $N_E$ 및 M은 자연수일 수 있다.

[0027] 송신 장치(110)는 복수의 안테나 중 일부를 이용하여 무선 신호를 수신 장치(120)로 송신하는 기능을 한다. 이때, 본 발명의 일 실시예에 따른 송신 장치(110)는 복수의 안테나 중 나머지 안테나로 자기회귀채널을 이용하여 무선 신호를 에너지로 수확하여 에너지 저장소에 저장할 수 있다. 여기서, 자기회귀채널은 송신하는 채널에 간섭을 일으키는 채널(이하, 간섭 채널이라 칭하기로 함)일 수 있다.

[0028] 본 발명의 일 실시예에 따른 송신 장치(110)는 에너지 저장소(예를 들어, 배터리)에 0이 아닌 초기 에너지를 가

지고 있으며, 별도의 외부 에너지 공급원을 가지고 있지 않는 것을 가정하기로 한다.

[0029] 본 발명의 일 실시예에 따른 송신 장치(110)는 주어진 시간 슬롯에서 무선 신호를 수신 장치(120)로 전송하는 전송률과 자기 에너지 재활용을 고려하여 전송 전력에 따른 합 전송률을 최대화할 수 있는 최적의 전송 공분산 행렬을 도출한 후 이를 기반으로 무선 신호를 송신할 수 있다.

[0030] 또한, 본 명세서에서는 무선 신호를 송신하는 시간 슬롯의 총량이 k(자연수)개인 것을 가정하여 설명하기로 한다.

[0031] 이하에서는 송신 장치(110)가 완전하게 채널 상태 정보를 알고 있는 경우와 불완전하게 채널 상태 정보를 알고 있는 경우 두가지 경우에 따른 전송 전력에 따른 합 전송률을 최대화할 수 있는 최적의 전송 공분산 행렬을 도출하는 방법에 대해 상세히 설명하기로 한다.

[0032] 본 발명의 일 실시예에 따른 송신 장치(110)는 각 시간 슬롯마다 복수의 안테나 중 일부( $N_I$ )의 안테나를 이용하여 무선 신호를 수신 장치(120)로 전송한다. 이 경우, 수신 장치(120)는 M개의 안테나를 사용하여 무선 신호를 수신하는 것을 가정하기로 한다.

[0033] 이와 동시에 송신 장치(110)는 자기회귀채널을 이용하여 복수의 안테나 중 나머지 안테나( $N_E$ )로 자기가 전송한 무선 신호를 수신하여 에너지를 수확하여 에너지 저장소(배터리)에 저장할 수 있다.

[0034] 에너지 저장소에 저장된 에너지는 차후 송신 장치(110)가 무선 신호를 송신하는데 이용될 수 있다.

[0035] 송신 장치(110)에서 수신 장치로 무선 신호를 전송하는 i번째 채널( $\mathbf{H}_i \in \mathbb{C}^{M \times N_I}$ )은 레일리 페이딩 모델(Rayleigh fading model)을 따르며, 송신 장치에서 송신 장치로 에너지를 전송하는 i번째 자기회귀채널( $\mathbf{G}_i \in \mathbb{C}^{N_E \times N_I}$ )은 라이시안 페이딩 모델(Rician fading model)을 따르는 것을 가정하기로 한다.

[0036] i번째 시간 슬롯에서 수신 장치(120)가 받은 수신 신호 벡터( $\mathbf{y}_i \in \mathbb{C}^{M \times 1}$ )는 수학식 1과 같이 나타낼 수 있다.

*수학식 1*

[0037] $$\mathbf{y}_i = \mathbf{H}_i \mathbf{x}_i + \mathbf{n}_i$$

[0038] 여기서, $\mathbf{H}_i$ 는 i번째 시간 슬롯에서 송신 장치에서 수신 장치로 무선 신호를 전송하는 i번째 채널을 나타내고, $\mathbf{x}_i \in \mathbb{C}^{N_I \times 1} \sim \mathcal{CN}(0, \mathbf{Q}_i)$ 는 전송 공분산 행렬이 $\mathbf{Q}_i \in \mathbb{C}^{N_I \times N_I}$ 인 i번째 시간 슬롯에서 전송 신호 벡터를 나타내며, $\mathbf{n}_i \in \mathbb{C}^{M \times 1} \sim \mathcal{CN}(0, \mathbf{I}_M)$ 는 공분산 행렬이 $\mathbf{I}_M$ 인 복소 가우시안 분포를 따르는 수신 장치에서의 잡음 벡터를 나타낸다.

[0039] 수신 장치(120)의 수신 신호 벡터가 수학식 1과 같은 경우, i번째 시간 슬롯에서 달성할 수 있는 전송률( $R_i$ )은 수학식 2와 같이 나타낼 수 있다.

*수학식 2*

[0040] $$R_i = \log_2 \left| \mathbf{I}_M + \mathbf{H}_i \mathbf{Q}_i \mathbf{H}_i^H \right|$$

[0041] 또한, 송신 장치(110)는 i번째 시간 슬롯에서 자기회귀채널(loop-back channel)( $\mathbf{G}_i \in \mathbb{C}^{N_E \times N_I}$ )를 통해 수신 신호( $\mathbf{r}_i \in \mathbb{C}^{N_E \times 1}$ )를 수신할 수 있으며, 이를 수학식으로 나타내면, 수학식 3과 같이 나타낼 수 있다.

*수학식 3*

[0042] $$\mathbf{r}_i = \mathbf{G}_i \mathbf{x}_i + \mathbf{z}_i$$

[0043] 여기서, $\mathbf{z}_i \in \mathbb{C}^{N_E \times 1}$ 는 공분산 행렬이 $\mathbf{I}_{N_E}$ 인 복소 가우시안 분포를 따르는 송신 장치(110)에서의 잡음 벡터를 나타낸다.

[0044] i번째 시간 슬롯에서, 송신 장치(110)가 자기회귀채널을 통해 수신한 수신 신호 벡터가 수학식 3과 같을 때, i번째 시간 슬롯에서 송신 장치(110)가 수확한 에너지( $E_i$ )는 수학식 4와 같이 나타낼 수 있다.

*수학식 4*

[0045] $$E_i = \zeta \mathbb{E} \left\| \mathbf{r}_i \right\|^2 = \zeta \mathrm{tr}\left( \mathbf{G}_i \mathbf{Q}_i \mathbf{G}_i^H \right)$$

[0046] 여기서, $0 < \zeta \leq 1$ 는 EH(energy harvesting, 에너지 수확) 효율을 나타낸다. 이하에서는 EH이 1인 것을 가정하여 이를 중심으로 설명하기로 한다.

[0047] i번째 시간 슬롯에서 송신 장치가 수확한 에너지( $E_i$ )는 에너지 저장소에 저장되며, 추후 시간 슬롯( $j = i+1, \cdots, K$ )에서 송신 장치(110)가 무선 신호를 전송하는 경우 이용될 수 있다.

[0048] 전술한 내용에 기초하여 송신 장치(110)의 자기 에너지 재활용(energy recycling)을 위한 전송 에너지 제약에 대해 설명하기로 한다.

