



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2015-0052670  
(43) 공개일자 2015년05월14일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
H04L 25/03 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2013-0134366  
(22) 출원일자 2013년11월06일  
심사청구일자 없음

(71) 출원인

연세대학교 산학협력단

서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)

(72) 발명자

김동구

서울 강남구 일원로 120, 103동 1104호 (일원동, 샘터마을아파트)

조영민

서울 서대문구 연희로18안길 4, 401호 (연희동, 연세빌리지)

(74) 대리인

민영준

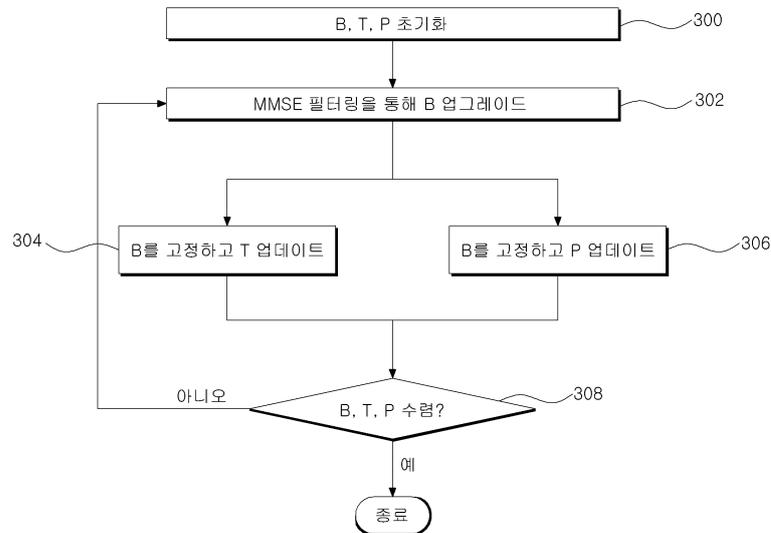
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 전이중 중계기 네트워크에서 송수신기 설계 방법

(57) 요약

전이중 중계기 네트워크에서 송수신기 설계 방법이 개시된다. 개시된 방법은, 기지국, 중계기 및 단말기를 포함 (뒷면에 계속)

대표도 - 도3



하는 전이중 네트워크에서 상기 기지국 및 상기 단말기가 상기 중계기에 신호를 전송하는 페이즈에서의 송수신기 설계 방법으로서, 중계기 수신 필터  $B$ , 기지국 프리코더  $T$  및 단말기 프리코더  $P$ 를 초기화하는 단계(a); 상기 중계기에서의 MSE를 이용하여 MMSE 필터링에 의해 상기 중계기 수신 필터  $B$ 를 업데이트하는 단계(b); 상기 단계(b)에서 업데이트된 중계기 수신 필터  $B$ 를 고정시키고 콘벡스 프로그래밍에 기초하여 상기 기지국 프리코더  $T$ 를 업데이트하는 단계(c); 상기 단계(b)에서 업데이트된 중계기 수신 필터  $B$ 를 고정시키고 콘벡스 프로그래밍에 기초하여 상기 단말기 프리코더  $P$ 를 업데이트하는 단계(d); 및 상기 중계기 수신 필터, 상기 기지국 프리코더 및 상기 단말기 프리코더가 수렴할 때까지 상기 단계(b) 내지 (d)의 업데이트를 반복적으로 수행하는 단계(e)를 포함하되, 상기 단계(b)의 MSE는 채널 추정 오류 분산을 이용하여 획득된다. 개시된 방법에 의하면, 불확실한 채널 정보를 가지고 있을 경우에도 비교적 단순한 연산으로 전이중 네트워크 송수신기 설계가 가능하다.

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

|          |                         |
|----------|-------------------------|
| 과제고유번호   | 1415109683              |
| 부처명      | 지식경제부                   |
| 연구관리전문기관 | 정보통신산업진흥원               |
| 연구사업명    | 정보통신기술인력양성              |
| 연구과제명    | 디지털 방송장비 연구             |
| 기 여 율    | 1/1                     |
| 주관기관     | 연세대학교 산학협력단             |
| 연구기간     | 2010.06.01 ~ 2013.12.31 |

---

명세서

청구범위

청구항 1

기지국, 중계기 및 단말기를 포함하는 전이중 네트워크에서 상기 기지국 및 상기 단말기가 상기 중계기에 신호를 전송하는 페이즈에서의 송수신기 설계 방법으로서,

중계기 수신 필터  $B$ , 기지국 프리코더  $T$  및 단말기 프리코더  $P$  를 초기화하는 단계(a);

상기 중계기에서의 MSE를 이용하여 MMSE 필터링에 의해 상기 중계기 수신 필터  $B$  를 업데이트하는 단계(b);

상기 단계(b)에서 업데이트된 중계기 수신 필터  $B$  를 고정시키고 콘벡스 프로그래밍에 기초하여 상기 기지국 프리코더  $T$  를 업데이트하는 단계(c);

상기 단계(b)에서 업데이트된 중계기 수신 필터  $B$  를 고정시키고 콘벡스 프로그래밍에 기초하여 상기 단말기 프리코더  $P$  를 업데이트하는 단계(d); 및

상기 중계기 수신 필터, 상기 기지국 프리코더 및 상기 단말기 프리코더가 수렴할 때까지 상기 단계(b) 내지 (d)의 업데이트를 반복적으로 수행하는 단계(e)를 포함하되,

상기 단계(b)의 MSE는 채널 추정 오류 분산을 이용하여 획득되는 것을 특징으로 하는 전이중 네트워크에서 송수신기 설계 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 중계기에서의 MSE는 다음의 수학적식과 같이 설정되는 것을 특징으로 하는 전이중 네트워크에서 송수신기 설계 방법.

$$\begin{aligned} \text{MSE}_{\text{Relay}} = & \text{tr} \left[ \mathbf{B} (\bar{\mathbf{G}} \mathbf{T} \mathbf{T}^H \bar{\mathbf{G}}^H) \mathbf{B}^H \right] - \text{tr} \left[ \mathbf{B} \bar{\mathbf{G}} \mathbf{T} \right] - \text{tr} \left[ \mathbf{T}^H \bar{\mathbf{G}}^H \mathbf{B}^H \right] + \frac{\sigma_{ce}^2}{1 + \sigma_{ce}^2} \text{tr} (\mathbf{T} \mathbf{T}^H) \text{tr} (\mathbf{B} \mathbf{B}^H) \\ & + \text{tr} \left[ \mathbf{B} (\bar{\mathbf{H}} \mathbf{P} \mathbf{P}^H \bar{\mathbf{H}}^H) \mathbf{B}^H \right] - \text{tr} \left[ \mathbf{B} \bar{\mathbf{H}} \mathbf{P} \right] - \text{tr} \left[ \mathbf{P}^H \bar{\mathbf{H}}^H \mathbf{B}^H \right] + \frac{\sigma_{ce}^2}{1 + \sigma_{ce}^2} \text{tr} (\mathbf{P} \mathbf{P}^H) \text{tr} (\mathbf{B} \mathbf{B}^H) \\ & + \text{tr} \left[ 2\mathbf{I}_N + \sigma_{ce}^2 \mathbf{B} \mathbf{B}^H \right] \end{aligned}$$

