



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2015-0047195

(43) 공개일자 2015년05월04일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H04B 7/14 (2006.01) H04B 7/005 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2013-0126955

(22) 출원일자 2013년10월24일

심사청구일자 2013년10월24일

(71) 출원인

고려대학교 산학협력단

서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)

(72) 발명자

이인규

서울 강남구 선릉로 221, 302동 404호 (도곡동, 도곡렉슬아파트)

최현주

경기 성남시 분당구 불정로 195, 609동 101호 (정자동, 정든마을우성6단지아파트)

(74) 대리인

송인호, 민영준, 최관락

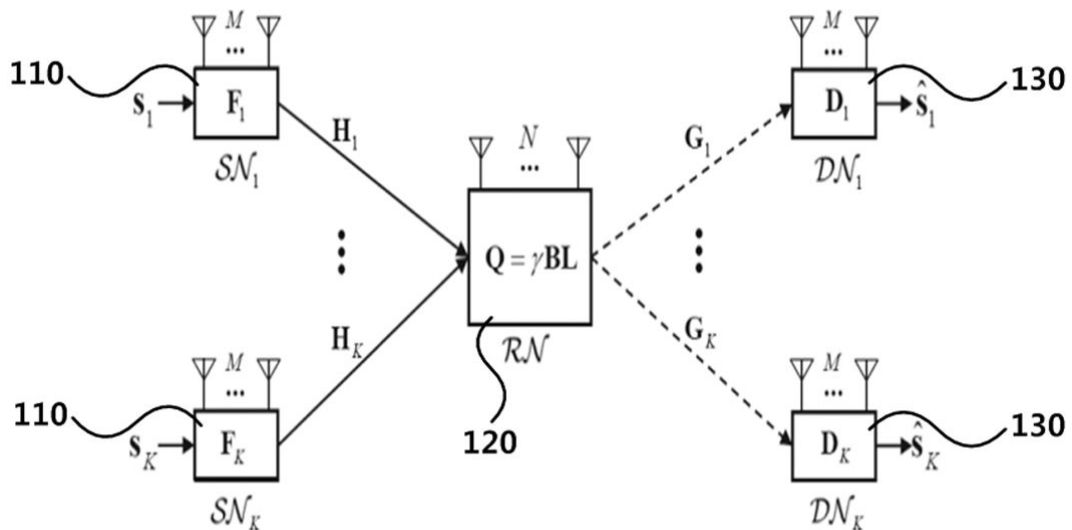
전체 청구항 수 : 총 15 항

(54) 발명의 명칭 중계 장치 및 중계 필터 결정 방법

(57) 요약

중계기 및 중계필터 결정 방법이 개시된다. 중계기의 중계필터를 결정하는 방법은 송신필터 및 가상 송신 필터를 설정하는 단계; 전력 제한 조건을 이용하여 상기 송신필터 및 상기 가상 송신 필터를 결정하는 단계; 및 상기 결정된 가상 송신 필터를 이용하여 중계기의 중계필터를 결정하는 단계를 포함한다. 이에 따라 송신기 및 수신기 각 쌍별 MSE를 최적화할 수 있다.

대표도 - 도1



명세서

청구범위

청구항 1

송신필터 및 가상 송신 필터를 설정하는 단계;

전력 제한 조건을 이용하여 상기 송신필터 및 상기 가상 송신 필터를 결정하는 단계; 및

상기 결정된 가상 송신 필터를 이용하여 중계기의 중계필터를 결정하는 단계를 포함하는 중계 필터 결정 방법.

청구항 2

제1 항에 있어서,

상기 가상 송신 필터는 듀얼 맥(dual MAC)에서의 송신필터인 것을 특징으로 하는 중계 필터 결정 방법.

청구항 3

제1 항에 있어서,

상기 (a) 단계는, 송신기 및 수신기 각 쌍(pairwise)에 대응하는 송신필터 및 가상 송신 필터를 설정하는 단계인 것을 특징으로 하는 중계 필터 결정 방법.

청구항 4

제1 항에 있어서,

상기 (b) 단계는,

상기 송신필터의 벡터값과 상기 가상 송신필터의 벡터값이 상기 전력제한의 제공된 이하인 벡터값들 중 최소인 벡터값에 해당하는 송신필터 및 가상 송신필터를 최종 송신필터 및 가상 송신필터로 결정하는 것을 특징으로 하는 중계 필터 결정 방법.

청구항 5

제1 항에 있어서,

상기 송신필터 및 상기 가상 송신필터에 적용되는 전력제한조건은 각각 상이한 것을 특징으로 하는 중계 필터 결정 방법.

청구항 6

제5 항에 있어서,

상기 송신필터의 전력제한조건은 송신기의 최대 송신 파워이고,

상기 가상 송신필터의 전력제한조건은 중계기의 최대 송신 파워인 것을 특징으로 하는 중계 필터 결정 방법.

청구항 7

제1 항에 있어서,

상기 (b) 단계에서, 상기 송신필터 및 상기 가상 송신필터는 하기 수식을 만족하도록 결정되는 것을 특징으로 하는 중계 필터 결정 방법.

$$\begin{aligned} & \min_{\mathbf{F}_k, \mathbf{M}_k, t} t \\ & \text{s.t.} \quad \left\| \begin{bmatrix} \mathbf{v}_k^{MAC} \\ \mathbf{v}_k^{D-MAC} \end{bmatrix} \right\| \leq t, \forall k \\ & \quad \|\text{vec}(\mathbf{F}_k)\| \leq \sqrt{P_{S_k}}, \forall k \\ & \quad \|\text{vec}(\mathbf{M})\| \leq \sqrt{P_R}. \end{aligned}$$

여기서, $\mathbf{F}_k$ 는 송신필터를 나타내고, $\mathbf{M}_k$ 는 가상 송신필터를 나타내며, P_{S_k} 는 송신기의 최대 송신 파워를 나타내고, P_R 는 중계기의 최대 송신 파워를 나타냄.

청구항 8

제1 항에 있어서, 상기 (b) 단계 이전에,

송신기와 상기 중계기 및 상기 중계기와 수신기간의 채널 상태를 이용하여 제1 수신필터 및 제2 수신필터를 각각 결정하는 단계를 더 포함하는 중계 필터 결정 방법.

