



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2014-0065734
(43) 공개일자 2014년05월30일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04J 11/00 (2006.01) H04B 7/14 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2012-0132086
(22) 출원일자 2012년11월21일
심사청구일자 2012년11월21일

(71) 출원인
경희대학교 산학협력단
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732, 국제캠퍼스 내 (서천동, 경희대학교)
(72) 발명자
김윤희
경기 성남시 분당구 불정로 219, 111동 1203호 (정자동, 한솔마을청구아파트)
박진배
강원 강릉시 하평길 41, 101동 205호 (포남동, 청송아파트)
왕진수
경기도 수원시 권선구 호매실동 칠보마을 8단지 810동 1105호
(74) 대리인
최관락, 송인호, 민영준

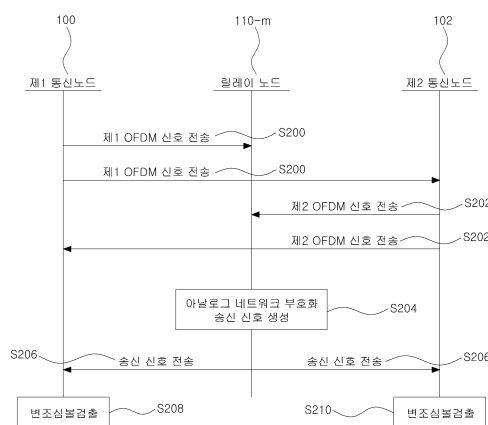
전체 청구항 수 : 총 18 항

(54) 발명의 명칭 OFDM 기반 양방향 릴레이 통신 방법 및 장치

(57) 요약

본 발명은 OFDM 기반 양방향 릴레이 통신 방법 및 장치를 개시한다. 본 발명에 따르면, 제1 통신 노드가 제2 통신 노드에 전달할 데이터를 포함하는 제1 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplex) 신호를 상기 하나 이상의 릴레이 노드 및 상기 제2 통신 노드로 전송하는 단계; 상기 제2 통신 노드가 상기 제1 통신 노드에 전달할 데이터를 포함하는 제2 OFDM 신호를 상기 하나 이상의 릴레이 노드 및 상기 제1 통신 노드로 전송하는 단계; 상기 하나 이상의 릴레이 노드가 상기 제1 및 제2 OFDM 신호를 서로 다른 릴레이 전력 할당비로 선형 결합하여 아날로그 네트워크 부호화 송신 신호를 생성하는 단계; 및 상기 하나 이상의 릴레이 노드 중 하나의 제1 릴레이 노드가 송신 신호를 상기 제1 통신 노드 및 제2 통신 노드로 동시에 전송하는 단계를 포함한다.

대표도 - 도2



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2012-0001867

부처명 교육과학기술부

연구사업명 기초연구사업

연구과제명 퍼베이시브 무선 접속을 위한 다중사용자 MIMO-OFDM 양방향 릴레이 시스템 기술

기 여 율 1/1

주관기관 경희대학교 산학협력단

연구기간 2012.05.01 ~ 2013.04.30

특허청구의 범위

청구항 1

OFDM 신호로 데이터를 교환하는 제1 통신 노드, 제2 통신 노드 및 하나 이상의 릴레이 노드를 포함하는 시스템에서의 양방향 릴레이 통신 방법으로서,

- (a) 제1 통신 노드가 제2 통신 노드에 전달할 데이터를 포함하는 제1 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplex) 신호를 상기 하나 이상의 릴레이 노드 및 상기 제2 통신 노드로 전송하는 단계;
- (b) 상기 제2 통신 노드가 상기 제1 통신 노드에 전달할 데이터를 포함하는 제2 OFDM 신호를 상기 하나 이상의 릴레이 노드 및 상기 제1 통신 노드로 전송하는 단계;
- (c) 상기 하나 이상의 릴레이 노드가 상기 수신한 제1 및 제2 OFDM 신호를 서로 다른 릴레이 전력 할당비로 선형 결합하여 아날로그 네트워크 부호화 송신 신호를 생성하는 단계; 및
- (d) 상기 하나 이상의 릴레이 노드 중 하나의 제1 릴레이 노드가 송신 신호를 상기 제1 통신 노드 및 제2 통신 노드로 동시에 전송하는 단계를 포함하되,

상기 제1 통신 노드가 상기 (d) 단계에서 수신된 신호로부터 자가 간섭을 제거한 뒤 상기 (b) 단계의 수신 신호와 결합하여 상기 제2 통신 노드가 전송한 변조 심볼을 검출하고,

상기 제2 통신 노드가 상기 (d) 단계에서 수신된 신호로부터 자가 간섭을 제거한 뒤 상기 (a) 단계의 수신 신호와 결합하여 상기 제1 통신 노드가 전송한 변조 심볼을 검출하는 양방향 릴레이 통신 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 (c) 단계는 상기 제1 및 제2 OFDM 신호에 대한 시간 평균을 이용하여 상기 송신 신호를 생성하는 양방향 릴레이 통신 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 제1 릴레이 노드는 상기 제1 통신 노드에서 상기 제2 통신 노드로 전송 가능한 제1 최대 전송률 및 상기 제2 통신 노드에서 상기 제1 통신 노드로 전송 가능한 제2 최대 전송률에 따라 결정되는 양방향 릴레이 통신 방법.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 제1 릴레이 노드는 상기 제1 최대 전송률 및 상기 제2 최대 전송률의 최소값을 최대화하는 릴레이 노드인 양방향 릴레이 통신 방법.

청구항 5

제3항에 있어서,

상기 제1 통신 노드 및 상기 제2 통신 노드 중 적어도 하나가 상기 하나 이상의 릴레이 노드로부터 상기 최소값을 수신하고, 상기 최소값이 최대인 상기 제1 릴레이 노드를 선택하고, 상기 제1 릴레이 노드에 관한 정보를 상기 하나 이상의 릴레이 노드로 전송하며,

상기 제1 릴레이 노드가 상기 (c) 단계 및 (d) 단계를 수행하는 양방향 릴레이 통신 방법.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 최소값은 상기 제1 OFDM 신호 또는 상기 제2 OFDM 신호의 부반송과별 신호대잡음비를 근사화하여 계산되는 양방향 릴레이 통신 방법.

청구항 7

제3항에 있어서,

상기 (c) 단계에서 상기 하나 이상의 릴레이 노드가 상기 릴레이 전력 할당비 및 상기 최소값을 계산하고, 상기 최소값이 최대인 하나의 제1 릴레이 노드만이 상기 송신 신호를 전송하는 양방향 릴레이 통신 방법.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 하나 이상의 릴레이 노드는 상기 제1 릴레이 노드의 송신 신호 수신 시 자신의 송신 신호를 전송하지 않는 양방향 릴레이 통신 방법.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 (c) 단계에서 상기 송신 신호는 아래의 수학식에 따라 생성되는 양방향 릴레이 통신 방법.

[수학식]

$$z_m = G_3 \{ \sqrt{\beta_1} y_{R_m,1} + \sqrt{\beta_2} y_{R_m,2} \}$$

여기서, z_m 은 송신 신호, $y_{R_m,1}$ 은 상기 제1 릴레이 노드가 상기 제1 통신 노드로부터 수신한 신호,

$y_{R_m,2}$ 는 상기 제1 릴레이 노드가 상기 제2 통신 노드로부터 수신한 신호, β_1 는 제1 통신 노드로의 릴레이

전력 할당비, β_2 는 상기 제2 통신 노드로의 릴레이 전력 할당비이며, $\beta_1 + \beta_2 = 1$ 임

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 릴레이 전력 할당비는 다음의 수학식에 의해 결정되는 양방향 릴레이 통신 방법.

[수학식]

$$\beta^* = \frac{\rho_1 c_1}{\rho_1 c_1 + \rho_2 c_2}, \text{ if } \tilde{\gamma}_{1m} = \tilde{\gamma}_{2m}$$

$$\beta^* = \frac{-B + \sqrt{B^2 + 4(\tilde{\gamma}_{1m} - \tilde{\gamma}_{2m})(\rho_1 + \rho_2)\rho_1 c_1}}{2(\rho_1 + \rho_2)(\tilde{\gamma}_{1m} - \tilde{\gamma}_{2m})}, \text{ if } \tilde{\gamma}_{1m} \neq \tilde{\gamma}_{2m}$$

여기서, β^* 는 β_1 의 근사값이고, $\rho_i = \frac{P_R}{P_i}$, P_R 은 릴레이 노드의 송신 전력, P_i 는 통신 노드

i의 송신 전력, $\tilde{\gamma}_{im}$ 는 통신 노드 i의 부반송파별 신호대잡음비, $c_1 = \rho_2 \tilde{\gamma}_{2m} + \tilde{\gamma}_{2m} + 1$,
 $c_2 = \rho_1 \tilde{\gamma}_{1m} + \tilde{\gamma}_{2m} + 1$, $B = \rho_1 c_1 + \rho_2 c_2 - \rho_1 (\tilde{\gamma}_{1m} - \tilde{\gamma}_{2m})$ 임

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 제1 릴레이 노드는 다음의 수학식에 따라 결정되는 양방향 릴레이 통신 방법.

[수학식]

$$m_o = \arg \min_{1 \leq m \leq M} \Lambda_m^{1 \rightarrow 2}(\beta^*)$$

$$\Lambda_m^{1 \rightarrow 2}(\beta) = \frac{\rho_2 \beta \tilde{\gamma}_{1m} \tilde{\gamma}_{2m}}{\beta (\tilde{\gamma}_{1m} - \tilde{\gamma}_{2m}) + \rho_2 \tilde{\gamma}_{2m} + \tilde{\gamma}_{2m} + 1}$$

여기서, m은 릴레이 노드의 인덱스,

청구항 12

제9항에 있어서,

상기 릴레이 전력 할당비는 다음의 수학식에 의해 결정되는 양방향 릴레이 통신 방법.