위 수학적식에서,  $\sigma_{ce}^2$  는 채널 추정 오류의 분산이고,  $\mathbf{G}$  는 기지국과 중계기 링크의 채널,  $\mathbf{H}$  는 중계기와 단말기 링크의 채널,  $\mathbf{I}_N$  은 단위 행렬임.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 중계기 수신 필터  $B$  는 상기 MSE를 최소화하는 방향으로 MMSE 필터링에 의해 업데이트되는 것을 특징으로 하는 전이중 네트워크에서 송수신기 설계 방법.

**청구항 4**

제3항에 있어서, 상기 중계기 수신 필터  $B$  는 다음의 수학적식과 같이 설계되는 것을 특징으로 하는 전이중 네트워크에서 송수신기 설계 방법.

$$B = \left( T^H G^H + P^H H^H \right) \times \left[ G T T^H G^H + H P P^H H^H + \left( \frac{\sigma_{ce}^2}{1 + \sigma_{ce}^2} \text{tr} [T T^H + P P^H] + \sigma^2 \right) I \right]$$

위 수학적식에서  $I$  는 단위 행렬임.

**청구항 5**

제4항에 있어서,

상기 기지국 프리코더  $T$  는 다음의 수학적식과 같이 설계되는 것을 특징으로 하는 전이중 네트워크에서 송수신기 설계 방법.

$$T = \bar{G}^H B^H \left[ \bar{G}^H B^H B \bar{G} + \left( \frac{\sigma_{ce}^2}{1 + \sigma_{ce}^2} \text{tr} [B B^H] + \lambda_{BS} \right) I \right]^{-1}$$

위 수학적식에서,  $\lambda_{BS}$  는 기지국의 전력 조건에 의해 결정되는 상수.

**청구항 6**

제5항에 있어서,

상기 단말기 프리코더  $P$  는 다음의 수학적식과 같이 설계되는 것을 특징으로 하는 전이중 네트워크에서의 송수신기 설계 방법.

$$P = \bar{H}^H B^H \left[ G^H \bar{H}^H \bar{H} G + \left( \frac{\sigma_{ce}^2}{1 + \sigma_{ce}^2} \text{tr} [B B^H] + \lambda_{user} \right) I \right]^{-1}$$

위 수학적식  $\lambda_{user}$  는 단말기 전력 조건에 의해 결정되는 상수.

**청구항 7**

기지국, 중계기 및 단말기를 포함하는 전이중 네트워크에서 상기 중계기가 상기 기지국 및 상기 단말기에 신호를 전송하는 페이즈에서의 송수신기 설계 방법으로서,

중계기 프리코더  $F$ , 기지국 수신 필터  $J$  및 단말기 수신 필터  $R$ 을 초기화하는 단계(a);

상기 기지국에서의 MSE를 이용하여 MMSE 필터링에 의해 상기 기지국 수신 필터  $J$ 를 업데이트하는 단계(b);

상기 단말기에서의 MSE를 이용하여 MMSE 필터링에 의해 상기 단말기 수신 필터  $R$ 을 업데이트하는 단계(c);

상기 단계(b)에서 업데이트된 기지국 수신 필터  $J$  및 상기 단계(c)에서 업데이트된 단말기 수신 필터  $R$ 을

고정시키고 콘벡스 프로그래밍에 의해 상기 중계기 프리코더  $F$ 를 업데이트 하는 단계(d); 및

상기 기지국 수신 필터, 상기 단말기 수신 필터 및 상기 중계기 프리코더가 수렴할 때까지 상기 단계(b) 내지 (d)의 업데이트를 반복적으로 수행하는 단계(e)를 포함하되,

상기 단계 (b)의 MSE 및 상기 단계(c)의 MSE는 채널추정 오류 분산을 이용하여 획득되는 것을 특징으로 하는 전이중 네트워크에서의 송수신기 설계 방법.

**청구항 8**

제7항에 있어서,

상기 단계(b)의 기지국에서의 수신 필터  $J$ 는 다음의 수학적식과 같이 설계되는 것을 특징으로 하는 전이중 네트워크에서의 송수신기 설계 방법.

$$J = F^H \bar{G}^* \left[ \bar{G}^T F F^H \bar{G}^* + \left( \frac{2\sigma_{ce}^2}{1 + \sigma_{ce}^2} \text{tr}[F F^H] + \sigma^2 \right) I \right]^{-1}$$

위 수학적식 11에서,  $G^T$ 는 기지국과 중계기 링크의 채널이고,  $\sigma_{ce}^2$ 는 채널 추정 오류의 분산이며,  $I$ 는 단위 행렬임.

**청구항 9**

제8항에 있어서,

상기 단계(c)의 단말기에서의 수신 필터  $R$ 은 다음의 수학적식과 같이 설계되는 것을 특징으로 하는 전이중 네트워크에서의 송수신기 설계 방법.

$$R = F^H \bar{H}^* \left[ \bar{H}^T F F^H \bar{H}^* + \left( \frac{2\sigma_{ce}^2}{1 + \sigma_{ce}^2} \text{tr}[F F^H] + \sigma^2 \right) I \right]^{-1}$$

위 수학적식  $H^T$ 는 중계기와 단말기 사이의 채널임.

**청구항 10**

제9항에 있어서,

상기 단계(d)의 중계기에서의 프리코더  $F$  는 다음의 수학적식과 같이 설계되는 것을 특징으로 하는 전이중 네트워크에서의 송수신기 설계 방법.

$$F = (\bar{G}^* J^H + \bar{H}^* R^H) \left[ \bar{G}^* J^H J G^T + \bar{H}^* R^H R H^T + \left( \frac{2\sigma_{ce}^2}{1 + \sigma_{ce}^2} \text{tr} [J J^H + R R^H] + \lambda_{\text{relay}} \right) I \right]^{-1}$$

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 송수신기 설계 방법에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 전 이중 중계기 네트워크에서의 송수신기 설계 방법에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] 전 이중 중계기 네트워크는 기지국, 중계기 및 단말기로 이루어지는 통신 시스템에서 기지국 및 단말기가 동시에 중계기로 신호를 전송하고, 중계기가 기지국 및 단말기에 동시에 신호를 전송하도록 동작하는 네트워크이다.

