(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2015년01월14일
(11) 등록번호 10-1481318
(24) 등록일자 2015년01월05일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04B 7/14 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2013-0108865
(22) 출원일자 2013년09월11일
심사청구일자 2013년09월11일
(56) 선행기술조사문헌
KR1020070075035 A

(73) 특허권자
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 5 항 심사관 : 석상문

(54) 발명의 명칭 **무선 신호 처리 방법**

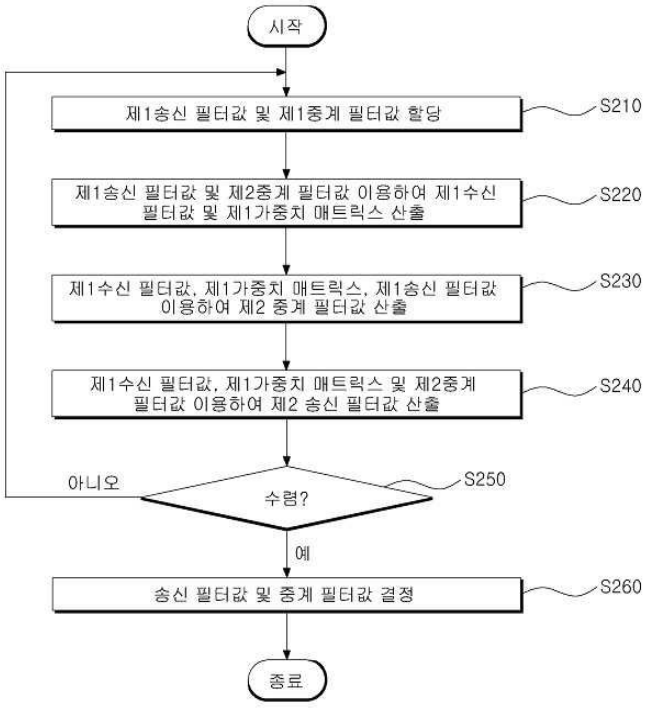
(57) 요 약

본 발명은 직접 경로가 존재하는 다중 중계 노드, 송신 노드, 및 다중 수신 노드에서의 신호 처리 방법에 관한 것이다.

본 발명의 일실시예에 의한 무선 신호 처리 방법은 직접 경로가 존재하고, 다중 중계 노드 및 다중 수신 노드가

(뒷면에 계속)

대 표 도 - 도2



형성된 환경에서 중계 노드 및 송신 노드에서의 무선 신호 처리 방법에 관한 것으로서, 제1송신 필터값 및 제1중계 필터값을 할당하는 단계; 상기 제1송신 필터값 및 상기 제1중계 필터값을 이용하여 수신 노드의 가중치가 고려된 신호의 에러가 최소가 되도록 제1수신 필터값 및 제1가중치 매트릭스를 산출하는 단계; 상기 제1수신 필터값, 제1가중치 매트릭스, 및 상기 제1송신 필터값을 이용하여 제2중계 필터값을 산출하는 단계; 상기 제1수신 필터값, 상기 제1가중치 매트릭스, 및 상기 제2중계 필터값을 이용하여 제2송신 필터값을 산출하는 단계; 및 상기 제1송신 필터값과 상기 제2송신 필터값의 차이 및 상기 제1중계 필터값과 상기 제2중계 필터값의 차이가 소정값 이하인 경우, 상기 제2송신 필터값 및 상기 제2중계 필터값을 상기 송신 필터 및 상기 중계 필터의 최종값으로 각각 결정하는 단계를 포함할 수 있다.

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	WR080951
부처명	서울특별시
연구관리전문기관	서울산업통상진흥원
연구사업명	세계 유수연구소 유치 지원사업[국제공동연구 지원사업]
연구과제명	Bell Labs 서울 유치 / 광대역 컨버전트 네트워크 기반기술 및 응용서비스 연구
기 여 율	1/1
주관기관	고려대학교 산학협력단
연구기간	2012.12.01 ~ 2013.06.01

특허청구의 범위

청구항 1

직접 경로가 존재하고, 다중 중계 노드 및 다중 수신 노드가 형성된 환경에서 중계 노드 및 송신 노드에서의 무선 신호 처리 방법에 관한 것으로서,

제1송신 필터값 및 제1중계 필터값을 할당하는 단계;

상기 제1송신 필터값 및 상기 제1중계 필터값을 이용하여 수신 노드의 가중치가 고려된 신호의 에러가 최소가 되도록 제1수신 필터값 및 제1가중치 매트릭스를 산출하는 단계;

상기 제1수신 필터값, 제1가중치 매트릭스, 및 상기 제1송신 필터값을 이용하여 제2중계 필터값을 산출하는 단계;

상기 제1수신 필터값, 상기 제1가중치 매트릭스, 및 상기 제2중계 필터값을 이용하여 제2송신 필터값을 산출하는 단계; 및

상기 제1송신 필터값과 상기 제2송신 필터값의 차이 및 상기 제1중계 필터값과 상기 제2중계 필터값의 차이가 소정값 이하인 경우, 상기 제2송신 필터값 및 상기 제2중계 필터값을 상기 송신 필터 및 상기 중계 필터의 최종 값으로 각각 결정하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 무선 신호 처리 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서, 상기 제1수신 필터값은

MMSE(Minimum-mean-squared-error) 필터를 이용하여 산출되는 것을 특징으로 하는 무선 신호 처리 방법.

청구항 3

제 2 항에 있어서, 상기 제1가중치 매트릭스는

MMSE 매트릭스를 이용하여 산출되는 것을 특징으로 하는 무선 신호 처리 방법.

청구항 4

제 2 항에 있어서, 상기 제2송신 필터값을 산출하는 단계는

상기 수신 노드의 가중치가 고려된 신호의 에러에 대한 라그랑지 함수(Lagrangian function)를 이용하는 것을 특징으로 하는 무선 신호 처리 방법.

