(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2009-0026966
(43) 공개일자 2009년03월16일

(51) Int. Cl.
H04B 7/14 (2006.01) *H04L 12/28* (2006.01)
(21) 출원번호 10-2007-0092080
(22) 출원일자 2007년09월11일
심사청구일자 2007년09월11일

(71) 출원인
울산대학교 산학협력단
울산 남구 무거2동 산29
(72) 발명자
공형윤
울산광역시 중구 약사동 707-48 래미안 2차 203-1105
(74) 대리인
장한특허법인

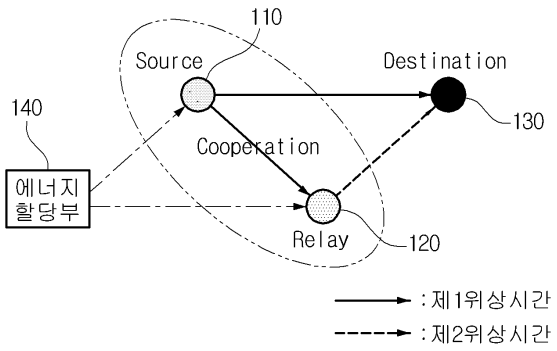
전체 청구항 수 : 총 6 항

(54) 에너지 할당을 이용한 ＬＬＲ기반의 애드혹 네트워크에서의선택적 중계 시스템

(57) 요 약

본 발명에 따르면, 소스(S), 목적지(D) 및 소스(S)와 목적지(D) 사이를 중계하는 릴레이(R)로 이루어진 협력통신 방식을 이용한 듀얼 홉 애드혹 네트워크 상에서, 릴레이(R)가 소스(S)로부터 수신받은 신호를 목적지(D) 측으로 선택적으로 중계하는 시스템에 관한 것으로서, 릴레이(R)는, 소스(S)로부터 수신받은 신호의 LLR(Log-Likelihood Rate)값이 기준 임계값 이상인 경우 신호에 관한 복조된 신호를 목적지(D)로 전송하는 것을 특징으로 하는 에너지 할당을 이용한 LLR기반의 애드혹 네트워크에서의 선택적 중계 시스템이 제공된다. 개시된 에너지 할당을 이용한 LLR기반의 애드혹 네트워크에서의 선택적 중계 시스템에 따르면, 소스(S), 목적지(D) 및 릴레이(R)로 구성되는 협력통신방식을 이용한 애드혹(Ad-hoc) 네트워크상에서 릴레이에 의한 신호의 선택적 중계 여부 결정시 페이딩 및 노이즈 레벨이 모두 고려되는 LLR(Log-Likelihood Rate)을 이용함에 따라 재전송 여부의 판단이 효과적으로 수행됨은 물론이며 소스와 릴레이 측에 적절한 에너지 할당이 수행됨에 따라 애드혹 네트워크상의 제한적인 에너지 자원의 효율적인 운용이 가능한 이점이 있다.

대 표 도 - 도3



특허청구의 범위

청구항 1

소스(S), 목적지(D) 및 상기 소스(S)와 목적지(D) 사이를 중계하는 릴레이(R)로 이루어진 협력통신 방식을 이용한 듀얼 홉 애드혹 네트워크 상에서, 상기 릴레이(R)가 상기 소스(S)로부터 수신받은 신호를 상기 목적지(D) 측으로 선택적으로 중계하는 시스템에 관한 것으로서,

상기 릴레이(R)는,

상기 소스(S)로부터 수신받은 신호의 LLR(Log-Likelihood Rate)값이 기준 임계값 이상인 경우 상기 신호에 관한 복조된 신호를 상기 목적지(D)로 전송하는 것을 특징으로 하는 에너지 할당을 이용한 LLR기반의 애드혹 네트워크에서의 선택적 중계 시스템.

청구항 2

제 1항에 있어서, 상기 릴레이(R)는,

상기 소스(S)로부터 수신받은 신호의 LLR(Log-Likelihood Rate)값이 기준 임계값 이상인지를 수학식 1에 의해 판단하는 것을 특징으로 하는 에너지 할당을 이용한 LLR기반의 애드혹 네트워크에서의 선택적 중계 시스템.

수학식 1

$$|\Lambda| \geq \ln\left(\frac{1}{P_{eT}} - 1\right) = \Lambda_0$$

($|\Lambda|$:LLR값, Λ_0 : 기준 임계값, P_{eT} : 상기 소스로부터 상기 릴레이로 수신된 상기 신호에 관한 비트에러확률)

청구항 3

제 1항 또는 제 2항에 있어서,

릴레이 없이 소스와 목적지 간의 다이렉트 송신만 수행되는 다이렉트 전송방식의 전송 소비 에너지와 동일한 에너지가 소비되도록, 상기 선택적 중계시 상기 소스(S) 및 상기 릴레이(R) 측의 소비 에너지의 합이 상기 다이렉트 전송방식의 전송 소비 에너지량과 동일하도록 상기 소스(S) 및 릴레이(R) 측에 각각 에너지 할당을 수행하는 에너지할당부를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 에너지 할당을 이용한 LLR기반의 애드혹 네트워크에서의 선택적 중계 시스템.

청구항 4

제 3항에 있어서, 상기 에너지할당부는,

상기 선택적 중계시, 상기 소스(S)와 상기 릴레이(R) 측에 수학식 2의 에너지할당 계수(δ_b)를 이용한 에너지 할당을 각각 수행하는 것을 특징으로 하는 에너지 할당을 이용한 LLR기반의 애드혹 네트워크에서의 선택적 중계 시스템.

수학식 2

$E_S=\delta_b E$, $E_R=(1-\delta_b)E$, $0<\delta_b<1$, $E_S+E_R=E$

(E_S: 상기 소스에 할당되는 에너지, E_R: 상기 릴레이에 할당되는 에너지, E: 상기 다이렉트 전송방식의 전송 소비 에너지, δ_b:에너지할당 계수)

청구항 5

제 4항에 있어서, 상기 에너지할당부는,

상기 소스에서 송신된 상기 신호에 관한 BER(Bit Error Rate)이 최소가 되는 조건의 상기 δ_b를 상기 $0<\delta<1$ 범위 내의 시뮬레이션에 의하여 획득한 이후, 상기 획득된 δ_b를 상기 수학식 2에 적용하여 상기 소스 및 상기 릴레이 측에 에너지 할당을 각각 수행하는 것을 특징으로 하는 에너지 할당을 이용한 LLR기반의 애드혹 네트워크에서의 선택적 중계 시스템.

청구항 6

제 3항에 있어서, 상기 에너지할당부는,

상기 선택적 중계시, 상기 소스에서 송신한 신호가 상기 릴레이에서 완벽하게 검파된 경우에 한하여 상기 소스와 상기 릴레이 측에 수학식 3의 에너지할당 계수(δ_S)를 이용한 에너지 할당을 각각 수행하는 것을 특징으로 하는 에너지 할당을 이용한 LLR기반의 애드혹 네트워크에서의 선택적 중계 시스템.