[0003] 전 이중 중계기 네트워크에서 중계기는 제1 페이즈에서는 수신기로 동작하고, 제2 페이즈에서는 송신기로 동작하게 되며, 기지국 및 단말기는 제1 페이즈에서는 송신기로 동작하고 제2 페이즈에서는 수신기로 동작하게 된다.

[0004] 이러한 전 이중 중계기 네트워크에서 송신기의 프리코더 및 수신기의 수신 필터를 설계하기 위한 다양한 연구가 진행되었으나, 기존의 연구들은 모두 기지국 중계기 링크 및 중계기 단말기 링크에서 확실한 채널 정보가 있다고 가정하고 진행되었다.

[0005] 실제의 전 이중 중계기 네트워크는 불확실한 채널 정보를 가지고 있을 수 있으며, 기존의 연구들은 이러한 환경에서의 적절한 송수신기 설계 방법을 제시하지 못하였다.

[0006] 불확실한 채널 정보를 가정한 송수신기 설계 방법이 일부 제시되기도 하였으나, 제시된 방법은 중계기가 AF 중계기 방식으로 동작한다는 점을 가정하였으며, 설계 방식이 너무나 복잡하여 실제 환경에서 사용되기에는 어려운 측면이 있었다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0007] 본 발명에서는 불확실한 채널 정보를 가지고 있을 경우의 전 이중 네트워크 송수신기 설계 방법을 제안한다.

[0008] 또한, 본 발명은 비교적 단순한 연산으로 채널 정보가 불확실한 경우의 전이중 네트워크 송수신기 설계 방법을 제안한다.

**과제의 해결 수단**

[0009] 상기한 바와 같은 목적을 달성하기 위하여, 본 발명의 일 실시예에 따르면, 기지국, 중계기 및 단말기를 포함하는 전이중 네트워크에서 상기 기지국 및 상기 단말기가 상기 중계기에 신호를 전송하는 페이즈에서의 송수신기 설계 방법으로서, 중계기 수신 필터  $B$ , 기지국 프리코더  $T$  및 단말기 프리코더  $P$  를 초기화하는 단계

(a); 상기 중계기에서의 MSE를 이용하여 MMSE 필터링에 의해 상기 중계기 수신 필터  $B$  를 업데이트하는 단계  
 (b); 상기 단계(b)에서 업데이트된 중계기 수신 필터  $B$  를 고정시키고 콘벡스 프로그래밍에 기초하여 상기 기  
 지국 프리코더  $T$  를 업데이트하는 단계(c); 상기 단계(b)에서 업데이트된 중계기 수신 필터  $B$  를 고정시키  
 고 콘벡스 프로그래밍에 기초하여 상기 단말기 프리코더  $P$  를 업데이트하는 단계(d); 및 상기 중계기 수신 필  
 터, 상기 기지국 프리코더 및 상기 단말기 프리코더가 수렴할 때까지 상기 단계(b) 내지 (d)의 업데이트를 반복  
 적으로 수행하는 단계(e)를 포함하되, 상기 단계(b)의 MSE는 채널 추정 오류 분산을 이용하여 획득되는 전이중  
 네트워크에서 송수신기 설계 방법이 제공된다.

상기 중계기에서의 MSE는 다음의 수학적식과 같이 설정된다.

$$\begin{aligned} \text{MSE}_{\text{Relay}} = & \text{tr}[\mathbf{B}(\bar{\mathbf{G}}\mathbf{T}\mathbf{T}^H\bar{\mathbf{G}}^H)\mathbf{B}^H] - \text{tr}[\mathbf{B}\bar{\mathbf{G}}\mathbf{T}] - \text{tr}[\mathbf{T}^H\bar{\mathbf{G}}^H\mathbf{B}^H] + \frac{\sigma_{ce}^2}{1+\sigma_{ce}^2} \text{tr}(\mathbf{T}\mathbf{T}^H)\text{tr}(\mathbf{B}\mathbf{B}^H) \\ & + \text{tr}[\mathbf{B}(\bar{\mathbf{H}}\mathbf{P}\mathbf{P}^H\bar{\mathbf{H}}^H)\mathbf{B}^H] - \text{tr}[\mathbf{B}\bar{\mathbf{H}}\mathbf{P}] - \text{tr}[\mathbf{P}^H\bar{\mathbf{H}}^H\mathbf{B}^H] + \frac{\sigma_{ce}^2}{1+\sigma_{ce}^2} \text{tr}(\mathbf{P}\mathbf{P}^H)\text{tr}(\mathbf{B}\mathbf{B}^H) \\ & + \text{tr}[\mathbf{2}\mathbf{I}_N + \sigma^2\mathbf{B}\mathbf{B}^H] \end{aligned}$$

위 수학적식에서,  $\sigma_{ce}^2$  는 채널 추정 오류의 분산이고,  $\mathbf{G}$  는 기지국과 중계기 링크의 채널,  $\mathbf{H}$  는 중계기  
 와 단말기 링크의 채널,  $\mathbf{I}_N$  은 단위 행렬임.

상기 중계기 수신 필터  $B$  는 상기 MSE를 최소화하는 방향으로 MMSE 필터링에 의해 업데이트된다.

상기 중계기 수신 필터  $B$  는 다음의 수학적식과 같이 설계된다.

$$\begin{aligned} \mathbf{B} = & (\mathbf{T}^H\bar{\mathbf{G}}^H + \mathbf{P}^H\bar{\mathbf{H}}^H) \\ & \times \left[ \bar{\mathbf{G}}\mathbf{T}\mathbf{T}^H\bar{\mathbf{G}}^H + \bar{\mathbf{H}}\mathbf{P}\mathbf{P}^H\bar{\mathbf{H}}^H + \left( \frac{\sigma_{ce}^2}{1+\sigma_{ce}^2} \text{tr}[\mathbf{T}\mathbf{T}^H + \mathbf{P}\mathbf{P}^H] + \sigma^2 \right) \mathbf{I} \right]^{-1} \end{aligned}$$

위 수학적식에서  $\mathbf{I}$  는 단위 행렬임.