[0049] i번째 시간 슬롯에서 송신 장치(110)는 무선 신호( $\mathbf{x}_i$ )를 전송하기 위해 에너지 저장소에서 전송을 위해 사용할 에너지( $\mathrm{tr}(\mathbf{Q}_i)$ , 전송 에너지라 칭하기로 함)를 추출할 수 있다. 전송 에너지( $\mathrm{tr}(\mathbf{Q}_i)$ )를 이용하여 무선 신호( $\mathbf{x}_i$ )를 전송한 이후, 송신 장치는 i번째 시간 슬롯에서 수확된 에너지( $E_i$ )를 에너지 저장소에 저장한다.

[0050] 결과적으로, 송신 장치(110)가 i번째 시간 슬롯에서 무선 신호를 전송할 때 에너지 저장소에서 사용할 수 있는 에너지( $B_i$ )는 수학식 5와 같이 나타낼 수 있다.

*수학식 5*

[0051] $$B_i = E_0 + \sum_{j=1}^{i-1} \mathrm{tr}\left(\mathbf{G}_j \mathbf{Q}_j \mathbf{G}_j^H\right) - \sum_{j=1}^{i-1} \mathrm{tr}\left(\mathbf{Q}_j\right)$$

[0052] 수학식 5에서 두번째 항(term)은 이전 시간 슬롯 동안 수학된 에너지를 나타내고, 세번째 항은 이전에 무선 신호를 전송하기 위해 이용된 에너지를 나타낸다.

[0053] 따라서, i번째 시간 슬롯에서 전송 에너지 제약은 $\mathrm{tr}\left(\mathbf{Q}_i\right) \le B_i$ 과 같이 주어질 수 있다.

[0054] 본 발명의 일 실시예에 따르면 송신 장치(110)는 채널 상태 정보에 상관없이 자기 에너지 재활용을 고려한 합 전송률을 최대화하는 공분산 행렬을 도출한 후, 이를 기반으로 무선 신호를 송신할 수 있다.

[0055] 이하에서는 송신 장치(110)가 채널 상태 정보를 완벽하게 알고 있는 경우와 불완전하게 채널 상태 정보를 알고 있는 경우를 가정하여 각각에 대해 설명하기로 한다.

[0056] 우선 채널 상태 정보를 완벽하게 알고 있는 경우에 대해 우선 설명하기로 한다.

[0057] 송신 장치(110)에서 채널 상태 정보에 무관하게 합 전송률을 최대화하는 전송 공분산 행렬( $\mathbf{Q}_i$ )을 찾는 문제는 수학식 6과 같이 나타낼 수 있다.

*수학식 6*

[0058] $$\max_{\{\mathbf{Q}_i \succeq 0\}} \frac{1}{K} \sum_{i=1}^{K} \log_2 \left|\mathbf{I}_M + \mathbf{H}_i \mathbf{Q}_i \mathbf{H}_i^H\right|$$
$$s.t.\ \ \mathrm{tr}(\mathbf{Q}_i) \le E_0 + \sum_{j=1}^{i-1} \mathrm{tr}(\mathbf{G}_j \mathbf{Q}_j \mathbf{G}_j^H) - \sum_{j=1}^{i-1} \mathrm{tr}(\mathbf{Q}_j),$$

[0059] 여기서, $i = 1, \cdots, K.$ 이며, 수학식 6의 첫 번째 수학식은 달성할 수 있는 합 전송률을 나타내며, 두 번째 수학식은 i번째 시간 슬롯에서 송신 장치의 전송 전력 제약을 나타내며, $E_0$ 는 송신 장치가 가지고 있는 초기 에너지 양을 나타낸다.

[0060] 이하, 송신 장치(110)가 채널 상태 정보를 완벽하게 알고 있는 경우, 합 전송률을 최대화하는 전송 공분산 행렬을 찾는 문제에 대해 설명하기로 한다.

[0061] 수학식 6의 경우 볼록(convex) 문제이므로, Lagrange duality method를 사용하여 공분산 행렬들( $\{\mathbf{Q}_i^*\}$ )을 찾을 수 있다.

[0062] 수학식 6에서 쓰여진 문제의 Lagrangian을 수학식 7과 같이 나타낼 수 있다.

*수학식 7*

$$L(\{\mathbf{Q}_i\},\{\mu_i\}) = \frac{1}{K}\sum_{i=1}^{K}\log_2|\mathbf{I}_M+\mathbf{H}_i\mathbf{Q}_i\mathbf{H}_i^H| - \sum_{i=1}^{K}\mu_i\left(\mathrm{tr}(\mathbf{Q}_i)-E_0-\sum_{j=1}^{i-1}\mathrm{tr}\left((\mathbf{G}_j^H\mathbf{G}_j-\mathbf{I}_{N_I})\mathbf{Q}_j\right)\right)$$

[0063]

[0064] 여기서, $\mu_i$ 는 C와 관련된 dual 변수를 나타낸다.

[0065] 그러면, dual function을 수학식 8과 같이 정의할 수 있다.

*수학식 8*

$$\mathrm{G}(\{\mu_i\}) = \max_{\{\mathbf{Q}_i\succeq 0\}}\mathrm{L}(\{\mathbf{Q}_i\},\{\mu_i\})$$

[0066]

[0067] 그리고, dual problem을 수학식 9와 같이 나타낼 수 있다.

*수학식 9*

$$\min_{\{\mu_i\geq 0\}}\mathrm{G}(\{\mu_i\})$$

[0068]

[0069] 이때, dual function을 최소화하는 최적의 dual 변수($\{\mu_i^\star\}$)를 찾을 수 있다.

[0070] 수학식 7은 수학식 10과 같이 다시 나타낼 수 있다.

*수학식 10*

$$L(\{\mathbf{Q}_i\},\{\mu_i\}) = \sum_{k=1}^{K}L_k(\mathbf{Q}_k,\{\mu_i\})$$

[0071]

[0072] 여기서, $L_k(\mathbf{Q}_k,\{\mu_i\}) = \frac{1}{K}\log_2|\mathbf{I}_M+\mathbf{H}_k\mathbf{Q}_k\mathbf{H}_k^H| - \mathrm{tr}(\mathbf{A}_k\mathbf{Q}_k), \quad \forall k$ 이며,

$\mathbf{A}_k \triangleq \sum_{i=k}^{K}\mu_i\mathbf{I}_{N_I} - \sum_{i=k+1}^{K}\mu_i\mathbf{G}_k^H\mathbf{G}_k$ 이다.

[0073] $L_k(\mathbf{Q}_k, \{\mu_i\})$는 함수 $\mathbf{Q}_k$이고, $k \neq j$에 대해 $\mathbf{Q}_j$는 독립적이므로, dual function은 K 독립 최적화 문제를 해결함으로써 확인될 수 있다.

[0074] 이를 수학식으로 나타내면, 수학식 11과 같다.