청구항 9

제8 항에 있어서,

상기 제1 수신필터($\mathbf{L}_k$) 및 상기 제2 수신필터($\mathbf{W}_k$)는 하기 수식을 이용하여 결정되는 것을 특징으로 하는 중계 필터 결정 방법.

$$\mathbf{L}_k = (\mathbf{F}^H \mathbf{H}^H \mathbf{H} \mathbf{F} + \sigma_R^2 \mathbf{I}_{L,K})^{-1} \mathbf{F}_k^H \mathbf{H}_k^H$$

$$\mathbf{W}_k = (\mathbf{M}^H \mathbf{G} \mathbf{G}^H \mathbf{M} + \sigma_D^2 \mathbf{I}_{L,K})^{-1} \mathbf{M}_k^H \mathbf{G}_k^H$$

여기서, $\mathbf{F}$ 는 송신필터를 나타내고, $\mathbf{H}$ 는 제1 타임슬롯에 대한 채널 매트릭스를 나타내며, $\mathbf{M}$ 는 가상송신필터를 나타내고, $\mathbf{G}$ 는 제2 타임슬롯에 대한 채널 매트릭스를 나타냄.

청구항 10

제1 항 내지 제9 항 중 어느 하나의 항에 따른 방법을 수행하기 위한 프로그램 코드를 기록한 기록매체 제품.

청구항 11

송신필터 및 가상 송신 필터를 설정하는 설정부;

전력 제한 조건을 이용하여 상기 송신필터 및 상기 가상 송신 필터를 송신필터 결정부; 및

상기 결정된 가상 송신 필터를 이용하여 중계기의 중계필터를 결정하는 중계필터 결정부를 포함하는 중계 장치.

청구항 12

제11 항에 있어서,

상기 송신필터 결정부는,

상기 송신필터의 벡터값과 상기 가상 송신필터의 벡터값이 상기 전력제한의 제공근 이하를 만족하는 벡터값들 중 최소인 벡터값에 해당하는 송신필터 및 가상 송신필터를 최종 송신필터 및 가상 송신필터를 결정하는 것을 특징으로 하는 중계 장치.

청구항 13

제12 항에 있어서,

상기 송신필터 및 상기 가상 송신필터는 복수개의 송신기 및 수신기 중 각 쌍(pairwise)에 대한 송신필터 및 가상 송신필터인 것을 특징으로 하는 중계 장치.

청구항 14

제12 항에 있어서,

상기 송신필터 결정부는,

상기 송신필터 및 상기 가상 송신필터를 각각 독립적으로 결정하는 것을 특징으로 하는 중계 장치.

청구항 15

제12 항에 있어서,

송신기와 상기 중계 장치간의 채널 정보 및 수신기와 상기 중계 장치간의 채널 정보를 이용하여 각각의 수신필터를 결정하는 수신필터 결정부를 더 포함하는 중계 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 중계기에 관한 것으로, 보다 상세하게 송신기 및 수신기 쌍의 QoS(Quality of service)를 보장할 수 있는 송수신 필터 및 중계기의 필터 결정 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 송신기 신호를 수신기로 재전송하는 중계기는 무선통신거리 증대뿐만 아니라 통신 품질 향상을 꾀할 수 있어 최근 무선통신 시스템에 중요한 부분으로 자리잡고 있다. 이와 더불어 다중 송수신 안테나를 사용하는 다중송수신(MIMO: multiple-input multiple-output) 기술을 중계 기술에 도입하기 위한 연구가 매우 활발하게 진행되고 있다.

[0003] 그러나, 다중 송/수신기 쌍이 있는 중계기 기술의 경우, 종래에는 각각의 쌍들의 QoS를 보장하는 중계기 필터 설계시 단일 데이터 신호만을 고려하거나 다중 데이터 신호를 고려하는 경우 송신기 및 수신기 각 쌍에 대한 QoS를 보장하지 못하는 문제점이 있었다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 본 발명은 다중 송/수신기 쌍(pairwise)이 있는 무선통신 시스템에서 각각의 쌍에 대한 QoS를 보장하면서 MSE 밸런싱 문제를 최적화할 수 있는 송수신 필터 및 중계기 필터 결정 방법을 제공하기 위한 것이다.

[0005] 또한, 본 발명은 종래에 비해 각 타임 슬롯(time slot)에 따라 요구되는 채널 상태 정보로 인한 오버헤드 복잡도를 낮추며 다중 송/수신기 쌍(pairwise)에 대한 MSE 밸런싱 문제를 최적화할 수 있는 송수신 필터 및 중계기 필터 결정 방법을 제공하기 위한 것이다.

과제의 해결 수단

[0006] 본 발명의 일 측면에 따르면, 다중 송/수신기 쌍(pairwise)이 있는 무선통신 시스템에서 각각의 쌍에 대한 QoS를 보장하면서 MSE 밸런싱 문제를 최적화할 수 있는 송수신 필터 및 중계기 필터 결정 방법이 제공된다.

[0007] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 송신필터 및 가상 송신 필터를 설정하는 단계; 전력 제한 조건을 이용하여 상기 송신필터 및 상기 가상 송신 필터를 결정하는 단계; 및 상기 결정된 가상 송신 필터를 이용하여 중계기의 중계 필터를 결정하는 단계를 포함하는 중계 필터 결정 방법이 제공될 수 있다.

[0008] 상기 가상 송신 필터는 듀얼 맥(dual MAC)에서의 송신필터이되,

[0009] 상기 (a) 단계는, 송신기 및 수신기 각 쌍(pairwise)에 대응하는 송신필터 및 가상 송신 필터를 설정하는 단계

일 수 있다.

[0010] 상기 (b) 단계는, 상기 송신필터의 벡터값과 상기 가상 송신필터의 벡터값이 상기 전력제한의 제공근 이하인 벡터값들 중 최소인 벡터값에 해당하는 송신필터 및 가상 송신필터를 최종 송신필터 및 가상 송신필터로 결정할 수 있다.

[0011] 상기 송신필터 및 상기 가상 송신필터에 적용되는 전력제한조건은 각각 상이할 수 있다.

[0012] 상기 송신필터의 전력제한조건은 송신기의 최대 송신 파워이고, 상기 가상 송신필터의 전력제한조건은 중계기의 최대 송신 파워일 수 있다.

[0013] 상기 (b) 단계에서, 상기 송신필터 및 상기 가상 송신필터는 하기 수식을 만족하도록 결정되되,

$$\begin{aligned} & \min_{\mathbf{F}_k, \mathbf{M}_k, t} t \\ & \text{s.t.} \quad \left\| \begin{bmatrix} \mathbf{v}_k^{MAC} \\ \mathbf{v}_k^{D-MAC} \end{bmatrix} \right\| \leq t, \forall k \\ & \quad \|\text{vec}(\mathbf{F}_k)\| \leq \sqrt{P_{S_k}}, \forall k \\ & \quad \|\text{vec}(\mathbf{M})\| \leq \sqrt{P_R}. \end{aligned}$$

[0014]

[0015] 여기서, $\mathbf{F}_k$ 는 송신필터를 나타내고, $\mathbf{M}_k$ 는 가상 송신필터를 나타내며, P_{S_k} 는 송신기의 최대 송신 파워를 나타내고, P_R 는 중계기의 최대 송신 파워를 나타낸다.