상기 기지국 프리코더  $T$  는 다음의 수학적식과 같이 설계된다.

$$\mathbf{T} = \bar{\mathbf{G}}^H\mathbf{B}^H \left[ \bar{\mathbf{G}}^H\mathbf{B}^H\mathbf{B}\bar{\mathbf{G}} + \left( \frac{\sigma_{ce}^2}{1+\sigma_{ce}^2} \text{tr}[\mathbf{B}\mathbf{B}^H] + \lambda_{\text{BS}} \right) \mathbf{I} \right]^{-1}$$

[0019] 위 수학적식에서,  $\lambda_{BS}$ 는 기지국의 전력 조건에 의해 결정되는 상수.

[0020] 상기 단말기 프리코더  $P$ 는 다음의 수학적식과 같이 설계된다.

$$P = \bar{H}^H B^H \left[ G^H \bar{H}^H \bar{H} G + \left( \frac{\sigma_{ce}^2}{1 + \sigma_{ce}^2} \text{tr}[BB^H] + \lambda_{user} \right) I \right]^{-1}$$

[0021]

[0022] 위 수학적식  $\lambda_{user}$ 는 단말기 전력 조건에 의해 결정되는 상수.

[0023] 본 발명의 다른 측면에 따르면, 기지국, 중계기 및 단말기를 포함하는 전이중 네트워크에서 상기 중계기가 상기 기지국 및 상기 단말기에 신호를 전송하는 페이즈에서의 송수신기 설계 방법으로서, 중계기 프리코더  $F$ , 기지국 수신 필터  $J$  및 단말기 수신 필터  $R$ 을 초기화하는 단계(a); 상기 기지국에서의 MSE를 이용하여 MMSE 필터링에 의해 상기 기지국 수신 필터  $J$ 를 업데이트하는 단계(b); 상기 단말기에서의 MSE를 이용하여 MMSE 필터링에 의해 상기 단말기 수신 필터  $R$ 을 업데이트하는 단계(c); 상기 단계(b)에서 업데이트된 기지국 수신 필터  $J$  및 상기 단계(c)에서 업데이트된 단말기 수신 필터  $R$ 을 고정시키고 콘벡스 프로그래밍에 의해 상기 중계기 프리코더  $F$ 를 업데이트 하는 단계(d); 및 상기 기지국 수신 필터, 상기 단말기 수신 필터 및 상기 중계기 프리코더가 수렴할 때까지 상기 단계(b) 내지 (d)의 업데이트를 반복적으로 수행하는 단계(e)를 포함하되, 상기 단계 (b)의 MSE 및 상기 단계(c)의 MSE는 채널추정 오류 분산을 이용하여 획득되는 전이중 네트워크에서의 송수신기 설계 방법이 제공된다.

**발명의 효과**

[0024] 본 발명에 의하면, 불확실한 채널 정보를 가지고 있을 경우에도 비교적 단순한 연산으로 전이중 네트워크 송수신기 설계가 가능하다.

**도면의 간단한 설명**

- [0025] 도 1은 본 발명이 적용되는 전 이중 네트워크 시스템의 제1 페이즈의 동작을 도시한 도면.
- 도 2는 본 발명이 적용되는 전 이중 네트워크 시스템의 제2 페이즈 동작을 도시한 도면.
- 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 전 이중 네트워크 제1 페이즈의 송수신기 설계 방법에 대한 순서도.
- 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 전 이중 네트워크 제2 페이즈의 송수신기 설계 방법에 대한 순서도.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

[0026] 본 발명은 다양한 변경을 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 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 각 도면을 설명하면서 유사한 참조부호를 유사한 구성요소에 대해 사용하였다.

[0027] 이하에서, 본 발명에 따른 실시예들을 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다.

[0028] 도 1은 본 발명이 적용되는 전 이중 네트워크 시스템의 제1 페이지의 동작을 도시한 도면이다.

[0029] 도 1을 참조하면, 본 발명이 적용되는 전 이중 네트워크 시스템은 기지국(100), 중계기(102) 및 단말기(104)를 포함한다. 제1 페이지에서, 기지국(100)은 중계기(102)에 신호를 전송하고, 단말기(104)도 중계기(102)에 신호를 전송한다. 제1 페이지에서, 중계기(102)는 제1 페이지에서 수신기로 동작하고 기지국(100) 및 단말기(104)는 송신기로 동작하게 된다.

[0030] 수신기로 동작하는 중계기의 수신 필터 매트릭스는  $B$  이고 송신기로 동작하는 기지국(100)의 프로코더 매트릭스는  $T$  이며, 송신기로 동작하는 단말기의 프리코더 매트릭스는  $P$  이다. 한편, 기지국(100)과 중계기(102) 링크의 채널은  $G$  이고, 중계기(102)와 단말기(104) 링크의 채널은  $H$  이다.

[0031] 제1 페이지에서, 기지국(100)은 신호  $d$ 를 중계기(102)에 전송하고, 단말은 신호  $u$ 를 중계기(102)에 전송한다.

[0032] 중계기(102)가 수신하는 신호는 다음의 수학식 1과 같이 정의되며,  $n_R$ 은 노이즈 성분이다.

**수학식 1**

$$y_R = GTd + HPu + n_R$$

[0033]

[0034] 도 2는 본 발명이 적용되는 전 이중 네트워크 시스템의 제2 페이지 동작을 도시한 도면이다.

[0035] 제2 페이지에서, 중계기(102)는 송신기로 동작하고, 기지국(100) 및 단말기(104)는 수신기로 동작한다. 중계기(102)는  $(d+u)$ 의 신호를 기지국(100) 및 단말기(104)에 전송한다.

[0036] 기지국 및 중계기 링크의 채널은  $G^T$  로 정의되고, 중계기 및 단말기 링크의 채널은  $H^T$  로 정의된다.

[0037] 제2 페이지에서, 기지국(100)이 수신하는 신호 및 단말기(104)가 수신하는 신호는 다음의 수학식 2와 같이 정의된다.

**수학식 2**

$$y_{BS} = JG^T F(d+u) + Jn_{BS}$$

$$y_{user} = RH^T F(d+u) + Rn_{user}$$

[0038]

[0039] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 전 이중 네트워크 제1 페이지의 송수신기 설계 방법에 대한 순서도이다.

[0040] 도 3을 참조하면, 우선 중계기의 수신 필터 매트릭스  $B$  및 기지국 및 단말기의 프리코더 매트릭스  $T$  및  $P$  를 초기화한다(단계 300). 본 발명의 일 실시예에 따르면, 각 매트릭스는 랜덤하게 초기화되거나 단위 (Identity) 행렬로 초기화될 수 있다.

[0041]  $T$ ,  $B$  및  $P$  가 초기화되면, MMSE 필터링을 통해  $B$  를 업데이트한다(단계 302).