*수학식 11*

[0075] $$\max_{\mathbf{Q}_k \succeq 0} \frac{1}{K} \log_2 |\mathbf{I}_M + \mathbf{H}_k \mathbf{Q}_k \mathbf{H}_k^H| - \mathrm{tr}(\mathbf{A}_k \mathbf{Q}_k), \quad \forall k.$$

[0076] 수학식 11의 $\mathbf{A}_k$는 양의 한정 행렬(positive definite matrix)이다. 만일 $\mathbf{A}_k$가 양의 한정 행렬이 아니면, dual function은 무한대가 된다. 이러한 이유로, 듀얼 변수 $\mu_i$는 $\sum_{i=k}^{K} \mu_i > \sum_{i=k+1}^{K} \mu_i g_k$. 을 만족해야만 한다. 여기서, $g_k \triangleq \lambda_{\max}(\mathbf{G}_k^H \mathbf{G}_k)$이며, 행렬 X의 고유값의 최대치를 가지는 $\lambda_{\max}(\mathbf{X})$를 포함한다.

[0077] 이때, 수학식 11의 최적의 해답은 수학식 12에 의해 획득될 수 있다.

*수학식 12*

[0078] $$\mathbf{Q}_i^{\star} = \mathbf{A}_i^{-\frac{1}{2}} \tilde{\mathbf{V}}_i \mathbf{\Sigma}_i \tilde{\mathbf{V}}_i^H \mathbf{A}_i^{-\frac{1}{2}}, \ \forall i$$

[0079] 여기서, $\mathbf{A}_i \triangleq \sum_{i=k}^{K} \mu_i \mathbf{I}_{N_I} - \sum_{i=k+1}^{K} \mu_i \mathbf{G}_k^H \mathbf{G}_k$ 이며, $\tilde{\mathbf{V}}_i$는 $\mathbf{H}_i \mathbf{A}_i^{-\frac{1}{2}}$의 오른쪽 특이 벡터 행렬을 나타내며, $\tilde{p}_{i,l} = \left[\frac{1}{\log 2} - \frac{1}{\tilde{h}_{i,l}}\right]^+$ 이고, $\tilde{h}_{i,l}$는 $\mathbf{H}_i \mathbf{A}_i^{-\frac{1}{2}}$의 l번째 특이값을 나타낸다. 또한, 여기서, l은 1,.. , T이며, $\mathbf{\Sigma}_i \triangleq \mathrm{diag}(\tilde{p}_{i,1}, \cdots, \tilde{p}_{i,T})$는 $\tilde{p}_{k,l} = [1/\log 2 - 1/\tilde{h}_{k,l}]^+$를 포함하는 대각 행렬이며, $T = \min(M, N_I)$ 이다.

[0080] 수학식 12의 dual function을 계산한 후, $\mu_i \geq 0$이며, $\sum_{i=k}^{K} \mu_i > \sum_{i=k+1}^{K} \mu_i g_k$ 의 제약 아래 $\min_{\{\mu_i\}} g(\{\mu_i\})$에 대한 dual problem을 해결하는 것만 남아 있다.

[0081] $\mu_i$에 대한 dual function($g(\{\mu_i\})$)의 sub-gradient는 $E_0 - \mathrm{tr}(\mathbf{Q}_i^{\star}) + \sum_{j=1}^{i-1} \mathrm{tr}(\mathbf{G}_j \mathbf{Q}_j^{\star} \mathbf{G}_j^H) - \sum_{j=1}^{i-1} \mathrm{tr}(\mathbf{Q}_j^{\star})$로 계산될 수 있다.

[0082] 따라서, dual problem과 dual function을 수렴할 때까지 반복하여 구하면 수학식 6의 전역 최적의 값을 구할 수 있다.

[0083] 이에 대한 알고리즘은 도 2에 도시된 바와 같다.

[0084] 지금까지 송신 장치(110)에서 완벽하게 채널 상태를 알고 있는 경우에 대해 송신 장치에서 특정 시간 슬롯에서 전송하는 무선 신호의 전송률과 자기 에너지 재활용을 고려하여 전송 전력에 따른 합 전송률을 최대화할 수 있는 최적의 전송 공분산 행렬을 도출하는 방법에 대해 설명하였다.

[0085] 이하에서는 송신 장치(110)가 채널 상태 정보를 완전하게 알고 있는 않은 경우 송신 장치에서 특정 시간 슬롯에서 전송하는 무선 신호의 전송률과 자기 에너지 재활용을 고려하여 전송 전력에 따른 합 전송률을 최대화할 수 있는 최적의 전송 공분산 행렬을 도출하는 방법에 대해 설명하기로 한다.

[0086] Lemma 1: $\Pi_i$ 는 수확된 에너지( $\mathrm{tr}(\mathbf{G}_i\mathbf{Q}_i\mathbf{G}_i^H)$ )와 재활용된 에너지( $\mathrm{tr}(\mathbf{Q}_i)$ ) 사이의 차이와 같은 에너지 저장소에 저장된 에너지를 나타낸다.

[0087] 수학식 6은 수학식 13과 같이 나타낼 수 있다.

*수학식 13*

[0088]
$$\max_{\{\mathbf{Q}_i\succeq 0\},\{\Pi_i\}} \frac{1}{K}\sum_{i=1}^{K}\log_2\left|\mathbf{I}_M+\mathbf{H}_i\mathbf{Q}_i\mathbf{H}_i^H\right|$$

$$\text{s.t. } \mathrm{tr}(\mathbf{Q}_i)\le\sum_{j=0}^{i-1}\Pi_j,\ \forall i,$$

$$\mathrm{tr}\left(\left(\mathbf{G}_i^H\mathbf{G}_i-\mathbf{I}_{N_I}\right)\mathbf{Q}_i\right)\ge\Pi_i,\ \forall i,$$

$$\Pi_i\le\max\left[0,g_i-1\right]\sum_{j=0}^{i-1}\Pi_j,\ \forall i$$

[0089] 여기서, 여기서, $\Pi_0$ 는 송신 장치의 에너지 저장고(배터리)의 초기 에너지( $E_0$ )를 나타내며, $g_i$ 는 $\mathbf{G}_i^H\mathbf{G}_i$ 의 가장 큰 고유값을 나타낸다.

[0090] 이하, 이에 대해 증명하기로 한다.

[0091] 본 발명의 일 실시예에서는 모든 시간 슬롯에서 추정된 채널과 추정된 에러 경계(bound)는 송신 장치에서 이용 가능한 것을 가정하기로 한다. 더욱이, 실제 채널은 예측된 채널을 중심으로 하는 타원형일 수 있다. 따라서, i 번째 시간 슬롯 동안의 채널을 수학식 14와 같이 나타낼 수 있다.

*수학식 14*

[0092]
$$\mathbf{H}_i = \tilde{\mathbf{H}}_i + \mathbf{\Phi}_{H,i}$$
$$\mathbf{G}_i = \tilde{\mathbf{G}}_i + \mathbf{\Phi}_{G,i}$$

[0093] 여기서, $\tilde{\mathbf{H}}_i$ 와 $\tilde{\mathbf{G}}_i$ 는 i번째 시간 슬롯에서 추정한 채널이며, $\mathbf{\Phi}_{H,i}$ 와 $\mathbf{\Phi}_{G,i}$ 는 i번째 시간 슬롯에서 추정 오류를 나타낸다.