수학식 3

$E_S=\delta_S E$, $E_R=(1-\delta_S)E$, $0<\delta_S<1$, $\delta_S=1/(1+\lambda_{SD}/\lambda_{RD})$, $\lambda_{ij}=(d_{SD}/d_{ij})^{\eta}$, $E_S+E_R=E$

(E_S: 상기 소스에 할당되는 에너지, E_R: 상기 릴레이에 할당되는 에너지, E: 상기 다이렉트 전송방식의 전송 소비 에너지, δ_S:에너지할당 계수, d_{SD}: 소스(S)와 목적지(D) 간의 거리, d_{ij}: 송신측(i)와 수신측(j)의 거리, η: 경로손실 지수, $i\in\{S,R\}$, $j\in\{R,D\}$)

명 세 서

발명의 상세한 설명

기 술 분 야

<1> 본 발명은 에너지 할당을 이용한 LLR기반의 애드혹 네트워크에서의 선택적 중계 시스템에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 소스(S), 목적지(D) 및 릴레이(R)로 구성되는 협력통신방식을 이용한 애드혹(Ad-hoc) 네트워크상에서 상기 릴레이에 의한 신호의 선택적 중계 여부를 LLR(Log-Likelihood Rate)을 이용하여 결정할 수 있고, 상기 소스와 릴레이 측에 적절한 에너지 할당이 수행될 수 있는, 에너지 할당을 이용한 LLR기반의 애드혹 네트워크에서의 선택적 중계 시스템에 관한 것이다.

배 경 기 술

<2> 일반적으로, 송신기와 수신기에 각각 다중의 안테나를 배치하는 구성에 따르면 무선 통신의 공간 다이버시티(Spatial Diversity) 특성의 향상을 꾀할 수 있으며 무선통신 경로 상에서의 페이딩(Fading) 발생을 효과적으로 줄일 수 있는 이점이 있다.

<3> 그러나, 무선 모바일(Mobile) 단말 통신은 그 물리적인 사이즈와 전력용량의 한계 및 그 이외의 다른 제약 조건들로 인하여 멀티형의 다중 안테나를 지원할 수 없으며, 상술한 다중 안테나가 지원되는 모바일 통신 기술은 아직 개발되고 있지 않고 있다.

<4> 이러한 제약 상의 극복을 위해 협력통신(Cooperative Cimmunications)이라 불리우는 새로운 기술이 제안되고 있는데, 상기 협력통신에 따르면 송신기와 수신기 간의 릴레이를 이용한 선택적 중계방식을 이용하여 상술한 전송 다이버시티의 이득 및 효과를 창출할 수 있으며 싱글 안테나를 갖는 모바일 통신을 허락할 수 있다.

<5> 이러한 협력통신을 도 1을 참고로 하여 좀 더 상세히 설명하면 다음과 같다.

<6> 도 1은 소스(S;110)가 릴레이(R;120)의 협력에 의해 목적지(D;130) 측으로 정보를 전송하는 일반적인 듀얼-홉(Dual-hop) 무선 애드혹 네트워크 상의 협력통신에 관한 구성도이다.

<7> 여기서, 상기 소스(S;110), 목적지(D;130), 릴레이(R;120)는 각각 무선 네트워크상의 송신기, 송신기로부터 정보를 전송받는 수신기, 상기 송신기와 수신기를 중계하여 상기 송신기의 정보를 상기 수신기 측으로 재전송하는 중계기에 해당된다.

<8> 먼저 도 1의 (b)와 같은 제1위상시간 동안에는, 상기 소스(S;110)는 전송하고자 하는 신호(a)를 상기 릴레이(R;120)와 목적지(D;130) 측으로 동시 전송하고, 상기 릴레이(R;120)와 목적지(D;130)는 상기 소스(S;110)로부터 전송된 상기 신호(a)를 수신한다.

<9> 상기 제1위상시간 이후인 제2위상시간 동안에는, 도 1의 (c)와 같이 상기 릴레이(R;120)는 상기 수신받은 신호(a)를 복조하여 복조된 신호(a')를 상기 목적지(D;130) 측으로 전송하고, 상기 목적지(D;130)는 상기 소스(S;110)로부터 전송받은 신호(a)와 상기 릴레이(R;120)로부터 전송받은 신호(a')를 각각 MRC(Maximum Ratio Combining) 등의 방식으로 결합한 후, 상기 신호(a)를 원 신호로 복원하게 된다.

<10> 여기서, 제2위상시간 동안 상기 릴레이(R;120)는, 상기 신호(a)를 상기 목적지(D;130) 측으로 전송하는 여부, 즉 재전송의 여부를 소정 기준에 의해 결정하여 상기 소정 기준에 부합되는 경우에만 상기 복조된 신호(a')를 상기 목적지(D;130) 측으로 선택적으로 재전송할 수 있으며, 이러한 방식은 통상적으로 릴레이의 선택적 전송(중계) 또는 선택적 릴레이(Selective Ralay;SR)로 명명하고 있다.

<11> 상기 선택적 릴레이(SR)는 간단한 협력 통신 프로토콜 중의 하나로서, 릴레이(R;120)는 소스(S;110)에서 전송된 정보를 복호화하여 전송할지의 여부에 관한 결정을 상술한 바와 같이 독립적으로 수행하게 된다.

<12> 따라서, 릴레이(R;120)를 이용한 선택적 중계방식은 물리적인 다중 안테나의 효과를 구현할 수 있는 간단한 형태의 협력통신 프로토콜 중 하나이다..

<13> 종래에는, 상기 선택적 릴레이의 방식으로서, 릴레이(R;120)에 수신된 신호(a)의 SNR(Signal to noise)이 일정 임계값 이상인 경우에만 상기 릴레이(R;120)가 상기 수신된 신호(a)를 복조하여 목적지(D;130) 측으로 선택적으로 재전송하는 방식이 제안되고 있다.

<14> 그러나, 상기 SNR을 기준으로 한 종래의 경우, 페이딩 요소만 고려되고 있어 재전송 여부 결정에 관한 신뢰도가 저하될 수 있는 문제점이 있다.

<15> 한편, 상기 애드혹 네트워크는 수많은 모바일 스테이션(Moblie Station; 이하 MS)들로 이루어져 있고, 이러한 각 MS는 배터리로 작동되며 그들이 소비하는 전력은 상당하므로, 상기 MS의 평균송신전력을 최소화하는 것과 그 물리적인 사이즈를 감소시키는 것이 비용적인 측면에서 필수적인 요건으로 작용될 수 있다.

<16> 여기서, 상기 애드혹 네트워크에서 요구되는 상술한 두 가지 요건인 에너지 및 사이즈 축소 측면에서 상기 릴레이(R;120)를 이용한 협력 통신은 효과적으로 적용가능한데, 이러한 경우 상기 MS는 상기 소스(S;110)에 해당될 수 있으며 목적지(D;130)는 MS로부터 신호를 전송받는 기지국 등일 수 있다.

<17> 한편, 상기 애드혹 네트워크상의 모든 MS에 관한 정확한 에너지 할당은 채널 변동 적응에 있어서 매우 필수적인데, 실질적으로 이러한 적절한 에너지 할당은 무선 통신 성능 향상에도 기여할 수 있는 부분이다.

<18> 그런데, 상기 애드혹 네트워크는 기지국의 이동으로 인한 빈번하고 지속적인 토폴로지 변화뿐만 아니라, 배터리, 전송대역폭 등 같은 이동 기기의 특성상 많은 제약을 가지고 있다. 따라서, 애드혹 네트워크 상의 제한적인 에너지 자원의 효율적인 운용의 필요성이 요구된다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

<19> 본 발명은 상술한 문제점을 해결하기 위하여 창출된 것으로서, 애드혹 네트워크상에서 릴레이에 의한 신호의 선택적 중계 여부를 SNR이 아닌 LLR(Log-Likelihood Rate)에 기반하여 결정함에 따라 재전송 성능을 향상시킴과 동시에, 소스와 릴레이 측에 적절한 에너지 할당이 수행됨에 따라 제한적인 에너지 자원을 가지는 애드혹 네트워크에 상의 전력적 효율성을 증가시킬 수 있는 에너지 할당을 이용한 LLR기반의 애드혹 네트워크에서의 선택적 중계 시스템을 제공하는 데 그 목적이 있다.