[수학식]

$$\beta = \frac{\sqrt{\tilde{\gamma}_{2m}}}{\sqrt{\tilde{\gamma}_{1m}} + \sqrt{\tilde{\gamma}_{2m}}}$$

여기서, $\beta = \beta_1$ 임

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 제1 릴레이 노드는 다음의 수학식에 따라 결정되는 양방향 릴레이 통신 방법.

[수학식]

$$m_o = \arg \min_{1 \leq m \leq M} \tilde{\Lambda}_m$$

$$\tilde{\Lambda}_m = \left(\frac{\sqrt{\tilde{\gamma}_{1m} \tilde{\gamma}_{2m}}}{\sqrt{\tilde{\gamma}_{1m}} + \sqrt{\tilde{\gamma}_{2m}}} \right)^2$$

여기서, 는 등가 신호대잡음비임

청구항 14

제9항에 있어서,

상기 릴레이 전력 할당비는 다음의 수학식에 의해 결정되는 양방향 릴레이 통신 방법.

[수학식]

$$\beta = \frac{\|\mathbf{y}_{R_{m,2}}\|}{\|\mathbf{y}_{R_{m,1}}\| + \|\mathbf{y}_{R_{m,2}}\|}$$

여기서, $\beta = \beta_1$ 임

청구항 15

제14항에 있어서,

상기 제1 릴레이 노드는 다음의 수학식에 따라 결정되는 양방향 릴레이 통신 방법.

[수학식]

$$m_o = \arg \max_{1 \leq m \leq M} \Lambda_m$$

$$\Lambda_m = \frac{\|\mathbf{y}_{R_{m,1}}\|^2 \|\mathbf{y}_{R_{m,2}}\|^2}{(\|\mathbf{y}_{R_{m,1}}\| + \|\mathbf{y}_{R_{m,2}}\|)^2}$$

여기서, 는 등가 신호대잡음비임

청구항 16

OFDM 신호로 데이터를 교환하는 제1 통신 노드, 제2 통신 노드 및 복수의 릴레이 노드를 포함하는 시스템에서의 양방향 릴레이 통신 방법으로서,

- (a) 상기 제1 통신 노드 및 상기 제2 통신 노드가 상기 복수의 릴레이 노드 중 하나의 제1 릴레이 노드를 선택하는 단계;
- (b) 상기 제1 통신 노드가 상기 제2 통신 노드에 전달할 데이터를 포함하는 제1 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplex) 신호를 상기 제1 릴레이 노드 및 상기 제2 통신 노드로 전송하는 단계;
- (c) 상기 제2 통신 노드가 상기 제1 통신 노드에 전달할 데이터를 포함하는 제2 OFDM 신호를 상기 제1 릴레이 노드 및 상기 제1 통신 노드로 전송하는 단계;
- (d) 상기 제1 릴레이 노드가 상기 수신한 제1 및 제2 OFDM 신호를 서로 다른 릴레이 전력 할당비로 선형 결합하여 아날로그 네트워크 부호화 송신 신호를 생성하는 단계; 및
- (e) 상기 제1 릴레이 노드가 송신 신호를 상기 제1 통신 노드 및 제2 통신 노드로 동시에 전송하는 단계를 포함하되,

상기 제1 통신 노드가 상기 (e) 단계에서 수신된 신호로부터 자가 간섭을 제거한 뒤 상기 (c) 단계의 수신 신호와 결합하여 상기 제2 통신 노드가 전송한 변조 심볼을 검출하고,

상기 제2 통신 노드가 상기 (e) 단계에서 수신된 신호로부터 자가 간섭을 제거한 뒤 상기 (b) 단계의 수신 신호와 결합하여 상기 제1 통신 노드가 전송한 변조 심볼을 검출하는 양방향 릴레이 통신 방법.

청구항 17

OFDM 신호로 데이터를 교환하는 제1 통신 노드, 제2 통신 노드 및 복수의 릴레이 노드를 포함하는 시스템에서의 양방향 릴레이 통신 방법으로서,

- (a) 제1 통신 노드가 제2 통신 노드에 전달할 데이터를 포함하는 제1 OFDM(Orthogonal Frequency Division

Multiplex) 신호를 상기 복수의 릴레이 노드 및 상기 제2 통신 노드로 전송하는 단계;

(b) 상기 제2 통신 노드가 상기 제1 통신 노드에 전달할 데이터를 포함하는 제2 OFDM 신호를 상기 복수의 릴레이 노드 및 상기 제1 통신 노드로 전송하는 단계;

(c) 상기 복수의 릴레이 노드가 상기 제1 및 제2 OFDM 신호를 서로 다른 릴레이 전력 할당비로 선형 결합하여 아날로그 네트워크 부호화 송신 신호를 생성하고, 릴레이 선택 메트릭을 계산하는 단계; 및

(d) 상기 복수의 릴레이 노드 각각이 상기 계산된 릴레이 선택 메트릭이 큰 순서로 상기 송신 신호를 먼저 전송하는 단계를 포함하되,

상기 복수의 릴레이 노드 각각은 다른 릴레이 노드의 신호 전송 유무를 검출하여 상기 다른 릴레이 노드의 신호가 검출되는 경우 자신의 송신 신호를 전송하지 않으며,

상기 제1 통신 노드가 상기 (d) 단계에서 수신된 신호로부터 자가 간섭을 제거한 뒤 상기 (b) 단계의 수신 신호와 결합하여 상기 제2 통신 노드가 전송한 변조 심볼을 검출하고,

상기 제2 통신 노드가 상기 (d) 단계에서 수신된 신호로부터 자가 간섭을 제거한 뒤 상기 (a) 단계의 수신 신호와 결합하여 상기 제1 통신 노드가 전송한 변조 심볼을 검출하는 양방향 릴레이 통신 방법.

청구항 18

OFDM 신호로 데이터를 교환하는 제1 통신 노드, 제2 통신 노드 사이에서 양방향 릴레이 통신을 지원하는 릴레이 노드 장치로서,

제1 통신 노드가 제2 통신 노드에 전달할 데이터를 포함하는 제1 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplex) 신호와 상기 제2 통신 노드가 상기 제1 통신 노드에 전달할 데이터를 포함하는 제2 OFDM 신호를 수신하는 수신부;

상기 수신한 제1 및 제2 OFDM 신호를 서로 다른 릴레이 전력 할당비로 선형 결합하여 아날로그 네트워크 부호화 송신 신호를 생성하는 송신 신호 생성부; 및

상기 송신 신호를 상기 제1 통신 노드 및 제2 통신 노드로 동시에 전송하는 송신부를 포함하되,

상기 제2 OFDM 신호를 상기 제1 통신 노드로 전송되며, 상기 제1 통신 노드는 상기 전송부를 통해 수신된 신호로부터 자가 간섭을 제거한 뒤 상기 제2 통신 노드가 전송하는 신호와 결합하여 상기 제2 통신 노드가 전송한 변조 심볼을 검출하고,

상기 제1 OFDM 신호를 상기 제2 통신 노드로 전송되며, 상기 제2 통신 노드는 상기 전송부를 통해 수신된 신호로부터 자가 간섭을 제거한 뒤 상기 제1 통신 노드가 전송하는 신호와 결합하여 상기 제1 통신 노드가 전송한 변조 심볼을 검출하는 릴레이 노드 장치.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 OFDM 기반 양방향 릴레이 통신 방법 및 장치에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 시간 영역에서의 신호처리만으로 전력을 할당하여 시스템 성능을 높일 수 있는 양방향 릴레이 통신 방법 및 장치에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 최근 무선 데이터 전송량이 급증함에 따라 대용량 고속 전송에 대한 필요성이 크게 증가하고 있다. 대용량 데이터 전송을 위하여 대역폭이 증가함에 따라 채널 특성이 주파수 선택적인 특성을 갖는 OFDM(orthogonal frequency division multiplex) 방식이 제안되었다.

[0003] OFDM은 다중경로 페이딩에 강인한 특성으로 광대역에서 고속 데이터 전송을 용이하게 한다. 따라서, 디지털 방송 시스템뿐만 아니라 무선 랜, 와이브로, 그리고 LTE(Long Term Evolution)와 LTE-Advanced 등 현재 및 차세대 이동통신 시스템 등에 활발히 적용되고 있다.

[0004] 한편 각 통신 노드에 다중 안테나를 장착하지 않고도 다양성 이득을 획득하여 통신 품질을 향상시키고 데이터

전송 영역을 넓히기 위해 주변의 통신 노드와 협력하여 통신하는 협력 및 릴레이 통신 방식이 제안되었다.

