(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2013-0119786
(43) 공개일자 2013년11월01일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04B 7/02 (2006.01) *H04B 7/14* (2006.01)
(21) 출원번호 10-2012-0042855
(22) 출원일자 2012년04월24일
심사청구일자 없음

(71) 출원인
한국전자통신연구원
대전광역시 유성구 가정로 218 (가정동)
인하대학교 산학협력단
인천광역시 남구 인하로 100, 인하대학교 (용현동)
(72) 발명자
이명훈
대전 유성구 계산동 학의뜰아파트 107동 2001호
이윤주
대전 유성구 관평동 1280번지 1016동 1102호
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
팬코리아특허법인

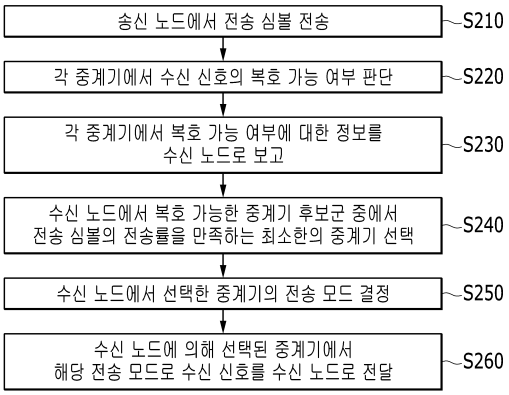
전체 청구항 수 : 총 1 항

(54) 발명의 명칭 **협력 통신 시스템의 중계기 선택 장치 및 방법**

(57) 요 약

복수의 복수의 중계기를 포함하는 협력 통신 시스템에서 복수의 수신 안테나를 가지는 수신 노드는 복수의 중계기 중에서 상기 송신 노드의 데이터에 대한 복호 가능한 중계기 후보군의 중계기를 선택하고, 중계기 후보군의 중계기 중에서 송신 노드의 데이터의 전송률을 만족하는 중계기를 선택하며, 선택한 중계기의 수에 따라서 선택한 중계기의 전송 모드를 공간 다중화 모드 또는 송신 다이버시티 모드로 결정한다.

대 표 도 - 도2



(72) 발명자

권동승

대전광역시 유성구 전민동 엑스포아파트 204동 1304호

정재학

서울 서초구 서초2동 무지개아파트 3동 1207호

서종필

인천 남구 주안6동 더월드스테이트 129동 2802호

김현수

충남 논산시 내동 동신아파트 101동 402호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	06-DU-LC-01
부처명	지식경제부-국방부(방위사업청)
연구사업명	민군겸용기술개발사업
연구과제명	견마형 로봇을 위한 원격통제장치 및 WiBro 무선통신장치 개발
주관기관	한국전자통신연구원
연구기간	2006-09-29~2012-11-30

특허청구의 범위

청구항 1

복수의 중계기를 포함하는 협력 통신 시스템에서 복수의 수신 안테나를 가지는 수신 노드가 송신 노드의 데이터를 전송할 중계기를 선택하는 방법에서,

상기 데이터를 복호할 수 있는 중계기 후보군의 중계기 중에서 상기 데이터의 전송률을 만족하는 중계기를 선택하는 단계,

선택한 중계기의 수와 상기 선택한 중계기와 상기 수신 노드 사이의 채널을 이용하여 상기 선택한 중계기의 전송 모드를 결정하는 단계, 그리고

상기 선택한 중계기의 전송 모드를 상기 선택한 중계기로 피드백하는 단계

를 포함하는 중계기 선택 방법.

명 세 서

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 협력 통신 시스템의 중계기 선택 장치 및 방법에 관한 것으로, 특히 다중 중계기를 포함하는 협력 통신 시스템에서 송신 노드의 데이터를 수신하여 수신 노드로 전송할 중계기를 선택하고 선택한 중계기의 전송 모드를 결정하는 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 차세대 이동 통신 시스템에서 중계기를 이용한 기술은 시스템의 서비스 영역을 늘리고 채널 용량(channel capacity)를 증대시키기 위해 연구되어 왔다. 최근 중계기를 이용한 다중 홉(multi-hop) 전송 기술에 대한 연구가 무선 환경에서의 성능을 향상시키기 위해 진행 중이며 IEEE802.16j 표준에서도 채택되었다.

[0003] 대표적인 중계기 방식은 증폭 후 전달(AF: Amplify-and forward) 방법과 복호 후 전달(DF: Decode-and-forward) 방법으로 구분될 수 있다. AF는 송신 노드(source node)에서 중계기로 전송된 신호를 단순히 증폭하여 수신 노드(destination node)로 전달하는 방식이다. 반면 DF는 중계기가 수신된 신호를 복호하고 이를 다시 변조하여 수신 노드로 전달하는 방식이다. AF 방식은 하드웨어 구현 시 복잡도가 낮은 장점이 있으나 중계기에서 더해진 잡음이 함께 증폭되는 단점이 있다. DF 방식은 복호로 인해 복잡도가 증가하지만 AF 방식에 비해 전송 성능이 높은 장점이 있다.

[0004] 이러한 기술을 바탕으로 공간 다이버시티 이득(spatial diversity gain)을 얻을 수 있는 협력 다이버시티(cooperative diversity) 기술이 연구되고 있다. 협력 다이버시티 기술은 송신 노드와 수신 노드 사이에 중계기를 이용하여 다중의 통신 경로를 생성하고 이를 통하여 공간 다이버시티 이득을 얻을 수 있는 기술이다. 협력 다이버시티 기술 중 하나인 기회적 중계(opportunistic relaying) 기법은 모든 노드가 단일 안테나를 가지며 다수의 중계기가 있을 때 전송이 가능한 기회가 주어진 중계기만 선택적으로 전송하는 기법이다. 이 기법은 송신 노드와 중계기 사이의 채널과 중계기와 수신 노드 사이의 채널이 가장 좋은 중계기를 선택하는 방법으로 구현이 비교적 간단하고 추가적인 선택적 다이버시티 이득을 얻을 수 있다.

[0005] 이와 유사하게 중계기를 이용하여 공간 다중화 이득(spatial multiplexing gain)을 얻을 수 있는 협력 공간 다중화(cooperative spatial multiplexing) 기술이 연구되고 있다. 협력 공간 다중화 기술은 수신 노드가 다중 안테나를 가질 때 수신 노드의 안테나 수와 같은 여러 개의 중계기가 전송 신호를 분할하여 전송함으로써 공간 다중화 이득을 얻을 수 있는 방법이다. 이때, 각 중계기는 송신 노드의 전송률에 비해 낮은 전송률로 신호를 전송함으로써 각 중계기의 전력 소모와 복잡도를 줄일 수 있는 장점이 있다.