[0042] 제1 페이즈에서,  $\mathbf{B}$  를 업데이트하기 위해 중계기에서의 MSE(Mean Square Error)는 다음의 수학식 3과 같이 표현될 수 있다.

수학식 3

$$\begin{aligned} \text{MSE}_{\text{Relay}} &= \text{tr} \left[ (\mathbf{BGT} - \mathbf{I}_N)(\mathbf{BGT} - \mathbf{I}_N)^H + (\mathbf{BHP} - \mathbf{I}_N)(\mathbf{BHP} - \mathbf{I}_N)^H + \sigma^2 \mathbf{B}\mathbf{B}^H \right] \\ &= \text{tr} \left[ \mathbf{B}(\overline{\mathbf{G}}\mathbf{T}\mathbf{T}^H\overline{\mathbf{G}}^H + \overline{\mathbf{H}}\mathbf{P}\mathbf{P}^H\overline{\mathbf{H}}^H)\mathbf{B}^H \right] \\ &\quad - \text{tr}[\mathbf{BGT}] - \text{tr}[\mathbf{T}^H\overline{\mathbf{G}}^H\mathbf{B}^H] - \text{tr}[\mathbf{BHP}] - \text{tr}[\mathbf{P}^H\overline{\mathbf{H}}^H\mathbf{B}^H] \\ &\quad + \text{tr}[2\mathbf{I}_N + \sigma^2\mathbf{B}\mathbf{B}^H] \\ &\quad + E_{E_G} \left[ \text{tr}[\mathbf{B}E_G(\mathbf{T}\mathbf{T}^H)E_G^H\mathbf{B}^H] \right] + E_{E_H} \left[ \text{tr}[\mathbf{B}E_H(\mathbf{P}\mathbf{P}^H)E_H^H\mathbf{B}^H] \right] \end{aligned}$$

[0043]

[0044] 본 발명에서 기지국-중계기 링크 및 중계기-단말기 링크의 채널 정보는 불확실하다는 점이 가정되며,  $\mathbf{I}_N$ 은 단위(Identity) 행렬이다.

[0045] 위 수학식 3에서

$$E_{E_G} \left[ \text{tr}[\mathbf{B}E_G(\mathbf{T}\mathbf{T}^H)E_G^H\mathbf{B}^H] \right] + E_{E_H} \left[ \text{tr}[\mathbf{B}E_H(\mathbf{P}\mathbf{P}^H)E_H^H\mathbf{B}^H] \right]$$

[0046]

[0047] 파트는 불확실한 채널 정보로 인해 발생하는 채널 추정 오류 파트이다.

[0048] 위 수학식 3에서,  $\overline{\mathbf{H}}$ 는 추정되는 중계기-단말기 링크의 채널이고,  $\overline{\mathbf{G}}$ 는 추정되는 기지국-중계기 링크의 채널이며,  $\sigma^2$ 는 백색 가우시안 잡음이다. 또한,  $E_{E_G}$ 는  $\mathbf{G}$  채널에 대한 채널 추정 오류 기대값이고,  $E_{E_H}$ 는  $\mathbf{H}$  채널에 대한 채널 추정 오류 기대값이다.

[0049] 본 발명에서는 기지국-중계기 링크 채널에 대한 채널 추정 오류 기대값( $E_{E_G}$ ) 및 중계기-단말기 링크 채널에 대한 채널 추정 오류 기대값( $E_{E_H}$ )을 다음의 수학식 4와 같이 변환하여 중계기의 MSE를 획득하도록 한다.

수학식 4

$$E_{E_H} \left[ \text{tr} \left[ \mathbf{B} \mathbf{E}_H (\mathbf{P} \mathbf{P}^H) \mathbf{E}_H^H \mathbf{B}^H \right] \right] = \frac{\sigma_{ce}^2}{1 + \sigma_{ce}^2} \text{tr}(\mathbf{P} \mathbf{P}^H) \text{tr}(\mathbf{B} \mathbf{B}^H)$$

$$E_{E_G} \left[ \text{tr} \left[ \mathbf{B} \mathbf{E}_G (\mathbf{T} \mathbf{T}^H) \mathbf{E}_G^H \mathbf{B}^H \right] \right] = \frac{\sigma_{ce}^2}{1 + \sigma_{ce}^2} \text{tr}(\mathbf{T} \mathbf{T}^H) \text{tr}(\mathbf{B} \mathbf{B}^H)$$

[0050]

[0051] 여기서,  $\sigma_{ce}^2$  는 채널 추정 오류의 분산을 의미한다.

[0052] 수학식 4에서 정의된 값을 이용하여 중계기에서의 MSE를 재정의하면 다음의 수학식 5와 같다.

수학식 5

$$\begin{aligned} \text{MSE}_{\text{Relay}} = & \text{tr} \left[ \mathbf{B} (\bar{\mathbf{G}} \mathbf{T} \mathbf{T}^H \bar{\mathbf{G}}^H) \mathbf{B}^H \right] - \text{tr} \left[ \mathbf{B} \bar{\mathbf{G}} \mathbf{T} \right] - \text{tr} \left[ \mathbf{T}^H \bar{\mathbf{G}}^H \mathbf{B}^H \right] + \frac{\sigma_{ce}^2}{1 + \sigma_{ce}^2} \text{tr}(\mathbf{T} \mathbf{T}^H) \text{tr}(\mathbf{B} \mathbf{B}^H) \\ & + \text{tr} \left[ \mathbf{B} (\bar{\mathbf{H}} \mathbf{P} \mathbf{P}^H \bar{\mathbf{H}}^H) \mathbf{B}^H \right] - \text{tr} \left[ \mathbf{B} \bar{\mathbf{H}} \mathbf{P} \right] - \text{tr} \left[ \mathbf{P}^H \bar{\mathbf{H}}^H \mathbf{B}^H \right] + \frac{\sigma_{ce}^2}{1 + \sigma_{ce}^2} \text{tr}(\mathbf{P} \mathbf{P}^H) \text{tr}(\mathbf{B} \mathbf{B}^H) \\ & + \text{tr} \left[ 2\mathbf{I}_N + \sigma^2 \mathbf{B} \mathbf{B}^H \right] \end{aligned}$$

[0053]

[0054] 위 수학식 5에서,

$$\text{tr} \left[ \mathbf{B} (\bar{\mathbf{G}} \mathbf{T} \mathbf{T}^H \bar{\mathbf{G}}^H) \mathbf{B}^H \right] - \text{tr} \left[ \mathbf{B} \bar{\mathbf{G}} \mathbf{T} \right] - \text{tr} \left[ \mathbf{T}^H \bar{\mathbf{G}}^H \mathbf{B}^H \right] + \frac{\sigma_{ce}^2}{1 + \sigma_{ce}^2} \text{tr}(\mathbf{T} \mathbf{T}^H) \text{tr}(\mathbf{B} \mathbf{B}^H)$$