- [0005] 그러나, 기존의 단방향 릴레이 통신은 릴레이를 위해 시간 슬롯 또는 자원이 추가적으로 필요하기 때문에 양방향 통신에 그대로 적용하면 전송 단계가 네 번 필요하므로 주파수 효율을 저하하는 단점이 있다.
- [0006] 이에, 주파수 효율을 향상시키기 위한 세 단계 양방향 릴레이 통신 방식과 두 단계 양방향 릴레이 통신 방식이 차례로 제안되었다.
- [0007] 두 단계 릴레이 통신은 주파수 효율을 향상시키나 실제 시스템에서 채널 다양성이 낮아져 아웃티지(outage) 성능이 나빠지는 단점이 있다.
- [0008] 반면, 세 단계 양방향 릴레이 시스템은 주파수 효율이 약간 저하되지만 아웃티지 성능을 크게 향상시킬 수 있다. 이러한 양방향 릴레이 통신 방식에 대한 연구는 먼저 주파수 선택성이 없는 단일 반송파 시스템에서 주로 연구되었으나, 최근 실제 광대역 무선 통신 시스템에 적용할 수 있도록 OFDM 방식에 알맞은 방식들이 연구되고 있다.
- [0009] OFDM을 기반으로 한 양방향 릴레이 통신 기법은 가장 단순한 릴레이 통신 기법인 증폭-후-전달(Amplify-and-forward)를 적용하더라도, 인용참조논문 (C. K. Ho, R. Zhang, and Y. C. Liang, "Two-way relaying over OFDM: optimized tone permutation and power allocation," in Proc. IEEE ICC, Beijing, China, May 2008, pp. 3908-3912)에서 알 수 있듯이 일반적으로 주파수 영역에서 신호를 증폭시키기 때문에 릴레이 노드에 IFFT와 FFT가 필요하고 그에 따라 구현 복잡도가 커진다.
- [0010] 이러한 단점을 해결하는 방안으로 인용참조논문 (Zheng Li, Xiang-Gen Xia, and Bin Li, "Achieving Full Diversity and Fast ML Decoding via Simple Analog Network Coding for Asynchronous Two-Way Relay Networks," IEEE Transactions on Communications, vol. 57, no. 12, pp 3672-3681, Dec. 2009)에서는 다중 릴레이 노드가 존재하는 양방향 릴레이 시스템에서 릴레이 노드에 IFFT와 FFT 없이 시공간 부호로 다양성을 얻는 릴레이 송수신 기법이 제안되었다.
- [0011] 하지만, 상기 릴레이 통신 방식의 경우 릴레이 노드 사이에 OFDM 심볼간 동기를 맞추어야 하고, 릴레이 노드 수가 2개 이상이면 전송률이 낮아지거나 통신 노드 수신 복잡도가 증가하며, 두 단계 전송으로 비트 오류율 성능이 향상되지 못하는 단점이 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0012] 본 발명은 상기한 바와 같은 종래기술의 문제점을 해결하기 위해, 양방향 릴레이 시스템에서 비트오류율 성능을 향상시킬 수 있는 OFDM 기반 양방향 릴레이 통신 방법 및 장치를 제안하고자 한다.

과제의 해결 수단

- [0013] 상기한 목적을 달성하기 위해, 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따르면, OFDM 신호로 데이터를 교환하는 제1 통신 노드, 제2 통신 노드 및 하나 이상의 릴레이 노드를 포함하는 시스템에서의 양방향 릴레이 통신 방법으로서, (a) 제1 통신 노드가 제2 통신 노드에 전달할 데이터를 포함하는 제1 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplex) 신호를 상기 하나 이상의 릴레이 노드 및 상기 제2 통신 노드로 전송하는 단계; (b) 상기 제2 통신 노드가 상기 제1 통신 노드에 전달할 데이터를 포함하는 제2 OFDM 신호를 상기 하나 이상의 릴레이 노드 및 상기 제1 통신 노드로 전송하는 단계; (c) 상기 하나 이상의 릴레이 노드가 상기 수신한 제1 및 제2 OFDM 신호를 서로 다른 릴레이 전력 할당비로 선형 결합하여 아날로그 네트워크 부호화 송신 신호를 생성하는 단계; 및 (d) 상기 하나 이상의 릴레이 노드 중 하나의 제1 릴레이 노드가 송신 신호를 상기 제1 통신 노드 및 제2 통신 노드로 동시에 전송하는 단계를 포함하되, 상기 제1 통신 노드가 상기 (d) 단계에서 수신된 신호로부터 자가 간섭을 제거한 뒤 상기 (b) 단계의 수신 신호와 결합하여 상기 제2 통신 노드가 전송한 변조 심볼을 검출하고, 상기 제2 통신 노드가 상기 (d) 단계에서 수신된 신호로부터 자가 간섭을 제거한 뒤 상기 (a) 단계의 수신 신호와 결합하여 상기 제1 통신 노드가 전송한 변조 심볼을 검출하는 양방향 릴레이 통신 방법이 제공된다.
- [0014] 본 발명의 다른 측면에 따르면, OFDM 신호로 데이터를 교환하는 제1 통신 노드, 제2 통신 노드 및 복수의 릴레이 노드를 포함하는 시스템에서의 양방향 릴레이 통신 방법으로서, (a) 상기 제1 통신 노드 및 상기 제2 통신 노드가 상기 복수의 릴레이 노드 중 하나의 제1 릴레이 노드를 선택하는 단계; (b) 상기 제1 통신 노드가 상기

제2 통신 노드에 전달할 데이터를 포함하는 제1 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplex) 신호를 상기 제1 릴레이 노드 및 상기 제2 통신 노드로 전송하는 단계; (c) 상기 제2 통신 노드가 상기 제1 통신 노드에 전달할 데이터를 포함하는 제2 OFDM 신호를 상기 제1 릴레이 노드 및 상기 제1 통신 노드로 전송하는 단계; (d) 상기 제1 릴레이 노드가 상기 수신한 제1 및 제2 OFDM 신호를 서로 다른 릴레이 전력 할당비로 선형 결합하여 아날로그 네트워크 부호화 송신 신호를 생성하는 단계; 및 (e) 상기 제1 릴레이 노드가 송신 신호를 상기 제1 통신 노드 및 제2 통신 노드로 동시에 전송하는 단계를 포함하되, 상기 제1 통신 노드가 상기 (e) 단계에서 수신된 신호로부터 자가 간섭을 제거한 뒤 상기 (c) 단계의 수신 신호와 결합하여 상기 제2 통신 노드가 전송한 변조 심볼을 검출하고, 상기 제2 통신 노드가 상기 (e) 단계에서 수신된 신호로부터 자가 간섭을 제거한 뒤 상기 (b) 단계의 수신 신호와 결합하여 상기 제1 통신 노드가 전송한 변조 심볼을 검출하는 양방향 릴레이 통신 방법이 제공된다.

[0015] 본 발명의 또 다른 측면에 따르면, OFDM 신호로 데이터를 교환하는 제1 통신 노드, 제2 통신 노드 및 복수의 릴레이 노드를 포함하는 시스템에서의 양방향 릴레이 통신 방법으로서, (a) 제1 통신 노드가 제2 통신 노드에 전달할 데이터를 포함하는 제1 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplex) 신호를 상기 복수의 릴레이 노드 및 상기 제2 통신 노드로 전송하는 단계; (b) 상기 제2 통신 노드가 상기 제1 통신 노드에 전달할 데이터를 포함하는 제2 OFDM 신호를 상기 복수의 릴레이 노드 및 상기 제1 통신 노드로 전송하는 단계; (c) 상기 복수의 릴레이 노드가 상기 수신한 제1 및 제2 OFDM 신호를 서로 다른 릴레이 전력 할당비로 선형 결합하여 아날로그 네트워크 부호화 송신 신호를 생성하고, 릴레이 선택 메트릭을 계산하는 단계; 및 (d) 상기 복수의 릴레이 노드 각각이 상기 계산된 릴레이 선택 메트릭이 큰 순서로 상기 송신 신호를 먼저 전송하는 단계를 포함하되, 상기 복수의 릴레이 노드 각각은 다른 릴레이 노드의 신호 전송 유무를 검출하여 상기 다른 릴레이 노드의 신호가 검출되는 경우 자신의 송신 신호를 전송하지 않으며, 상기 제1 통신 노드가 상기 (d) 단계에서 수신된 신호로부터 자가 간섭을 제거한 뒤 상기 (b) 단계의 수신 신호와 결합하여 상기 제2 통신 노드가 전송한 변조 심볼을 검출하고, 상기 제2 통신 노드가 상기 (d) 단계에서 수신된 신호로부터 자가 간섭을 제거한 뒤 상기 (a) 단계의 수신 신호와 결합하여 상기 제1 통신 노드가 전송한 변조 심볼을 검출하는 양방향 릴레이 통신 방법이 제공된다.

[0016] 본 발명의 또 다른 측면에 따르면, OFDM 신호로 데이터를 교환하는 제1 통신 노드, 제2 통신 노드 사이에서 양방향 릴레이 통신을 지원하는 릴레이 노드 장치로서, 제1 통신 노드가 제2 통신 노드에 전달할 데이터를 포함하는 제1 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplex) 신호와 상기 제2 통신 노드가 상기 제1 통신 노드에 전달할 데이터를 포함하는 제2 OFDM 신호를 수신하는 수신부; 상기 제1 및 제2 OFDM 신호를 서로 다른 릴레이 전력 할당비로 선형 결합하여 아날로그 네트워크 부호화 송신 신호를 생성하는 송신 신호 생성부; 및 상기 송신 신호를 상기 제1 통신 노드 및 제2 통신 노드로 동시에 전송하는 전송부를 포함하되, 상기 제2 OFDM 신호를 상기 제1 통신 노드로 전송되며, 상기 제1 통신 노드는 상기 전송부를 통해 수신된 신호로부터 자가 간섭을 제거한 뒤 상기 제2 통신 노드가 전송하는 신호와 결합하여 상기 제2 통신 노드가 전송한 변조 심볼을 검출하고, 상기 제1 OFDM 신호를 상기 제2 통신 노드로 전송되며, 상기 제2 통신 노드는 상기 전송부를 통해 수신된 신호로부터 자가 간섭을 제거한 뒤 상기 제1 통신 노드가 전송하는 신호와 결합하여 상기 제1 통신 노드가 전송한 변조 심볼을 검출하는 릴레이 노드 장치가 제공된다.

발명의 효과

[0017] 본 발명에 따르면, 다중 릴레이 노드 환경에서 OFDM 심볼 간 동기를 맞추지 않고 릴레이 노드에 IFFT 및 FFT 없이도 다이버시티(diversity) 이득을 제공하여 비트오류율 성능을 향상시킬 수 있는 장점이 있다.

도면의 간단한 설명

[0018] 도 1은 본 발명에서 고려하는 양방향 릴레이 시스템을 도시한 도면.

도 2는 본 발명에 따른 세 단계 양방향 릴레이 통신 과정의 흐름도.

도 3은 본 발명에 따른 양방향 릴레이 시스템의 블록도.