[0006] 이러한 협력 공간 다중화 기법과 기회적 중계 방법을 응용하여 수신 노드의 안테나 수 보다 많은 수의 중계기가 존재하는 환경에서 기회적으로 최적의 채널 용량을 갖는 고정된 개수의 중계기를 선택하는 방법이 제안되었다. 이 방법은 전체 중계기 중에서 선택 가능한 모든 경우의 수에 대해서 채널 용량을 비교하고 최대의 채널 용량을 갖는 중계기들을 선택하는 방법으로, 동일한 환경의 협력 다이버시티 기법에 비해 향상된 오수신(outage) 성능

을 갖는 장점이 있다.

[0007] 그러나 이러한 기존의 협력 공간 다중화 기법은 데이터 전송 성능 측면에서 볼 때 가급적 적은 수의 중계기를 선택할 필요가 있으며 전송률이 고정된 데이터를 전송할 때 채널 상태에 따라 전송 방식이 최적화 되어 있지 않다는 문제점이 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명이 해결하고자 하는 기술적 과제는 주어진 전송률을 만족하는 채널 용량을 갖는 최소의 중계기를 기회적으로 선택하고 선택한 중계기의 수와 채널 상황에 따라 최적의 전송 방식을 결정함으로써 비트 오류율 성능을 높일 수 있는 협력 통신 시스템의 중계기 선택 장치 및 방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0009] 본 발명의 한 실시 예에 따르면, 복수의 중계기를 포함하는 협력 통신 시스템에서 복수의 수신 안테나를 가지는 수신 노드가 송신 노드의 데이터를 전송할 중계기를 선택하는 방법이 제공된다. 중계기 선택 방법은 상기 데이터를 복호할 수 있는 중계기 후보군의 중계기 중에서 상기 데이터의 전송률을 만족하는 중계기를 선택하는 단계, 선택한 중계기의 수와 상기 선택한 중계기와 상기 수신 노드 사이의 채널을 이용하여 상기 선택한 중계기의 전송 모드를 결정하는 단계, 그리고 상기 선택한 중계기의 전송 모드를 상기 선택한 중계기로 피드백하는 단계를 포함한다.

발명의 효과

[0010] 본 발명의 실시 예에 의하면, 다중 중계기를 포함하는 협력 통신 시스템에서 주어진 전송률을 만족하는 최소의 중계기를 선택하고 해당 중계기에서의 전송 방법을 채널 상황에 따라 적응적으로 결정함으로써 비트 오류율 성능을 향상시키고 전체 시스템의 복잡도를 줄일 수 있다.

[0011] 또한 SNR과 채널 상황에 따라 선택된 중계기 수와 전송 방법을 달리함으로써 기존의 선택적 협력 공간 다중화 방법에 비해 전체 시스템 측면에서의 복잡도가 낮아지고 동시에 비트 오류율 성능을 향상시키는 장점이 있다.

도면의 간단한 설명

[0012] 도 1은 본 발명의 실시 예에 따른 협력 통신 시스템의 일 예를 나타낸 도면이다.

도 2는 본 발명의 실시 예에 따른 수신 노드에서 중계기 선택 방법을 나타낸 흐름도이다.

도 3은 본 발명의 실시 예에 따른 수신 노드에서 중계기를 선택하는 방법을 나타낸 흐름도이다.

도 4는 본 발명의 실시 예에 따른 수신 노드에서 중계기의 전송 모드를 결정하는 방법을 설명하는 흐름도이다.

도 5는 본 발명의 실시 예에 따른 중계기 선택 방법에서 선택된 중계기 수의 평균을 나타낸 그래프도이다.

도 6 내지 도 8은 각각 m이 4, 6, 8일 때 본 발명의 실시 예에 따른 방법의 비트 오류율 성능을 나타낸 그래프도이다.

도 9는 본 발명의 실시 예에 따른 수신 노드의 중계기 선택 장치를 개략적으로 나타낸 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0013] 아래에서는 첨부한 도면을 참고로 하여 본 발명의 실시 예에 대하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다. 그러나 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시 예에 한정되지 않는다. 그리고 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다.

[0014] 명세서 및 청구범위 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성 요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성 요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.

[0015] 이제 본 발명의 실시 예에 따른 협력 통신 시스템의 중계기 선택 장치 및 방법에 대하여 도면을 참고로 하여 상

세하게 설명한다.

[0016] 도 1은 본 발명의 실시 예에 따른 협력 통신 시스템의 일 예를 나타낸 도면이다.

[0017] 도 1을 참고하면, 협력 통신 시스템은 송신 노드(S1), 수신 노드(D1) 및 복수의 중계기(R1~Rm)을 포함한다.

[0018] 송신 노드(S1)는 데이터를 전송하는 노드로, 단일 송신 안테나를 가진다.

[0019] 수신 노드(D1)는 송신 노드(S1)에서 전송한 데이터를 수신하는 노드로, N_R개의 다중 수신 안테나를 가진다.

[0020] 중계기(R1~Rm)는 송신 노드(S1)의 데이터를 수신 노드(D1)로 전달하는 역할을 하며, 단일 송신 안테나와 단일 수신 안테나를 가진다.

[0021] 송신 노드(S1)와 각 중계기(R1~Rm)는 각각의 채널을 형성하며, 각 중계기(R1~Rm)와 수신 노드(D1) 또한 각각의 채널을 형성한다. 도 1에서, h_{si}는 송신 노드(S1)와 각 중계기(R1~Rm)의 채널 계수이고, h_{id}는 각 중계기(R1~Rm)와 수신 노드(D1)의 채널 벡터이며, h_{si} 및 h_{jd}는 주파수 비 선택적 레일리 페이딩 채널(Rayleigh flat fading channel)이다. 여기서, i는 1에서 m이다.

[0022] 이와 같이, 협력 통신 시스템은 송신 노드(S1)와 수신 노드(D1) 사이의 중계기(R1~Rm)를 통해서 송신 노드(S1)와 수신 노드(D1)간 다중 경로를 형성하고, 다중 경로를 이를 통해서 공간 다이버시티 이득을 얻을 수 있다.

[0023] 중계기(R1~Rm)는 복호 후 전달(DF: Decode-and-forward) 모드로 동작한다. 또한 중계기(R1~Rm)는 시 분할(TDD, Time Division Duplex) 중계 방식으로 동작한다. 따라서 각 전송 심볼 또는 프레임은 송신 노드(S1)에서 중계기(R1~Rm)로 전송하는 청취 단계와 중계기(R1~Rm)에서 수신 노드(D1)로 전달하는 협력 단계로 나뉘어 전송된다.

[0024] 청취 단계와 협력 단계 사이에서, 수신 노드(D1)는 중계기(R1~Rm) 중에서 송신 노드(S1)의 데이터를 복호하여 수신 노드(D1)로 전달할 최소한의 중계기를 선택하고, 선택한 중계기의 전송 모드를 결정하여 해당 중계기의 전송 모드의 정보를 해당 중계기로 전달한다.

[0025] 이후, 협력 단계에서 수신 노드(D1)에 의해 선택된 중계기는 해당 전송 모드로 송신 노드(S1)의 전송 심볼을 수신 노드(D1)로 전달한다.