[0094] Ellipsoid model을 사용하여 $\mathbf{\Phi}_{H,i}$ 와 $\mathbf{\Phi}_{G,i}$ 의 집합들( $\{\Omega_{H,i}\}, \{\Omega_{G,i}\}$ )을 각각 수학식 15와 같이 나타낼 수 있다.

*수학식 15*

[0095]
$$\Omega_{H,i} = \left\{ \mathbf{\Phi}_{H,i} : \left\| \mathbf{\Phi}_{H,i} \right\|_F^2 \le \varepsilon_{H,i}^2 \right\}$$
$$\Omega_{G,i} = \left\{ \mathbf{\Phi}_{G,i} : \left\| \mathbf{\Phi}_{G,i} \right\|_F^2 \le \varepsilon_{G,i}^2 \right\}$$

[0096] 여기서, $\varepsilon_{H,i}^2$ 와 $\varepsilon_{G,i}^2$ 는 $\tilde{\mathbf{H}}_i$ 와 $\tilde{\mathbf{G}}_i$ 의 오류 경계를 각각 나타낸다.

[0097] 이때, 추정 오류에 강한 합 전송률을 최대화하는 공분산 행렬을 구하는 문제를 수학식 16과 같이 나타낼 수 있다.

*수학식 16*

[0098]
$$\max_{\{\mathbf{Q}_i \succeq 0\},\{\Pi_i\}} \min_{\|\Phi_{H,i}\|_F \le \varepsilon_{H,i}} \sum_{i=1}^{K} \log_2 \left| \mathbf{I}_M + \mathbf{H}_i \mathbf{Q}_i \mathbf{H}_i^H \right|$$

$$\text{s.t. } \mathrm{tr}(\mathbf{Q}_i) \le \sum_{j=0}^{i-1} \Pi_j, \ \forall i,$$

$$\min_{\|\Phi_{G,i}\|_F \le \varepsilon_{G,i}} \mathrm{tr}\left( \left( \mathbf{G}_i^H \mathbf{G}_i - \mathbf{I}_{N_I} \right) \mathbf{Q}_i \right) \ge \Pi_i, \ \forall i,$$

$$\Pi_i \le \min_{\|\Phi_{G,i}\|_F \le \varepsilon_{G,i}} \max\left[0, g_i - 1\right] \sum_{j=0}^{i-1} \Pi_j, \ \forall i$$

[0099] 수학식 14를 효과적으로 풀기 위해 하계를 수학식 17와 같이 표현할 수 있다.

*수학식 17*

[0100]
$$\left| \mathbf{I}_M + \mathbf{H}_i \mathbf{Q}_i \mathbf{H}_i^H \right| \ge 1 + \mathrm{tr}\left( \mathbf{H}_i \mathbf{Q}_i \mathbf{H}_i^H \right)$$

[0101] 수학식 17의 하계는 $\mathrm{rank}\left( \mathbf{H}_i \mathbf{Q}_i \mathbf{H}_i^H \right) \le 1$ 일 때, 등식이 성립한다. 수학식 17의 경계는 낮은 $E_0$내에서 좁혀질 수 있다.

[0102] 따라서, epigraph formulation을 사용하여 수학식 16은 수학식 18과 같이 다시 정리될 수 있다.

*수학식 18*

[0103]
$$\max_{\{\mathbf{Q}_i \succeq 0\},\{t_i \geq 0\},\{\Pi_i\}} \sum_{i=1}^{K} \log_2\left(1+t_i\right)$$
$$\text{s.t. } \mathrm{tr}\left(\mathbf{Q}_i\right) \leq \sum_{j=0}^{i-1} \Pi_j, \ \forall i,$$
$$\min_{\|\Phi_{G,i}\|_F \leq \varepsilon_{G,i}} \mathrm{tr}\left(\left(\mathbf{G}_i^H \mathbf{G}_i - \mathbf{I}_{N_I}\right)\mathbf{Q}_i\right) \geq \Pi_i, \ \forall i,$$
$$\min_{\|\Phi_{H,i}\|_F \leq \varepsilon_{H,i}} \mathrm{tr}\left(\mathbf{H}_i \mathbf{Q}_i \mathbf{H}_i^H\right) \geq t_i, \ \forall i,$$
$$\Pi_i \leq \min_{\|\Phi_{G,i}\|_F \leq \varepsilon_{G,i}} \max\left[0, g_i - 1\right] \sum_{j=0}^{i-1} \Pi_j, \ \forall i$$

[0104] 여기서, $t_i$ 는 epigraph formulation을 위해 도입되었다.

[0105] 제약 내에 있는 에러 행렬( $\Phi_{G,i}$ , $\Phi_{H,i}$ )의 최소 작동(minimum operation)으로 인해 수학식 18을 해결하는 것은 여전히 쉽지 않다. 따라서, S-procedure 기법을 이용하기로 한다.

[0106] Lemma2: $f_k(x)$ 는 다음과 같이 정의 될 수 있다.

[0107] $f_k(\mathbf{x}) = \mathbf{x}^H \mathbf{A}_k \mathbf{x} + 2\mathrm{Re}\{\mathbf{b}_k^H \mathbf{x}\} + c_k$ , 여기서, $k = 1 \text{ and } 2$ 이며, $\mathbf{A}_k \in \mathbb{C}^{m \times n}$ 는 Hermitian 행렬을 나타내며, $\mathbf{b}_k \in \mathbb{C}^{n \times 1}$ 는 컬럼 벡터를 나타내며, $c_k$ 는 실수 스칼라이다. 여기에, $f_k(\mathbf{x}) \geq 0$ 부등식을 만족하는 일부 x가 존재한다고 가정하기로 한다.

[0108] 만일 $\begin{bmatrix} \mathbf{A}_2 & \mathbf{b}_2 \\ \mathbf{b}_2^H & c_2 \end{bmatrix} - \mu \begin{bmatrix} \mathbf{A}_1 & \mathbf{b}_1 \\ \mathbf{b}_1^H & c_1 \end{bmatrix} \succeq 0$ 과 같은 음이 아닌 수 $\mu$ 가 존재하는 경우, $f_1(\mathbf{x}) \geq 0 \Rightarrow f_2(\mathbf{x}) \geq 0$ 는 성립한다.

[0109] 수학식 18에서의 제약은 수학식 19와 같이 나타낼 수 있다.