도 4는 본 발명이 제안하는 OFDM 시스템을 위한 아날로그 네트워크 부호화 기반 세 단계 양방향 릴레이 통신 방식을 적용할 때, 각 통신 노드의 비트오류율 성능의 평균의 도시한 도면.

도 5는 $M=2$ 인 다중 릴레이 환경에서 본 발명이 제안하는 OFDM 시스템을 위한 아날로그 네트워크 부호화 기반 세 단계 양방향 릴레이 통신 방식의 비트오류율 성능을 기존 기법과 비교한 도면.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0019] 이하, 본 발명의 바람직한 실시예를 첨부한 도면들을 참조하여 상세히 설명하기로 한다. 본 발명을 설명함에 있어 전체적인 이해를 용이하게 하기 위하여 도면 번호에 상관없이 동일한 수단에 대해서는 동일한 참조 번호를 사용하기로 한다.

[0020] 본 발명에서는 두 통신 노드와 다중 릴레이 노드로 구성되고, 세 단계 아날로그 네트워크 부호화를 적용한 OFDM 기반 양방향 릴레이 시스템을 제안한다.

[0021] 본 발명은 두 통신 노드가 각각 서로 다른 전송 단계에 신호를 송신하고, 릴레이 노드는 두 수신 신호를 서로 다른 전력 할당으로 선형 결합한 뒤 오직 하나의 릴레이 노드만 두 통신 노드에 전송하여 데이터를 서로 교환한다.

[0022] 이때, 기존의 OFDM 기반 릴레이 전송 방식에서는 주파수 영역에서의 릴레이 신호처리를 위해 이산푸리에변환 및 역푸리에변환 기능이 필요한 반면, 본 발명에서 제안하는 방식은 시간 영역에서 신호처리만으로 릴레이 전력 할당을 포함한 릴레이 선택을 가능하게 함으로써 성능을 더욱 향상시킨다.

[0023] 이하, 본 발명에 따른 양방향 릴레이 통신 방법을 상세하게 살펴본다.

[0024] 도 1은 본 발명에서 고려하는 양방향 릴레이 시스템을 도시한 도면이다.

[0025] 도 1에 도시된 바와 같이, 본 발명에 따른 양방향 릴레이 시스템은 서로 데이터를 교환하고자 하는 두 통신 노드(제1 및 제2 통신 노드, 100,102)와 제1 통신 노드(S_1 , 100) 및 제2 통신 노드(S_2 , 102)의 데이터 교환을 중

계하는 복수의 릴레이 노드($R_m, m=1,2,...,M$, 110-1 내지 110-M)를 포함할 수 있다.

[0026] 통신 노드 및 릴레이 노드는 반이중(half-duplex) 통신을 하고, 안테나는 하나이며, 각 통신 노드 사이의 채널은 가역적이고(reciprocal), 다중 경로 페이딩 특성을 가진다고 가정한다.

[0027] 제1 통신 노드(100) 및 제2 통신 노드(102) 사이의 순시 채널 충격 응답을 벡터 $\mathbf{h}_0, S_i, i=1,2$ 와 릴

레이 노드 $R_m, m=1,2,...,M$ 사이의 순시 채널 충격 응답을 벡터 $\mathbf{h}_{im}$ 으로 표현하면, 이들 순시 채널 충격 응답은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 1

[0028] $\mathbf{h}_0=[h_0[0] \ h_0[1] \ \cdots \ h_0[L-1]]^T$

[0029] $\mathbf{h}_{im}=[h_{im}[0] \ h_{im}[1] \ \cdots \ h_{im}[L-1]]^T$

[0030] 여기서, 윗첨자 T는 행렬 전치를 나타내고, L_0, L_{im} 는 각각 $\mathbf{h}_0, \mathbf{h}_{im}$ 의 최대 다중 경로 길이, 그리고 $\mathbf{h}_0[l]$ 과 $\mathbf{h}_{im}[l]$ 은 각각 $\mathbf{h}_0, \mathbf{h}_{im}$ 의 l 번째 다중 경로 성분이다.

[0031] 각 통신 노드는 상대방 통신 노드에 보낼 OFDM 신호를 생성한다. 이산푸리에변환 크기가 N일 때, 통신 노드

S_i 가 한 OFDM 신호를 통해 전송하는 변조 심볼 벡터를 $X_i=[X_i[0],X_i[1],...,X_i[N-1]]$ 라

하면, 그에 해당하는 시간 영역 OFDM 신호 $x_i=[x_i[0]x_i[1]\cdots x_i[N-1]]^T$ 은 다음과 같이 표현된다.

수학식 2

$$x_i=F_N^H X_i$$

여기서, F_N 은 (k,n) 째 원소가 $F_N[k,n]=\frac{1}{\sqrt{N}}\exp\left(-j\frac{2\pi kn}{N}\right)$ 인 유니터리 푸리에 변환 행렬이다.

통신 노드 S_i 의 순환전치삽입부에서 삽입하는 순환전치 길이는 $N_{cp}\geq\{L_0,L_{im}\}$ 이며, 그에 따른

OFDM 신호 x_i 에 대한 순환전치삽입부 출력은 $\tilde{x}_i=[x_i[N-N_{cp}]\cdots x_i[N-1]x_i[0]x_i[1]\cdots x_i[N-1]]^T$ 이다. 이때 변조 심볼의 평균 전력 $E[|X_i[k]|^2]=1$ 로 가정하며, 따라서 OFDM 신호의 평균 전력도 $E[|x_i[n]|^2]=1$ 이 된다.

통신 노드 S_i 는 상기와 같이 생성된 OFDM 신호 $\tilde{x}_i$ 를 다른 전송 단계에서 전송한다. 일반성 상실 없이 첫 번째 전송 단계에서 제1 통신 노드(100, S_1)이 송신 전력 P_1 으로 전송하고, 두 번째 전송 단계에서 제2 통신 노드(102, S_2)가 송신 전력 P_2 로 전송한다고 하자.

첫 번째 전송 단계에서는 제1 통신 노드(100)가 송신한 신호를 모든 릴레이 노드 $\{R_l\}_{l=1}^M$ 과 상대방 제2

통신 노드(102)가 수신한다. 릴레이 노드 R_m 에서 순환 전치 제거 후의 수신 신호

$y_{R_{l,1}}=[y_{R_{l,1}}[0]y_{R_{l,1}}[1]\cdots y_{R_{l,1}}[N-1]]^T$ 와, 제2 통신 노드(102)에서 순환 전치 제거 후의 수신 신호 $y_{S_2,1}=[y_{S_2,1}[0]y_{S_2,1}[1]\cdots y_{S_2,1}[N-1]]^T$ 는 [수학식 3]과 [수학식 4]로 각각 쓸 수 있다.

수학식 3

[0037]

$$y_{R_l,1} = \sqrt{P_1} h_{1l} \otimes x_1 + w_{R_l,1}, l=1,2,\dots,M$$

수학식 4

[0038]

$$y_{S_2,1} = \sqrt{P_1} h_0 \otimes x_1 + w_{S_2,1}$$

[0039]

수학식에서 $\otimes$ 는 순환 컨볼루션(cyclic convolution) 연산자를 나타내고,

$w_{D,i} = [w_{D,i}[0] w_{D,i}[1] \dots w_{D,i}[N-1]]^T$ 는 i 번째 전송 단계에서 노드

$D \in \{S_1, S_2, R_1, R_2, \dots, R_M\}$ 에서의 가산 정규 잡음 벡터를 나타낸다.

[0040]

두 번째 전송 단계에서 제2 통신 노드(102)가 송신한 신호를 모든 릴레이 노드 $\{R_l\}_{l=1}^M$ 와 상대방 통신 노

드(100)가 수신한다. 이때 릴레이 노드 R_m 에서 순환 전치 제거 후의 수신 신호

$y_{R_m,2} = [y_{R_m,2}[0] y_{R_m,2}[1] \dots y_{R_m,2}[N-1]]^T$ 와 제1 통신 노드(100)에서의 순환 전치 제거

후의 수신 신호 $y_{S_1,2} = [y_{S_1,2}[0] y_{S_1,2}[1] \dots y_{S_1,2}[N-1]]$ 는 [수학식 5]와 [수학식 6]으로 각각 쓸 수 있다.

수학식 5

[0041]

$$y_{R_m,2} = \sqrt{P_2} h_{2m} \otimes x_2 + w_{R_m,2}, m=1,2,\dots,M$$

수학식 6

[0042]

$$y_{S_1,2} = \sqrt{P_2} h_0 \otimes x_2 + w_{S_1,2}$$

[0043]

릴레이 노드 R_m 은 두 수신 신호 $y_{R_m,1}$ 과 $y_{R_m,2}$ 를 서로 다른 릴레이 전력 할당비 β_1 과 β_2 로

선형 결합하여 (여기서, $\beta_1 \geq 0, \beta_2 \geq 0, \beta_1 + \beta_2 = 1$) [수학식 7]의 아날로그 네트워크 부호화 송신

신호 $\mathbf{z}_m = [z_m[0] z_m[1] \cdots z_m[N-1]]^T$ 을 생성하고, 그 다음 길이가 N_{cp} 인 순환 전치를 삽입하여 릴레이 노드 송신 신호 $\widetilde{\mathbf{z}}_m = [z_m[N-N_{cp}] \cdots z_m[N-1] z_m[0] z_m[1] \cdots z_m[N-1]]^T$ 을 생성한다.

수학식 7

$$\mathbf{z}_m = G_3 \left\{ \sqrt{\beta_1} \mathbf{y}_{R_m,1} + \sqrt{\beta_2} \mathbf{y}_{R_m,2} \right\}$$

여기서, $G_3 = \sqrt{\frac{NP_R}{\beta_1 \|\mathbf{y}_{R_m,1}\|^2 + \beta_2 \|\mathbf{y}_{R_m,2}\|^2}}$ 는 릴레이 노드 송신 전력을 P_R 로 하기 위한 신호 증폭 이득으로 FFT와 IFFT 기능이 없는 릴레이 노드에서의 신호 증폭을 위해 기존 방식과 달리 OFDM 신호에 대한 시간 평균을 이용하였다.