과제 해결수단

<20> 상기와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명의 에너지 할당을 이용한 LLR기반의 애드혹 네트워크에서의 선택적 중계 시스템은, 소스(S), 목적지(D) 및 상기 소스(S)와 목적지(D) 사이를 중계하는 릴레이(R)로 이루어진 협력 통신 방식을 이용한 듀얼 홉 애드혹 네트워크 상에서, 상기 릴레이(R)가 상기 소스(S)로부터 수신받은 신호를 상기 목적지(D) 측으로 선택적으로 중계하는 시스템에 관한 것으로서, 상기 릴레이(R)는, 상기 소스(S)로부터

수신받은 신호의 LLR(Log-Likelihood Rate)값이 기준 임계값 이상인 경우 상기 신호에 관한 복조된 신호를 상기 목적지(D)로 전송할 수 있다.

<21> 여기서, 상기 릴레이(R)는, 상기 소스(S)로부터 수신받은 신호의 LLR(Log-Likelihood Rate)값이 기준 임계값 이상인지를 수학식 1에 의해 판단할 수 있다.

<22> [수학식 1]

<23> $$|\Lambda| \geq \ln\left(\frac{1}{P_{eT}} - 1\right) = \Lambda_0$$

<24> ($|\Lambda|$:LLR값, Λ_0 : 기준 임계값, P_{eT} : 상기 소스로부터 상기 릴레이로 수신된 상기 신호에 관한 비트에러확률)

<25> 그리고, 본 발명에 따르면, 릴레이 없이 소스와 목적지 간의 다이렉트 송신만 수행되는 다이렉트 전송방식의 전송 소비 에너지와 동일한 에너지가 소비되도록, 상기 선택적 중계시 상기 소스(S) 및 상기 릴레이(R) 측의 소비 에너지의 합이 상기 다이렉트 전송방식의 전송 소비 에너지량과 동일하도록 상기 소스(S) 및 릴레이(R) 측에 각각 에너지 할당을 수행하는 에너지할당부를 더 포함할 수 있다.

<26> 여기서, 상기 에너지할당부는, 상기 선택적 중계시, 상기 소스(S)와 상기 릴레이(R) 측에 수학식 2의 에너지할당 계수(δ_b)를 이용한 에너지 할당을 각각 수행할 수 있다.

<27> [수학식 2]

<28> $E_S=\delta_b E$, $E_R=(1-\delta_b)E$, $0<\delta_b<1$, $E_S+E_R=E$

<29> (E_S: 상기 소스에 할당되는 에너지, E_R: 상기 릴레이에 할당되는 에너지, E: 상기 다이렉트 전송방식의 전송 소비 에너지, δ_b:에너지할당 계수)

<30> 이때, 상기 에너지할당부는, 상기 소스에서 송신된 상기 신호에 관한 BER(Bit Error Rate)이 최소가 되는 조건의 상기 δ_b를 상기 $0<\delta<1$ 범위 내의 시뮬레이션에 의하여 획득한 이후, 상기 획득된 δ_b를 상기 수학식 2에 적용하여 상기 소스 및 상기 릴레이 측에 에너지 할당을 각각 수행할 수 있다.

<31> 한편, 상기 에너지할당부는, 상기 선택적 중계시, 상기 소스에서 송신한 신호가 상기 릴레이에서 완벽하게 검파된 경우에 한하여 상기 소스와 상기 릴레이 측에 수학식 3의 에너지할당 계수(δ_S)를 이용한 에너지 할당을 각각 수행할 수 있다.

<32> [수학식 3]

<33> $E_S=\delta_S E$, $E_R=(1-\delta_S)E$, $0<\delta_S<1$, $\delta_S=1/(1+\lambda_{SD}/\lambda_{RD})$, $\lambda_{ij}=(d_{SD}/d_{ij})^{\eta}$, $E_S+E_R=E$

<34> (E_S: 상기 소스에 할당되는 에너지, E_R: 상기 릴레이에 할당되는 에너지, E: 상기 다이렉트 전송방식의 전송 소비 에너지, δ_S:에너지할당 계수, d_{SD}: 소스(S)와 목적지(D) 간의 거리, d_{ij}: 송신측(i)와 수신측(j)의 거리, η: 경로손실 지수, $i\in\{S,R\}$, $j\in\{R,D\}$)

효 과

<35> 본 발명에 따른 에너지 할당을 이용한 LLR기반의 애드혹 네트워크에서의 선택적 중계 시스템에 따르면 다음과 같은 효과가 있다.

<36> 첫째, 페이딩과 노이즈를 모두 고려한 LLR을 기반으로 릴레이의 재전송을 결정함에 따라 동일한 에너지를 사용하는 동일 조건의 SNR을 이용한 방식에 비해 재전송의 신뢰도 및 성능 면에서 우수한 특성을 나타내며, 시스템의 복잡도를 증가시키지 않는 이점이 있다.

<37> 둘째, 소스와 릴레이 측의 적절한 에너지 할당을 통해 시스템의 에너지 효율을 증가시킴은 물론이며, 이러한 에

너지 할당 방식은 엄격한 에너지 제한 조건을 만족시켜야 하는 애드혹 네트워크상에서 유용하게 적용될 수 있는 효과가 있다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

<38> 이하 첨부된 도면을 참조하면서 본 발명에 따른 바람직한 실시예를 상세히 설명하기로 한다. 이에 앞서, 본 명세서 및 청구범위에 사용된 용어나 단어는 통상적이거나 사전적인 의미로 한정해서 해석되어서는 아니 되며, 발명자는 그 자신의 발명을 가장 최선의 방법으로 설명하기 위해 용어의 개념을 적절하게 정의할 수 있다는 원칙에 입각하여, 본 발명의 기술적 사상에 부합하는 의미와 개념으로 해석되어야만 한다.

<39> 따라서, 본 명세서에 기재된 실시예와 도면에 도시된 구성은 본 발명의 가장 바람직한 일 실시예에 불과할 뿐이고 본 발명의 기술적 사상을 모두 대변하는 것은 아니므로, 본 출원시점에 있어서 이들을 대체할 수 있는 다양한 균등물과 변형예들이 있을 수 있음을 이해하여야 한다.

<40> 도 1은 소스가 릴레이의 협력에 의해 목적지 측으로 정보를 전송하는 일반적인 듀얼-홉(Dual-hop) 무선 애드혹 네트워크 상의 협력통신에 관한 구성도, 도 2는 종래의 SNR기반의 선택적 중계 방식의 개괄 흐름도이다.

<41> 그리고, 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 에너지 할당을 이용한 LLR기반의 애드혹 네트워크에서의 선택적 중계 시스템의 구성도, 도 4는 도 3에 따른 LLR기반의 선택적 중계 방식의 개괄 흐름도, 도 5 내지 도 7은 도 3에 따른 본 발명의 성능을 나타내는 그래프이다.

<42> 본 발명은 도 1 또는 도 2의 구성도와 같이, 소스(S;110), 목적지(D;120) 및 상기 소스(S;110)와 목적지(D;130) 사이를 중계하는 릴레이(R;120)로 이루어진 협력통신 방식을 이용한 듀얼 홉 애드혹 네트워크 상에서, 상기 릴레이(R;120)가 상기 소스(S;110)로부터 수신받은 신호(a)를 특정 기준을 통해 상기 목적지(D;130) 측으로 선택적으로 중계하는 시스템에 관한 것이다.

<43> 여기서, 도 1에 나타나 있는 λ_{ij}는 [$\lambda_{ij}=(d_{SD}/d_{ij})^{\eta}$]에 의해 정의된다.