청구항 5

제 4 항에 있어서, 상기 제2송신 필터값을 산출하는 단계는

상기 송신 노드의 power constraint 및 상기 중계 노드의 power constraint을 이용하는 것을 특징으로 하는 무선 신호 처리 방법.

명 세 서

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 무선 신호 처리 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 직접 경로가 존재하는 다중 중계 노드, 송신 노드, 및 다중 수신 노드에서의 신호 처리 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 일반적으로 무선 통신 시스템에서 전파의 음영지역을 해소하기 위하여 중계 노드가 사용된다. 중계 노드는 미약한 전파를 수신하여 증폭한 후, 증폭된 신호를 다시 송신하는 기능을 수행하며 이를 위해 별도의 수신안테나와 송신안테나가 필요하다.

[0003] 중계 노드를 사용함으로 인해, 기지국의 커버리지(Coverage) 증대, 전송률(Throughput) 개선 등의 효과가 발생한다. 즉, 시스템은 열악한 채널 환경을 가지는 특정 지역에 중계 노드를 위치시켜 전송률을 향상시키고, 셀 경계 부근에 중계 노드를 위치시켜 기지국의 커버리지 밖에 있는 단말과 기지국이 통신할 수 있도록 서비스할 수 있다.

[0004] 대한민국 공개특허 10-2008-0109617호에는 송신단과 수신단 간에 형성된 가시선상의 직접 경로 및 적어도 하나의 중계 경로를 포함하는 다중 경로 중 데이터 수신 확인 제어 신호 수신 여부를 기초로 결정된 하나 이상의 사용 가능 경로를 교차 선택하여 데이터를 전송하는 것을 특징으로 하는 다중 경로를 이용한 데이터 송신 방법이 개시된다.

[0005] 하지만, 상기 대한민국 공개특허 10-2008-0109617호 직접 경로가 존재하는 다중 사용자 다중 중계 시스템 환경에서의 신호 처리 방법에 대해서는 개시하지 않고 있다.

[0006] 따라서 직접 경로가 존재하는 다중 사용자 다중 중계 시스템 환경에서의 신호 처리 방법에 대한 연구가 필요한 실정이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명의 목적은 직접 경로가 존재하는 다중 사용자 다중 중계 시스템 환경에서 수신 노드의 가중치를 고려하여 전송율을 최대로 할 수 있는 무선 신호 처리 방법을 제공하는 데 있다.

과제의 해결 수단

[0008] 상기 목적을 달성하기 위해 본 발명의 일실시예에 의하면, 직접 경로가 존재하고, 다중 중계 노드 및 다중 수신 노드가 형성된 환경에서 중계 노드 및 송신 노드에서의 무선 신호 처리 방법에 관한 것으로서, 제1송신 필터값 및 제1중계 필터값을 할당하는 단계; 상기 제1송신 필터값 및 상기 제1중계 필터값을 이용하여 수신 노드의 가중치가 고려된 신호의 에러가 최소가 되도록 제1수신 필터값 및 제1가중치 매트릭스를 산출하는 단계; 상기 제1수신 필터값, 제1가중치 매트릭스, 및 상기 제1송신 필터값을 이용하여 제2중계 필터값을 산출하는 단계; 상기 제1수신 필터값, 상기 제1가중치 매트릭스, 및 상기 제2중계 필터값을 이용하여 제2송신 필터값을 산출하는 단계; 및 상기 제1송신 필터값과 상기 제2송신 필터값의 차이 및 상기 제1중계 필터값과 상기 제2중계 필터값의 차이가 소정값 이하인 경우, 상기 제2송신 필터값 및 상기 제2중계 필터값을 상기 송신 필터 및 상기 중계 필터의 최종값으로 각각 결정하는 단계를 포함하는 무선 신호 처리 방법이 제공된다.

발명의 효과

[0009] 본 발명의 일실시예에 의한 무선 신호 처리 방법은 직접 경로가 존재하는 다중 사용자 다중 중계 시스템에서 전송율을 최대화할 수 있다.

[0010] 본 발명의 일실시예에 의한 무선 신호 처리 방법은 무선 신호 처리 방법은 직접 경로가 존재하는 다중 사용자 다중 중계 시스템에서 간단한 연산을 통해서 전송율을 최대화할 수 있는 송신 필터 및 중계 필터를 결정할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0011] 도 1은 본 발명의 일실시예와 관련된 직접 경로가 존재하는 다중 사용자 다중 중계 노드가 포함된 무선 통신 시스템을 나타내는 도면이다.

도 2는 본 발명의 일실시예와 관련된 직접 경로가 존재하는 다중 사용자 다중 중계 노드가 포함된 무선 통신 시스템 환경에서 무선 신호 처리 방법을 나타내는 흐름도이다.

도 3은 도 2의 무선 신호 처리 방법에서 송신 필터값을 산출하는 방법을 나타내는 흐름도이다.

도 4는 본 일실예와 관련된 무선 처리 방법과 다른 신호 처리 방법의 성능을 비교한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0012] 이하, 본 발명의 일실시예와 관련된 무선 신호 처리 방법에 대해 도면을 참조하여 설명하도록 하겠다.

[0013] 본 명세서에서 사용되는 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "구성된다" 또는 "포함한다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 여러 구성 요소들, 또는 여러 단계들을 반드시 모두 포함하는 것으로 해석되지 않아야 하며, 그 중 일부 구성 요소들 또는 일부 단계들은 포함되지 않을 수도 있고, 또는 추가적인 구성 요소 또는 단계들을 더 포함할 수 있는 것으로 해석되어야 한다.

[0014] 도 1은 본 발명의 일실시예와 관련된 직접 경로가 존재하는 다중 사용자 다중 중계 노드가 포함된 무선 통신 시스템을 나타내는 도면이다.