그 다음 길이가 N_{cp} 인 순환 전치를 삽입하여 릴레이 노드 송신 신호

$$\widetilde{\mathbf{z}}_m = [z_m[N-N_{cp}] \cdots z_m[N-1] z_m[0] z_m[1] \cdots z_m[N-1]]^T$$

를 생성한다. 릴레이 노드 선택 방법에 따라 상기 릴레이 노드 송신 신호 $\widetilde{\mathbf{z}}_m$ 를 생성하는 릴레이 노드는 오직 한 릴레이

노드일 수 있고, 모든 릴레이 노드 $\{R_m\}_{m=1}^M$ 일 수 있다. 그러나, 세 번째 전송 단계에서 릴레이 노드 송신 신호를 최종적으로 송신하는 릴레이 노드는 오직 하나이다. 이때 신호를 송신하는 유일한 릴레이 노드를 R_m (110-m)이라 하자.

세 번째 전송 단계에서 두 통신 노드(100,102)는 릴레이 노드 R_m (110-m)가 송신하는 상기한 릴레이 노드 송신 신호를 동시에 수신한다. 이때 제1 및 제2 통신 노드에서 수신한 신호에 순환 전치를 제거한 뒤의 수신 신호

$$\mathbf{y}_{S_i,3} = [y_{S_i,3}[0] y_{S_i,3}[1] \cdots y_{S_i,3}[N-1]]$$

는 [수학식 8]과 같이 나타난다.

수학식 8

$$\mathbf{y}_{S_i,3} = \mathbf{h}_{im} \otimes \mathbf{z}_m + \mathbf{w}_{S_i,3}, \quad i=1,2$$

제1 및 제2 통신 노드(100,102)는 [수학식 8]에 이산 푸리에 변환을 수행하여 $\mathbf{Y}_{S_i,3} = \mathbf{F}_N \mathbf{y}_{S_i,3}$ 를 얻

는다. 이때 $\mathbf{Y}_{S_i,3}$ 의 k번째 원소는 k번째 부반송파로 수신된 신호를 가리키며 [수학식 9]와 같이 쓸 수 있다.

수학식 9

$$Y_{S_i,3}[k] = G_3 \left\{ \sum_{q=1}^2 \sqrt{\beta_q P_q} H_{qm}[k] X_q[k] + \sum_{q=1}^2 \sqrt{\beta_q} W_{R_m,q}[k] \right\} H_{im}[k] + W_{S_i,3}[k],$$

여기서, $W_{S_i,3}[k]$ 는 $\mathbf{W}_{S_i,3} = \mathbf{F}_N \mathbf{w}_{S_i,3}$ 의 k번째 원소, $W_{R_m,q}[k]$ 는

$$\mathbf{W}_{R_m,q} = \mathbf{F}_N \mathbf{w}_{R_m,q} \text{의 } k\text{번째 원소, } H_{qm}[k] = \sum_{l=0}^{L_{qm}-1} h_{qm}[l] e^{-j \frac{2\pi k l}{N}}, \quad q=1,2 \text{이다.}$$

제1 및 제2 통신 노드(100,102)는 [수학식 9]에서 자신이 보낸 신호 $X_i[k]$ 를 포함하는 자가간섭 신호 $H_{im}[k]H_{im}[k]X_i[k]$ 를 소거하여 [수학식 10]을 얻는다.

수학식 10

$$\tilde{Y}_{S_i,3}[k] = \sqrt{G_3^2 P_j \beta_j} H_{1m}[k] H_{2m}[k] X_j[k] + \tilde{W}_{S_i}[k]$$

$$(i,j) = (1,2) \text{ or } (2,1)$$

여기서, $\tilde{W}_{S_i}[k] = G_3 H_{im}[k] \sum_{q=1}^2 \sqrt{\beta_q} W_{R_m,q}[k] + W_{S_i,3}[k]$ 이다.

제1 통신 노드(100)는 직접 수신한 [수학식 6]의 신호에 대한 이산 푸리에 변환 출력

$$\mathbf{Y}_{S_1,2} = \mathbf{F}_N \mathbf{y}_{S_1,2} \text{의 } k\text{번째 원소 } Y_{S_1,2}[k] \text{와 } (i,j) = (1,2) \text{일 때의 [수학식 10]을 최대비}$$

결합하여 상대방 통신 노드가 보낸 심볼 $X_2[k]$ 를 검출하고, 제2 통신 노드(102)는 직접 수신한 [수학식

4]의 이산 푸리에 변환 출력 $\mathbf{Y}_{S_2,1} = \mathbf{F}_N \mathbf{y}_{S_2,1}$ 의 k번째 원소 $Y_{S_2,1}[k]$ 와 $(i,j) = (2,1)$ 일

때의 [수학식 10]을 다양성 결합하여 상대방 통신 노드가 보낸 심볼 $X_1[k]$ 를 검출한다.

상기와 같이 동작하는 아날로그 네트워크 부호화 기반 세 단계 양방향 릴레이 방식에서 전력 할당과 릴레이 선택 방법을 제안하기 위해 성능을 결정하는 최종 신호대잡음비를 분석하면 다음과 같다.

[0059]

세 번째 전송단계에서 릴레이 노드 R_m 이 신호를 전송하는 세 단계 양방향 릴레이 통신 방식에서 제1 통신 노드(100)가 $X_2[k]$ 를 검출할 때 겪는 신호대잡음비 $\Gamma_m^{2 \rightarrow 1}[k]$ 와 제2 통신 노드(102)가 $X_1[k]$ 를 검출할 때 겪는 신호대잡음비 $\Gamma_m^{1 \rightarrow 2}[k]$ 는 다음과 같이 주어진다.

수학식 11

[0060]

$$\Gamma_m^{1 \rightarrow 2}[k] = \frac{\rho_2 \beta_1 \gamma_{1m}[k] \gamma_{2m}[k]}{\rho_2 \gamma_{2m}[k] + \beta_1 \gamma_{1m} + \beta_2 \gamma_{2m} + 1} + \gamma_{10}[k]$$

[0061]

$$\Gamma_m^{2 \rightarrow 1}[k] = \frac{\rho_1 \beta_2 \gamma_{1m}[k] \gamma_{2m}[k]}{\rho_1 \gamma_{1m}[k] + \beta_1 \gamma_{1m} + \beta_2 \gamma_{2m} + 1} + \gamma_{20}[k]$$

[0062]

$$\gamma_{i0}[k] = \frac{P_i |H_0[k]|^2}{\sigma^2}, \quad \rho_i = \frac{P_R}{P_i}, \quad i=1, 2, \text{이고,}$$

$$\gamma_{im}[k] = \frac{P_i |H_{im}[k]|^2}{\sigma^2}, \quad \tilde{\gamma}_{im} = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} \gamma_{im}[k], \quad i=1, 2, m=1, 2, \dots, M \text{이다.}$$

[0063]

OFDM 신호의 부반송파별 신호대잡음비가 [수학식 11]과 같을 때 제1 통신 노드(100)에서 제2 통신 노드(102)로

$$I_m^{1 \rightarrow 2} = \frac{1}{3N} \sum_{k=0}^{N-1} \log_2(1 + \Gamma_m^{1 \rightarrow 2}[k])$$

전송 가능한 최대 전송률은

이고, 제2 통신 노드(102)에서

$$I_m^{2 \rightarrow 1} = \frac{1}{3N} \sum_{k=0}^{N-1} \log_2(1 + \Gamma_m^{2 \rightarrow 1}[k])$$

제1 통신 노드(100)로 전송 가능한 최대 전송률은

이다. 두

통신 노드(100, 102)가 전송률 R 로 데이터를 전송할 경우 $\{\min(I_m^{1 \rightarrow 2}, I_m^{2 \rightarrow 1}) < R\}$ 이면 데이터 전

송에 오류가 발생한다. 따라서, 데이터 전송 오류 확률을 최소화하려면 $\min(I_m^{1 \rightarrow 2}, I_m^{2 \rightarrow 1})$ (최대 전송률의 최소값)를 최대화하여야 한다.

[0064]

이를 최대화하는 최적의 릴레이 전력 할당비 (β_1, β_2) 를 얻기 위해서는 릴레이 노드가 $\{\gamma_{im}[k]\}_{k=0}^{N-1}$

와 $\{\gamma_{i0}[k]\}_{k=0}^{N-1}$ 에 대한 정보를 모두 얻어야 한다.

[0065]

그러나, FFT와 IFFT 기능이 없는 릴레이 노드는 수신 신호 $\mathbf{y}^{R_{m,1}}$ 과 $\mathbf{y}^{R_{m,2}}$ 로부터 부반송파별 신호대잡음비 $\gamma_{im}[k]$ 를 추정할 수 없으며, 더욱이 통신 노드(100,102)의 직접 경로 신호대잡음비인 $\gamma_{io}[k]$ 는 제1 및 제2 통신 노드(100,102)로부터 피드백 정보로 받아야 한다.