[0016] 상기 (b) 단계 이전에, 송신기와 상기 중계기 및 상기 중계기와 수신기간의 채널 상태를 이용하여 제1 수신필터 및 제2 수신필터를 각각 결정하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0017] 상기 제1 수신필터($\mathbf{L}_k$) 및 상기 제2 수신필터($\mathbf{W}_k$)는 하기 수식을 이용하여 결정된다.

$$\mathbf{L}_k = (\mathbf{F}^H \mathbf{H}^H \mathbf{H} \mathbf{F} + \sigma_R^2 \mathbf{I}_{L,K})^{-1} \mathbf{F}_k^H \mathbf{H}_k^H$$

$$\mathbf{W}_k = (\mathbf{M}^H \mathbf{G} \mathbf{G}^H \mathbf{M} + \sigma_D^2 \mathbf{I}_{L,K})^{-1} \mathbf{M}_k^H \mathbf{G}_k^H$$

[0019]

[0020] 여기서, $\mathbf{F}$ 는 송신필터를 나타내고, $\mathbf{H}$ 는 제1 타임슬롯에 대한 채널 매트릭스를 나타내며, $\mathbf{M}$ 은 가상송신필터를 나타내고, $\mathbf{G}$ 는 제2 타임슬롯에 대한 채널 매트릭스를 나타낸다.

[0021] 본 발명의 다른 측면에 따르면, 다중 송/수신기 쌍(pairwise)이 있는 무선통신 시스템에서 각각의 쌍에 대한 QoS를 보장하면서 MSE 밸런싱 문제를 최적화할 수 있는 중계기가 제공된다.

[0022] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 송신필터 및 가상 송신 필터를 설정하는 설정부; 전력 제한 조건을 이용하여 상기 송신필터 및 상기 가상 송신 필터를 송신필터 결정부; 및 상기 결정된 가상 송신 필터를 이용하여 중계기의 중계필터를 결정하는 중계필터 결정부를 포함하는 중계 장치가 제공될 수 있다.

[0023] 상기 송신필터 결정부는, 상기 송신필터의 벡터값과 상기 가상 송신필터의 벡터값이 상기 전력제한의 제공근 이하를 만족하는 벡터값들 중 최소인 벡터값에 해당하는 송신필터 및 가상 송신필터를 최종 송신필터 및 가상 송신필터를 결정할 수 있다.

[0024] 상기 송신필터 결정부는, 상기 송신필터 및 상기 가상 송신필터를 각각 독립적으로 결정할 수 있다.

[0025] 송신기와 상기 중계 장치간의 채널 정보 및 수신기와 상기 중계 장치간의 채널 정보를 이용하여 각각의 수신필터를 결정하는 수신필터 결정부를 더 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0026] 본 발명의 일 실시예에 따른 중계기 및 중계필터 결정 방법을 제공함으로써, 다중 송/수신기 쌍(pairwise)이 있

는 무선통신 시스템에서 각각의 쌍에 대한 QoS를 보장하면서 MSE 밸런싱 문제를 최적화할 수 있다.

[0027] 또한, 본 발명은 종래에 비해 각 타임 슬롯(time slot)에 따라 요구되는 채널 상태 정보로 인한 오버헤드 복잡도를 낮추며 다중 송/수신기 쌍(pairwise)에 대한 MSE 밸런싱 문제를 최적화할 수 있는 이점이 있다.

도면의 간단한 설명

[0028] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 송신기, 중계기 및 다중 수신기로 구성된 무선통신시스템의 일 예를 도시한 도면.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 MMSE 최적화를 위한 중계기의 중계필터를 결정하는 방법을 나타낸 순서도.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 송수신 필터 및 중계기 필터를 결정하는 방법에 대한 의사코드를 예시한 도면.

도 4는 본 발명의 다른 실시예에 따른 중계필터를 결정하는 방법에 대한 의사코드를 예시한 도면.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 성능 비교 결과를 나타낸 그래프.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 중계기의 내부 구성을 개략적으로 도시한 블록도.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0029] 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.

[0030] 제1, 제2 등의 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다.

[0031] 본 출원에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 출원에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

[0032] 이하, 본 발명의 실시예를 첨부한 도면들을 참조하여 상세히 설명하기로 한다.

[0033] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 송신기, 중계기 및 다중 수신기로 구성된 무선통신시스템의 일 예를 도시한 도면이다. 도 1을 참조하여, 중계기를 포함한 무선 통신 시스템에서 송신기 및 수신기 각 쌍에 대한 최적 QoS를 보장하기 위한 중계기의 중계필터를 결정하기 위한 신호에 대해 설명하기로 한다.

[0034] 도 1을 참조하면, 무선통신시스템은 복수개의 송신기(110), 중계기(120) 및 복수개의 수신기(130)를 포함하여 구성된다. 본 발명의 일 실시예에 따른 무선통신시스템은 K(K는 자연수)개의 송신기 및 수신기 쌍과 하나의 중계기가 각각 다중 안테나를 구비한 셀룰러 시스템일 수 있다.

[0035] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따른 무선통신시스템은 k번째 송신기는 k번째 수신기로 L개의 다중 데이터 신호를 송신할 수 있다.

[0036] 이하, 본 발명의 일 실시예에 따른 무선통신 시스템은 송신기 및 수신기 사이의 직접 링크는 경로손실(pathloss)로 인해 상당히 미약하므로 고려하지 않는 것을 가정하기로 한다.

[0037] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따른 중계기(120)는 송신 및 수신 과정을 두개의 타임 슬롯(time slot)에 걸쳐 진행하는 반이중(half duplex) 방식으로 통신을 수행할 수 있다.

[0038] 도 1을 참조하면, s_k 는 k번째 수신기 DN_k 를 위한 전송 데이터 벡터를 나타내고, H_k 는 각각 k번째 송신기(소스 송

신기)에서 중계기(120) 사이의 채널 매트릭스를 나타낸다. 또한, G_k 는 중계기(120)와 k번째 수신기 사이의 채널 매트릭스를 나타낸다.

[0039] 이하, 본 발명의 일 실시예에 따른 송신기 및 수신기 각 쌍별 MSE를 최적화하는 방법을 설명하기 위해, 송신기, 중계기 및 수신기 간의 데이터 신호를 전송하는 시스템 모델에 대해 설명하기로 한다.

[0040] k번째 송신기(SN_k)에서 전송된 신호(x_k)는 $x_k = F_k s_k$ 와 같이 표현할 수 있고, F_k 는 s_k 에 적용되는 $M \times L$ 프리코딩 매트릭스(즉, k번째 송신기에서의 송신 필터)를 나타낸다. 또한, 송신 파워 조건은 $\mathbb{E}[\|F_k s_k\|^2] = \text{Tr}(F_k F_k^H) = P_{s_k}$ 와 같다.