[0026] 그러면, 도 1에 도시한 협력 통신 시스템에서 수신 노드(D1)가 송신 노드(S1)의 데이터를 수신하기 위한 중계기 선택 방법에 대해서 도 2를 참고로 하여 설명한다.

[0027] 도 2는 본 발명의 실시 예에 따른 수신 노드에서 중계기 선택 방법을 나타낸 흐름도이다.

[0028] 송신 노드(S1)와 수신 노드(D1) 사이의 링크는 경로 손실 또는 지형에 의해 채널 이득이 작아서 수신 노드(D1)는 송신 노드(S1)의 전송 심볼의 복호가 불가능하다고 가정한다. 또한 송신 노드(S1)에서는 어떠한 채널 정보(CSI: Channel State Information)도 알고 있지 않고 수신 노드(D1)에서는 중계기(R1~Rm)와 수신 노드(D1)의 채널 정보를 정확히 알고 있다고 가정한다.

[0029] 도 2를 참고하면, 청취 단계에서 송신 노드(S1)는 고정된 전송률 R을 갖는 전송 심볼 x를 P의 전력으로 전송한다(S210). 이 경우, 중계기(Rm)에서의 수신 신호 y_{sm}는 수학식 1과 같다.

수학식 1

[0030] $$y_{sm} = \sqrt{P d_{sm}^{-\alpha}} h_{sm} x + n_m$$

[0031] 수학식 1에서, h_{sm}은 송신 노드(S1)와 중계기(Rm) 사이의 채널이고, 분산이 1인 레일리(Rayleigh) 분포를 따른다. d_{sm}은 송신 노드(S1)와 중계기(Rm) 사이의 거리이고 α는 경로 손실 지수를 나타낸다. n_m은 중계기(Rm)에서의 평균이 0이고 분산이 σ_m^2 인 부가 가우시안 잡음을 나타낸다.

[0032] 중계기(Rm)에서 수신한 신호의 신호 대 잡음비(SNR: Signal-to-Noise Ratio)는 γ_{sm}으로 주어지며 수학식 2와 같을 수 있다.

수학식 2

[0033] $$\gamma_{sm} = \frac{P d_{sm}^{-\alpha} |h_{sm}|^2}{\sigma_m^2}$$

[0034] 송신 노드(S1)와 각 중계기(R1~Rm) 사이의 채널 계수가 다르므로, 송신 노드(S1)의 전송 심볼 x에 대하여 각 중계기(R1~Rm)에서의 수신 신호의 SNR은 서로 독립적인(independent) 지수 분포(exponential distribution)을 따른다.

[0035] 각 중계기(R1~Rm)는 송신 노드(S1)의 전송 심볼 즉, 수신 신호의 복호 가능 여부를 판단한다(S220). 각 중계기(R1~Rm)는 수신 신호의 SNR을 이용하여 수신 신호의 복호 가능 여부를 판단할 수 있다.

[0036] 각 중계기(R1~Rm)는 수신 신호의 복호 가능 여부를 판단한 후 복호 가능 여부에 대한 정보를 수신 노드(D1)로 보고한다(S230).

[0037] 복수의 중계기(R1~Rm)를 포함하는 협력 통신 시스템에서는 송신 노드(S1)와 중계기(R1~Rm) 사이의 채널뿐만 아니라 중계기(R1~Rm)와 수신 노드(D1) 사이의 채널 또한 고려되어야 한다. 일반적인 MIMO 시스템은 각 송신 안테나에서 전송된 신호가 겪는 경로 손실은 모두 동일하다. 반면 협력 통신 시스템에서는 각 중계기(R1~Rm)와 수신 노드(D1) 사이의 경로 손실이 모두 다르다. 따라서 중계기(R1~Rm)와 수신 노드(D1) 사이의 거리에 따라 주어진 전송률을 만족하는 최소한의 중계기의 수가 유동적으로 변하게 된다. 따라서, 수신 노드(D1)는 각 중계기(R1~Rm)의 복호 가능 여부에 대한 정보를 이용하여 복호 가능한 기회적 중계기 후보군을 선택하고, 기회적 중계기 후보군 중에서 각 중계기(R1~Rm)와 수신 노드(D1) 사이의 경로 손실을 고려하여 송신 노드(S1)에서 전송하는 심볼의 전송률 R을 만족하는 최소한의 중계기를 선택한다(S240).

[0038] 수신 노드(D1)는 선택한 중계기의 전송 모드를 결정한다(S250). 수신 노드(D1)는 선택한 중계기의 전송 모드를 결정하고 나면 선택한 중계기로 전송 모드의 정보를 피드백한다.

[0039] 협력 단계에서, 수신 노드(D1)에 의해 선택된 중계기는 복호한 신호를 동시에 수신 노드(D1)로 전송한다(S260). 이때, 모두 동일한 전력으로 전송된다고 가정하면, 수신 노드(D1)에서 수신된 신호 y_d는 수학식 3과 같다.

수학식 3

[0040] $$Y_d = HVx + n_d$$

[0041] 수학식 3에서, H는 N_R*m 행렬로, 중계기(R1~Rm)와 수신 노드(D1) 사이의 채널 행렬이다. 즉, H는 [h_{1d}, h_{2d}, …, h_{md}]이다. 채널 행렬 H의 각 열벡터의 크기는 N_R*1이며 평균은 0이고 분산은 σ_{md}^2인 복소 가우시안 분포를 따른다. 이때, $\sigma_{md}^2 = d_{md}^{-\alpha}$ 이다. V는 수신 노드(D1)에서 선택한 중계기를 나타내는 중계기 선택 행렬로, V=diag(v1, v2, …, vm)인 대각행렬이다. 이때, m번째 중계기가 선택되면 vm=1이고, 그렇지 않으면 vm=0이다. x는 각 중계기에서 복호 후 전달하는 신호를 나타내고, $E\left[\|\mathbf{x}\|^2\right] = P$ 이다. n_d는 수신 노드(D1)에서의 부가 가우시안 잡음으로, $E\left[\mathbf{n}_d \mathbf{n}_d^H\right] = \sigma_d^2 \mathbf{I}_{N_R}$ 이며, I_{NR}은 N_R*N_R 단위 행렬을 의미한다.

[0042] 도 3은 본 발명의 실시 예에 따른 수신 노드에서 중계기를 선택하는 방법을 나타낸 흐름도이다.

[0043] 먼저, 송신 노드(S1)와 중계기(R1~Rm) 그리고 수신 노드(D1) 사이의 심볼 구간 당 전송률은 각각 R로 고정되어 있다고 가정한다.

[0044] 도 3을 참고하면, 송신 노드(S1)는 한 심볼 주기 동안 전송 심볼을 전송한다. 이때 복호 가능한 중계기 후보군

A는 수학식 4와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 4

[0045] $$A=\left\{m \mid \log_2\left(1+\gamma_{sm}\right) \geq R\right\}$$

[0046] 즉, 각 중계기(R1~Rm)는 수학식 4에 토대로 복호 가능 여부를 판단하고(S310), 복호 가능 여부에 대한 정보를 수신 노드(D1)로 보고한다(S320).