<44> d_{ij}는 송신측(i)와 수신측(j) 간의 거리이고, i∈{S,R}, j∈{R,D}이며, η는 경로손실 지수에 해당되는 것으로서 보통 1 ~ 7의 범위 내에서 선택될 수 있다.

<45> 예를 들어, λ_{SR}은 송신측인 소스(S)와 수신측인 릴레이(R) 간의 분산 정도로서 $\lambda_{SR}=(d_{SD}/d_{SR})^{\eta}$로 정의될 수 있으며, 선택되는 η값에 따라 그 값이 변경될 수 있다.

<46> 한편, 이하에서 후술되는 수학식에 기재된 i와 j는 각각 i∈{S,R}, j∈{R,D}로서, i 및 j는 송신측(소스 또는 릴레이) 및 수신측(릴레이 또는 목적지)을 각각 나타낸다.

<47> 이러한 본 발명에 따른 협력적 통신 방식을 도 1 또는 도 2를 참고로 보다 상세히 설명하면 다음과 같다.

<48> 본 발명에 있어서 모든 시간적 표현은 이산시간 복소 등가 베이스밴드 모델(discrete-time complex equivalent base-band models)을 이용하며, 또한 소스(S;110)에서 변조된 신호는 1 또는 -1 값을 갖는 BPSK변조된 신호인 것을 고려하여 설명하고자 한다. 이러한 상기 모델 및 변조 방식은 설명의 편의상 채용한 것으로서 반드시 상술한 바로 한정되는 것은 아니며 본 발명의 기술범주 내에서 보다 다양한 방식이 적용될 수 있음은 물론이다.

<49> 먼저, 도 1의 (b)와 같은 제1위상시간 동안, 상기 소스(S;110)는 BPSK복조된 신호(a)를 상기 릴레이(R;120)와 목적지(D;130) 측으로 동시 전송하며, 상기 릴레이(R;120)와 목적지(D;130)는 상기 복조된 신호(a)를 수신받는다.

<50> 여기서, 상기 소스(S;110)로부터 전송되어 상기 릴레이(R;120)에 수신된 신호(y_{SR})와 상기 목적지(D;130)에 수신된 신호(y_{SD})에 관한 표현은 수학식 1a와 같다.

<51> [수학식 1a]

$$y_{SR} = \alpha_{SR}\sqrt{E_S}a + n_{SR}$$

<52> $$y_{SD} = \alpha_{SD}\sqrt{E_S}a + n_{SD}$$

<53> 수학식 1a에서, y_{ij}는 송신측 i에서 전송되어 수신측 j에 수신된 신호, α_{ij}는 송신측 i와 수신측 j 간의 경로이득, E_S는 소스(S)에서 전송된 신호의 평균송신전력, n_{ij}는 송신측 i에서 수신측 i로 전송시 첨가되는 노이즈를 나타낸다.

<54> 여기서, 상기 노이즈란, 백색 가우시안 잡음(AWGN;Added White Gaussian Niose)을 의미할 수 있다.

<55> 즉, 도 1 또는 상기 수학식 1a에 도시된 α_{ij}는 송신측(i)과 수신측(j) 간의 경로이득을 나타내는 것으로서, 예를 들어 α_{SR}는 송신측인 소스(S)와 수신측인 릴레이(R) 간의 경로이득으로 정의된다.

<56> 상기 경로이득(α_{ij})은 페이딩과 깊이 관련되는 부분으로서, 두 경로 간의 페이딩이 적게 발생될수록 경로이득은 크게 나타날 수 있다.

<57> 그리고, 상기 제1위상시간 이후인 제2위상시간 동안, 도 2의 (c)와 같이 상기 릴레이(R;120)는 상기 수신받은 신호(a)를 목적지(D;130) 측으로 재전송하는지의 여부(선택적 릴레이 동작)를 소정 기준에 따라 결정한 후, 상기 소정 기준을 만족하는 경우 상기 수신받은 신호(a)를 복조하여, 복조된 신호(a')를 상기 목적지(D;130) 측으로 전송한다.

<58> 상기 신호(a)의 복조는 ML(Maximum Likelihood) 디코딩 방식에 의해 수행될 수 있으며, 이때 상기 복조된 신호(a')는 아래의 수학식 1b와 같이 표현될 수 있다.

<59> [수학식 1b]

$$a' = sign(y_R) = sign(\mathrm{Re}(\alpha_{SR}^{*} y_{SR}))$$

<60>

<61> 여기서, sign(·)는 시그넘 함수(Signum Function)로서, y_R값이 0보다 큰 양수인 경우는 1, 0보다 작은 음수인 경우는 -1로 결정하는 함수이고, Re(·)는 괄호 안의 값 중 실수 파트만을 취하는 것을 의미한다.

<62> 즉, 소스(S;110)와 릴레이(R;120) 간의 경로이득(α_{SR})에 관한 컨쥬게이션(conjugation)값과 상기 수학식 1a에 개시된 y_{SR}값 간의 곱에 관한 실수부분만을 취한 후, 상기 실수부분 값이 음수 또는 양수인지에 따라 상기 수신된 a신호가 1 또는 -1 값으로 이루어진 a'신호로 검파되게 된다.

<63> 한편, 상기 제2위상시간 중의 후단 시점에서, 상기 목적지(D;130)는, 상기 소스(S;110)로부터 전송받은 신호(a)와 상기 릴레이(R;120)로부터 전송받은 신호(a')를 MRC(Maximum Ratio Combining) 등의 방식으로 결합한 후, 상기 신호(a)를 원 신호로 복원하게 된다.

<64> 이러한 상기 릴레이(R;120)에서 전송되어 목적지(D;130) 측으로 수신된 신호(y_{RD})는 아래의 수학식 1c로서 표현 가능하다.

<65> [수학식 1c]

$$y_{RD} = \alpha_{RD}\sqrt{E_R}a' + n_{RD}$$

<66>

<67> 여기서, 물론 앞서 상술한 α_{ij} 및 n_{ij}의 설명과 같이, α_{RD}는 릴레이(R)와 목적지(D) 간의 경로이득, E_R은 릴레이(R)에서 전송된 신호의 평균송신전력, n_{RD}는 릴레이(R)에서 목적지(D)로 전송시 첨가되는 노이즈, 더 상세하게는 백색 가우시안 노이즈를 의미할 수 있다.

<68> 이상과 같은 상기 목적지(D;130)는, 상기 소스(S;110)로부터 전송받은 신호(a)와 상기 릴레이(R;120)로부터 전송받은 신호(a')를 상기 MRC를 이용하여 각각 결합한 후 송신된 신호(a)를 아래의 수학식 1d를 이용하여 원 신호로 복원할 수 있다.

<69> [수학식 1d]

<70>
$$\bar{a} = sign\left(\mathrm{Re}\left(\sqrt{E_S}\,\alpha_{SD}^{*} y_{SD} + \sqrt{E_R}\,\alpha_{RD}^{*} y_{RD}\right)\right)$$

<71> 상기 수학식 1d 상의 Re(·) 내부에는, 소스(S;110)로부터 목적지(D;130)로 수신된 'E_S, α_{SD}, y_{SD}'로 이루어진 신호 및 릴레이(R;120)로부터 목적지(D;130)로 수신된 'E_R, α_{RD}, y_{RD}'로 이루어진 신호가 상호 합산에 의해 결합된 것을 나타내고, 각 결합된 신호의 실수값 만을 취하여 그 값이 0보다 작은지 큰지를 판단하는 것에 의해, 상기 송신된 신호(a)를 원 신호로 복구하게 된다.

<72> 이상 상술한 설명은 협력통신에 관한 전반적인 개요로서, 본 발명에서는 상기 제2위상시간 동안 상기 릴레이(R;120) 측에서 수행될 수 있는 선택적 릴레이 동작이 LLR(Log Likelihood Rate)에 기반하여 이루어지며 이하에서는 이러한 동작에 관하여 종래의 경우와 비교하여 좀 더 상세히 설명하고자 한다.