[0041] 따라서, k번째 송신기의 최대 송신 파워는 P_{s_k} 와 같이 나타낼 수 있다.

[0042] 이에 따라, 중계기에서 수신된 수신 신호를 y_R 이라 하면, K개의 송신기에서의 수신 신호는 하기 수 1과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 1

$$y_R = \sum_{i=1}^K H_i F_i s_i + n_R$$

[0043]

[0044] 여기서, K는 송신기 전체 개수를 나타내고, F_i 는 k번째 송신기의 송신필터(프리코딩 매트릭스)를 나타내고, H_i 는 k번째 송신기와 중계기간의 채널 매트릭스를 나타낸다. 또한, s_i 는 k번째 수신기를 위한 전송 데이터 벡터를 나타내며, n_R 은 평균0인 복소 백색 가우시안 노이즈 벡터를 나타내며, $\mathbb{E}[n_R n_R^H] = \sigma_n^2 I_N$ 이고, I_q 는 q 크기의 단위 행렬이다.

[0045] 제2 타임 슬롯에서 중계기는 각 송신기를 통해 수신된 수신신호에 중계기의 가중치 행렬을 곱한 후 이를 각 수신기로 전송할 수 있다.

[0046] 중계기에서 송신되는 송신신호는 수2와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 2

$$x_R = Q y_R = Q \left(\sum_{i=1}^K H_i F_i s_i + n_R \right)$$

[0047]

[0048] 여기서, 중계기의 중계 필터(Q)는 $\mathbb{E}[x_R x_R^H] = \text{Tr}(Q R_{y_R} Q^H) = P_R$ 과 같은 중계기 파워 조건을 만족한다. 또한, 중계기 수신 신호의 공분산 매트릭스를 $R_{y_R} = \mathbb{E}[y_R y_R^H]$ 로 정의할 수 있다.

[0049] 이에 따라, k번째 수신기에서의 수신 신호는 수 3과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 3

$$y_{D_k} = G_k Q H_k F_k s_k + G_k Q \sum_{i \neq k} H_i F_i s_i + G_k Q n_R + n_{D_k}$$

[0050]

[0051] 여기서, G_k 는 중계기와 k번째 수신기 사이의 채널 매트릭스를 나타내고, n_{D_k} 는 평균이 0이고,

$\mathbb{E}[\mathbf{n}_{D_k} \mathbf{n}_{D_k}^H] = \sigma_D^2 \mathbf{I}_M$ 을 만족하는 복소 백색 가우시안 노이즈 벡터를 나타낸다.

[0052] 수 3과 같은 k번째 수신기에서의 수신 신호에 수신 필터(D_k)를 적용하면, k번째 수신기에서의 출력되는 수신신호($\tilde{y}_{D_k}$)는 $\tilde{y}_{D_k} = D_k G_k x_R + D_k n_{D_k}$ 와 같이 나타낼 수 있다.

[0053] 이에 따라 k번째 수신기에서 s_k 에 대해 추정된 추정 신호($\hat{s}_k$)는 $\hat{s}_k = \frac{1}{Y} \tilde{y}_{D_k} = \frac{1}{Y} D_k y_{D_k}$ 와 같이 정리될 수 있다. 여기서, Y 은 중계기 필터를 간단히 도출하기 위한 비례 축소 변수이다.

[0054] k번째 송신기에서 송신된 신호(s_k)와 k번째 수신기에서 추정된 신호($\hat{s}_k$)를 이용하여 오류 벡터(e_k)가 계산될 수 있다. 즉, 오류 벡터(e_k)는 $e_k = \hat{s}_k - s_k = \frac{1}{Y} D_k y_{D_k} - s_k$ 와 같다.

[0055] 이에 따라, k번째 수신기에서의 오류 공분산 매트릭스는 수4와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 4

[0056]
$$\mathbf{R}_{e_k} = Y^{-2} D_k G_k Q (H F F^H H^H + \sigma_R^2 \mathbf{I}_N) Q^H G_k^H D_k^H + Y^{-2} \sigma_D^2 D_k D_k^H - 2Y^{-1} R\{D_k G_k Q H_k F_k\} + \mathbf{I}_L$$

[0057] 여기서, $F = \text{blkdiag}\{F_1, \dots, F_K\}$, $H = [H_1, H_2, \dots, H_K]$, $G = [G_1^T, G_2^T, \dots, G_K^T]^T$ 를 나타낸다.

[0058] k번째 송신기 및 수신기 쌍의 평균 제곱 오차(MSE)는 $MSE_k = \text{Tr}(\mathbf{R}_{e_k})$ 로 나타낼 수 있다.

[0059] 송신기 및 수신기 쌍별 MSE 최소화 문제는 수 5와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 5

[0060]
$$\begin{aligned} & \min_{\mathbf{F}_k, \mathbf{Q}} \max_{\forall k} MSE_k \\ & \text{s.t. } \text{Tr}(\mathbf{F}_k \mathbf{F}_k^H) \leq P_{S_k}, \forall k \\ & \quad \text{Tr}\left(\mathbf{Q} \left(\sum_{i=1}^K \mathbf{H}_i \mathbf{F}_i \mathbf{F}_i^H \mathbf{H}_i^H + \sigma_R^2 \mathbf{I}_N \right) \mathbf{Q}^H\right) \leq P_R. \end{aligned}$$

[0061] 수 5는 non-convex 문제이므로, k번째 송신기 및 수신기 쌍의 MSE는 수6과 같이 분해된다.

수학식 6

[0062]
$$MSE_k = MSE_k^{MAC} + MSE_k^{BC}$$

[0063] 수 6에서 MSE_k^{MAC} 와 MSE_k^{BC} 는 수 7과 같이 정의될 수 있다.

수학식 7

$$\begin{aligned} \text{MSE}_k^{\text{MAC}} &= \text{Tr} \left(\mathbf{I}_L - \mathbf{F}_k^H \mathbf{H}_k^H \left(\mathbf{H} \mathbf{F} \mathbf{F}^H \mathbf{H}^H + \sigma_R^2 \mathbf{I}_N \right)^{-1} \mathbf{H}_k \mathbf{F}_k \right) \\ \text{MSE}_k^{\text{BC}} &= \text{Tr} \left(\mathcal{J}_k^H \left(\frac{\gamma^2}{\sigma_D^2} \mathbf{B}^H \mathbf{G}_k^H \mathbf{G}_k \mathbf{B} + \mathbf{R}_y^{-1} \right)^{-1} \mathcal{J}_k \right). \end{aligned}$$

여기서, B는 중계필터의 송신부를 나타내고, R_y는 공분산 매트릭스(covariance matrix)를 나타낸다.