[0047] 수신 노드(D1)는 송신 노드(S1)의 전송 심볼을 복호 가능한 중계기 정보와 채널 정보를 이용하여, 가능한 모든 중계기의 수에 대한 채널 용량을 계산한다(S330). 채널 용량은 수학식 5와 같이 계산될 수 있다.

수학식 5

[0048] $$C\left(\mathbf{H},\mathbf{V}\right)=\log_2 \det\left(\mathbf{I}_{N_R}+\frac{P}{\sigma_d^2}\mathbf{H}\mathbf{V}\mathbf{H}^H\right)$$

[0049] 수학식 5에서, C(H,V)는 중계기와 수신 노드 사이의 채널 H와 임의의 중계기 수에 따른 중계기 선택 행렬 V가 주어졌을 때의 채널 용량이다. 이때 가능한 모든 중계기 선택 행렬의 집합 Ω은 수학식 6과 같을 수 있다.

수학식 6

[0050] $$\Omega=\left\{\mathbf{V}=diag\left(v_1,v_2,\cdots,v_M\right) \mid v_m \in \{0,1\} \text{ if } m \in A,\ v_m=0,\ \text{otherwise}\right\}$$

[0051] 수신 노드(D1)는 Ω 내의 모든 V에 대하여 수학식 5를 토대로 채널 용량을 계산하고 수학식 7을 이용하여 주어진 전송률 R 이상의 채널 용량을 갖는 최소한의 중계기를 선택한다(S340).

수학식 7

[0052] $$\mathbf{V}^*=\arg\min_{\mathbf{V}\in\Omega, C(\mathbf{H},\mathbf{V})\geq R} tr\left(\mathbf{V}\right)$$

[0053] 만약, 모든 V 중에서 C(H,V)를 만족하는 V가 존재하지 않는 경우에는 수학식 7을 이용하여 중계기 선택 행렬을 구할 수가 없다. 이 경우, 채널 용량이 최대한 R에 근접하도록 중계기 후보군 A의 모든 중계기를 선택할 수 있다.

[0054] 이와 같이, 수신 노드(D1)는 중계기의 위치와 채널 상황에 따라 주어진 전송률을 만족하는 중계기를 적응적으로 선택한다. 수학식 2의 SNR은 거리에 따른 감쇄 효과를 내포할 수 있으며 수학식 3의 채널 행렬에서 분산은 채널 이득을 의미하며 채널 이득의 평균은 거리에 의한 감쇄 효과를 내포할 수 있다. 따라서 수신 노드(D1)가 주어진 전송률을 만족하는 중계기를 적응적으로 선택할 때 중계기의 위치 또한 고려한다고 볼 수 있다. 따라서 선택된 중계기의 수 tr(V)는 각각의 $\|\mathbf{h}_{md}\|^2$ 과 SNR에 따라서 유동적으로 변화하게 된다. 특정 중계기와 수신 노드(D1) 사이의 SNR이 높은 경우 하나의 중계기만을 사용하더라도 주어진 전송률보다 높은 채널 용량을 얻을 수 있기 때문에 다수의 중계기를 사용하지 않더라도 안정적인 데이터 전송이 가능하다. 반면 선택 가능한 모든 중계기와 수신 노드(D1) 사이의 SNR이 상대적으로 낮은 경우에는 수신 노드(D1)의 안테나 수보다 많은 수의 중계기가 선택될 수 있다. 이때에는 선택된 중계기의 수만큼 공간 다중화 이득을 얻을 수 없기 때문에 추가적인 이득을 얻을 수 있는 방법이 필요하다.

[0055] 그러면, 선택된 중계기 수에 따라 선택된 중계기의 전송 모드를 결정하는 방법에 대해서 도 4를 참고로 하여 설명한다.

[0056] 도 4는 본 발명의 실시 예에 따른 수신 노드에서 중계기의 전송 모드를 결정하는 방법을 설명하는 흐름도이다.

[0057] 도 4를 참고하면, 수신 노드(D1)는 선택된 중계기의 수[tr(V)]를 확인한다(S410).

[0058] 수신 노드(D1)는 선택된 중계기의 수[tr(V)]가 1인 경우 공간 다중화 기법으로 전송하는 것은 불가능하다. 따라서 선택된 중계기의 수[tr(V)]가 1인 경우(S420), 송신 노드(S1)에서의 전송 심볼을 복호 후 그대로 수신 노드(D1)로 전달한다(S430). 이러한 전송 모드는 단일 중계기의 전송 방법과 동일하며 이때 중계기에서 전달하는 심볼의 전송률은 송신 노드(S1)에서의 전송률과 동일하거나 크게 할 수 있다. 수신 노드(D1)는 다중 안테나를 가지므로 최대 비율 결합(MRC: Maximum Ratio Combining)을 이용하여 중계기로부터 전달된 심볼을 수신할 수 있다.

[0059] 한편, 선택된 중계기의 수[tr(V)]가 수신 노드(D1)의 안테나의 수(N_R)보다 같거나 작은 경우(S440), 선택된 중계기의 수만큼 공간 다중화 이득을 얻을 수 있다. 그러나 각 중계기에 의한 $P\sigma_{md}^2 / tr(\mathbf{V}^*)\sigma_d^2$ 값에 따라 해당 중계기에서 전달된 심볼의 비트 오류율(Bit error rate) 성능이 낮아진다. 이를 보완하기 위해 수신 노드(D1)는 공간 다중화 모드 또는 송신 다이버시티 모드를 각 중계기의 전송 모드로 결정한다(S450). 수신 노드(D1)는 공간 다중화 모드와 송신 다이버시티 모드 중 낮은 비트 오류율을 갖는 모드를 각 중계기의 전송 모드로 결정할 수 있다.

[0060] 수신 노드(D1)는 선택한 중계기와 수신 노드(D1) 사이의 유효 채널 HV^*의 특이값(singular value)을 이용하여 수학식 8의 조건을 만족할 때 공간 다중화 모드로 선택한 중계기의 전송 모드를 결정한다.

수학식 8

[0061]
$$\frac{\lambda_{\max}\left(\mathbf{HV}^*\right)}{\lambda_{\min}\left(\mathbf{HV}^*\right)} \le \frac{d_{\min}\left(tr\left(\mathbf{V}^*\right), R\right)}{d_{\min}\left(1, R\right)}$$

[0062] 여기서, $\lambda_{max}(HV^*)$와 $\lambda_{min}(HV^*)$는 각각 유효 채널 HV^*의 최대 및 최소 특이값을 의미한다. $d_{min}(tr(V^*),R)$은 전체 전송률이 R이고 크기가 $tr(V^*)*1$인 벡터 심볼을 생성하는 데 사용되는 성상도(constellation)의 최소 유클리드(Euclidean) 거리이고 $d_{min}(1,R)$은 전체 전송률이 R인 스칼라 심볼에 대한 최소 유클리드 거리이다.