<73> 협력통신에서는, 상기 릴레이(R;120)가 상기 소스(S;110)로부터 수신받은 신호(a)를 상기 제2위상시간에 상기 목적지(D;130)로 재전송하는지의 여부를 결정하기 위한 임계기준이 있다.

<74> 종래에는, 도 2와 같이 상기 소스(S;110)에서 전송되어 릴레이(R;120) 측으로 수신된 신호(a)에 관한 경로이득의 제곱($|\alpha_{SR}|^2$), 즉 수학식 1b의 Y_R값 중에서 α_{SR}^{*}값과 y_{SR}(수학식 1)값 간의 곱에 의해 형성되는 $|\alpha_{SR}|^2$ 값이 일정 임계값(T_α) 이상인 경우에만 상기 릴레이(R;120)가 상기 신호(a)를 복조하여 목적지(D;130) 측으로 재전송하게 되고 이러한 기준은 수학식 1e과 같이 나타낼 수 있다.

<75> [수학식 1e]

<76>
$$\left|\alpha_{SR}\right|^2 \geq \frac{\left(erfinv\left(1-2P_{eT}\right)\right)^2}{E_S} = T_\alpha$$

<77> 여기서, T_α값 정의에서 erfinv(·)는 인벌스 에러 함수(Inverse Error Function)이고, P_{eT}는 소스(S;110)로부터 릴레이(R;120)로 수신된 상기 신호(a)에 관한 비트에러확률을 나타내며 이는 후술할 최적의 비트에러확률(P_{eT_opt})을 의미할 수 있다.

<78> 이러한 종래의 경우는 SNR(Signal to noise)에 기반한 선택적 릴레이 동작으로서, 상기 경로이득의 제곱($|\alpha_{SR}|^2$)이 되는 값이 특정 임계값 이상인 경우만 재전송을 수행하는 것, 즉 재전송 여부 결정시 상기 경로이득과 직결되는 페이딩(fading) 요소만이 고려되고 노이즈 성분이 고려되고 있지 않으므로 상기 신호의 재전송 효율 및 신뢰도가 저하될 수 있는 문제점이 있다.

<79> 본 발명에서는 이에 반해 도 4와 같이 페이딩과 노이즈 성분이 모두 고려되는 LLR(Log-Likelihood Rate)에 기반한 재전송 결정이 이루어질 수 있다.

<80> 즉, 상기 릴레이(R;120)는, 도 4 또는 아래의 수학식 1f와 같이, 상기 소스(S;110)로부터 수신받은 신호의 LLR($|\Lambda|$)값이 기준 임계값(Λ_0) 이상인 경우 상기 신호에 관한 복조된 신호를 상기 목적지(D)로 전송하게 된다.

<81> [수학식 1f]

<82> $$|\Lambda| \geq \ln\left(\frac{1}{P_{eT}} - 1\right) = \Lambda_0 \quad , \quad \Lambda = 4 y_R \sqrt{E_S}$$

<83> 여기서, P_{eT}는 소스(S;110)로부터 릴레이(R;120)로 수신된 상기 신호(a)에 관한 비트에러확률을 나타내며, 이는 후술할 최적의 비트에러확률(P_{eT_opt})을 의미할 수 있다.

<84> 즉, 상기 LLR($|\Lambda|$)값이 상기 비트에러확률에 관한 자연로그 연산 값(Λ_0)보다 큰 경우 상기 릴레이(R;120)는 상기 소스(S;110)로부터 전송받은 신호(a)를 수학식 1b의 시그넘(Sign) 함수를 이용하여 복조하여 목적지(D;130) 측으로 재전송하게 된다.

<85> $\Lambda = 4 y_R \sqrt{E_S}$ 에 따르면, 상기 LLR(Λ) 값은 수학식 1b의 Y_R인 'α_{SR}^{*}값과 y_{SR}(수학식 1a)값 간의 곱'에 의해 연산되는 소스(S;110)와 릴레이(R;120) 간의 경로이득의 제곱($|\alpha_{SR}|^2$)값 뿐만 아니라, α_{SR}^{*}과 노이즈 성분(n_{SR}) 간의 곱이 모두 고려되게 된다.

<86> 즉, 본 발명의 LLR에 기반한 선택적 릴레이에 의하면, 상기 릴레이(R;120)는 상술한 경로이득과 노이즈 성분으로 이루어진 LLR($|\Lambda|$)값이 기준 임계값(Λ_0) 이상인 경우에 한하여, 상기 신호(a)를 복조하여 제2위상시간에 상기 목적지(D;130) 측으로 재전송을 수행하게 되며, 이는 경로이득과 직접적으로 연관되는 페이딩 요소뿐만 아니라 상기 노이즈 성분까지 모두 고려되는 것으로서 재전송의 성능, 효율 및 신뢰성을 모두 증가시킬 수 있는 효과가 있다.

<87> 따라서, 본 발명에 따른 LLR을 이용한 릴레이(R;120)의 재전송 결정은 동일한 에너지를 사용한 SNR을 이용한 방식보다 우수한 성능을 가지며 시스템의 복잡도를 증가시키지 않는 이점이 있다.

<88> 이상과 같은 릴레이(R;120)의 재전송 여부의 결정은, 종래의 수학식 1e 및 본 발명의 수학식 1f 상의 P_{eT} 값과 연관되는 것으로서, 이는 릴레이(R;120)에 수신된 신호(a)의 BER(비트에러율,Bit Error Rate)이 임계값 이하로 판단되는 경우에, 상기 수신된 신호(a)를 복조하여 복조된 신호(a')를 상기 제2위상시간 동안 목적지(D;130) 측으로 전송하는 것과 그 의미가 상통한다고 볼 수 있다.

<89> 상기 P_{eT}는 BER을 확률적으로 표현한 것으로서 상기 수학식 1e와 수학식 1f와 같이 상기 릴레이(R;120) 측에서 상기 수신된 신호(a)의 재전송 여부를 판별하기 위한 기준값으로 볼 수 있다.

<90> 이하에서는 릴레이(R;120) 측에서 재전송 요건의 기반이 되는 비트에러율(BER)에 관하여 좀 더 상세히 알아보고자 한다.

<91> 아래의 수학식 1g에는 상기 종래의 SNR에 기반한 평균 비트에러확률($\overline{P_{e_C-SR}}$) 및 본 발명에 따른 LLR에 기반한 평균 비트에러확률($\overline{P_{e_P-SR}}$)을 표현하고 있다.

<92> [수학식 1g]

<93> $$\overline{P_{e_C-SR}} = \overline{P_{e_SD}} \Pr\left[|\alpha_{SR}|^2 < T_\alpha\right] + \overline{P_{e1}}\left(1 - \overline{P_{C-SR}}\right) + \overline{P_{e2}}\,\overline{P_{C-SR}}$$

$$\overline{P_{e_P-SR}} = \overline{P_{e_SD}} \Pr\left[|\Lambda| < \Lambda_0\right] + \overline{P_{e1}}\left(1 - \overline{P_{P-SR}}\right) + \overline{P_{e2}}\,\overline{P_{P-SR}}$$

<94> 상기 수학식 1g에서, 공통된 $\overline{P_{e_SD}}$ 는 소스(S;110)와 릴레이(R:120) 사이에서 발생될 수 있는 에러에 관한 평균 비트에러확률을 나타낸다.