[0055]

[0056] 파트는 송신기로 동작하는 기지국 파트이며,

$$\text{tr} \left[ \mathbf{B} (\bar{\mathbf{H}} \mathbf{P} \mathbf{P}^H \bar{\mathbf{H}}^H) \mathbf{B}^H \right] - \text{tr} \left[ \mathbf{B} \bar{\mathbf{H}} \mathbf{P} \right] - \text{tr} \left[ \mathbf{P}^H \bar{\mathbf{H}}^H \mathbf{B}^H \right] + \frac{\sigma_{ce}^2}{1 + \sigma_{ce}^2} \text{tr}(\mathbf{P} \mathbf{P}^H) \text{tr}(\mathbf{B} \mathbf{B}^H)$$

[0057]

[0058] 파트는 송신기로 동작하는 단말기 파트이다.

[0059] 위 수학식 5의 MSE를 최소화하는 방식으로 MMSE 필터링을 통해 업데이트되는 B는 다음의 수학식 6과 같이 정의된다.

수학식 6

$$\mathbf{B} = \left( \mathbf{T}^H \mathbf{G}^H + \mathbf{P}^H \mathbf{H}^H \right) \times \left[ \mathbf{G} \mathbf{T} \mathbf{T}^H \mathbf{G}^H + \mathbf{H} \mathbf{P} \mathbf{P}^H \mathbf{H}^H + \left( \frac{\sigma_{ce}^2}{1 + \sigma_{ce}^2} \text{tr}[\mathbf{T} \mathbf{T}^H + \mathbf{P} \mathbf{P}^H] + \sigma^2 \right) \mathbf{I} \right]$$

[0060]

[0061] 위 수학식 6에서  $\mathbf{I}$  는 단위(Identity) 행렬이다.

[0062]  $\mathbf{B}$  가 업데이트되면  $\mathbf{B}$  를 고정시키고  $\mathbf{T}$  및  $\mathbf{P}$  를 각각 독립적으로 업데이트한다(단계 304, 단계 306).

[0063]  $\mathbf{T}$  는 콘벡스(Convex) 프로그래밍을 이용하여 상술한 중계기 MSE의 기지국 파트를 최소화하는 방식으로 다음의 수학식 7과 같이 업데이트한다.

수학식 7

$$\min_{\mathbf{T}} \text{tr} \left[ \mathbf{B} \bar{\mathbf{G}} \mathbf{T} \mathbf{T}^H \bar{\mathbf{G}}^H \mathbf{B}^H - \mathbf{B} \bar{\mathbf{G}} \mathbf{T} - \mathbf{T}^H \bar{\mathbf{G}}^H \mathbf{B}^H + \mathbf{I} \right] + \frac{\sigma_{ce}^2}{1 + \sigma_{ce}^2} \text{tr}[\mathbf{B} \mathbf{B}^H] \text{tr}[\mathbf{T} \mathbf{T}^H]$$

s. t.  $\text{tr}[\mathbf{T} \mathbf{T}^H] \leq P_{BS}$

[0064]

[0065] 위 수학식 7에서  $P_{BS}$  는 기지국의 제한 전력을 의미한다.

[0066] 위 수학식 7의 문제를 풀어 업데이트되는  $\mathbf{T}$  는 다음의 수학식 8과 같이 표현될 수 있다.

수학식 8

$$\mathbf{T} = \bar{\mathbf{G}}^H \mathbf{B}^H \left[ \bar{\mathbf{G}}^H \mathbf{B}^H \mathbf{B} \bar{\mathbf{G}} + \left( \frac{\sigma_{ce}^2}{1 + \sigma_{ce}^2} \text{tr}[\mathbf{B} \mathbf{B}^H] + \lambda_{BS} \right) \mathbf{I} \right]^{-1}$$

[0067]

[0068] 위 수학식 8에서,  $\lambda_{BS}$  는 기지국의 전력 조건에 의해 결정되는 상수이다.

[0069]  $\mathbf{P}$  역시 콘벡스(Convex) 프로그래밍을 이용하여 상술한 중계기 MSE의 단말기 파트를 최소화하는 방식으로 다음의 수학식 9와 같이 업데이트한다.

수학식 9

$$\min_{\mathbf{P}} \text{tr} \left[ \mathbf{B} \bar{\mathbf{H}} \mathbf{P} \mathbf{P}^H \bar{\mathbf{H}}^H \mathbf{B}^H - \mathbf{B} \bar{\mathbf{H}} \mathbf{P} - \mathbf{P}^H \bar{\mathbf{H}}^H \mathbf{B}^H + \mathbf{I} \right] + \frac{\sigma_{ce}^2}{1 + \sigma_{ce}^2} \text{tr} \left[ \mathbf{B} \mathbf{B}^H \right] \text{tr} \left[ \mathbf{P} \mathbf{P}^H \right]$$

$$\text{s. t. } \text{tr} \left[ \mathbf{P} \mathbf{P}^H \right] \leq P_U$$

[0070]

[0071] 위 수학식 9에서  $P_U$  는 단말기의 제한 전력을 의미한다.

[0072] 위 수학식 9의 문제를 풀어 업데이트되는  $\mathbf{P}$  는 다음의 수학식 10과 같이 표현될 수 있다.

수학식 10

$$\mathbf{P} = \bar{\mathbf{H}}^H \mathbf{B}^H \left[ \mathbf{G}^H \bar{\mathbf{H}}^H \bar{\mathbf{H}} \mathbf{G} + \left( \frac{\sigma_{ce}^2}{1 + \sigma_{ce}^2} \text{tr} \left[ \mathbf{B} \mathbf{B}^H \right] + \lambda_{user} \right) \mathbf{I} \right]^{-1}$$

[0073]

[0074] 위 수학식 10에서,  $\lambda_{user}$  는 단말기 전력 조건에 의해 결정되는 상수이다.

[0075] 단계 300 내지 306을 통해 업데이트된 값들이 수렴하면, 중계기 수신필터( $\mathbf{B}$ ) 및 기지국 프리코더( $\mathbf{T}$ ) 및 단말기 프리코더( $\mathbf{P}$ )를 연산하는 작업을 중단하며 수렴하지 않을 경우 단계 300 내지 단계 306의 업데이트 절차를 계속적으로 수행한다.