[0063] 채널 상태에 따라서 수학식 8을 만족하는 경우 각 중계기는 공간 다중화 모드를 적용하여 별도의 전처리(pre-processing) 없이 $R^*=R/tr(V^*)$의 전송률로 자신에게 할당된 심볼만을 수신 노드(D1)로 전송한다.

[0064] 이와 달리, 수학식 8을 만족하지 않는 경우, 수신 노드(D1)는 송신 다이버시티 모드로 선택한 중계기의 전송 모드를 결정한다. 그러면, 각 중계기는 다양한 송신 다이버시티 방법을 이용하여 전송률 R로 수신한 심볼을 수신 노드(D1)로 전송한다.

[0065] 그리고 선택된 중계기의 수가 수신 노드(D1)의 수 N_R보다 많은 경우, 얻을 수 있는 공간 다중화 이득은 N_R로 제한된다. 따라서 수신 노드(D1)는 선택된 중계기 수 $tr(V^*)$와 수학식 8을 이용하여 선택된 중계기의 전송 모드를 결정한다.

[0066] 이때 선택된 중계기의 전송 모드가 송신 다이버시티 모드로 결정되면 수신 노드(D1)의 수를 고려할 필요가 없다. 그러나 선택된 중계기의 전송 모드가 공간 다중화 모드로 결정되면 SNR이 큰 상위 N_R개의 중계기는 공간 다중화 모드로 전송하고, 나머지 중계기는 시공간 블록 코딩(Space Time Block Coding, STBC)을 수행한다. 여기서 STBC는 중계기에서 전송할 데이터를 공간 직교성을 갖는 부호를 사용해 부호화시켜 안테나별로 매핑시켜 전송하는 방법이다.

[0067] 이때, 선택된 중계기의 전송 모드가 공간 다중화 모드로 결정된 경우, 중계기의 전송 모드는 공간 다중화 모드

와 공간 다이버시티 모드의 혼합 모드가 된다. 따라서 N_R의 공간 다중화 이득 이외에 추가적인 공간 다이버시티 이득을 얻어서 비트 오류율 성능을 향상시킬 수 있다.

[0068] 이와 같이, 선택된 중계기의 수가 수신 노드(D1)의 수 N_R보다 많은 경우, 수신 노드(D1)는 송신 다이버시티 모드 또는 공간 다중화 모드와 공간 다이버시티 모드의 혼합 모드로 선택된 중계기의 전송 모드를 결정한다(S460).

[0069] 선택된 중계기의 전송 모드가 공간 다중화 모드로 결정되었을 때 각 중계기에 의한 SNR은 해당 중계기와 수신 노드(D1) 사이의 $\|\mathbf{h}_{md}\|^2$ 에 따라 결정될 수 있다. 경로 손실에 의해 상대적으로 수신 노드(D1)와 가까이 위치한 중계기에서 전달된 심볼은 높은 SNR을 갖고 멀리 위치한 중계기에서 전달된 심볼은 상대적으로 낮은 SNR을 갖기 때문에 멀리 위치한 중계기들을 그룹(group)화하고 STBC 부호화를 함으로써 공간 다중화 이득에 추가적인 공간 다이버시티 이득을 얻음으로써 기존의 방법보다 향상된 비트 오류율 성능을 기대할 수 있다.

[0070] 본 발명의 실시 예에 따른 중계기 선택 방법을 적용했을 때 평균 비트 오류율 성능을 확인하고 기존의 다중 중계기 선택 방법과의 비교를 위해 전산 모의 실험을 수행하였고 그 결과를 도 5 내지 도 8에 도시하였다.

[0071] 전산 모의 실험에서, 송신 노드(S1)와 중계기(R1~Rm)는 각각 하나의 안테나를 가지며 수신 노드(D1)는 N_R개의 다중 안테나를 갖는 것으로 가정하였다. 송신 노드(S1)와 중계기(R1~Rm) 그리고 중계기(R1~Rm)와 수신 노드(D1) 사이의 채널은 단일 경로 레일리 페이딩 채널(Single path Rayleigh fading channel)이며 채널은 한 심볼 구간 또는 프레임 동안 변하지 않는 블록 페이딩(block fading)을 가정하였다. 각 심볼 구간 당 전송률은 R로 고정하였고 변조 방법은 QAM(Quadrature Amplitude Modulation)을 사용하였다. 그리고 채널 부호화 기법은 적용하지 않았다. 전체 중계기의 수가 각각 4, 6, 8개가 존재하고 수신 노드(D1)의 수신 안테나 수가 2개인 환경을 가정하였다. 그리고 모든 중계기는 송신 노드(S1)의 전송 심볼을 복호 가능하다고 가정하였고 수신 노드(D1)에서 각 중계기의 전송 심볼에 의한 평균 SNR은 모두 같다고 가정하였다. 각 심볼 구간 당 전송률은 R=4bps/Hz이고 송신 노드(S1)에서는 심볼을 16QAM으로 변조하여 전송하였다. 각 중계기에서는 전송 모드에 따라 16QAM 또는 4QAM으로 복호된 심볼을 전달하였고 수신 노드(D1)에서의 채널 추정 오차는 없다고 가정하였다. 수신된 신호 검출기는 ML(Maximum Likelihood) 검출기를 사용하였다.

[0072] 도 5는 본 발명의 실시 예에 따른 중계기 선택 방법에서 선택된 중계기 수의 평균을 나타낸 그래프도이다.

[0073] 도 5에서, 가로축의 SNR은 선택된 중계기의 송신 전력의 합 P와 수신 노드(D1)의 잡음 전력 σ_d^2의 비를 의미한다. 전체 중계기의 수 m이 증가할수록 중계기 선택 방법에 의해 선택적 다이버시티 이득을 얻기 때문에 동일한 SNR 영역에서 선택된 중계기 수가 줄어든다. SNR이 2dB일 때 m에 따라 선택된 중계기는 각각 3.4, 3.1, 2.6개로, 이는 m=4일 때에 비해 m=8일 때 선택되는 중계기의 수에 의한 전체 시스템 복잡도가 약 24% 감소했음을 의미한다.

[0074] 한편 도 5에서 도시한 바와 같이, SNR이 증가할수록 선택되는 중계기의 수는 SNR이 약 16dB일 때 1로 수렴한다. 만일 전송률 R이 증가하면 선택된 중계기의 수가 1로 수렴하는 SNR값은 16dB보다 더 높아질 것임을 알 수 있다.

[0075] 도 6, 도 7 및 도 8은 각각 m이 4, 6, 8일 때 본 발명의 실시 예에 따른 방법의 비트 오류율 성능을 나타낸 그래프도이다.