*수학식 19*

$$\begin{aligned}&\mathbf{e}_{G,i}^H\tilde{\mathbf{Q}}_i\mathbf{e}_{G,i}+2\mathrm{Re}\{\mathbf{g}_i^H\tilde{\mathbf{Q}}_i\mathbf{e}_{G,i}\}+\mathbf{g}_i^H\tilde{\mathbf{Q}}_i\mathbf{g}_i\\&\qquad-\mathrm{vec}(\mathbf{I}_M)^T\mathrm{vec}(\mathbf{Q}_i)\geq\Pi_i,\\&\mathbf{e}_{G,i}^H\mathbf{e}_{G,i}\leq\varepsilon_{G,i}^2,\end{aligned}$$

[0110]

[0111] 여기서, $\mathbf{e}_{G,i}\triangleq\mathrm{vec}(\mathbf{\Phi}_{G,i})$, $\tilde{\mathbf{Q}}_i\triangleq\mathbf{Q}_i^T\otimes\mathbf{I}$, $\mathbf{g}_i\triangleq\mathrm{vec}(\tilde{\mathbf{G}}_i)$, 이며, $\mathrm{Re}\{a\}$는 $a$의 실수에 대한 설명을 나타낸다. 수학식 19의 제약은 $\mathbf{e}_{H,i}^H\tilde{\mathbf{Q}}_i\mathbf{e}_{H,i}+2\mathrm{Re}\{\mathbf{h}_i^H\tilde{\mathbf{Q}}_i\mathbf{e}_{H,i}\}+\mathbf{h}_i^H\tilde{\mathbf{Q}}_i\mathbf{h}_i\geq t_i,$ $\mathbf{e}_{H,i}^H\mathbf{e}_{H,i}\leq\varepsilon_{H,i}^2,$ 과 같이 다시 작성될 수 있다.

[0112] 여기서, $\mathbf{e}_{H,i}\triangleq\mathrm{vec}(\mathbf{\Phi}_{H,i})$ 이고, $\mathbf{h}_i\triangleq\mathrm{vec}(\tilde{\mathbf{H}}_i)$ 이다. 따라서, 수학식 19에 포함된 제약은 수학식 20과 같이 계산될 수 있다.

*수학식 20*

$$\begin{aligned}&\min_{\|\mathbf{\Phi}_{G,i}\|_F\leq\varepsilon_{G,i}}\lambda_{\max}\left((\tilde{\mathbf{G}}_i+\mathbf{\Phi}_{G,i})^H(\tilde{\mathbf{G}}_i+\mathbf{\Phi}_{G,i})\right)\\&\qquad=\tilde{g}_i-\varepsilon_{G,i},\end{aligned}$$

[0113]

[0114] 여기서, $\tilde{g}_i\triangleq\lambda_{\max}(\tilde{\mathbf{G}}_i^H\tilde{\mathbf{G}}_i)$ 이며, 수학식 20은 최대 특이 값(maximum singular value)에 해당하는 $\mathbf{G}_i$의 좌우 특이 벡터와 같은 $\mathbf{u}_{i,1}$ 과 $\mathbf{v}_{i,1}$ 을 가지는 $\mathbf{\Phi}_{G,i}=-\varepsilon_{G,i}\mathbf{u}_{i,1}\mathbf{v}_{i,1}^H$ 을 설정함으로써 획득될 수 있다.

[0115] 이들 결과를 조합하여, 로버스트 최적화 문제인 수학식 16은 수학식 15와 같이 나타낼 수 있다.

*수학식 21*

$$
\begin{aligned}
&\max_{\substack{\{t_i\},\{\gamma_i\},\{\nu_i\},\\ \{\mathbf{Q}_i\succeq 0\},\{\Pi_i\}}} \sum_{i=1}^{K}\log_2(1+t_i)\\
&s.t.\ \ \mathrm{tr}(\mathbf{Q}_i)\le\sum_{j=0}^{i-1}\Pi_j,\quad \forall i,\\
&\begin{bmatrix}\gamma_i\mathbf{I}+\tilde{\mathbf{Q}}_i & \tilde{\mathbf{Q}}_i\mathbf{g}_i\\ \mathbf{g}_i^H\tilde{\mathbf{Q}}_i & -\gamma_i\varepsilon_{G,i}^2-\Pi_i+\mathbf{g}_i^H\tilde{\mathbf{Q}}_i\mathbf{g}_i-q_i\end{bmatrix}\succeq 0,\quad \forall i,\\
&\begin{bmatrix}\nu_i\mathbf{I}+\tilde{\mathbf{Q}}_i & \tilde{\mathbf{Q}}_i\mathbf{h}_i\\ \mathbf{h}_i^H\tilde{\mathbf{Q}}_i & -\nu_i\varepsilon_{H,i}^2-t_i+\mathbf{h}_i^H\tilde{\mathbf{Q}}_i\mathbf{h}_i\end{bmatrix}\succeq 0,\quad \forall i,\\
&\Pi_i\le(\tilde{g}_i-\varepsilon_{G,i}-1)^+\cdot\sum_{j=0}^{i-1}\Pi_j,\quad \forall i,\\
&\gamma_i\ge 0,\quad \nu_i\ge 0,\quad t_i\ge 0,\quad \forall i,
\end{aligned}
$$

[0116]

[0117] 여기서, $q_i \triangleq \mathrm{vec}(\mathbf{I})^T\mathrm{vec}(\mathbf{Q}_i)$ 이며, 여기서, $\tilde{\mathbf{Q}}_{G,i}=\mathbf{Q}_i^T\otimes\mathbf{I}_{N_E}$ 이며, $\tilde{\mathbf{Q}}_{H,i}=\mathbf{Q}_i^T\otimes\mathbf{I}_M$ 이고, $\mathbf{g}_i=\mathrm{vec}\left(\tilde{\mathbf{G}}_i\right)$ 이며, $\mathbf{h}_i=\mathrm{vec}\left(\tilde{\mathbf{H}}_i\right)$ 이다.

[0118] 수학식 21의 경우 볼록(convex) 문제이므로, 컨벡스 솔버를 통해 최적의 공분산 행렬들을 찾을 수 있다.

[0119] 도 1을 참조하여, 송신 장치(110)에서 채널 상태 정보를 완전하게 알고 있는 경우와 불완전하게 알고 있는 경우를 구분하여 합 전송률을 최대화할 수 있는 최적의 공분산 행렬을 도출하는 방법에 대해 설명하였다.

[0120] 송신 장치(110)는 도 1에서 설명한 바에 따라 도출된 최적의 전송 공분산 행렬을 이용하여 복수의 안테나 중 일부를 이용하여 무선 신호를 전송할 수 있다.

[0122] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 송신 장치의 내부 구성을 개략적으로 도시한 블록도이다.

[0123] 도 3을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 송신 장치(110)는 복수의 안테나(310), 송신부(315), 에너지 수확부(320), 에너지 저장소(322), 메모리(325) 및 프로세서(330)를 포함하여 구성된다.

[0124] 복수의 안테나(310)는 무선 신호를 송신하거나 수신하기 위해 이용된다.

[0125] 또한, 도 1에서 설명한 바와 같이, 복수의 안테나 중 일부는 무선 신호를 송신하는데 이용되며, 나머지 안테나는 무선 신호 송신에 이용되지 않을 수 있다. 즉, 일부 안테나는 무선 신호 송신을 위해 이용되며, 나머지 일부 안테나는 무선 신호에 따른 에너지를 수확하는데 이용될 수 있다.

[0126] 송신부(315)는 무선 신호를 송신하기 위한 수단이다.

[0127] 송신부(315)는 복수의 안테나 중 일부 안테나를 이용하여 채널(H)을 통해 무선 신호를 수신단(수신 장치(120))로 송신할 수 있다.

[0128] 송신부(315)에서 복수의 안테나 중 일부를 이용하여 무선 신호를 수신단으로 송신하는 방법 자체는 이미 당업자에게는 자명한 사항이므로 이에 대한 별도의 설명은 생략하기로 한다.