<95> Pr[·]는 각각이 해당되는 조건(수학식 1e 또는 수학식 1f과 반대되는 부등호 조건)에서 에러가 발생될 확률이고, $\overline{P_{e1}}$ 과 곱해진 항 부분은 소스(S;110)와 목적지(D;130) 사이에서 에러가 발생될 평균 비트에러확률, $\overline{P_{e2}}$ 와 곱해진 항 부분은 릴레이(R;120)와 목적지(D;130) 사이에서 에러가 발생될 평균 비트에러확률을 나타낸다.

<96> 즉, $\overline{P_{e_C-SR}}$ 또는 $\overline{P_{e_P-SR}}$ 의 두 경우 모두, 협력통신 시스템상에서 발생될 수 있는 모든 비트에러확률 즉, 소스(S;110)와 릴레이(R;120), 소스(S;110) 와 목적지(D;130), 릴레이(R;120)와 목적지(D;130) 사이에 발생될 수 있는 비트에러확률을 모두 합산한 결과임을 알 수 있다. 더 상세하게는 $\overline{P_{e_P-SR}}$는 도 3의 본 시스템(100) 상에서 발생될 수 있는 모든 비트에러확률을 의미할 수 있다.

<97> 여기서, 수학식 1g에 기재된 각 요소들을 재정의하면 다음의 수학식 1h와 같다.

<98> [수학식 1h]

$$\overline{P_{e_SD}} = \frac{1}{2}\left[1-\sqrt{\frac{1}{1+\lambda_x}}\right]$$

$$\Pr\left[\left|\alpha_{SR}\right|^2 < T_\alpha\right] = 1-e^{-\lambda_q T_\alpha}$$

$$\Pr\left[\left|\Lambda\right| < \Lambda_0\right] = \frac{1-e^{-2\left(\sqrt{1+\beta^{-1}}+1\right)\frac{\Lambda_0}{4}}}{2\left(\beta+1+\sqrt{\beta^2+\beta}\right)} + \frac{1-e^{-2\left(\sqrt{1+\beta^{-1}}-1\right)\frac{\Lambda_0}{4}}}{2\left(\beta+1-\sqrt{\beta^2+\beta}\right)}$$

$$\overline{P_{C-SR}} = \frac{\lambda_q}{4}\left[\frac{e^{-\left(P_S+\lambda_q\right)T_\alpha}}{3\left(E_S+\lambda_q\right)} + \frac{e^{-\left(4P_S/3+\lambda_q\right)T_\alpha}}{\left(4E_S/3+\lambda_q\right)}\right]$$

$$\overline{P_{P-SR}} = \frac{e^{-\left(\sqrt{1+\beta^{-1}}+1\right)\frac{\Lambda_0}{2}}}{2\left(\beta+1+\sqrt{\beta^2+\beta}\right)}$$

<99>

<100> 여기서, $\lambda_x = 1/(E_S\lambda_{SD})$, $\lambda_y = 1/(E_R\lambda_{RD})$, $\lambda_q = 1/\lambda_{SR}$, $b = E_S\lambda_{SR}$ 이다. λ_{ij} 또는 E에 관한 정의는 앞서 상술한 바 있으므로 생략하고자 한다.

<101> 한편, 위의 수학식 1g에서 $\overline{P_{e1}}$ 와 $\overline{P_{e2}}$ 값은 λ_x와 λ_y의 관계에 의존할 수 있는데, 여기서 $\lambda_x=\lambda_y$인 경우 및 $\lambda_x \neq \lambda_y$인 경우의 $\overline{P_{e1}}$ 와 $\overline{P_{e2}}$ 값은 수학식 1i 및 수학식 1j와 같다.

<102> [수학식 1i] $\lambda_x=\lambda_y$인 경우

$$\overline{P_{e1}}=\frac{1}{4}\left(1-\sqrt{\frac{1}{1+\lambda_x}}\right)^2\left(2+\sqrt{\frac{1}{1+\lambda_x}}\right)$$

$$\overline{P_{e2}}=0.5$$

<103>

<104> [수학식 1j] $\lambda_x\neq\lambda_y$인 경우

$$\overline{P_{e1}}=\frac{\lambda_x}{2(\lambda_x-\lambda_y)}\left[1-\sqrt{\frac{1}{1+\lambda_y}}\right]-\frac{\lambda_y}{2(\lambda_x-\lambda_y)}\left[1-\sqrt{\frac{1}{1+\lambda_x}}\right]$$

$$\overline{P_{e2}}=\overline{P_Q}P_G+\left(1-\overline{P_Q}\right)\left(1-P_G\right)$$

<105>

<106> 상기 수학식 1j에서, P_G, P_Q 및 $f(\lambda_1,\lambda_2)$는 다음과 같다.

$$P_G=\frac{\lambda_y}{\lambda_x+\lambda_y}$$

$$\overline{P_Q}=\frac{\lambda_x^2\lambda_y^2}{\lambda_x^2-\lambda_y^2}\left[f(\lambda_y,\lambda_x)-f(\lambda_x,\lambda_x)\right]$$

$$f(\lambda_1,\lambda_2)=\frac{1}{2}\left[-\frac{13\lambda_2}{96\lambda_1^2}+\sqrt{\frac{\pi}{\lambda_1^5}}\left(\sqrt{\pi}\left(\frac{\lambda_2^2+4\lambda_1}{576}\right)+\sqrt{\frac{12\lambda_1\pi}{12\lambda_1+\lambda_2^2}}\frac{\lambda_1\left(\lambda_2^2+3\lambda_1\right)}{12\left(12\lambda_1+\lambda_2^2\right)}\right.\right.$$

$$\left.\left.+\sqrt{\frac{3\pi}{4}}\frac{3\lambda_2^2+16\lambda_1}{768}+\sqrt{\frac{12\lambda_1\pi}{16\lambda_1+\lambda_2^2}}\frac{\lambda_1\left(\lambda_2^2+4\lambda_1\right)}{4\left(16\lambda_1+\lambda_2^2\right)}\right)\right]$$

<107>

<108> 특정 E_s,E_R 조건 하에서 비트에러율(BER)을 최소화시키기 위한 최적의 비트에러확률의 기준값(P_{eT-opt})는 아래의 수학식 1k와 같으며, 이는 상술한 종래의 SNR 기반 및 본 발명의 LLR 기반의 선택적 릴레이에 모두 적용되는 수식이다.

<109> 이러한 수학식 1k의 P_{eT-opt}는, 종래의 SNR 기반인 경우에는 수학식 1g, 본 발명의 SNR 기반인 경우는 수학식 1f에 개시된 P_{eT}에 각각 대입되어, 릴레이(R;120)의 재전송 기준이 되는 비트에러확률로 이용될 수 있다.

<110> 한편, 본 발명에 따르면, 릴레이 없이 소스와 목적지 간의 다이렉트 송신만 수행되는 다이렉트 전송(Direct Transmission;DT)방식의 전송 소비 에너지와 동일한 에너지가 소비되도록, 상기 선택적 중계시 상기 소스(S;110) 및 상기 릴레이(R;120) 측의 소비 에너지의 합이 상기 다이렉트 전송방식(DT)의 전송 소비 에너지량과 동일하도록, 도 3과 같이 상기 소스(S;110) 및 릴레이(R;120) 측에 각각 에너지 할당을 수행하는 에너지할당부(140)를 더 포함할 수 있다.

<111> 기존의 다이렉트 전송(DT)방식에 따르면, 상기 릴레이(R;120) 없이, 소스(S;110)와 목적지(D;130) 간의 직접 전송만 이루어지는 경우이다.

<112> 여기서, 다이렉트 전송(DT)의 경우에 소비되는 에너지(E)와, 본 발명에 따른 릴레이(R;120)를 이용한 협력통신을 수행하는 경우의 소비되는 에너지(E_s+E_R)가 서로 대응되도록, 본 발명의 협력통신 시스템(100) 상의 전체 소비전력(E_s+E_R)은 다이렉트 통신(DT) 상의 소비전력(E)과 동일해야한다($E=E_s+E_R$).