[0076] 도 6, 도 7 및 도 8에서, 실선은 본 발명의 실시 예에서 제안된 중계기 선택 방법을 적용했을 때의 비트 오류율이고 점선은 기존의 협력 다중화를 위한 다중 중계기 선택 방법의 평균 비트 오류율이다.

[0077] SNR이 5dB 이하인 영역에서 선택된 중계기의 수는 도 6 내지 도 8에서 도시한 바와 같이 수신 노드(D1)의 안테나 수 N_R=2보다 많다. 이때 공간 다중화 전송 모드로 선택된 중계기의 전송 모드가 결정되면 선택된 중계기에서는 공간 다중화 모드와 공간 다이버시티 모드를 결합하여 복호된 심볼을 전달하므로 추가적인 공간 다이버시티 이득을 얻을 수 있다. 따라서 낮은 SNR 영역에서는 기존의 다중 중계기 선택 방법에 비해 약 1.5~2dB의 이득을 얻는다.

[0078] 또한 도 6 내지 도 8을 참고하면, 6dB 이상의 SNR 영역에서는 선택하는 중계기의 수가 기존의 방법과 비슷하나 이때의 비트 오류율 성능은 기존의 방법에 비해 향상된다. 즉, 수학식 8에 의해 채널 상황에 따라 더 낮은 비트 오류율을 갖는 전송 방법으로 결정함으로써 보다 향상된 비트 오류율 성능을 갖는다.

[0079] 또한 높은 SNR 영역에서 단일 중계기가 선택된 경우 선택적 다이버시티 이득이 공간 다중화에 의한 다이버시티 이득 보다 크기 때문에 비트 오류율 성능의 기울기가 커지는 것을 알 수 있다.

[0080] 도 9는 본 발명의 실시 예에 따른 수신 노드의 중계기 선택 장치를 개략적으로 나타낸 도면이다.

[0081] 도 9를 참고하면, 수신 노드(D1)의 중계기 선택 장치(900)는 수신부(910), 중계기 선택부(920) 및 전송 모드 결정부(930)를 포함한다.

[0082] 수신부(910)는 선택한 중계기로부터 송신 노드(S1)의 전송 심볼을 수신한다. 또한 수신부(910)는 협력 통신 시스템의 복수의 중계기(R1~R2)로부터 송신 노드(S1)의 전송 심볼에 대한 복호 가능 여부에 대한 정보를 수신한다.

[0083] 중계기 선택부(920)는 복수의 중계기(R1~R2)의 복호 가능 여부에 대한 정보를 토대로 기회적 중계기 후보군으로 복호 가능한 중계기를 선택하고, 기회적 중계기 후보군의 중계기 중에서 수학식 5 내지 수학식 8을 토대로 주어진 전송률을 만족하는 최소한의 중계기를 선택한다.

[0084] 전송 모드 결정부(930)는 선택한 중계기의 전송 모드를 결정한다. 전송 모드 결정부(930)는 도 4를 참고하여 설명한 방법을 토대로 선택한 중계기의 전송 모드를 결정할 수 있다. 즉, 전송 모드 결정부(930)는 선택된 중계기의 수가 1인 경우 복호된 심볼을 그대로 전송하는 단일 중계기 전송 모드로 선택된 중계기의 전송 모드를 결정할 수 있다.

[0085] 전송 모드 결정부(930)는 선택된 중계기의 수가 수신 노드(D1)의 안테나 수보다 같거나 작은 경우 선택된 중계기의 전송 모드를 공간 다중화 모드와 송신 다이버시티 중 낮은 비트 오류율을 갖는 모드로 결정할 수 있다.

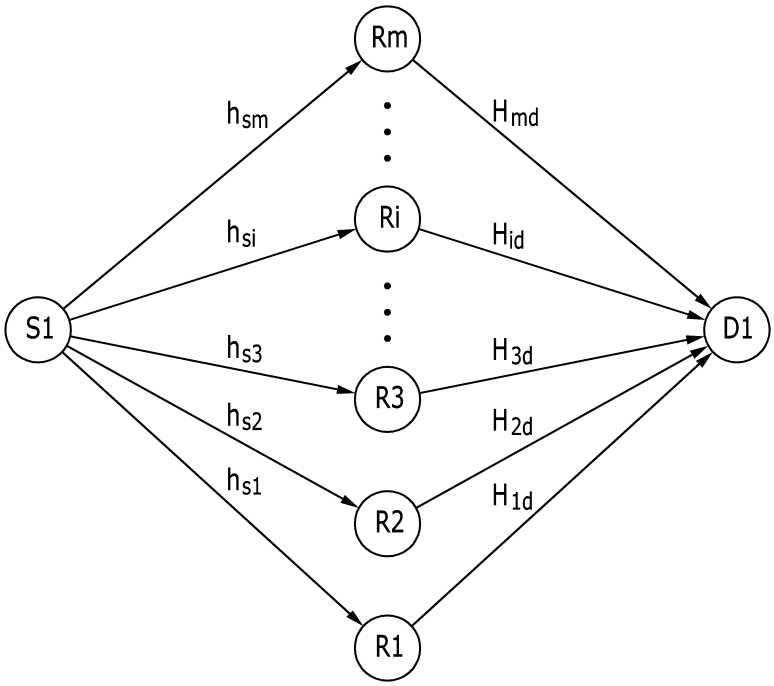
[0086] 또한 전송 모드 결정부(930)는 선택된 중계기의 수가 수신 노드(D1)의 안테나 수보다 많은 경우 도 4를 참고하여 설명한 방법을 토대로 선택한 중계기의 전송 모드를 결정할 수 있다. 전송 모드 결정부(930)는 선택된 중계기 수 $tr(V^{*})$와 수학식 8을 이용하여 선택된 중계기의 전송 모드를 송신 다이버시티 모드 또는 공간 다중화 모드와 공간 다이버시티 모드의 혼합 모드로 결정한다. 전송 모드 결정부(930)는 결정한 전송 모드를 선택한 중계기로 피드백한다.

[0087] 본 발명의 실시 예는 이상에서 설명한 장치 및/또는 방법을 통해서만 구현되는 것은 아니며, 본 발명의 실시 예의 구성에 대응하는 기능을 실현하는 프로그램 또는 그 프로그램이 기록된 기록 매체를 통해 구현될 수도 있으며, 이러한 구현은 앞서 설명한 실시 예의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술 분야의 전문가라면 쉽게 구현할 수 있는 것이다.