[0129] 다만, 본 발명의 일 실시예에 따른 송신부(315)는 복수의 안테나 중 일부를 이용하여 무선 신호를 송신함에 있어, 각 시간 슬롯에서 복수의 안테나 중 일부를 이용하여 무선 신호를 수신측으로 전송하는 전송률과 에너지 재활용에 따른 각 시간 슬롯에서의 전송 에너지 제약을 고려하여 전송 전력에 따른 합 전송률을 최대화할 수 있는 전송 공분산 행렬을 도출한 후 이를 이용하여 무선 신호를 송신할 수 있다.

[0130] 이는 이미 도 1에서 설명한 바와 동일하므로 중복되는 설명은 생략하기로 한다.

[0131] 에너지 수확부(320)는 복수의 안테나 중 송신에 이용되지 않는 나머지 안테나를 이용하여 자기회귀채널을 통해 무선 신호를 수확하여 에너지로 변환한 후 에너지 저장소에 저장하기 위한 수단이다.

[0132] 에너지 저장소(322)는 에너지를 저장하기 위한 수단이다. 예를 들어, 에너지 저장소(322)는 배터리일 수 있다. 에너지 저장소(322)는 에너지 수확부(320)에 의해 수확된 에너지를 저장할 수 있다.

[0133] 메모리(325)는 다중 안테나 송신 장치에서 자기 에너지 재활용을 고려하여 최적의 합 전송률을 가지도록 정보를 전송할 수 있는 방법을 수행하기 위한 다양한 명령어, 이 과정에서 파생되는 다양한 데이터 등을 저장하기 위한 수단이다.

[0134] 프로세서(330)는 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 안테나 송신 장치(110)의 내부 구성 요소들(예를 들어, 복수의 안테나(310), 송신부(315), 에너지 수확부(320), 에너지 저장소(322), 메모리(325) 등)을 제어하기 위한 수단이다.

[0135] 또한, 프로세서(330)는 에너지 수확부(320)를 통해 수확된 에너지를 무선 신호 송신에 재이용되도록 제어할 수도 있다.

[0136] 또한, 프로세서(330)는 각 시간 슬롯에서 복수의 안테나 중 일부를 이용하여 무선 신호를 수신측으로 전송하는 전송률과 에너지 재활용에 따른 각 시간 슬롯에서의 전송 에너지 제약을 고려하여 전송 전력에 따른 합 전송률을 최대화할 수 있는 전송 공분산 행렬을 도출하도록 제어할 수도 있다.

[0138] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 안테나 송신 장치에서의 무선 신호 송신 방법을 나타낸 순서도이다. 이미 전술한 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 안테나 송신 장치는 복수의 안테나 중 일부를 이용하여 무선 신호를 송신하고, 나머지 일부를 이용하여 무선 신호를 수신하여 에너지로 수확할 수 있다.

[0139] 단계 410에서 다중 안테나 송신 장치(110)는 각 시간 슬롯에서 복수의 안테나 중 일부를 이용하여 무선 신호를 수신측으로 전송하는 전송률과 에너지 재활용에 따른 각 시간 슬롯에서의 전송 에너지 제약을 고려하여 전송 전력에 따른 합 전송률을 최대화할 수 있는 전송 공분산 행렬을 도출한다.

[0140] 이는 도 1을 참조하여 설명한 바와 동일하므로 중복되는 설명은 생략하기로 한다.

[0141] 이어, 단계 415에서 다중 안테나 송신 장치(110)는 도출된 전송 공분산 행렬을 이용하여 특정 시간 슬롯에서 복수의 안테나 중 일부를 이용하여 무선 신호를 수신측으로 전송한다. 이와 동시에 다중 안테나 송신 장치(110)는 복수의 무선 안테나 중 나머지를 이용하여 무선 신호를 에너지로 수확하여 에너지 저장소에 저장할 수 있다.

[0142] 도 5는 종래와 본 발명의 일 실시예에 따른 송신 장치에서 완벽한 채널 상태 정보를 알고 있는 경우 전송 전력에 따른 합 전송률을 나타낸 그래프이며, 도 6은 종래와 본 발명의 일 실시예에 따른 송신 장치에서 불완전한 채널 상태 정보를 알고 있는 경우 전송 전력에 따른 합 전송률을 나타낸 그래프이다.

[0143] 도 5 및 도 6에서 Rayleigh fading의 평균 경로 손실은 60dB, Rician fading의 K factor는 5dB이고 평균 경로 손실은 10dB이며, 잡음 분산은 -60dBm이다. 도 5에서 EH를 고려하지 않고 공분산 행렬을 최적화한 것을 Water-filling으로 표기 하였으며, 자기 에너지 재활용을 하지 않는 시스템을 Without ER로 표기하였다. 종래의 공분산 행렬 최적화 기법과 자기 에너지 재활용을 하지 않는 시스템과 비교를 했을 때, 제안한 기법이 항상 합 전송량이 높음을 확인 할 수 있다.

[0144] 도 6에서는 $N_I = N_E = 6$, $M = 1$, $K = 6$, $\epsilon_{Gi} = \epsilon_{Hi} = \epsilon = 0.1, 0.2, 0.3$ 즉, 송신 장치에서 불완전한 채널 상태 정보를 알고 있을 때, 송신 장치에서 사용하는 전송 전력에 따른 합 전송률 그래프이다. 송신 장치에서 채널 상태 정보를 완벽히 알고 있지 않음에도 불구하고 종래의 공분산 행렬 최적화 기법과 자기 에너지 재활용을 하지 않은 시스템과 비교 했을 때, 더 우수한 합 전송량을 가짐을 확인 할 수 있다.

[0146] 상술한 본 발명에 따른 다중안테나 송신 장치에서의 에너지 수확 방법은 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록 매체에 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드로서 구현되는 것이 가능하다. 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록매체로는 컴퓨터 시스템에

의하여 해독될 수 있는 데이터가 저장된 모든 종류의 기록 매체를 포함한다. 예를 들어, ROM(Read Only Memory), RAM(Random Access Memory), 자기 테이프, 자기 디스크, 플래쉬 메모리, 광 데이터 저장장치 등이 있을 수 있다. 또한, 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록매체는 컴퓨터 통신망으로 연결된 컴퓨터 시스템에 분산되어, 분산방식으로 읽을 수 있는 코드로서 저장되고 실행될 수 있다.

[0147] 이상에서는 본 발명의 실시예를 참조하여 설명하였지만, 해당 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 하기의 특허 청구의 범위에 기재된 본 발명의 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명을 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있음을 쉽게 이해할 수 있을 것이다.