[0076] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 전 이중 네트워크 제2 페이지의 송수신기 설계 방법에 대한 순서도이다.

[0077] 도 4를 참조하면, 우선 송신기로 동작하는 중계기의 프리코더 매트릭스  $\mathbf{F}$ , 수신기로 동작하는 기지국의 수신 필터  $\mathbf{J}$  및 수신기로 동작하는 단말기의 수신 필터  $\mathbf{R}$ 을 각각 초기화한다(단계 400).  $\mathbf{F}$ ,  $\mathbf{J}$  및  $\mathbf{R}$ 은 각각 랜덤하게 초기화되거나 단위(Identity) 행렬로 초기화될 수 있다.

[0078] 초기화가 이루어지면,  $\mathbf{F}$ 를 고정시키고  $\mathbf{J}$  및  $\mathbf{R}$ 을 MMSE 필터링에 의해 독립적으로 업데이트한다(단계 402, 단계 404).

[0079] 수신기로 동작하는 기지국의 MSE는 다음의 수학식 11과 같이 정의된다.

수학식 11

$$\begin{aligned} \text{MSE}_{\text{BS}} &= \text{tr} \left[ 2(\mathbf{J}\mathbf{G}^T\mathbf{F} - \mathbf{I}_N)(\mathbf{J}\mathbf{G}^T\mathbf{F} - \mathbf{I}_N)^H + \sigma^2\mathbf{J}\mathbf{J}^H \right] \\ &= 2\text{tr} \left[ \mathbf{J}\bar{\mathbf{G}}^T\mathbf{F}\mathbf{F}^H\bar{\mathbf{G}}^*\mathbf{J}^H - \mathbf{J}\bar{\mathbf{G}}^T\mathbf{F} - \mathbf{F}^H\bar{\mathbf{G}}^*\mathbf{J}^H + \mathbf{I}_N \right] \\ &\quad + \frac{2\sigma_{\text{ce}}^2}{1+\sigma_{\text{ce}}^2} \text{tr}[\mathbf{J}\mathbf{J}^H] \text{tr}[\mathbf{F}\mathbf{F}^H] + \sigma^2 \text{tr}[\mathbf{J}\mathbf{J}^H] \end{aligned}$$

[0080]

[0081] 위 수학식 11에서, 채널의 불확실성으로 인해 발생하는 채널 추정 오류 기대값은 수학식 4와 같은 방식으로 변환되었다.

[0082] 위 수학식에서, 11에서,  $\mathbf{G}^T$  는 기지국과 중계기 링크의 채널이고,  $\mathbf{I}_N$  은 단위(Identity) 행렬이다.

[0083] 위 수학식 11에서,

$$\frac{2\sigma_{\text{ce}}^2}{1+\sigma_{\text{ce}}^2} \text{tr}[\mathbf{J}\mathbf{J}^H] \text{tr}[\mathbf{F}\mathbf{F}^H] + \sigma^2 \text{tr}[\mathbf{J}\mathbf{J}^H]$$

[0084]

[0085] 파트는 채널 추정 오류에 해당되는 파트이다.

[0086] 수신기로 동작하는 단말기의 단말기의 MSE는 다음의 수학식 12와 같이 정의된다.

수학식 12

$$\begin{aligned} \text{MSE}_{\text{user}} &= \text{tr} \left[ 2(\mathbf{R}\mathbf{H}^T\mathbf{F} - \mathbf{I}_N)(\mathbf{R}\mathbf{H}^T\mathbf{F} - \mathbf{I}_N)^H + \sigma^2\mathbf{R}\mathbf{R}^H \right] \\ &= 2\text{tr} \left[ \mathbf{R}\bar{\mathbf{H}}^T\mathbf{F}\mathbf{F}^H\bar{\mathbf{H}}^*\mathbf{R}^H - \mathbf{R}\bar{\mathbf{H}}^T\mathbf{F} - \mathbf{F}^H\bar{\mathbf{H}}^*\mathbf{R}^H + \mathbf{I}_N \right] \\ &\quad + \frac{2\sigma_{\text{ce}}^2}{1+\sigma_{\text{ce}}^2} \text{tr}[\mathbf{F}\mathbf{F}^H] \text{tr}[\mathbf{R}\mathbf{R}^H] + \sigma^2 \text{tr}[\mathbf{R}\mathbf{R}^H] \end{aligned}$$

[0087]

[0088] 위 수학식 12에서도 채널의 불확실성으로 인해 발생하는 채널 추정 오류 기대값은 수학식 4와 같은 방식으로 변환되었다.

$$\frac{2\sigma_{\text{ce}}^2}{1+\sigma_{\text{ce}}^2} \text{tr}[\mathbf{F}\mathbf{F}^H] \text{tr}[\mathbf{R}\mathbf{R}^H] + \sigma^2 \text{tr}[\mathbf{R}\mathbf{R}^H]$$

[0089]

[0090] 파트는 채널 추정 오류에 해당되는 파트이다.

[0091] 수학식 11의 MSE를 최소화하는 방식으로 MMSE 필터링을 통해 업데이트되는  $\mathbf{J}$  는 다음의 수학식 13과 같이 정의된다.

수학식 13

$$\mathbf{J} = \mathbf{F}^H \bar{\mathbf{G}}^* \left[ \bar{\mathbf{G}}^T \mathbf{F} \mathbf{F}^H \bar{\mathbf{G}}^* + \left( \frac{2\sigma_{ce}^2}{1+\sigma_{ce}^2} \text{tr}[\mathbf{F} \mathbf{F}^H] + \sigma^2 \right) \mathbf{I} \right]^{-1}$$

[0092]

[0093]

또한, 수학식 12의 MSE를 최소화하는 방식으로 MMSE 필터링을 통해 업데이트되는  $\mathbf{R}$ 은 다음의 수학식 14와 같이 정의된다. 위 수학식 13에서  $\mathbf{I}$ 는 단위(Identity) 행렬이다.

수학식 14

$$\mathbf{R} = \mathbf{F}^H \bar{\mathbf{H}}^* \left[ \bar{\mathbf{H}}^T \mathbf{F} \mathbf{F}^H \bar{\mathbf{H}}^* + \left( \frac{2\sigma_{ce}^2}{1+\sigma_{ce}^2} \text{tr}[\mathbf{F} \mathbf{F}^H] + \sigma^2 \right) \mathbf{I} \right]^{-1}$$

[0094]

[0095]

위 수학식 14에서,  $\mathbf{H}^T$ 는 중계기와 단말기 사이의 채널을 의미한다.