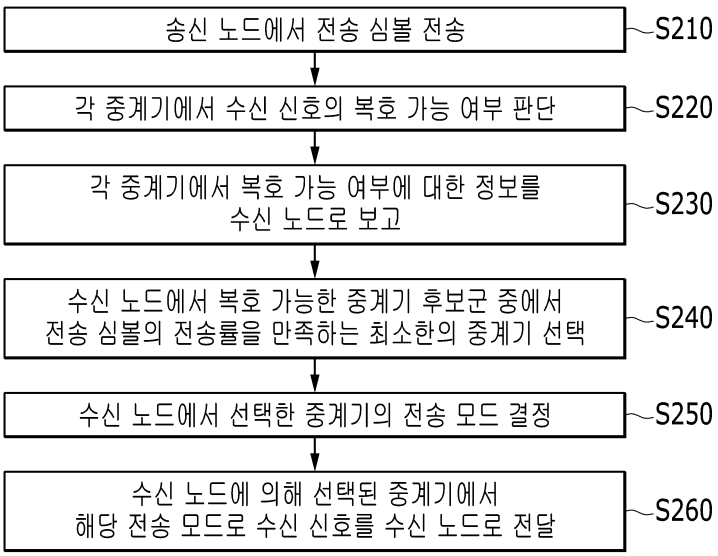
[0088] 이상에서 본 발명의 실시 예에 대하여 상세하게 설명하였지만 본 발명의 권리 범위는 이에 한정되는 것은 아니고 다음의 청구범위에서 정의하고 있는 본 발명의 기본 개념을 이용한 당업자의 여러 변형 및 개량 형태 또한 본 발명의 권리 범위에 속하는 것이다.

도면

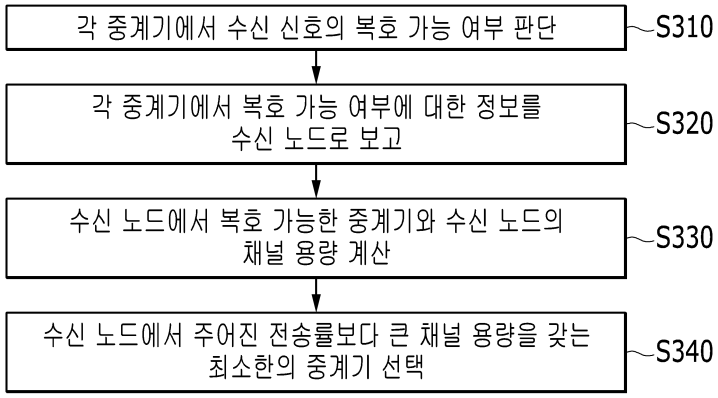
도면1


Rm
Ri
R3
R2
R1
S1
D1
h_{sm}
h_{si}
h_{s3}
h_{s2}
h_{s1}
H_{md}
H_{id}
H_{3d}
H_{2d}
H_{1d}

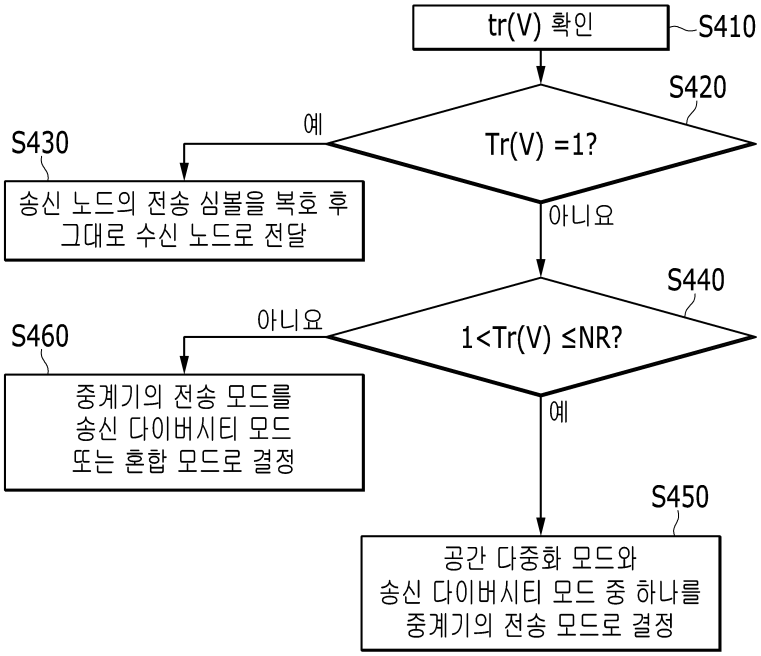
도면2


송신 노드에서 전송 심볼 전송
S210
각 중계기에서 수신 신호의 복호 가능 여부 판단
S220
각 중계기에서 복호 가능 여부에 대한 정보를
수신 노드로 보고
S230
수신 노드에서 복호 가능한 중계기 후보군 중에서
전송 심볼의 전송률을 만족하는 최소한의 중계기 선택
S240
수신 노드에서 선택한 중계기의 전송 모드 결정
S250
수신 노드에 의해 선택된 중계기에서
해당 전송 모드로 수신 신호를 수신 노드로 전달
S260

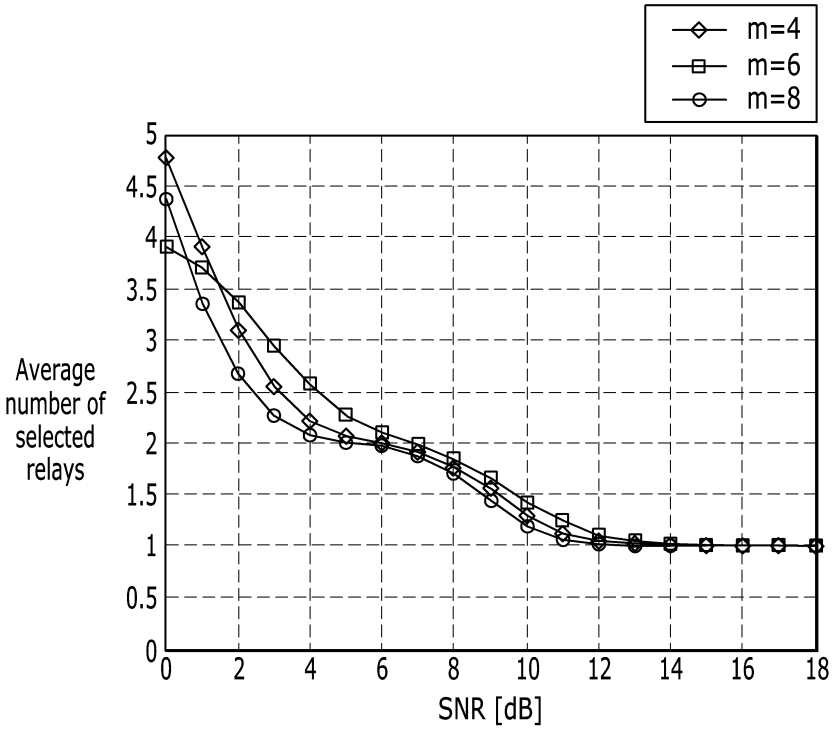
도면3


각 중계기에서 수신 신호의 복호 가능 여부 판단
S310
각 중계기에서 복호 가능 여부에 대한 정보를 수신 노드로 보고
S320
수신 노드에서 복호 가능한 중계기와 수신 노드의 채널 용량 계산
S330
수신 노드에서 주어진 전송률보다 큰 채널 용량을 갖는 최소한의 중계기 선택
S340