[0015] 도시된 바와 같이, 상기 무선 통신 시스템은 하나의 송신 노드(BS), 다수의 중계 노드(RS 1, RS 2,..., RS N), 다수의 수신 노드(MU 1, MU 2,・・・,MU K) 및 신호 처리 장치(100)를 포함할 수 있다. 상기 무선 통신 시스템에는 직접 링크가 존재할 수 있다.

[0016] M_b는 송신 노드(BS)의 안테나 개수, M_r은 중계 노드(RS)의 안테나 개수, M_u는 수신 노드(MU)의 안테나 개수를 의미한다.

[0017] 실선은 첫 번째 타임 슬롯에 전송되는 신호를, 점선은 두 번째 타임 슬롯에 전송되는 신호를 나타낸다. N개의 중계 노드(RS)는 하나의 송신 노드(BS)와 K개의 수신 노드(MU)와의 통신을 중계할 수 있다. 또한, 송신 노드(BS)에서 K개의 수신 노드(MU)로의 직접 경로도 존재한다. V는 송신 노드(BS)에서의 필터 정보를 나타내고, F_n은 n번째 중계 노드(RS n)에서의 필터 정보를 나타내고, D_k는 k번째 수신 노드(MU k)에서의 필터 정보를 나타낸다. 이하 실시예에서는 송신 노드(100)의 필터 및 중계 노드의 필터는 선형 필터인 것으로 가정한다.

[0018] 또한, Hn은 송신 노드(BS)와 n번째 중계 노드(RS n)와 채널 정보를 나타내고, G_{kn}은 n번째 중계 노드(RS n)와 k번째 수신 노드(MU k)와 채널 정보를 나타내고, Tk는 송신 노드(BS)와 k번째 수신 노드(MU k)와 채널 정보를 나타낸다.

[0019] 첫 번째 타임 슬롯에서는 송신 노드(100)에서 각 중계 노드(200)로 신호를 전송하는 동시에, 직접 경로를 이용하여 각 수신 노드(300)에게도 신호를 전송하게 된다. 그러면 n번째 릴레이의 수신 신호는 수학식 1과 같다.

수학식 1

[0020] $$\mathbf{r}_n = \mathbf{H}_n\mathbf{x} + \mathbf{n}_n$$

[0021] 여기서 $x = \sum_{k=1}^{K} V_k s_k$는 송신 노드(BS)의 송신 신호이고, V_k는 k번째 수신 노드로 보내지는 송신 심볼 s_k에 적용되는 송신 필터 정보이다. n_n는 평균이 0이고 분산이 1인 복소 백색 가우시안 노이즈를 나타낸다. $V=[V_1 \cdots V_K]$일 때, 송신 노드(BS) power constraint는 수학식 2와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 2

[0022] $$Tr(VV^H) \le P_t$$

[0023] 한편, k번째 수신 노드는 첫 번째 타임 슬롯에 직접 경로를 통하여 송신 노드(BS)로부터 수학식 2 신호를 수신한다. 이하 수신 노드는 사용자로 표현하기로 한다.

수학식 3

[0024] $$\mathbf{y}_k^{(1)} = \mathbf{T}_k\mathbf{V}_k\mathbf{s}_k + \mathbf{T}_k\sum_{i\neq k}\mathbf{V}_i\mathbf{s}_i + \mathbf{z}_k^{(1)}$$

[0025] T_k는 송신 노드(BS)에서 k번째 사용자 간의 채널, $z_k^{(1)}$은 k번째 사용자에서의 평균이 0이고 분산이 1인 복소 백

색 가우시안 노이즈이다.

[0026] 두 번째 타임 슬롯에서는, 중계 노드(RS n)는 첫 번째 타임 슬롯에서 수신된 상기 수학식 1의 신호에 중계 필터 F_n을 적용한 후 K번째 사용자에게 전송하게 된다. 이를 수식적으로 정리하면, 수학식 4와 같다.

수학식 4

[0027]
$$\mathbf{y}_k^{(2)} = \sum_{n=1}^{N} \mathbf{G}_{kn}\mathbf{F}_n\mathbf{H}_n\mathbf{V}_k\mathbf{S}_k + \sum_{n=1}^{N} \mathbf{G}_{kn}\mathbf{F}_n\mathbf{H}_n \sum_{i\neq k} \mathbf{V}_i\mathbf{S}_i + \sum_{n=1}^{N} \mathbf{G}_{kn}\mathbf{F}_n\mathbf{n}_n + \mathbf{z}_k^{(2)}$$

[0028] 여기서 중계 노드 별 power constraint 및 covariance matrix R_{r_n}는 수학식 5 및 수학식 6과와 같다. G_{kn}은 n번째 중계 노드(RS n)와 k번째 수신 노드(MU k)와 채널 정보를 나타내다.

수학식 5

[0029]
$$\mathrm{Tr}\left(\mathbf{F}_n\mathbf{R}_{r_n}\mathbf{F}_n^H\right) \leq P_{r_n}$$

수학식 6

[0030]
$$\mathbf{R}_{r_n} = \mathbb{E}\left[\mathbf{r}_n\mathbf{r}_n^H\right] = \mathbf{H}_n\mathbf{V}\mathbf{V}^H\mathbf{H}_n^H + \sigma_r^2\mathbf{I}.$$

[0031] 최종적으로, k번째 사용자에게 두 타임 슬롯에 걸쳐 수신된 신호는 A_k와 $\tilde{z}_k$가 아래와 같이 정의 될 때,

[0032]
$$\mathbf{A}_k = \left[\mathbf{T}_k^T\ \mathbf{B}_k^T\right]^T,$$
$$\tilde{\mathbf{z}}_k = \begin{bmatrix} \mathbf{T}_k\sum_{i\neq k}\mathbf{V}_i\mathbf{s}_i + \mathbf{z}_k^{(1)} \\ \mathbf{B}_k\sum_{i\neq k}\mathbf{V}_i\mathbf{s}_i + \sum_{n=1}^{N}\mathbf{G}_{kn}\mathbf{F}_n\mathbf{n}_n + \mathbf{z}_k^{(2)} \end{bmatrix}$$

[0033] 수학식 7로 표현될 수 있다.