이에 따라, 수 6 및 수 7을 이용하여 수 5를 재정의하면, 수 8과 같이 나타낼 수 있다. k번째 송수신기간의 채널 $\mathcal{H}_k$ 은 $\mathcal{H}_k = \gamma \mathbf{G}_k \mathbf{B} \mathbf{L} \mathbf{H}_k \mathbf{F}_k$ 와 같다. 이를 역 Lemma 매트릭스에 적용하면, k번째쌍의 에러 공분산 매트릭스는

$$\begin{aligned} \mathbf{R}_{E_k} &= \mathbf{I}_L - \mathcal{H}_k^H \left(\gamma^2 \mathbf{G}_k \mathbf{B} \mathbf{R}_y \mathbf{B}^H \mathbf{G}_k^H + \sigma_D^2 \mathbf{I}_M \right)^{-1} \mathcal{H}_k \\ \mathbf{R}_{E_k} &= \mathbf{I}_L - \mathcal{H}_k^H \left(\sigma_D^{-2} \mathbf{I}_M - \sigma_D^{-2} \gamma \mathbf{G}_k \mathbf{B} \left(\gamma^2 \mathbf{B}^H \mathbf{G}_k^H \sigma_D^{-2} \mathbf{G}_k \mathbf{B} + \mathbf{R}_y^{-1} \right)^{-1} \gamma \mathbf{B}^H \mathbf{G}_k^H \sigma_D^{-2} \right) \mathcal{H}_k \\ &= \mathbf{I}_L - \mathbf{F}_k^H \mathbf{H}_k^H \mathbf{L}^H \mathbf{R}_y^{-1} \mathbf{L} \mathbf{H}_k \mathbf{F}_k + \mathbf{F}_k^H \mathbf{H}_k^H \mathbf{L}^H \mathbf{R}_y^{-1} \left(\gamma^2 \mathbf{B}^H \mathbf{G}_k^H \sigma_D^{-2} \mathbf{G}_k \mathbf{B} + \mathbf{R}_y^{-1} \right)^{-1} \mathbf{R}_y^{-1} \mathbf{L} \mathbf{H}_k \mathbf{F}_k. \end{aligned}$$

과 같이 정리될 수

$$\begin{aligned} & \mathbf{R}_y^{-1} \mathbf{L} \mathbf{H}_k \mathbf{F}_k \\ &= (\mathbf{L}^{-1})^H \left(\sum_{i=1}^K \mathbf{H}_i \mathbf{F}_i \mathbf{F}_i^H \mathbf{H}_i^H + \sigma_R^2 \mathbf{I}_N \right)^{-1} \mathbf{L}^{-1} \mathbf{L} \mathbf{H}_k \mathbf{F}_k \\ &= (\mathbf{H} \mathbf{F})^{-1} \mathbf{H}_k \mathbf{F}_k = \left[\underbrace{\mathbf{0}_L \cdots \mathbf{0}_L}_{k-1} \quad \mathbf{I}_L \quad \underbrace{\mathbf{0}_L \cdots \mathbf{0}_L}_{K-k} \right] = \mathcal{J}_k. \end{aligned}$$

있으며, $\mathbf{R}_y^{-1} \mathbf{L} \mathbf{H}_k \mathbf{F}_k$ 는 과 같이 계산될 수 있다.

$$\begin{aligned} \mathbf{R}_{E_k} &= \mathbf{I}_L - \mathbf{F}_k^H \mathbf{H}_k^H \left(\mathbf{H} \mathbf{F} \mathbf{F}^H \mathbf{H}^H + \sigma_R^2 \mathbf{I}_N \right)^{-1} \mathbf{H}_k \mathbf{F}_k \\ & \quad + \mathcal{J}_k^H \left(\gamma^2 \mathbf{B}^H \mathbf{G}_k^H \sigma_D^{-2} \mathbf{G}_k \mathbf{B} + \mathbf{R}_y^{-1} \right)^{-1} \mathcal{J}_k. \end{aligned}$$

이에 따라, $\mathbf{R}_{E_k}$ 는 과 같이 간단하게 재정리될 수 있다.

이에 따라 k번째 쌍의 MSE는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{MSE}_k &= \text{Tr} \left(\mathbf{I}_L - \mathbf{F}_k^H \mathbf{H}_k^H \left(\mathbf{H} \mathbf{F} \mathbf{F}^H \mathbf{H}^H + \sigma_R^2 \mathbf{I}_N \right)^{-1} \mathbf{H}_k \mathbf{F}_k \right) \\ & \quad + \text{Tr} \left(\mathcal{J}_k^H \left(\gamma^2 \mathbf{B}^H \mathbf{G}_k^H \sigma_D^{-2} \mathbf{G}_k \mathbf{B} + \mathbf{R}_y^{-1} \right)^{-1} \mathcal{J}_k \right). \end{aligned}$$

상기와 같은 수 6 및 수 7에 의해 수 5는 수 8과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 8

$$\begin{aligned} & \min_{\mathbf{F}_k, \mathbf{B}} \max_{\forall k} (\text{MSE}_k^{\text{MAC}} + \text{MSE}_k^{\text{BC}}) \\ & \text{s.t. } \text{Tr} (\mathbf{F}_k \mathbf{F}_k^H) \leq P_{S_k}, \forall k \\ & \text{Tr} (\mathbf{B} \mathbf{R}_y \mathbf{B}^H) \leq P_R. \end{aligned}$$

[0072] 수 8과 같이, lemmal을 이용하여 재정리된 수식도 여전히 non-convex 문제로 풀기 어렵다. 따라서, 수 8을 고 SNR(high signal-to-noise ration) 가정과 BC-MAC MSE 중복성(duality)을 이용하여 하기 수 9와 같이 정리할 수 있다.

수학식 9

$$\begin{aligned} \min_{\mathbf{F}_k, \mathbf{M}_k} \max_{\forall k} & (\text{MSE}_k^{\text{MAC}} + \text{MSE}_k^{\text{D-MAC}}) \\ \text{s.t. } & \text{Tr}(\mathbf{F}_k \mathbf{F}_k^H) \leq P_{S_k}, \forall k \\ & \text{Tr}(\mathbf{M} \mathbf{M}^H) \leq P_R, \end{aligned}$$

[0073]

[0074] 여기서, M은 가상 송신필터를 나타낸다.

[0075] 가상 송신필터는 듀얼 맥(dual MAC)에서의 송신필터로, 수신기에서 중계기(120)로 데이터를 전송하는 것을 가정한 경우의 송신필터로 가상의 송신필터를 의미한다.