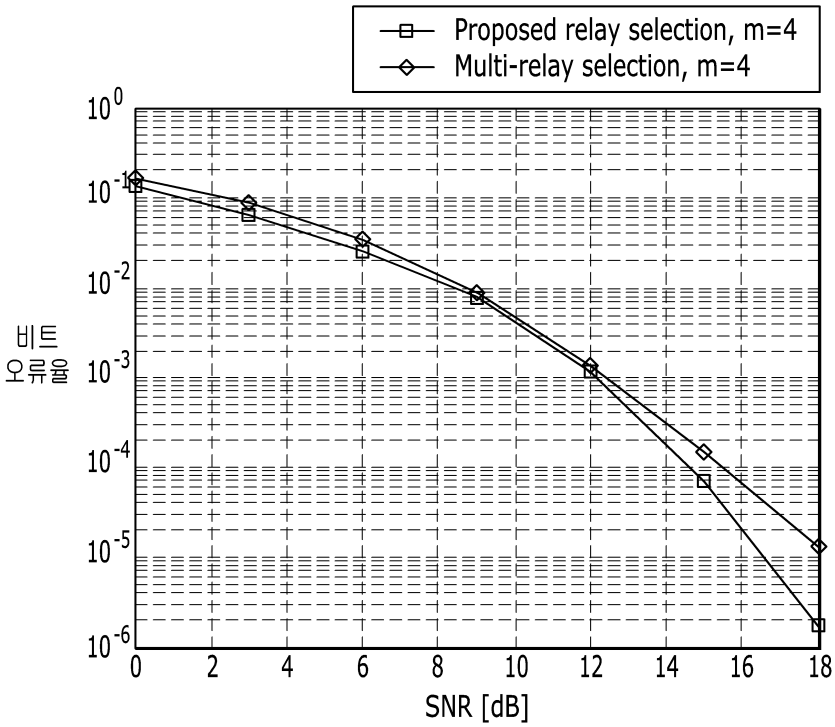
도면4


tr(V) 확인
S410
S420
Tr(V) =1?
예
S430
송신 노드의 전송 심볼을 복호 후 그대로 수신 노드로 전달
아니요
S440
1<Tr(V) ≤NR?
아니요
S460
중계기의 전송 모드를 송신 다이버시티 모드 또는 혼합 모드로 결정
예
S450
공간 다중화 모드와 송신 다이버시티 모드 중 하나를 중계기의 전송 모드로 결정

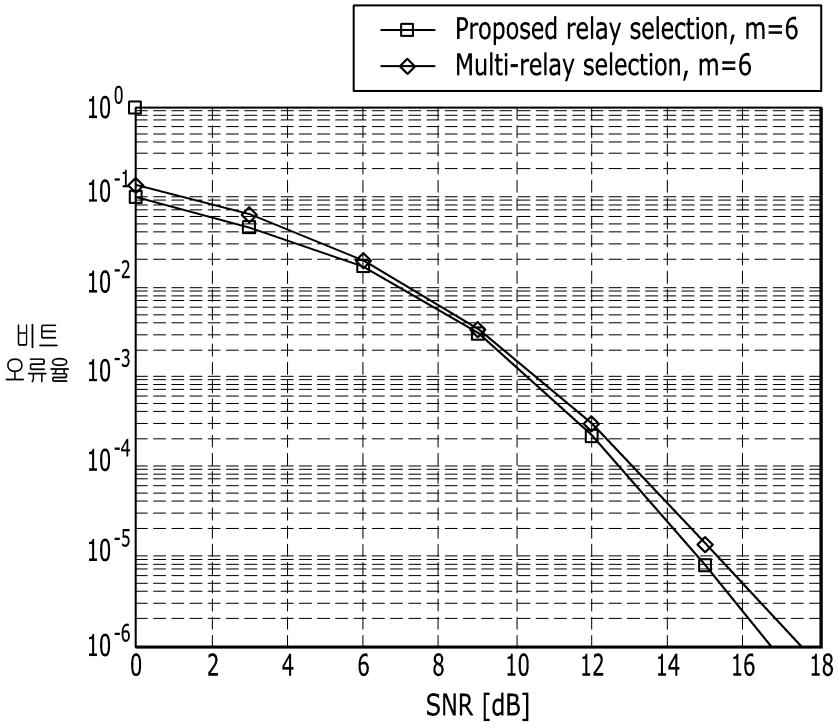
도면5


m=4
m=6
m=8
Average number of selected relays
SNR [dB]
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4
4.5
5
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18

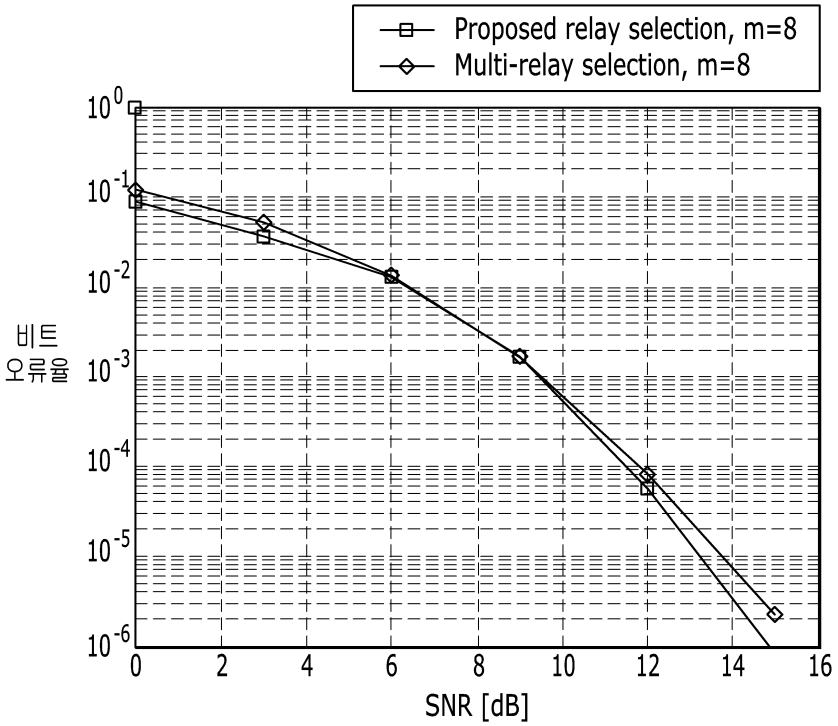
도면6


Proposed relay selection, m=4
Multi-relay selection, m=4
비트 오류율
SNR [dB]
10^{0}
10^{-1}
10^{-2}
10^{-3}
10^{-4}
10^{-5}
10^{-6}
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18

도면7


Proposed relay selection, m=6
Multi-relay selection, m=6
비트
오류율
SNR [dB]

도면8


Proposed relay selection, m=8
Multi-relay selection, m=8
비트
오류율
SNR [dB]

도면9