[0066]

이러한 문제점을 해결하기 위한 본 발명에서의 릴레이 전력 할당 방식은

$$\gamma_{im}[k] \approx \hat{\gamma}_{im} = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} \gamma_{im}[k], \quad m=0,1,2,\dots,M \text{ 으로 } P_1 \approx P_2 \quad (\text{즉,}$$

$$\hat{\gamma}_{10} \approx \hat{\gamma}_{20} \approx \hat{\gamma}_0) \text{으로 근사화하여 } \min(I_m^{1 \rightarrow 2}, I_m^{2 \rightarrow 1}) \text{를 최대화한다. 즉,}$$

$$\Gamma_{m^{1 \rightarrow 2}}[k] \approx \frac{\rho_2 \beta_1 \hat{\gamma}_{1m} \hat{\gamma}_{2m}}{\beta_1 \hat{\gamma}_{1m} + (\rho_2 + \beta_2) \hat{\gamma}_{2m} + 1} + \hat{\gamma}_0 \quad \text{와}$$

$$\Gamma_m^{2 \rightarrow 1}[k] \approx \frac{\rho_1 \beta_2 \hat{\gamma}_{1m} \hat{\gamma}_{2m}}{\beta_2 \hat{\gamma}_{2m} + (\rho_1 + \beta_1) \hat{\gamma}_{1m} + 1} + \hat{\gamma}_0 \quad \text{으로}$$

근사화하면,

$$I_m^{1 \rightarrow 2} \approx \frac{1}{3} \log_2 \left(1 + \frac{\rho_2 \beta_1 \hat{\gamma}_{1m} \hat{\gamma}_{2m}}{\beta_1 \hat{\gamma}_{1m} + (\rho_2 + \beta_2) \hat{\gamma}_{2m} + 1} + \hat{\gamma}_0 \right) \quad \text{와}$$

$$I_m^{2 \rightarrow 1} \approx \frac{1}{3} \log_2 \left(1 + \frac{\rho_1 \beta_2 \hat{\gamma}_{1m} \hat{\gamma}_{2m}}{\beta_2 \hat{\gamma}_{2m} + (\rho_1 + \beta_1) \hat{\gamma}_{1m} + 1} + \hat{\gamma}_0 \right)$$

으로 근사화되므로 릴레이 전력 할

당 문제를 다음과 같이 쓸 수 있다.

수학식 12

$$(\beta_1^*, \beta_2^*) = \arg \max_{\{(\beta_1, \beta_2): \beta_1 + \beta_2 = 1, \beta_1, \beta_2 \geq 0\}} \min \left(\frac{\rho_2 \beta_1 \hat{\gamma}_{1m} \hat{\gamma}_{2m}}{\beta_1 \hat{\gamma}_{1m} + (\rho_2 + \beta_2) \hat{\gamma}_{2m} + 1}, \frac{\rho_1 \beta_2 \hat{\gamma}_{1m} \hat{\gamma}_{2m}}{\beta_2 \hat{\gamma}_{2m} + (\rho_1 + \beta_1) \hat{\gamma}_{1m} + 1} \right)$$

[0067]

상기 [수학식 12] 문제는 $\beta_1 = \beta, \beta_2 = 1 - \beta$ 로 바꾸어 쓰면 다음과 같다.

수학식 13

$$\beta^* = \arg \max_{0 \leq \beta \leq 1} \min(\Lambda_m^{1 \rightarrow 2}(\beta), \Lambda_m^{2 \rightarrow 1}(\beta))$$

[0069]

[0070]

여기서,

$$\Lambda_m^{1 \rightarrow 2}(\beta) = \frac{\rho_2 \beta \tilde{\gamma}_{1m} \tilde{\gamma}_{2m}}{\beta(\tilde{\gamma}_{1m} - \tilde{\gamma}_{2m}) + \rho_2 \tilde{\gamma}_{2m} + \tilde{\gamma}_{2m} + 1},$$

$$\Lambda_m^{2 \rightarrow 1}(\beta) = \frac{\rho_1(1-\beta) \tilde{\gamma}_{1m} \tilde{\gamma}_{2m}}{\beta(\tilde{\gamma}_{1m} - \tilde{\gamma}_{2m}) + \rho_1 \tilde{\gamma}_{1m} + \tilde{\gamma}_{2m} + 1} \text{ 이다.}$$

[0071]

상기 [수학식 13]의 최적화 문제는 $\Lambda_m^{1 \rightarrow 2}(\beta) = \Lambda_m^{2 \rightarrow 1}(\beta)$ 일 때 해를 가지며 그 해는 다음과 같다.

수학식 14

[0072]

$$\beta^* = \frac{\rho_1 c_1}{\rho_1 c_1 + \rho_2 c_2}, \text{ if } \tilde{\gamma}_{1m} = \tilde{\gamma}_{2m}$$

[0073]

$$\beta^* = \frac{-B + \sqrt{B^2 + 4(\tilde{\gamma}_{1m} - \tilde{\gamma}_{2m})(\rho_1 + \rho_2)\rho_1 c_1}}{2(\rho_1 + \rho_2)(\tilde{\gamma}_{1m} - \tilde{\gamma}_{2m})}, \text{ if } \tilde{\gamma}_{1m} \neq \tilde{\gamma}_{2m}$$

[0074]

$$\text{여기서, } c_1 = \rho_2 \tilde{\gamma}_{2m} + \tilde{\gamma}_{2m} + 1, \quad c_2 = \rho_1 \tilde{\gamma}_{1m} + \tilde{\gamma}_{2m} + 1,$$

$B = \rho_1 c_1 + \rho_2 c_2 - \rho_1(\tilde{\gamma}_{1m} - \tilde{\gamma}_{2m})$ 이다. 릴레이 전력 할당 이후 최선의 릴레이 노드 선택은 [수학식 15]의 기준과 같다.

수학식 15

[0075]

$$m_o = \arg \min_{1 \leq m \leq M} \Lambda_m^{1 \rightarrow 2}(\beta^*)$$

[0076]

모든 노드 송신 전력이 $P_1 = P_2 = P_R$ 으로 같고 ($\rho_1 = \rho_2 = 1$), $\tilde{\gamma}_{1m} \gg 1, \tilde{\gamma}_{2m} \gg 1$ 이면 그에 따른 릴레이 전력 할당 값은 [수학식 16]으로 근사화할 수 있으며 그에 따른 릴레이 선택 기준은 [수학식 17]과 같다.

수학식 16

[0077]

$$\beta = \frac{\sqrt{\tilde{\gamma}_{2m}}}{\sqrt{\tilde{\gamma}_{1m}} + \sqrt{\tilde{\gamma}_{2m}}}$$

수학식 17

$$m_o = \arg \max_{1 \leq m \leq M} \tilde{\Lambda}_m$$

$$\tilde{\Lambda}_m = \left(\frac{\sqrt{\tilde{\gamma}_{1m} \tilde{\gamma}_{2m}}}{\sqrt{\tilde{\gamma}_{1m}} + \sqrt{\tilde{\gamma}_{2m}}} \right)^2$$

여기서, 는 등가 신호대잡음비이다.

[수학식 16]과 [수학식 17]로 주어지는 릴레이 전력 할당과 릴레이 선택 방법에 있어서 $\tilde{\gamma}_{im_o}$

$$E_{im} = \frac{1}{N} \| \mathbf{y}_{R_{m,1}} \|^2 = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} | \mathbf{y}_{R_{m,1}}[n] |^2$$

에 비례함을 이용하여 [수학식 18]과 [수학식 19]의 릴레이 전력 할당과 릴레이 선택 방법을 이용할 수 있다.

수학식 18

$$\beta = \frac{\| \mathbf{y}_{R_{m,2}} \|}{\| \mathbf{y}_{R_{m,1}} \| + \| \mathbf{y}_{R_{m,2}} \|}$$

수학식 19

$$m_o = \arg \max_{1 \leq m \leq M} \tilde{\Lambda}_m$$

$$\tilde{\Lambda}_m = \frac{\| \mathbf{y}_{R_{m,1}} \|^2 \| \mathbf{y}_{R_{m,2}} \|^2}{(\| \mathbf{y}_{R_{m,1}} \| + \| \mathbf{y}_{R_{m,2}} \|)^2}$$

여기서, 는 등가 신호대잡음비이다.

본 발명의 일 실시예에서는 [수학식 16]과 [수학식 17]로 주어지는 릴레이 전력 할당과 릴레이 선택 방법에서 $\tilde{\gamma}_{im}$ 대신 E_{im} 을 적용할 수 있다.

본 발명의 일 실시예에서 세 번째 전송 단계에서 신호를 전송하는 릴레이 노드를 중앙집권적으로 선택하는 방법

으로, 데이터 교환 전에 한 통신 노드가 모든 릴레이 노드로부터 $\Lambda_m^{1 \rightarrow 2}(\beta^*)$ 정보를 수신하여 [수학식 15]을 기준으로 릴레이 노드를 선택하고 선택된 릴레이 노드 정보를 시스템 내의 모든 릴레이 노드에게 통보하는 방법을 사용할 수 있다.

이 경우 오직 선택된 릴레이 노드만이 [수학식 14]에 의한 릴레이 전력 할당비를 이용하여 [수학식 7]을 생성한다.