[0096]

기지국 수신 필터  $\mathbf{J}$  및 단말기 수신 필터  $\mathbf{R}$ 이 업데이트되면,  $\mathbf{J}$  및  $\mathbf{R}$ 을 고정하고 중계기의 프리코더  $\mathbf{F}$ 를 업데이트한다(단계 406).

[0097]

중계기 프리코더  $\mathbf{F}$ 는 컨벡스(Convex) 프로그래밍을 이용하여 기지국 MSE 및 단말기 MSE의 합을 최소화하는 방식으로 다음의 수학식 15와 같이 업데이트한다.

수학식 15

$$\begin{aligned} & \min_{\mathbf{F}} \text{MSE}_{\text{BS}} + \text{MSE}_{\text{user}} \\ & \text{s. t. } \text{tr}[\mathbf{F} \mathbf{F}^H] \leq P_{\text{relay}} / 2 \end{aligned}$$

[0098]

[0099]

위 수학식 15에서  $P_{\text{relay}}$ 는 중계기의 제한 전력을 의미한다.

[0100]

위 수학식 15에 의해 결정되는 중계기 프리코더  $\mathbf{F}$ 는 다음의 수학식 16과 같이 정의될 수 있다.

수학식 16

$$\mathbf{F} = \left( \bar{\mathbf{G}}^* \mathbf{J}^H + \bar{\mathbf{H}}^* \mathbf{R}^H \right) \left[ \bar{\mathbf{G}}^* \mathbf{J}^H \mathbf{J} \mathbf{G}^T + \bar{\mathbf{H}}^* \mathbf{R}^H \mathbf{R} \mathbf{H}^T + \left( \frac{2\sigma_{ce}^2}{1+\sigma_{ce}^2} \text{tr}[\mathbf{J}\mathbf{J}^H + \mathbf{R}\mathbf{R}^H] + \lambda_{\text{relay}} \right) \mathbf{I} \right]^{-1}$$

[0101]

[0102]

중계기 프리코더  $\mathbf{F}$ , 기지국 수신 필터  $\mathbf{J}$ , 단말기 수신 필터  $\mathbf{R}$ 이 업데이트되면, 업데이트되는 값이 수렴하는지 여부를 판단한다(단계 408).

[0103]

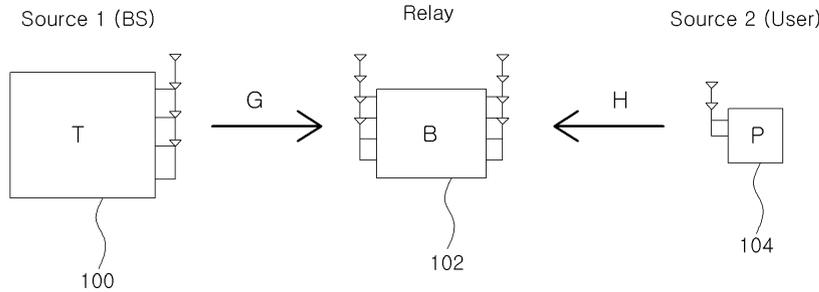
업데이트되는 값이 수렴하지 않는 경우 단계 402 내지 단계 406의 절차를 반복하며, 업데이트되는 값이 수렴할 경우 종료한다.

[0104]

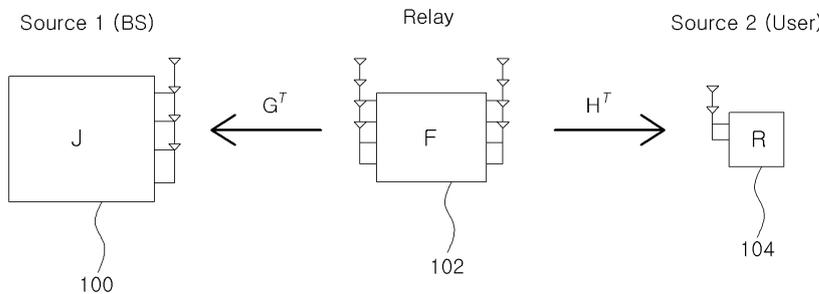
이상과 같이 본 발명에서는 구체적인 구성 요소 등과 같은 특정 사항들과 한정된 실시예 및 도면에 의해 설명되었으나 이는 본 발명의 보다 전반적인 이해를 돕기 위해서 제공된 것일 뿐, 본 발명은 상기의 실시예에 한정되는 것은 아니며, 본 발명이 속하는 분야에서 통상적인 지식을 가진 자라면 이러한 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 따라서, 본 발명의 사상은 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 아니되며, 후술하는 특허청구범위뿐만 아니라 이 특허청구범위와 균등하거나 등가적 변형이 있는 모든 것들은 본 발명 사상의 범주에 속한다고 할 것이다.

도면

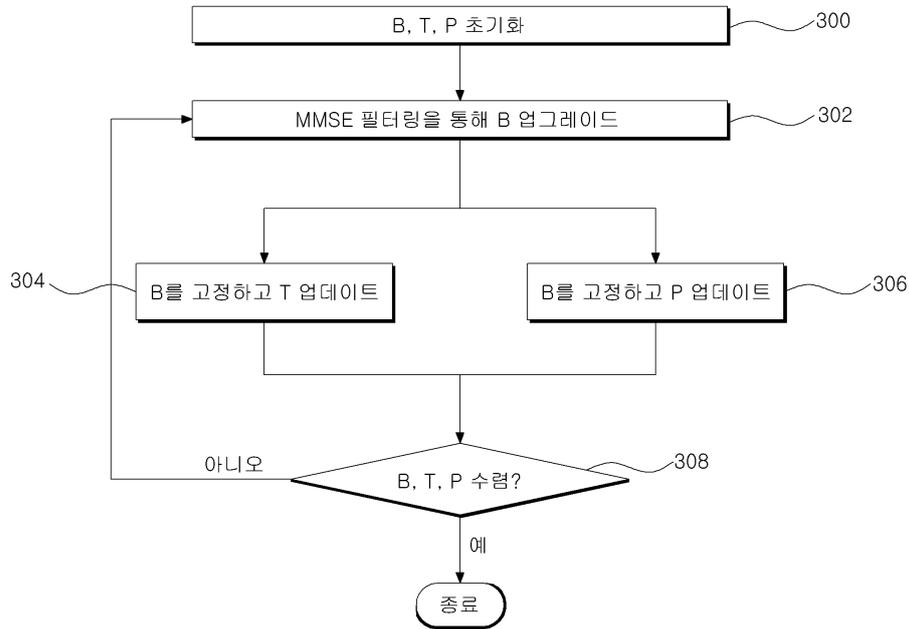
도면1



도면2



도면3



도면4