<113> 여기서, E_s와 E_R가 동등한 에너지를 갖는 경우, $E_s=E_R=0.5E$일 수 있다.

<114> 한편, 본 발명에 따르면, 에너지할당 계수(δ)를 이용하여 $E_S=\delta E$, $E_R=(1-\delta)E$, $0<\delta<1$의 조건 하에서 상술한 에너지할당을 각각 수행할 수 있다.

<115> 상기 수식에서 알 수 있는 바와 같이 δ값이 커질수록 E_S에 할당되는 에너지는 커지는데 비하여 상기 E_R에 할당되는 에너지는 상대적으로 작아지게 된다.

<116> 이는 곧, 소스(S;110) 측에서 신호 전송시 사용되는 에너지가, 상기 릴레이(R;120) 측에서 상기 신호의 재전송에 사용되는 에너지에 비해 큰 값으로 할당되어 사용되어 지는 것을 의미할 수 있다. 물론, 이와 반대의 경우는 상세한 원리와 동일하므로 별도의 설명은 생략하기로 한다.

<117> 본 발명에서는 상술한 에너지 할당에 관한 두 가지 방식으로서, 최적 에너지 할당 방식(Best-effort energy allocation strategy) 및 단순 에너지 할당 방식(Simple energy allocation strategy)을 제안하고자 한다.

<118> 상기 최적 에너지 할당 방식인 경우와 단순 에너지 할당 방식인 경우의 에너지 할당 계수는 각각 δ_b, δ_S로 구분하여 표현하기로 한다.

<119> 먼저, 최적 에너지 할당 방식을 이용하는 경우는 다음과 같다.

<120> 최적 에너지 할당의 경우에는, 상기 선택적 중계시 상기 에너지할당부(140)가 아래의 수학식 2의 에너지할당 계수(δ_b)를 이용한 에너지 할당을 상기 소스(S)와 상기 릴레이(R) 측에 대하여 각각 수행하게 된다.

<121> [수학식 2]

<122> $E_S=\delta_b E$, $E_R=(1-\delta_b)E$, $0<\delta_b<1$, $E_S+E_R=E$

<123> 여기서, E_S는 상기 소스(S;110)에 할당되는 에너지, E_R는 상기 릴레이(R;120)에 할당되는 에너지, E는 상기 다이렉트 전송방식(DT)의 전송 소비 에너지, δ_b는 에너지할당 계수이다.

<124> 이러한 최적 에너지 할당 방식은 아래와 같은 단계로 이루어질 수 있다.

<125> 우선, 수학식 1k에 의한 P_{eT-opt}값을 수학식 1f의 P_{eT}에 대입하여 신호(a)의 재전송 여부를 결정한다. 이때 물론 P_{eT-opt}값은 0보다 큰 것이 바람직하다.

<126> 재전송이 가능한 조건인 경우, 릴레이(R;120) 측에서 신호(a)를 복조하여 목적지(D;130) 측으로 전송할 수 있게 되고, 이에 따라 본 시스템(100)의 전체에 관한 비트에러확률(P_e)을 나타내는 상기 수학식 1g에 개시된 평균 비트에러확률($\overline{P_{e_P-SR}}$)이 취득될 수 있다.

<127> 이러한 조건하에서 상기 에너지할당부(140)는, 상기 신호(a)에 관한 BER(Bit Error Rate)이 최소가 되는 조건, 즉 상기 평균 비트에러확률($\overline{P_{e_P-SR}}$)이 최소가 되는 조건의 δ_b를 상기 $0<\delta<1$ 범위 내의 시뮬레이션에 의하여 획득할 수 있게 된다.

<128> 예를 들면, 상기 δ_b값을 변화(예를 들어, 0.01 ~ 0.99까지 0.01 간격으로 변화)시킴에 따라 그에 대응되어 변화되는 평균 비트에러확률($\overline{P_{e_P-SR}}$)을 계산하여 가장 최소가 되는 평균 비트에러확률을 유도하는 δ_b값인 최적의 δ_b를 취출하게 된다.

<129> 상기 에너지할당부(140)는 상기 취출된 최적의 δ_b를 상기 수학식 2에 개시된 상기 소스(S;110) 및 릴레이(R;120) 측의 송신전력인 E_S및 E_R값에 적용함에 따라 상기 소스(S;110) 및 상기 릴레이(R;120) 측에 관한 최적의 에너지 할당을 수행할 수 있다.

<130> 즉, 수학식 2에 의한 δ_b 값의 변화에 따르면, 상기 소스(S;110)와 릴레이(R;120)에 할당되는 에너지를 채널 환경에 따라 유연하게 변경 가능하게 하고, 최적의 δ_b값인 경우 상기 소스(S;110)와 릴레이(R;120) 측에 최적의

에너지 할당이 이루어질 수 있게 된다.

<131> 다시 말해서, 이상과 같은 최적 에너지 할당 방식은, 도 3의 시스템(100) 환경 하에서, δ_b값의 컴퓨터 시뮬레이션에 의해 변경되는 평균 비트에러확률($\overline{P_{e_P-SR}}$)을 계산하여, 평균 비트에러확률을 최소화시킬 수 있는 최적의 δ_b값을 찾아 수학식 2에 적용하는 것에 의해 소스(S;110)와 릴레이(R;120)에 관한 에너지 할당이 원활하고 효과적으로 수행될 수 있다.

<132> 또한, 이러한 기술은 비트에러확률을 기반한 에너지 할당 방식이므로 에너지 할당의 신뢰성 또한 향상시킬 수 있으며 채널의 밴드폭에는 전혀 영향을 주지 않는다는 이점이 있다.

<133> 한편, 이하에서는 상기 최적 에너지 할당 방식에 비해 비교적 간단한 상기 단순 에너지 할당 방식에 관하여 상세히 설명하고자 한다.

<134> 상기 단순 에너지 할당의 경우에는, 상기 선택적 중계시 상기 에너지할당부(140)가 아래의 수학식 3의 에너지할당 계수(δ_S)를 이용한 에너지 할당을 상기 소스(S)와 상기 릴레이(R) 측에 대하여 각각 수행하게 된다.

<135> [수학식 3]

<136> $E_S=\delta_S E$, $E_R=(1-\delta_S)E$, $0<\delta_S<1$, $\delta_S=1/(1+\lambda_{SD}/\lambda_{RD})$, $\lambda_{ij}=(d_{SD}/d_{ij})^{\eta}$, $E_S+E_R=E$

<137> 여기서, E_S는 상기 소스(S;110)에 할당되는 에너지, E_R는 상기 릴레이(R;120)에 할당되는 에너지, E는 상기 다이렉트 전송방식(DT)의 전송 소비 에너지, δ_S는 에너지할당 계수, d_{SD}는 소스(S)와 목적지(D) 간의 거리, d_{ij}는 송신측(i)와 수신측(j) 간의 거리, η는 앞서 상술한 바와 같이 대개 1 내지 7 범위에 해당되는 경로손실 지수, $i\in\{S,R\}$, $j\in\{R,D\}$이다.

<138> 수학식 3을 살펴보면, 이러한 단순 에너지 할당은, 소스(S;110)와 목적지(D;130) 간 거리(d_{SD}), 릴레이(R;120)와 목적지(D;130) 간 거리(d_{RD}), 및 경로손실 지수(η) 따라 달라지는 소스(S;110)와 목적지(D;130) 간 경로이득(λ_{SD}), 릴레이(R;120)와 목적지(D;130) 간 경로이득(λ_{RD})에 의해 오로지 결정될 수 있다.