- [0087] 본 발명의 일 실시예에서 세 번째 전송 단계에서 신호를 전송하는 릴레이 노드를 중앙집권적으로 선택하는 방법으로, 데이터 교환 전에 한 통신 노드가 모든 릴레이 노드로부터 $\widetilde{\Lambda}_m$ 정보를 수신하여 [수학식 17]을 기준으로 릴레이 노드를 선택하고 선택된 릴레이 노드 정보를 시스템 내의 모든 릴레이 노드에게 통보하는 방법을 사용할 수 있다. 이 경우 오직 선택된 릴레이 노드만인 [수학식 16]에 의한 릴레이 전력 할당비를 이용하여 [수학식 7]을 생성한다.
- [0088] 본 발명의 일 실시예에서 세 번째 전송 단계에서 신호를 전송하는 릴레이 노드를 중앙집권적으로 선택하는 방법으로, 데이터 교환 전에 한 통신 노드가 모든 릴레이 노드로부터 $\widetilde{\Lambda}_m$ 정보를 수신하여 [수학식 19]을 기준으로 릴레이 노드를 선택하고 선택된 릴레이 노드 정보를 시스템 내의 모든 릴레이 노드에게 통보하는 방법을 사용할 수 있다.
- [0089] 이 경우 오직 선택된 릴레이 노드만인 [수학식 18]에 의한 릴레이 전력 할당비를 이용하여 [수학식 7]을 생성한다.
- [0090] 본 발명의 일 실시예에서 세 번째 전송단계에서 신호를 전송하는 릴레이 노드를 분산적으로 선택하는 방법으로, 세 번째 전송단계를 위해 모든 릴레이 노드가 [수학식 14]의 릴레이 전력 할당비를 이용하여 [수학식 7]과 $\Lambda_m^{1 \rightarrow 2}(\beta^*)$ (릴레이 선택 메트릭)을 계산하고 세 번째 전송단계에서 각 릴레이 노드는 $\Lambda_m^{1 \rightarrow 2}(\beta^*)$ 가 큰 순서로 [수학식 7]의 신호를 전송하도록 하는 대신 다른 릴레이 노드의 신호 전송 유무를 검출하여 다른 릴레이 노드가 신호를 전송할 경우 자신은 신호를 전송하지 않도록 함으로써 자동적으로 하나의 릴레이 노드만 신호를 전송하는 방법을 이용한다.
- [0091] 본 발명의 일 실시예에서 세 번째 전송단계에서 신호를 전송하는 릴레이 노드를 분산적으로 선택하는 방법으로, 세 번째 전송단계를 위해 모든 릴레이 노드가 [수학식 16]의 릴레이 전력 할당비를 이용하여 [수학식 7]과 $\widetilde{\Lambda}_m$ (릴레이 선택 메트릭)을 계산하고 세 번째 전송단계에서 각 릴레이 노드는 $\widetilde{\Lambda}_m$ 가 큰 순서로 [수학식 7]의 신호를 전송하도록 하는 대신 다른 릴레이 노드의 신호 전송 유무를 검출하여 다른 릴레이 노드가 신호를 전송할 경우 자신은 신호를 전송하지 않도록 함으로써 자동적으로 하나의 릴레이 노드만 신호를 전송하도록 하는 방법을 이용한다.
- [0092] 본 발명의 일 실시예에서 세 번째 전송단계에서 신호를 전송하는 릴레이 노드를 분산적으로 선택하는 방법으로, 세 번째 전송단계를 위해 모든 릴레이 노드가 [수학식 18]의 릴레이 전력 할당비를 이용하여 [수학식 7]과 $\widetilde{\Lambda}_m$ (릴레이 선택 메트릭)을 계산하고 세 번째 전송단계에서 각 릴레이 노드는 $\widetilde{\Lambda}_m$ 가 큰 순서로 [수학식 7]의 신호를 전송하도록 하는 대신 다른 릴레이 노드의 신호 전송 유무를 검출하여 다른 릴레이 노드가 신호를 전송할 경우 자신은 신호를 전송하지 않도록 함으로써 자동적으로 하나의 릴레이 노드만 신호를 전송하도록 하는 방법을 이용한다.
- [0093] 도 2 는 본 발명에 따른 세 단계 양방향 릴레이 통신 과정의 흐름도이다.
- [0094] 도 2를 참조하면, 첫 번째 전송 단계에서 제1 통신 노드(100)는 하나 이상의 릴레이 노드(110-m) 및 제2 통신 노드(102)로 데이터를 포함하는 제1 OFDM 신호를 전송한다(단계 200).
- [0095] 두 번째 전송 단계에서 제2 통신 노드(102)는 하나 이상의 릴레이 노드(110-m) 및 제1 통신 노드(100)로 데이터를 포함하는 제2 OFDM 신호를 전송한다(단계 202).
- [0096] 제1 및 제2 OFDM 신호를 수신한 하나 이상의 릴레이 노드(110-m)는 수학식 7과 같이 제1 및 제2 OFDM 신호를 서로 다른 릴레이 전력 할당비(β_1, β_2)로 선형 결합하여 아날로그 네트워크 부호화 송신 신호를 생성한다(단계 204).

- [0097] 단계 204는 제1 및 제2 OFDM 신호에 대한 시간 평균을 이용하여 생성될 수 있다.
- [0098] 단계 204에서 제1 OFDM 신호 또는 제2 OFDM 신호의 부반송파별 신호대잡음비를 근사화하여 도출된 수학적 14, 수학적 16 또는 수학적 18을 통해 릴레이 전력 할당비가 계산될 수 있다.
- [0099] 또한, 단계 204는 네트워크에 포함된 모든 릴레이 노드가 수행할 수도 있고, 미리 선택된 하나의 릴레이 노드가 수행할 수도 있다.
- [0100] 이후, 세 번째 전송 단계에서 소정 기준을 만족하는 하나의 릴레이 노드(제1 릴레이 노드)가 송신 신호를 제1 통신 노드(100) 및 제2 통신 노드(102)로 동시에 전송한다(단계 206).
- [0101] 단계 206을 수행하는 제1 릴레이 노드는 제1 통신 노드에서 상기 제2 통신 노드로 전송 가능한 제1 최대 전송률 및 상기 제2 통신 노드에서 상기 제1 통신 노드로 전송 가능한 제2 최대 전송률을 이용하여 결정될 수 있다.
- [0102] 바람직하게, 제1 최대 전송률 및 제2 최대 전송률의 최소값을 최대화하는 릴레이 노드일 수 있다.
- [0103] 본 발명에 따르면, 제1 릴레이 노드는 수학적 15, 17, 19 중 하나를 통해 결정될 수 있다.
- [0104] 이후, 제1 통신 노드(100)는 단계 206에서 수신된 신호로부터 자가 간섭을 제거한 뒤 단계 202에서의 수신 신호와 결합하여 제2 통신 노드(102)의 변조 심볼을 검출한다(단계 208).
- [0105] 한편, 제2 통신 노드(102)는 단계 206에서 수신된 신호로부터 자가 간섭을 제거한 뒤 단계 200에서의 수신 신호와 결합하여 제1 통신 노드(100)의 변조 심볼을 검출한다(단계 210).
- [0106] 본 발명의 다른 실시예에 따르면, 제1 릴레이 노드가 제1 통신 노드(100) 및 제2 통신 노드(102)의 OFDM 신호 전송 이전에 미리 결정될 수 있다.
- [0107] 이러한 경우, 도 2에서 수학적 15, 수학적 17 또는 수학적 19를 통해 제1 릴레이 노드 선택 과정이 우선적으로 수행된 이후, 제1 및 제2 OFDM 신호 송수신, 송신 신호 생성 및 동시 전송 과정이 수행될 수 있다.
- [0108] 도 3은 본 발명에 따른 양방향 릴레이 시스템의 블록도이다. 다
- [0109] 도 3에 도시된 바와 같이, 본 발명에 따른 제 1 통신 노드(100)와 제 2 통신 노드(102)는 송신부(311,321)와 수신부(312,322)를 포함할 수 있고, 릴레이 노드 장치(110)는 수신부(301), 송신 신호 생성부(302) 및 송신부(303)를 포함할 수 있다.
- [0110] 제 1 통신 노드 송신부(311)는 도 2의 단계 200에서와 같이 제2 통신 노드(102) 및 릴레이 노드(110-m)로 제 1 OFDM 신호를 송신한다.
- [0111] 제 1 통신 노드 수신부(312)는 도 2의 단계 206에서 릴레이 노드(110-m)로부터 수신한 신호에서 자가 간섭을 제거한 뒤, 도 2의 단계 202에서 상기 제2 통신 노드가 전송한 신호의 수신 신호와 결합하여 상기 제2 통신 노드가 전송한 변조 심볼을 검출한다.
- [0112] 제 2 통신 노드 송신부(321)는 도 2의 단계 202에서와 같이 제1 통신 노드(100) 및 릴레이 노드(110-m)로 제 2 OFDM 신호를 송신한다.
- [0113] 제 2 통신 노드 수신부(322)는 도 2의 단계 206에서 릴레이 노드(110-m)로부터 수신한 신호에서 자가 간섭을 제거한 뒤, 도 2의 단계 200에서 상기 제1 통신 노드가 전송한 신호의 수신 신호와 결합하여 상기 제1 통신 노드가 전송한 변조 심볼을 검출한다.
- [0114] 릴레이 노드 장치 수신부(300)는 도 2의 단계 200 내지 202에서와 같이 제1 통신 노드(100) 및 제2 통신 노드(102)로부터 OFDM 신호를 수신한다.
- [0115] 릴레이 노드 장치 송신 신호 생성부(302)는 제1 및 제2 OFDM 신호를 서로 다른 릴레이 전력 할당비로 선형 결합하여 아날로그 네트워크 부호화 송신 신호를 생성한다.
- [0116] 릴레이 노드 장치 송신부(304)는 생성된 송신 신호를 동시에 제1 통신 노드(100) 및 제2 통신 노드(102)로 전송한다.
- [0117] 도 4는 본 발명이 제안하는 OFDM 시스템을 위한 아날로그 네트워크 부호화 기반 세 단계 양방향 릴레이 통신 방식을 적용할 때, 각 통신 노드의 비트오류율 성능의 평균을 보인 것이다.

[0118] 이때, 성능 도출에 사용한 변수는 $N=512$, $P_1=P_2=P_R=P$ 이고 변조 심볼로 QPSK 심볼을 사용하였다. 제1 통신 노드(100)와 제2 통신 노드(102) 사이의 거리는 d_0 , 제1 통신 노드(100)와 릴레이 노드 $R_m, m=1, 2, \dots, M$ 사이의 거리는 모두 d_1 , 제2 통신 노드(102)와 릴레이 노드 $R_m, m=1, 2, \dots, M$ 사이의 거리는 모두 d_2 라 가정하였으며, 모든 채널의 경로 손실 지수는 $\nu=3.5$ 이다. 따라서, 다중경로 채널의 경로별 평균 전력은 $E\{|h_0[l]|^2\}=\sigma_{0,l}^2 d_0^{-3.5}$, $E\{|h_{im}[l]|^2\}=\sigma_{im,l}^2 d_i^{-3.5}$ 으로 쓸 수 있다.