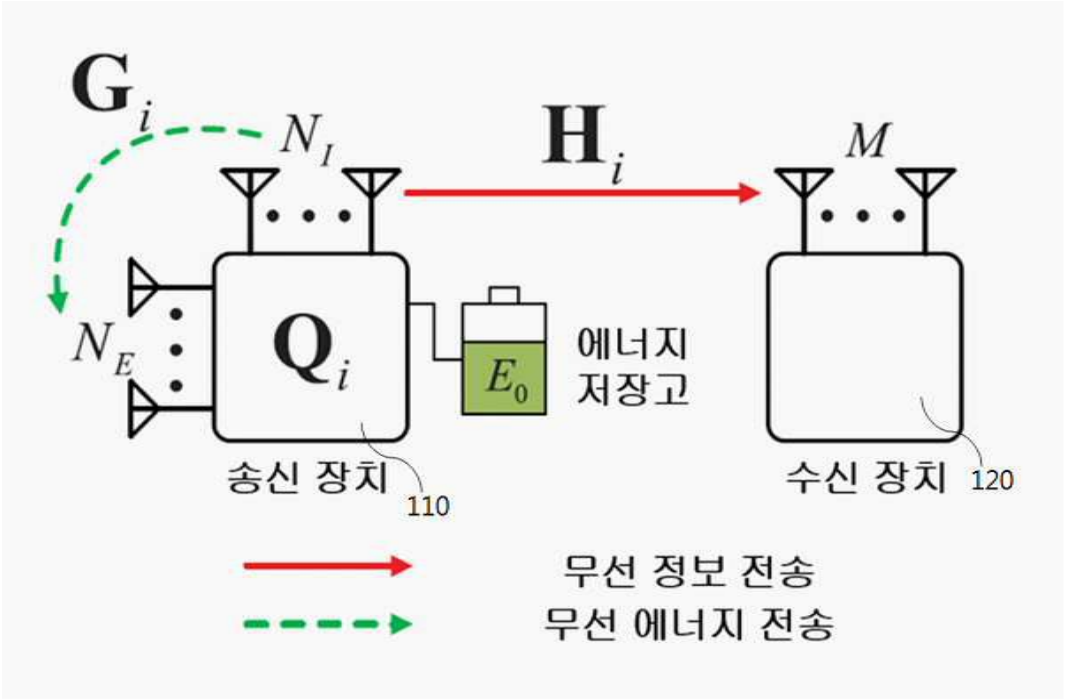
## 부호의 설명

[0149] 110: 송신 장치

120: 수신 장치

## 도면

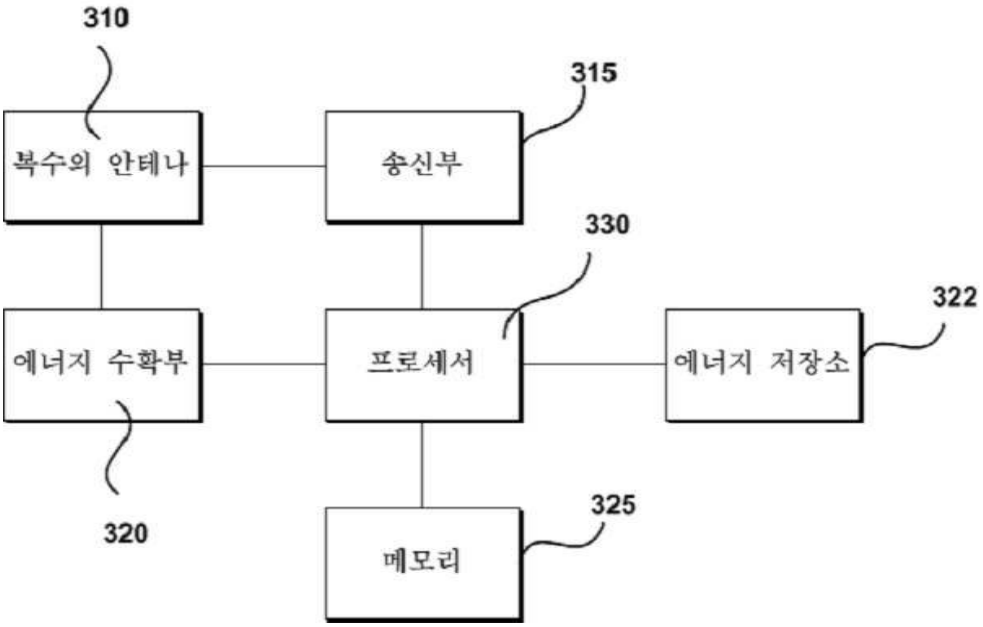
### 도면1



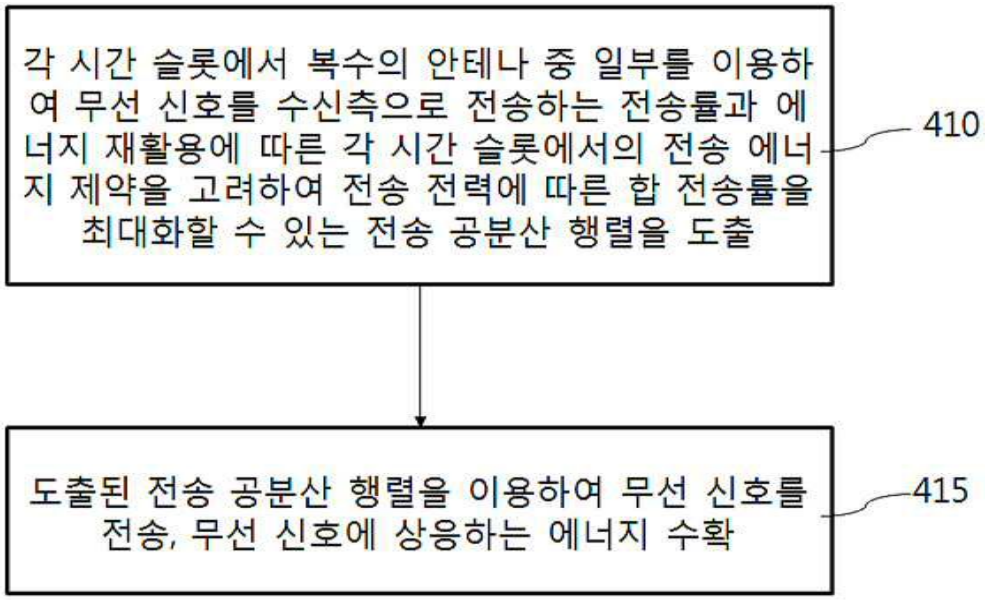

### 도면2

Initialize $\mu_i \geq 0$ for $i = 1, \cdots, K$.
Repeat
Compute $\mathbf{Q}_k^{\star} = \mathbf{A}_k^{-1/2}\tilde{\mathbf{V}}_k\Sigma_k\tilde{\mathbf{V}}_k^H\mathbf{A}_k^{-1/2}$ with given $\{\mu_i\}$.
Compute the subgradient of the dual function $g(\{\mu_i\})$.
Update $\{\mu_i\}$ using the ellipsoid method.
Until $\{\mu_i\}$ converge to the prescribed accuracy