[0076] 또한, 수 9에서 $\text{MSE}_k^{\text{D-MAC}}$ 는 듀얼 맥(dual MAC)에서의 쌍별(pairwise) MSE로 수 10과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 10

$$\text{MSE}_k^{\text{D-MAC}} = \text{Tr} \left(\mathbf{I}_L - \mathbf{M}_k^H \mathbf{G}_k (\mathbf{G}^H \mathbf{M} \mathbf{M}^H \mathbf{G} + \sigma_R^2 \mathbf{I}_N)^{-1} \mathbf{G}_k^H \mathbf{M}_k \right)$$

[0077]

[0078] 수 9는 convex 문제 중 하나인 SOCP(second-order cone programming) 문제로 바꿀 수 있다.

[0079] 제1 실시예

[0080] 즉, 최적의 MMSE 수신필터 $\mathbf{L}_k$, $\mathbf{W}_k$ 가 결정되면, k번째 송신기 및 수신기 쌍별 MSE 밸런싱 문제는 수 12와 같이 나타낼 수 있다.

[0081] 수신필터 $\mathbf{L}_k$, $\mathbf{W}_k$ 는 수 11에 의해 결정될 수 있다.

수학식 11

$$\begin{aligned} \mathbf{L}_k &= (\mathbf{F}^H \mathbf{H}^H \mathbf{H} \mathbf{F} + \sigma_R^2 \mathbf{I}_{LK})^{-1} \mathbf{F}_k^H \mathbf{H}_K^H \\ \mathbf{W}_k &= (\mathbf{M}^H \mathbf{G} \mathbf{G}^H \mathbf{M} + \sigma_D^2 \mathbf{I}_{LK})^{-1} \mathbf{M}_k^H \mathbf{G}_K^H \end{aligned}$$

[0082]

수학식 12

$$\overline{\text{MSE}}_k = \overline{\text{MSE}}_k^{\text{MAC}} + \overline{\text{MSE}}_k^{\text{D-MAC}} = \left\| \begin{bmatrix} \mathbf{v}_k^{\text{MAC}} \\ \mathbf{v}_k^{\text{D-MAC}} \end{bmatrix} \right\|^2$$

$$\mathbf{v}_k^{\text{MAC}} = \begin{bmatrix} \sigma_R \sqrt{\text{Tr}(\mathbf{L}_k \mathbf{L}_k^H)} \\ [\mathbf{I}_L \otimes (\mathbf{L}_k \mathbf{H})] \text{vec}(\mathbf{F}) - \text{vec}(\mathcal{J}_k) \end{bmatrix}, \quad \mathbf{v}_k^{\text{D-MAC}} = \begin{bmatrix} \sigma_D \sqrt{\text{Tr}(\mathbf{W}_k \mathbf{W}_k^H)} \\ [\mathbf{I}_L \otimes (\mathbf{W}_k \mathbf{G}^H)] \text{vec}(\mathbf{M}) - \text{vec}(\mathcal{J}_k) \end{bmatrix}$$

여기서, 과 같이 정의된다.

수 9는 보조변수 t를 이용해 수 13과 같이 재정리될 수 있다.

수학식 13

$$\begin{aligned} \min_{\mathbf{F}_k, \mathbf{M}_k, t} \quad & t \\ \text{s.t.} \quad & \left\| \begin{bmatrix} \mathbf{v}_k^{\text{MAC}} \\ \mathbf{v}_k^{\text{D-MAC}} \end{bmatrix} \right\| \leq t, \quad \forall k \\ & \|\text{vec}(\mathbf{F}_k)\| \leq \sqrt{P_{S_k}}, \quad \forall k \\ & \|\text{vec}(\mathbf{M})\| \leq \sqrt{P_R}. \end{aligned}$$

제2 실시예

제1 실시예의 경우 k번째 송신기 및 수신기 쌍별 MSE 밸런싱 문제를 해결하기 위해 송신기, 중계기, 수신기의 채널 정보($\mathbf{H}_k, \mathbf{G}_k$)를 모두 알고 있어야 하므로 이에 따른 오버헤드 복잡도가 매우 크다.

이에 따라 송신기 및 수신기에 요구되는 채널 상태 정보를 줄이기 위해 수 9의 문제에서 각각의 MSE를 독립적으로 구하는 방식으로 변경할 수 있다.

결과적으로 수학식 13은 수학식 14 및 수학식 15와 같이 각각 분리하여 MSE를 독립적으로 구할 수 있다.

수학식 14

$$\begin{aligned} \min_{\mathbf{F}_k, t} \quad & t \\ \text{s.t.} \quad & \|\mathbf{v}_k^{\text{MAC}}\| \leq t, \quad \forall k \\ & \|\text{vec}(\mathbf{F}_k)\| \leq \sqrt{P_{S_k}}, \quad \forall k, \end{aligned}$$

수학식 15

$$\begin{aligned} \min_{\mathbf{M}_k, s} \quad & \\ \text{s.t.} \quad & \|\mathbf{v}_k^{D-MAC}\| \leq t, \forall k \\ & \|\text{vec}(\mathbf{M})\| \leq \sqrt{P_R}. \end{aligned}$$

[0092]

[0093]

수 13 또는 수 14 및 수15와 같이 k번째 송신기 및 수신기 쌍별 MSE 밸런싱 문제는 k번째 송신기에서 중계기로의 데이터 전송에 따른 송신필터와 수신기에서 중계기로의 데이터 전송을 가정한 가상 송신필터를 이용하여 최적화된 중계기(120)의 중계필터를 구하여 해결할 수 있다.

[0094]

이하에서는, 본 발명의 일 실시예에 따른 MMSE 최적화를 위한 중계기의 중계필터를 결정하는 방법에 대해 설명하기로 한다.

[0095]

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 MMSE 최적화를 위한 중계기의 중계필터를 결정하는 방법을 나타낸 순서도이고, 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 중계필터를 결정하는 방법에 대한 의사코드를 예시한 도면이고, 도 4는 본 발명의 다른 실시예에 따른 중계필터를 결정하는 방법에 대한 의사코드를 예시한 도면이며, 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 성능 비교 결과를 나타낸 그래프이다.

[0096]

단계 210에서 중계기(120)는 k번째 송신기 및 수신기에 대응하는 송신필터 및 가상송신필터를 설정한다.

[0097]

단계 215에서 중계기(120)는 k번째 송신기 및 수신기에 대응하는 수신필터를 각각 결정한다.

[0098]

이해와 설명의 편의를 도모하기 위해 k번째 송신기에 대응하는 수신필터를 제1 수신필터라 칭하고, k번째 수신기에 대응하는 수신필터를 제2 수신필터라 칭하기로 한다.

[0099]

예를 들어, 중계기(120)는 제1 타임 슬롯(time slot)에 대한 채널 정보를 이용하여 제1 수신필터를 결정할 수 있으며, 제2 타임슬롯(time slot)에 대한 채널 정보를 이용하여 제2 수신필터를 결정할 수 있다.