[0119] 이때 모든 채널에 동일한 전력 지연 프로파일을 사용하였으며 ($\sigma_{0,l}^2=\sigma_{im,l}^2$), $L=4$ 이고 $[\sigma_{0,0}^2 \sigma_{0,1}^2 \sigma_{0,2}^2 \sigma_{0,3}^2]=[0.988 \ 0.011 \ 0.001 \ 0.0005]$ 이다. 또 $d_1/d_0=0.2$, $d_2/d_0=0.8$ 일 때, 직접 채널의 수신신호대잡음비 $\overline{\gamma_0}=Pd_0^{-3.5}/\sigma^2$ 에 따른 비트 오류율을 보인 것이다.

[0120] 도 4에서 'M=1' 일 때는 릴레이 수가 하나일 때로 릴레이 선택 없이 [수학식 14]의 제안하는 릴레이 전력 할당 방식을 한 경우('RPA')와 $\beta_1=\beta_2=1/2$ 로 릴레이 전력 할당을 하지 않은 경우('No RPA')의 성능을 보인 것이며, 'M=2' 일 때는 릴레이 수가 두 개로 'RPA'는 [수학식 14]의 전력 할당 방식과 [수학식 15]의 릴레이 선택 기법을 적용한 경우를 가리키며 'No RPA'는 $\beta_1=\beta_2=1/2$ 로 릴레이 전력 할당 없이 릴레이 선택을 한 경우이다. 도면에서 볼 수 있듯이 제안한 전력 할당 기법을 적용할 때 릴레이 선택이 없는 경우와 릴레이 선택이 있는 경우 모두 비트오류율 성능을 향상시키는 것을 볼 수 있다.

[0121] 도 5는 M=2인 다중 릴레이 환경에서 본 발명이 제안하는 OFDM 시스템을 위한 아날로그 네트워크 부호화 기반 세 단계 양방향 릴레이 통신 방식의 비트오류율 성능을 기존 기법과 비교한 것이다. 도 3에서 'Proposed'는 [수학식 14]의 전력 할당 방식과 [수학식 15]의 릴레이 선택 기법을 적용한 경우를 가리키며, 'STBC' 는 기존의 [Zheng Li, Xiang-Gen Xia, and Bin Li, "Achieving Full Diversity and Fast ML Decoding via Simple Analog Network Coding for Asynchronous Two-Way Relay Networks," IEEE Transactions on Communications, vol. 57, no. 12, pp 3672~3681, Dec. 2009.]에서 OFDM 시스템을 위해 제안한 시공간 부호화 기법 기반 두 단계 양방향 릴레이 통신 방식을 가리킨다. 이때 두 릴레이 위치 인 인 경우에 대해 성능을 살펴 보았으며, 그 결과 본 발명의 제안 기법이 기존 기법보다 비트오류율 성능을 크게 향상시키는 것을 볼 수 있다.

[0122] 본 발명의 실시예들은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 상기 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체에 기록되는 프로그램 명령은 본 발명을 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 기록 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), 및 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다. 상기된 하드웨어 장치는 본 발명의 실시예들의 동작을 수행하기 위해 하나 이상의 소

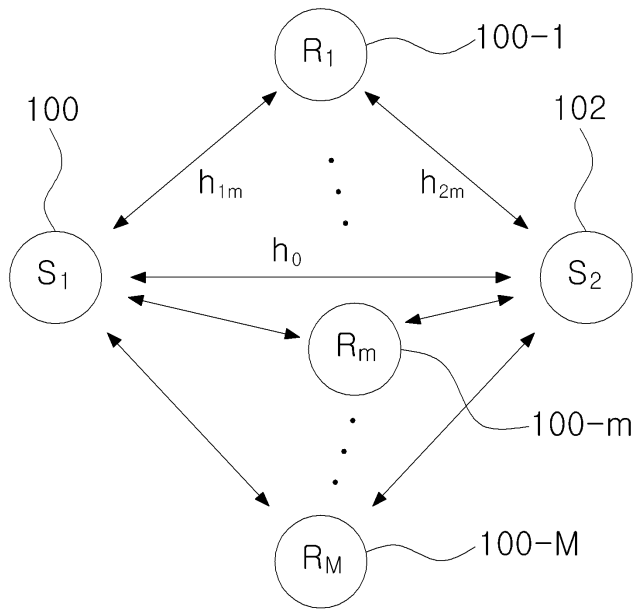
소프트웨어 모듈로서 작동하도록 구성될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다.

[0123]

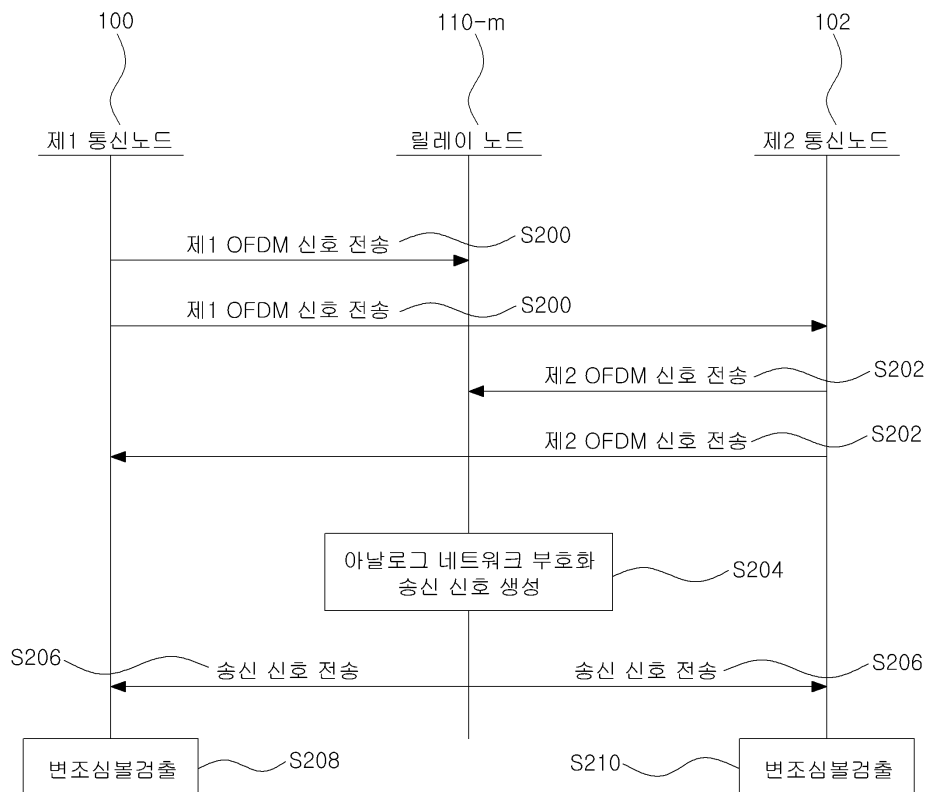
상기한 본 발명의 바람직한 실시예는 예시의 목적을 위해 개시된 것이고, 본 발명에 대해 통상의 지식을 가진 당업자라면 본 발명의 사상과 범위 안에서 다양한 수정, 변경, 부가가 가능할 것이며, 이러한 수정, 변경 및 부가는 하기의 특허청구범위에 속하는 것으로 보아야 할 것이다.

도면

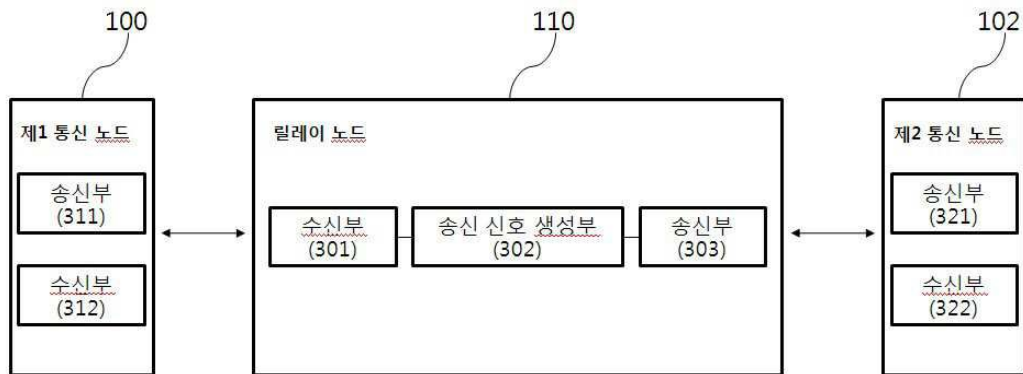
도면1



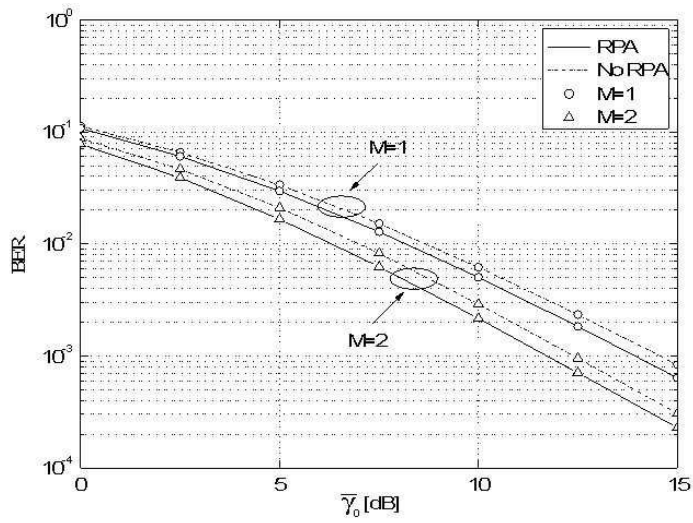
도면2



도면3



도면4



도면5