수학식 7

[0034]
$$\mathbf{y}_k = \left[\mathbf{y}_k^{(1)T}\ \mathbf{y}_k^{(2)T}\right]^T = \mathbf{A}_k\mathbf{V}_k\mathbf{s}_k + \tilde{\mathbf{z}}_k$$

[0035] 그리고, Gaussian signaling을 가정하에서 k번째 사용자의 개별 전송율(rate)은 수학식 8과 같이 수식적으로 표현 가능하다.

수학식 8

[0036]
$$R_k = \frac{1}{2}\log_2\left|\mathbf{I} + \mathbf{V}_k^H\mathbf{A}_k^H\mathbf{R}_{\tilde{z}_k}^{-1}\mathbf{A}_k\mathbf{V}_k\right|$$

[0037] 한편, 수학식 2와 수학식 5의 power constraint를 고려하여 WSR(weighted sum-rate, 각 사용자 데이터 전송율

합)을 최대화 하는 joint optimization 문제는 convex 문제가 아니므로 매우 다루기 어렵다. 대신 사용자의 수신 필터를 Minimum-mean-squared-error(MMSE) 필터로 가정하고 MSE(mean-squared-error)를 최소화하는 접근을 통하여 WSR 최대화 문제와 equivalent 한 솔루션을 도출할 수 있다.

[0038] 수신단에서 MMSE 필터를 가정하면, k번째 사용자의 MMSE 수신 필터는 수학식 9와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 9

[0039] $$\hat{\mathbf{D}}_k = \arg\min_{\mathbf{D}_k} \mathbb{E}\left[\|\mathbf{D}_k\mathbf{y}_k - \mathbf{s}_k\|^2\right] = \mathbf{V}_k^H\mathbf{A}_k^H\left(\mathbf{A}_k\mathbf{V}_k\mathbf{V}_k^H\mathbf{A}_k^H + \mathbf{R}_{\tilde{z}_k}\right)^{-1}$$

[0040] 상기 수학식 9를 사용자의 수신 신호에 적용하면 K번째 사용자의 개별 rate은 수학식 10으로 나타낼 수 있다.

수학식 10

[0041] $$R_k = \frac{1}{2}\log_2\left|\mathbf{E}_k^{-1}\right|$$

[0042] 따라서 상기 수학식 10을 이용하면 WSR을 최대화 하는 것과 동일한 솔루션을 갖는 weighted sum mean-squared-error(WSMSE) 최소화 문제는 수학식 11과 같이 형성될 수 있다.

수학식 11

[0043] $$\min_{\substack{\mathbf{V}_k,\mathbf{F}_n,\\ \mathbf{D}_k,\mathbf{W}_k}} \sum_{i=1}^{K}\left\{\mathrm{Tr}\left(\mathbf{W}_i\tilde{\mathbf{E}}_i\right) - \frac{w_i}{2}\log_2\left|\frac{2\ln 2}{w_i}\mathbf{W}_i\right| - \frac{w_i M_u}{2\ln 2}\right\}$$
$$\text{s.t. } \mathrm{Tr}\left(\mathbf{V}\mathbf{V}^H\right) \le P_b,\ \mathrm{Tr}\left(\mathbf{F}_n\mathbf{R}_{r_n}\mathbf{F}_n^H\right) \le P_{r_n},\ \forall n,$$

[0044] 여기서 W_k는 가중치 매트릭스이다. WSMSE 최소화 문제는 V_k, F_n, D_k, W_k각 필터에 대해서 jointly convex 문제는 아니다. 하지만 나머지 필터를 모두 고정시켰을 때 각각의 필터에 대해서는 convex 문제가 된다. 이 점에 착안하여 각 필터를 순차적으로 구하는 과정에 있어 나머지 필터들을 모두 고정값으로 두고 연산할 수 있다.

[0045] 우선 송신단, 릴레이 노드의 필터를 고정하고 k번째 사용자의 $\hat{D}_k, W_k$를 수학식 12 및 수학식 13과 같이 구할 수 있다.

수학식 12

[0046] $$\hat{\mathbf{D}}_k = \mathbf{V}_k^H\mathbf{A}_k^H\left(\mathbf{A}_k\mathbf{V}_k\mathbf{V}_k^H\mathbf{A}_k^H + \mathbf{R}_{\tilde{z}_k}\right)^{-1}$$

수학식 13

[0047] $$\mathbf{W}_k = \frac{w_k}{2\ln 2}\mathbf{E}_k^{-1},\ \forall k$$

[0048] 여기서 MMSE 매트릭스는 수학식 14로 나타낼 수 있다.

수학식 14

$$\mathbf{E}_k = \mathbb{E}\left[\left(\hat{\mathbf{D}}_k\mathbf{y}_k - \mathbf{s}_k\right)\left(\hat{\mathbf{D}}_k\mathbf{y}_k - \mathbf{s}_k\right)^H\right] = \left(\mathbf{I} + \mathbf{V}_k^H\mathbf{A}_k^H\mathbf{R}_{\tilde{z}_k}^{-1}\mathbf{A}_k\mathbf{V}_k\right)^{-1}$$

[0049]

[0050] 그리고 도출된 $\hat{D}_k$, W_i를 이용하고 KKT(Karush-Kuhn-Tucker) 조건식을 이용하면, n번째 중계 필터를 F_n은 수학식 15와 λ_n에 관한 함수식으로 얻어지며 λ_n은 bisection method와 같은 간단한 알고리즘으로 도출될 수 있다.