[0100]

중계기(120)는 도 1에서 전술한 수학식 11을 이용하여 제1 수신필터 및 제2 수신필터를 각각 결정할 수 있다.

[0101]

단계 220에서 중계기(120)는 전력제한을 이용하여 송신필터 및 가상 송신필터를 결정한다.

[0102]

예를 들어, 중계기(120)는 송신필터의 벡터값이 전력제한(예를 들어, 송신기의 최대 송신 전력)의 제곱근 이하이고, 가상 송신필터의 벡터값이 전력제한(예를 들어, 수신기의 최대 송신 전력)의 제곱근 이하를 만족하는 벡터값이 최소인 송신필터 및 가상 송신필터를 최종 송신필터 및 가상 송신필터로 결정할 수 있다.

[0103]

본 발명의 제1 실시예에 따르면, 중계기(120)는 송신필터와 가상 송신필터를 함께 고려하여 최종 송신필터 및 가상 송신필터를 결정할 수 있다.

[0104]

즉, 본 발명의 제1 실시예에 따르면, 중계기(120)는 수학식 13을 이용하여 송신필터 및 가상 송신필터를 결정할 수 있다.

[0105]

본 발명의 제2 실시예에 따르면, 중계기(120)는 송신필터 및 가상 송신필터를 각각 결정할 수 있다. 즉, 본 발명의 제2 실시예에 따르면, 중계기(120)는 수학식 14 및 수학식 15를 이용하여 송신필터 및 가상 송신필터를 각각 독립적으로 결정할 수 있다.

[0106]

이어, 단계 225에서 중계기(120)는 결정된 가상 송신필터를 이용하여 중계기(120)의 중계필터를 결정할 수 있다.

[0107]

도 3에는 도 2에서 설명한 바에 따른 중계기(120)의 중계필터를 결정하는 방법에 대한 의사코드가 예시되어 있다.

[0108]

또한, 도 4에는 도 2에서 설명한 바에 따른 중계기(120)의 중계필터를 결정하기 위해 송신필터 및 가상 송신필

터를 독립적으로 결정하는 경우에 따른 의사코드가 예시되어 있다.

- [0109] 도 5는 종래의 송신기 및 수신기 쌍별 MSE 성능 비교 결과를 나타낸 그래프이다. 실험 환경은 4개의 송/수신기 쌍과 각각의 쌍은 2개의 송/수신 안테나와 2개의 데이터 신호를 보내며 중계기는 8개의 송/수신 안테나를 가지고 있다고 가정하였다. 이러한 환경에서 각 송신기의 파워는 총 송신 파워를 동일하게 나누어 가지고 (즉, $P_{S_k} = \frac{P}{K}$), 중계기의 파워는 총 송신 파워와 같다고 정의하였다. 위의 그림은 순서대로 총 송신 파워 20dB, 30dB를 사용하였다.
- [0110] 도 5에서 L-SM 기법은 종래의 방법을 나타내고, G-PB가 본 발명의 제1 실시예, L-PB는 본 발명의 제2 실시예에 따른 결과를 나타낸다. 도 5를 참조하면, 본 발명의 제1 및 제2 실시예에 따른 방법이 각 단말들의 QoS를 보장할 수 있는 것을 알 수 있다. 또한, 제1 실시예 및 제2 실시예의 비교 결과에서 알 수 있듯이 제2 실시예와 같이 국부적 채널 상태를 이용하여 송신기 및 수신기 쌍별 MSE를 독립적으로 제안한 경우에도 오버헤드에 따른 복잡도를 줄이면서도 제1 실시예와 흡사한 성능을 보이는 것을 알 수 있다.
- [0111] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 중계기의 내부 구성을 개략적으로 도시한 블록도이다.
- [0112] 도 6을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 중계기(120)는 설정부(610), 수신필터 결정부(615), 송신필터 결정부(620), 중계필터 결정부(625), 메모리(630) 및 제어부(635)를 포함하여 구성된다.
- [0113] 설정부(610)는 송신필터 및 가상 송신필터를 설정 또는 초기화하기 위한 수단이다.
- [0114] 수신필터 결정부(615)는 송신필터 및 가상 송신필터에 대응하는 수신필터(제1 수신필터, 제2 수신필터)를 결정하기 위한 수단이다.
- [0115] 예를 들어, 수신필터 결정부(615)는 각 타임 슬롯에 따른 채널 상태 정보를 이용하여 각각의 수신필터를 결정할 수 있다. 즉, 수신필터 결정부(615)는 수 11을 이용하여 제1 수신필터 및 제2 수신필터를 결정할 수 있다.
- [0116] 이때, 수신필터 결정부(615)는 제1 수신필터 및 제2 수신필터를 동시에 결정할 수도 있으며, 제1 수신필터 및 제2 수신필터를 독립적으로 결정할 수도 있다.
- [0117] 송신필터 결정부(620)는 전력제한을 이용하여 송신필터 및 가상 송신필터를 결정한다.
- [0118] 예를 들어, 송신필터 결정부(620)는 송신기의 전력제한(최대 송신 파워)를 이용하여 송신필터를 결정하고, 중계기의 전력제한(최대 송신 파워)를 이용하여 가상 송신필터를 결정할 수 있다.
- [0119] 보다 상세하게, 송신필터 결정부(620)는 송신필터의 벡터값이 전력제한(최대 송신파워)의 제공근 이하이며, 가상 송신필터의 벡터값이 전력제한(최대 송신파워)의 제공근 이하를 만족하는 벡터값이 최소인 송신필터 및 가상 송신필터를 최종 송신필터 및 가상 송신필터로 결정할 수 있다.
- [0120] 이때, 송신필터 결정부(620)는 송신필터 및 가상 송신필터를 독립적으로 결정할 수도 있다.
- [0121] 중계필터 결정부(625)는 결정된 가상 송신필터를 이용하여 중계기의 중계필터를 결정하기 위한 수단이다.
- [0122] 메모리(630)는 본 발명의 일 실시예에 따른 중계기(120)를 운용하기 위해 필요한 다양한 알고리즘, 각 타임 슬롯에 따른 각 채널 상태 정보, 중계필터를 결정하는 과정에서 생성된 다양한 데이터를 저장한다.
- [0123] 제어부(635)는 본 발명의 일 실시예에 따른 중계기(120)의 내부 구성 요소들(예를 들어, 설정부(610), 수신필터 결정부(615), 송신필터 결정부(620), 중계 필터 결정부(625), 메모리(630) 등)을 제어하기 위한 수단이다.
- [0125] 한편, 본 발명의 실시예에 따른 무선통신 시스템에서 데이터 중계 방법은 다양한 전자적으로 정보를 처리하는 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 저장 매체에 기록될 수 있다. 저장 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다.
- [0126] 저장 매체에 기록되는 프로그램 명령은 본 발명을 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 소프트웨어 분야 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 저장 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(magnetic media), CD-ROM, DVD와 같은 광기록 매체(optical media), 플롭티컬 디스크

(floptical disk)와 같은 자기-광 매체(magneto-optical media) 및 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 전자적으로 정보를 처리하는 장치, 예를 들어, 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다.