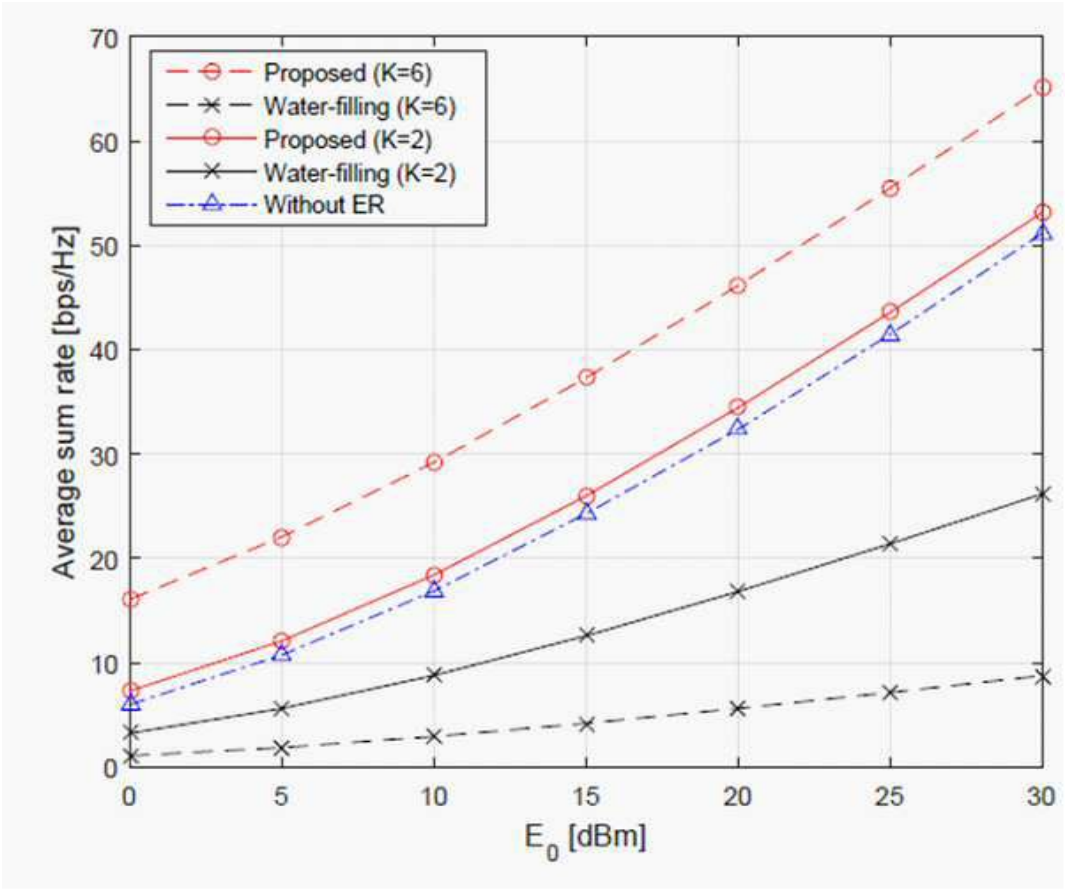
도면3


310
315
복수의 안테나
송신부
330
322
에너지 수확부
프로세서
에너지 저장소
320
325
메모리

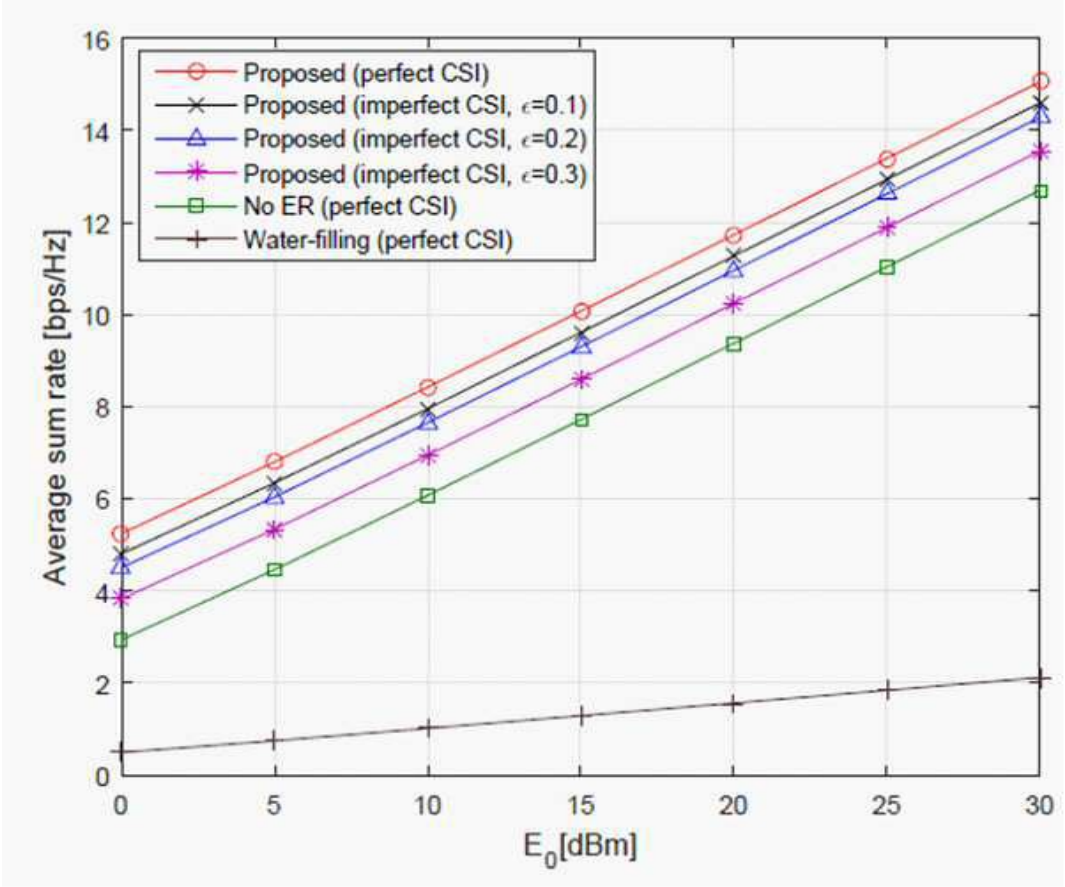
도면4


각 시간 슬롯에서 복수의 안테나 중 일부를 이용하여 무선 신호를 수신측으로 전송하는 전송률과 에너지 재활용에 따른 각 시간 슬롯에서의 전송 에너지 제약을 고려하여 전송 전력에 따른 합 전송률을 최대화할 수 있는 전송 공분산 행렬을 도출
410
도출된 전송 공분산 행렬을 이용하여 무선 신호를 전송, 무선 신호에 상응하는 에너지 수확
415

도면5


Proposed (K=6)
Water-filling (K=6)
Proposed (K=2)
Water-filling (K=2)
Without ER
Average sum rate [bps/Hz]
E0 [dBm]
0
10
20
30
40
50
60
70
0
5
10
15
20
25
30

도면6


Proposed (perfect CSI)
Proposed (imperfect CSI, ϵ=0.1)
Proposed (imperfect CSI, ϵ=0.2)
Proposed (imperfect CSI, ϵ=0.3)
No ER (perfect CSI)
Water-filling (perfect CSI)
Average sum rate [bps/Hz]
E0[dBm]
0
2
4
6
8
10
12
14
16
0
5
10
15
20
25
30