수학식 15

$$\begin{aligned}\mathbf{F}_n(\lambda_n) = &\left(\sum_{l=1}^{K}\mathbf{G}_{ln}^H\mathbf{D}_l^H\mathbf{W}_l\mathbf{D}_l\mathbf{G}_{ln} + \lambda_n\mathbf{I}\right)^{-1} \\ &\times \sum_{l=1}^{K}\mathbf{G}_{ln}^H\mathbf{D}_l^H\mathbf{W}_l\left(\mathbf{V}_l^H - \mathbf{D}_l\sum_{j=1,j\neq n}^{N}\mathbf{G}_{lj}\mathbf{F}_j\mathbf{H}_j\mathbf{V}\mathbf{V}^H\right) \\ &\times \mathbf{H}_n^H\left(\mathbf{H}_n\mathbf{V}\mathbf{V}^H\mathbf{H}_n^H + \sigma_r^2\mathbf{I}\right)^{-1}.\end{aligned}$$

[0051]

[0052] 한편, 송신 필터는 송신단 power constraint 뿐만 아니라 N개의 각 중계 노드 별 power constraint도 모두 고려하여 디자인 되어야 하고, 이는 하나의 파워 합 constraint를 갖는 최적화 문제로 변형하여 KKT 조건을 품으로서 솔루션을 도출할 수 있다.

[0053] 즉, WSMSE 최소화 문제는 수학식 16와 같이 간소화 될 수 있다.

수학식 16

$$\begin{aligned}g(\mu,\lambda_n): &\min_{\mathbf{V}_k}\sum_{i=1}^{K}\mathrm{Tr}\left(\mathbf{W}_i\mathbf{E}_i\right) \\ &\text{s.t. } \mu\mathrm{Tr}\left(\mathbf{V}\mathbf{V}^H\right) + \sum_{n=1}^{N}\lambda_n\mathrm{Tr}\left(\mathbf{F}_n\mathbf{R}_{r_n}\mathbf{F}_n^H\right) \leq P_t\end{aligned}$$

[0054]

[0055] 수학식 16의 라그랑지 함수(Lagrangian function)은 수학식 17과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 17

$$\mathcal{L}_{\mathrm{RWSMSE}}^{\mathrm{BS}}=\sum_{i=1}^{K}\mathrm{Tr}\left(\mathbf{W}_i\mathbf{E}_i\right)+\zeta\left(\mu\mathrm{Tr}\left(\mathbf{V}\mathbf{V}^H\right)+\sum_{n=1}^{N}\lambda_n\mathrm{Tr}\left(\mathbf{F}_n\mathbf{R}_{r_n}\mathbf{F}_n^H\right)-P_t\right)$$

[0056]

[0057] 여기서 ζ 는 0 이상인, Lagrangian multiplier이다. 수학식 17에 KKT 조건을 적용하면, 수학식 18 및 수학식 19가 도출된다.

수학식 18

$$\nabla_{\mathbf{V}_k}\mathcal{L}_{\mathrm{RWSMSE}}^{\mathrm{BS}}=2\frac{\partial\mathcal{L}_{\mathrm{RWSMSE}}^{\mathrm{BS}}}{\partial\mathbf{V}_k^*}=\mathbf{0}$$

[0058]

수학식 19

$$\zeta\left(\mu\mathrm{Tr}\left(\mathbf{V}\mathbf{V}^H\right)+\sum_{n=1}^{N}\lambda_n\mathrm{Tr}\left(\mathbf{F}_n\mathbf{R}_{r_n}\mathbf{F}_n^H\right)-P_t\right)=0$$

[0059]

[0060] 그리고 수학식 18에 수학식 17을 적용하여 계산하면 송신 필터는 수학식 20와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 20

$$\mathbf{V}_k=\left(\sum_{i=1}^{K}\mathbf{A}_i^H\mathbf{D}_i^H\mathbf{W}_i^H\mathbf{D}_i\mathbf{A}_i+\zeta\left(\mu\mathbf{I}+\sum_{n=1}^{N}\lambda_n\mathbf{H}_n^H\mathbf{F}_n^H\mathbf{F}_n\mathbf{H}_n\right)\right)^{-1}\times\mathbf{A}_k^H\mathbf{D}_k^H\mathbf{W}_k^H$$

[0061]

[0062] 이하에서는 신호 처리 장치(100)에서 각 필터를 순차적으로 구하 방법에 대해 설명하도록 하겠다.

[0063] 도 2는 본 발명의 일실시예와 관련된 직접 경로가 존재하는 다중 사용자 다중 중계 노드가 포함된 무선 통신 시스템 환경에서 무선 신호 처리 방법을 나타내는 흐름도이다.

[0064] 먼저, 신호 처리 장치(100)는 송신 필터 정보와 중계 필터 정보를 특정 값으로 할당하여 고정할 수 있다(S210). 예를 들어, 제1송신 필터값 및 제1중계 필터값은 신호 처리 장치(100)에서 할당하는 초기값일 수 있다. 본 명세서에서는 편의상, 이전에 할당되거나 산출된 송신 필터값을 '제1송신 필터값'이라 표현하고, 상기 제1송신 필터

값에서 갱신된 송신 필터값을 '제2송신 필터값'이라 표현한다. 상기와 같은 표현은 중계 필터, 수신 필터, 가중치 매트릭스에도 동일하게 적용한다.

[0065] 그리고 상기 신호 처리 장치(100)는 상기 제1송신 필터값 및 상기 제1중계 필터값을 이용하여 제1수신 필터값 및 제1가중치 매트릭스를 산출할 수 있다(S220). 이 경우 수신 필터는 MMSE 필터일 수 있다. 예를 들어, 신호 처리 장치(100)는 수학식 9, 수학식 13 및 수학식 14에 제1송신 필터값 및 상기 제1중계 필터값을 대입하여 제1수신 필터값 및 제1가중치 매트릭스를 산출할 수 있다.

[0066] 상기 신호 처리 장치(100)는 상기 제1수신 필터값, 제1가중치 매트릭스 및 상기 제1송신 필터값을 이용하여 제2중계 필터값을 산출할 수 있다(S230). 예를 들어, 신호 처리 장치(100)는 상기 제1수신 필터값, 제1가중치 매트릭스 및 상기 제1송신 필터값을 수학식 15에 적용하여 제2중계 필터값을 산출할 수 있다.