[0127]

상술한 하드웨어 장치는 본 발명의 동작을 수행하기 위해 하나 이상의 소프트웨어 모듈로서 작동하도록 구성될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다.

[0128]

상기에서는 본 발명의 바람직한 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 이해할 수 있을 것이다.

부호의 설명

[0129]

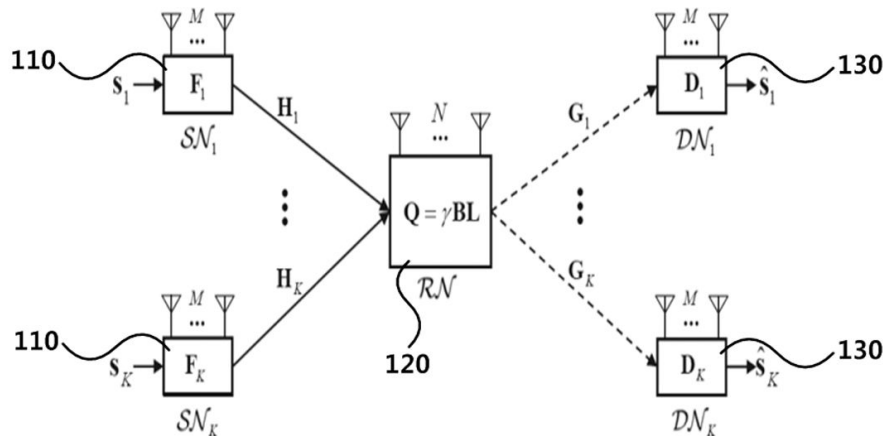
110: 송신기

120: 중계기

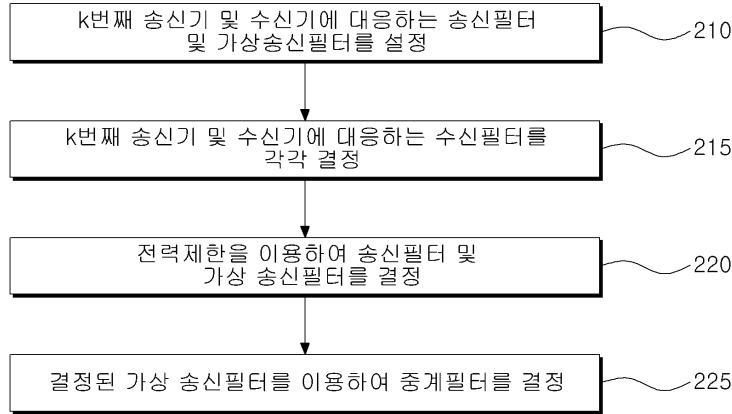
130: 수신기

도면

도면1



도면2



도면3

Algorithm 1 Global CSI based pairwise MSE balancing (G-PB) algorithm

Initialize $\mathbf{F}_k, \mathbf{M}_k, \forall k$.

Repeat

Update $\mathbf{L}_k, \mathbf{W}_k, \forall k$.

Solve the problem (5) using SeDuMi.

Update $\mathbf{F}_k, \mathbf{M}_k, \forall k$.

Until convergence

Determine $\mathbf{B}$ from $\mathbf{M}$ using the BC-MAC MSE duality.

도면4

Algorithm 2 Local CSI based pairwise MSE balancing (L-PB) algorithm

Initialize $\mathbf{F}_k, \forall k$.

Initialize $\mathbf{M}_k, \forall k$.

Repeat

Repeat

Update $\mathbf{L}_k, \forall k$.

Update $\mathbf{W}_k, \forall k$.

Solve the problem (6) using SeDuMi.

Solve the problem (7) using SeDuMi.

Update $\mathbf{F}_k, \forall k$.

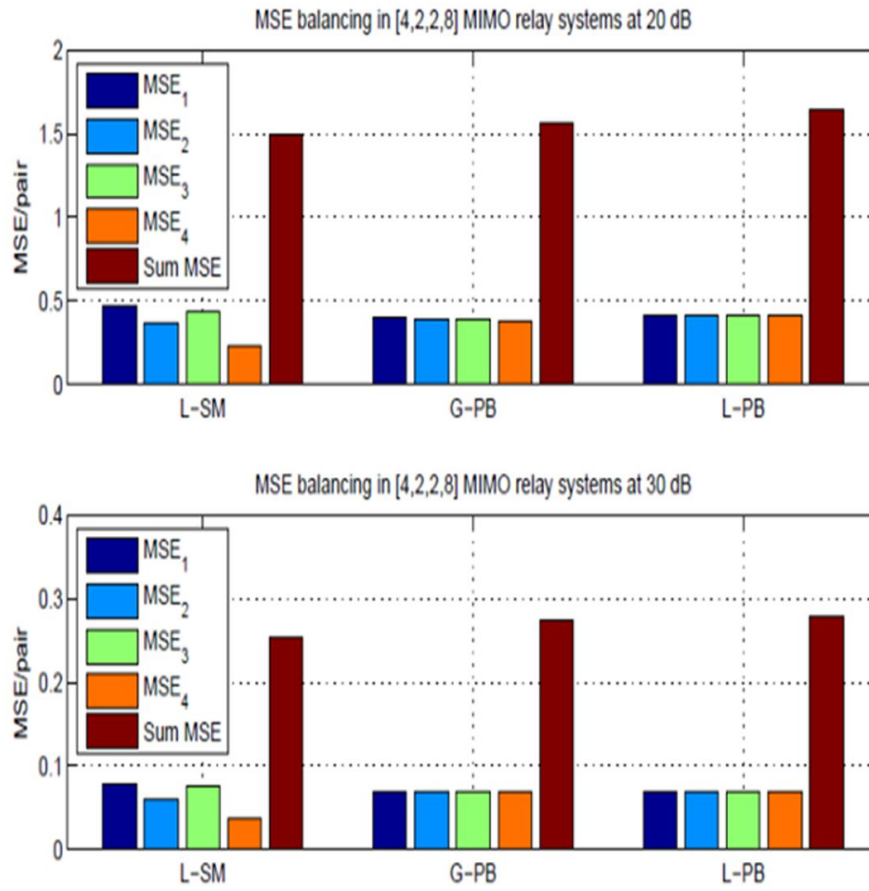
Update $\mathbf{M}_k, \forall k$.

Until convergence

Until convergence

Compute $\mathbf{B}$ using the BC-MAC MSE duality.

도면5



도면6