[0067] 상기 신호 처리 장치(100)는 상기 제1수신 필터값, 제2중계 필터값, 및 제1가중치 매트릭스를 이용하여 제2송신 필터값을 산출할 수 있다(S240). 상기 S240 단계에서 대해서는 도 3을 통해 상술하기로 한다.

[0068] 상기 신호 처리 장치(100)는 상기 제1송신 필터값과 상기 제2송신 필터값의 차이 및 상기 제1중계 필터값과 상기 제2중계 필터값의 차이가 소정값 이하인 경우, 송신 필터값 및 중계 필터값이 수렴된 것으로 판단하고, 상기 제2송신 필터값 및 상기 제2중계 필터값을 상기 송신 필터 및 상기 중계 필터의 최종값으로 각각 결정할 수 있다(S250, S260).

[0069] 만약, 송신 필터값 및 중계 필터값이 수렴되지 않은 경우, 상기 신호 처리 장치(100)는 상기 S210 단계부터 상기 S240 단계를 반복적으로 수행할 수 있다.

[0070] 도 3은 도 2의 무선 신호 처리 방법에서 송신 필터값을 산출하는 방법을 나타내는 흐름도이다.

[0071] 상기 제1수신 필터값, 제2중계 필터값, 및 제1가중치 매트릭스가 고정된 값으로 정해지면, 상기 신호 처리 장치(100)는 수학식 20을 이용하여 제2송신 필터값을 산출할 수 있다. 상기 수학식 20에 포함된 변수인 μ와 λ_n은 초기에 신호 처리 장치(100)에 의해 고정된 값으로 주어진다(S310).

[0072] 그리고 상기 두 변수 μ와 λ_n은 상기 송신 노드의 power constraint 및 상기 중계 노드의 power constraint을 이용하여 갱신될 수 있다. 예를 들어 두 변수 μ와 λ_n의 갱신은 수학식 21에 의해 갱신될 수 있다.

수학식 21

$$\mu^{(j+1)} = \mu^{(j)} + t\left(\mathrm{Tr}\left(\mathbf{V}\mathbf{V}^H\right) - P_b\right),$$
$$\lambda_n^{(j+1)} = \lambda_n^{(j)} + t\left(\mathrm{Tr}\left(\mathbf{F}_n\mathbf{R}_{r_n}\mathbf{F}_n^H\right) - P_{r_n}\right) \text{ for } \forall r$$
$$\text{Until } \left|\mu\left(\mathrm{Tr}\left(\mathbf{V}\mathbf{V}^H\right) - P_b\right)\right| \le \epsilon \text{ and}$$
$$\left|\lambda_n\left(\mathrm{Tr}\left(\mathbf{F}_n\mathbf{R}_{r_n}\mathbf{F}_n^H\right) - P_{r_n}\right)\right| \le \epsilon, \forall n.$$

[0073]

[0074] 상기 갱신 과정은 갱신된 변수 값과 이전 변수 값의 차이가 소정값 이하일 때까지 계속 수행될 수 있다(S320, S330)

[0075] 도 4는 본 일실예와 관련된 무선 처리 방법과 다른 신호 처리 방법의 성능을 비교한 도면이다.

[0076] 여기서 GD는 모든 중계 노드와 사용자가 협력 통신을 하는 상황 하에서 gradient decsent 알고리즘을 통해 얻은 경우이며 이는 매우 높은 복잡도를 요구하지만 성능 상향 한계 커브이다. proposed-joint(본 발명의 실시예에서 제안하는 방법)는 송신 노드와 중계 노드 모두 제안한 기법을 통하여 최적화 한 경우이다. 또한 proposed-BS는 단지 송신 필터만을 제안한 기법을 통하여 최적화 한 경우이고, proposed-RS는 중계 필터만을 제안한 기법을 통하여 최적화 한 경우이다.

[0077] 상기 도면에서 확인할 수 있듯이, 제안한 proposed-joint 기법은 GD 알고리즘에 비해 낮은 복잡도로도 성능 차

0.64bps/Hz 이내의 거의 동일한 성능을 나타낸다. 즉, 본 발명의 일실시예에 의한 무선 신호 처리 방법은 복잡도가 높은 기존의 gradient descent 알고리즘의 성능과 거의 동일한 WSR을 나타내면서, 복잡도를 크게 줄어 들었다는 장점이 있다.

[0078] 상술한 무선 신호 처리 방법은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터로 판독 가능한 기록 매체에 기록될 수 있다. 이때, 컴퓨터로 판독 가능한 기록매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 한편, 기록매체에 기록되는 프로그램 명령은 본 발명을 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다.

[0079] 컴퓨터로 판독 가능한 기록매체에는 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-광매체(Magneto-Optical Media), 및 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다.

[0080] 한편, 이러한 기록매체는 프로그램 명령, 데이터 구조 등을 지정하는 신호를 전송하는 반송파를 포함하는 광 또는 금속선, 도파관 등의 전송 매체일 수도 있다.

[0081] 또한, 프로그램 명령에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다. 상술한 하드웨어 장치는 본 발명의 동작을 수행하기 위해 하나 이상의 소프트웨어 모듈로서 작동하도록 구성될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다.

[0082] 상기와 같이 설명된 무선 신호 처리 방법은 상기 설명된 실시예들의 구성과 방법이 한정되게 적용될 수 있는 것이 아니라, 상기 실시예들은 다양한 변형이 이루어질 수 있도록 각 실시예들의 전부 또는 일부가 선택적으로 조합되어 구성될 수도 있다.

부호의 설명

[0083] BS: 송신 노드

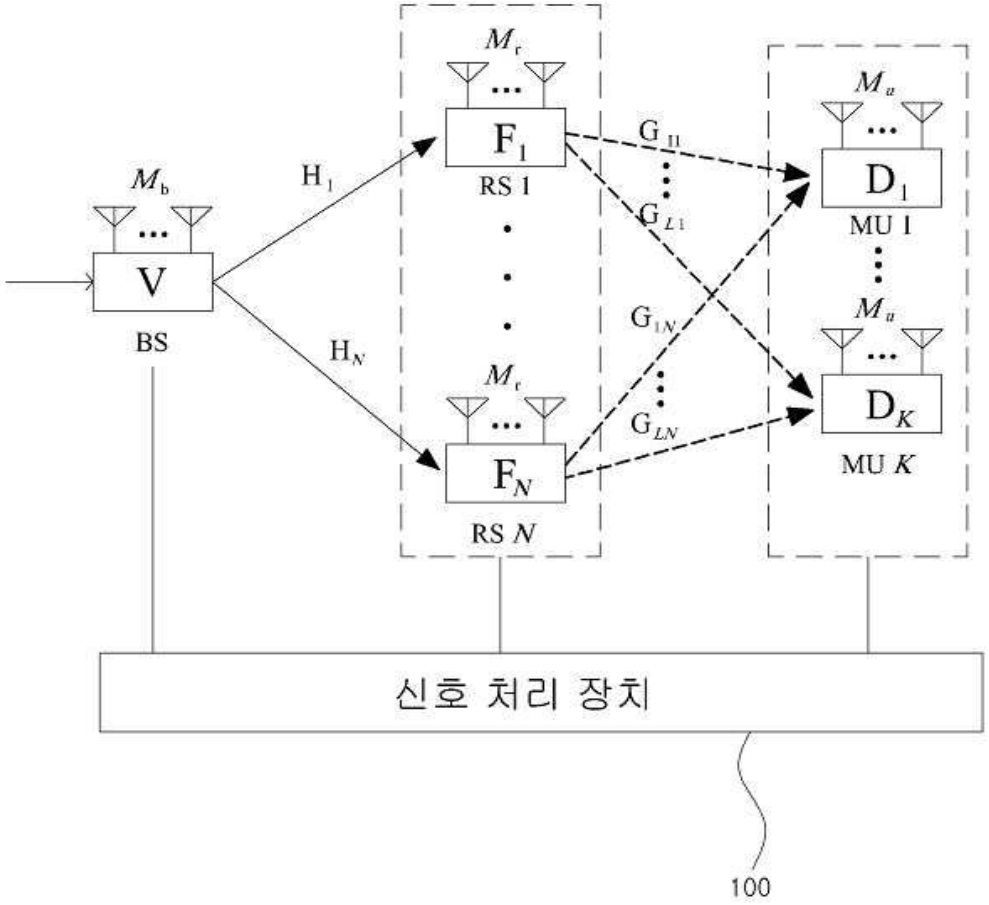
RS: 중계 노드

MU: 수신 노드

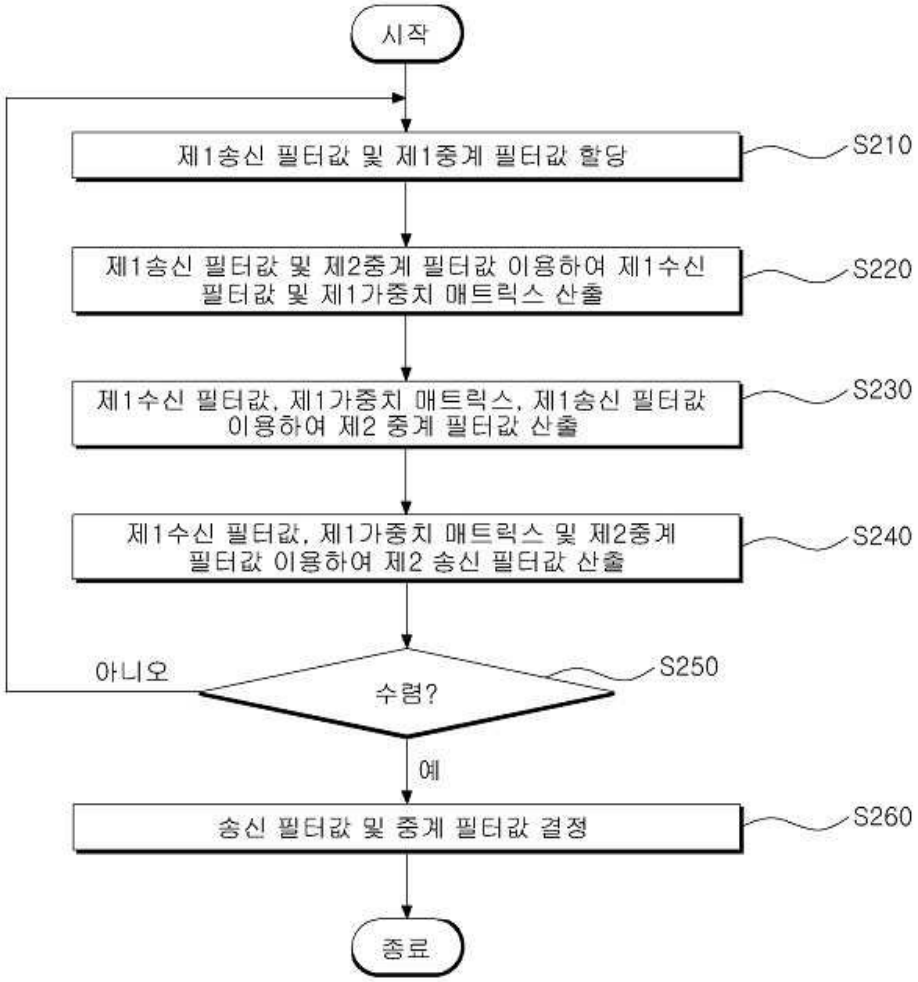
100: 신호 처리 장치

도면

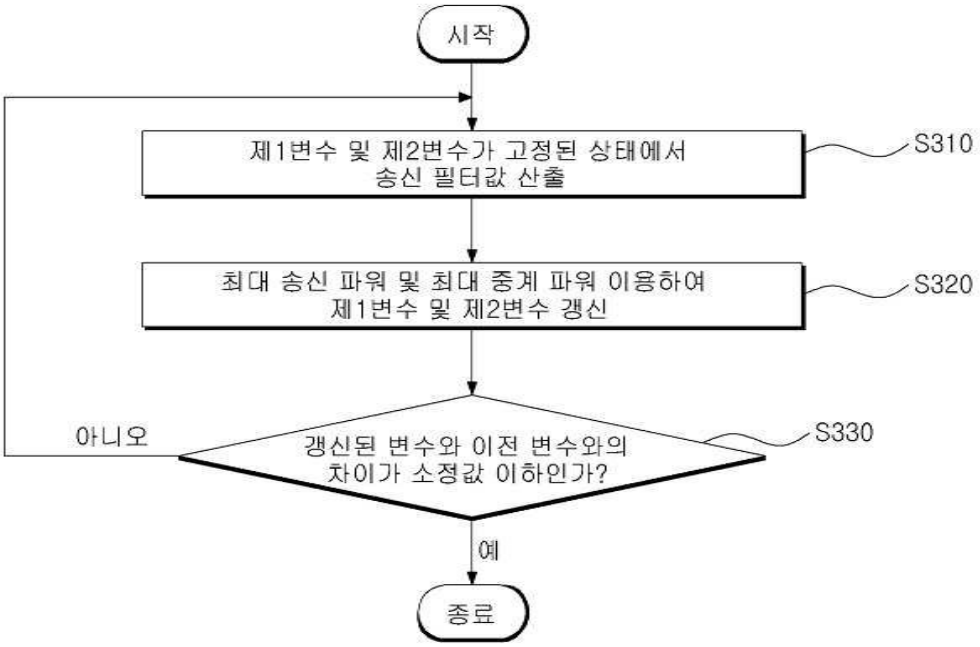
도면1


M_r
F_1
RS 1
M_t
V
BS
M_b
H_1
H_N
F_N
RS N
G_{11}
G_{L1}
G_{1N}
G_{LN}
M_u
D_1
MU 1
D_K
MU K
신호 처리 장치
100

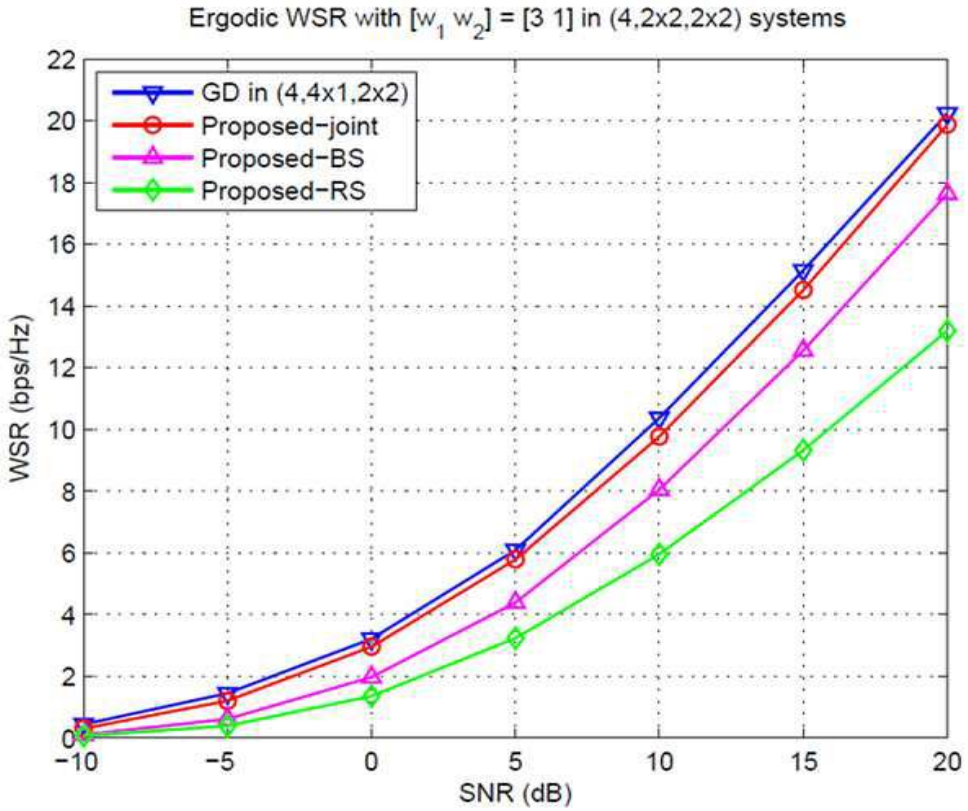
도면2


시작
제1송신 필터값 및 제1중계 필터값 할당
S210
제1송신 필터값 및 제2중계 필터값 이용하여 제1수신 필터값 및 제1가중치 매트릭스 산출
S220
제1수신 필터값, 제1가중치 매트릭스, 제1송신 필터값 이용하여 제2 중계 필터값 산출
S230
제1수신 필터값, 제1가중치 매트릭스 및 제2중계 필터값 이용하여 제2 송신 필터값 산출
S240
아니오
수렴?
S250
예
송신 필터값 및 중계 필터값 결정
S260
종료

도면3


시작
제1변수 및 제2변수가 고정된 상태에서
송신 필터값 산출
S310
최대 송신 파워 및 최대 중계 파워 이용하여
제1변수 및 제2변수 갱신
S320
아니오
갱신된 변수와 이전 변수와의
차이가 소정값 이하인가?
S330
예
종료

도면4


Ergodic WSR with [w1 w2] = [3 1] in (4,2x2,2x2) systems
GD in (4,4x1,2x2)
Proposed-joint
Proposed-BS
Proposed-RS
WSR (bps/Hz)
SNR (dB)
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
22
-10
-5
0
5
10
15
20