<139> 즉, 소스(S;110), 목적지(D;130), 릴레이(R;120)의 상호 간 거리를 통해 연산되는 경로이득(λ_{SD},λ_{RD})을 이용하여 δ_S값이 결정되어 상기 $E_S=\delta_S E$, $E_R=(1-\delta_S)E$ 식에 대입됨에 따라 소스(S;110)와 릴레이(R;120) 측의 에너지 할당이 이루어진다. 이는 상술한 최적 에너지 할당 방식과는 달리 δ에 관한 별도의 시뮬레이션 작업이 필요 없어 간편한 이점이 있다.

<140> 이러한 단순 에너지 할당 방식은 상기 소스(S;110)에서 송신한 신호가 상기 릴레이(R;120)에서 완벽하게 검파된 경우에 한하여 이루어지는 것을 기반으로 하고 있으며 이를 수학식으로 나타내면 아래와 같다.

<141> [수학식 3a]

$$\Xi\left\{\left|\alpha_{SD}\sqrt{E_S}a\right|^2\right\}=\Xi\left\{\left|\alpha_{RD}\sqrt{E_R}a'\right|^2\right\},$$

<142> $$\lambda_{SD}E_S=\lambda_{RD}E_R$$

<143> 여기서, $\Xi(\cdot)$는 기대치 작동자(Expectation Operator)이다.

<144> 즉, 이러한 단순 에너지 할당 방식은 릴레이(R;120)가 수신된 신호(a)를 완벽하게 검파하여, 소스(S;110)에서 목적지(D;130) 경로 상의 평균전력과 소스(S;110)에서 릴레이(R;120) 경로 상의 평균전력이 동일한 경우를 의미할 수 있다.

<145> 이상과 같이 단순 에너지 할당 방식은, 상기 소스(S;110)에서 송신한 신호가 상기 릴레이(R;120)에서 완벽하게 검파된 경우에 한하여 상기 수학식 3에 의해 에너지 할당이 이루어지게 되고, 수학식 3에서 알 수 있듯이 단순 에너지 할당 방식에 사용되는 에너지할당 계수(δ_S)는 소스(S;110)와 목적지(D;130) 간, 릴레이(R;120)와 목적

지(D;130) 간의 수식 관계에 의해 이루어짐을 알 수 있다.

<146> 그리고 수학식 3a의 $\lambda_{SD}E_S=\lambda_{RD}E_R$과 수학식 3의 $E_S=\delta_S E$, $E_R=(1-\delta_S)E$을 조합하여 연산하는 것에 의해, $\delta_S=1/(1+\lambda_{SD}/\lambda_{RD})$이 유도될 수 있고 이에 관한 유도과정은 생략하고자 한다.

<147> 이하에서는 이상과 같은 본 발명의 LLR기반의 애드혹 네트워크에서의 선택적 중계 시스템(100)의 성능에 관하여, 종래의 다이렉트 전송방식(DT), SNR에 기반한 종래의 선택적 릴레이 방식(C1~C3)과 각각 비교한 결과에 대하여, 표 1 내지 표 2 및 도 5 내지 도 7을 참고로 하여 상세히 설명하고자 한다.

<148> 먼저, 표 1은 실험에 사용된 각각의 비교 대상에 관한 약칭이 의미하는 바에 관한 상세 설명을 나타낸다.

<149> [표 1]

<150>

Scheme	Meaning
DT	Direct transmission (릴레이 없이 소스와 목적지 간 직접전송방식)
C1	SNR-based SR with δ=0.5 (종래의 SNR 기반한 선택적 릴레이: 소스와 릴레이가 전송전력을 동등하게 나눠 가진 경우)
C2	SNR-based SR with δ_s (종래의 SNR 기반의 선택적 릴레이: 본 발명의 단순 에너지 할당 방식이 적용된 경우)
C3	SNR-based SR with δ_b (종래의 SNR 기반의 선택적 릴레이: 본 발명의 최적 에너지 할당 방식이 적용된 경우)
P1	LLR-based SR with δ=0.5 (본 발명의 LLR 기반의 선택적 릴레이: 소스와 릴레이가 전송전력을 동등하게 나눠 가진 경우)
P2	LLR-based SR with δ_s (본 발명의 LLR 기반의 선택적 릴레이: 본 발명의 단순 에너지 할당 방식이 적용된 경우)
P3	LLR-based SR with δ_b (본 발명의 LLR 기반의 선택적 릴레이: 본 발명의 최적 에너지 할당 방식이 적용된 경우)

<151> 즉, 표 1에 의하면 본 실험은, 직접 전송방식(DT), 종래의 SNR에 기반한 3가지 경우(C1~C3), 본 발명의 LLR에 기반한 3가지 경우(P1~P3)를 포함한 총 7가지 실험대상이 존재함을 알 수 있다.

<152> 여기서, 상기 C1,P1은 종래(SNR 기반) 및 본 발명(LLR 기반)에 각각 소스와 릴레이의 동등 에너지 할당이 이루어진 경우이고, C2,P2는 종래(SNR 기반) 및 본 발명(LLR 기반)에 각각 단순 에너지 할당 방식이 적용된 경우, C3,P3는 종래(SNR 기반) 및 본 발명(LLR 기반)에 각각 최적 에너지 할당이 이루어진 경우를 나타낸다.

<153> [표 2]

<154>

	Values δ_b corresponding to each SNR					
	d=0.4		d=0.6		d=0.8	
SNR (dB)	C3	P3	C3	P3	C3	P3
5	0.61	0.58	0.81	0.77	0.90	0.93
10	0.65	0.61	0.84	0.80	0.96	0.94
15	0.68	0.63	0.87	0.81	0.97	0.95
20	0.71	0.64	0.88	0.82	0.97	0.95
25	0.72	0.65	0.89	0.83	0.98	0.95
30	0.74	0.66	0.90	0.84	0.98	0.96

<155> 표 2는 최적 에너지 할당 방식이 적용된 C3 및 P3에 대하여, 컴퓨터 시뮬레이션에 의해 얻어진 최적의 에너지할당 계수(δ_b)를 각각의 SNR에 대응되도록 기입한 것이다. 즉, 상기 표 2는 SNR 기반한 선택적 릴레이인 C3와 LLR 기반한 선택적 릴레이인 P3에서 각 SNR마다 최적의 δ_b 요소를 결정한 테이블로 볼 수 있다.

<156> 여기서, 본 실험에 따르면, 소스(S;110), 릴레이(R;120) 및 목적지(D;130)가 상호 일직선상에 위치하며 상기 소스(S;110)와 목적지(D;130) 사이의 거리(d_{SD})는 '1'이며 상기 경로손실 지수 η는 3인 것으로 가정하고 있다.

<157> 상기 표 2는 상기 소스(S;110)와 릴레이(R;120) 간의 거리(d_{SR})인 d값을 0.4, 0.6, 0.8로 각각 변경한 경우에 대한 최적의 에너지할당 계수(δ_b)의 산출 결과이다.

<158> 예를 들어 $d(=d_{SR})=0.4$인 경우, $d_{RD}=0.6(=1-0.4)$을 갖게 된다.

<159> 여기서, $d(=d_{SR})=0.4$, 0.6, 0.8인 경우, 이에 대응되는 $\delta_S(=1/(1+\lambda_{SD}/\lambda_{RD}))$값은 각각 0.822, 0.94, 0.992가 된다.

<160> 예를 들면, $d_{SR}=d=0.4$인 경우, $d_{RD}=0.6(=1-0.4)$이고, $\lambda_{ij}=(d_{SD}/d_{ij})^{\eta}$에 의해 $\lambda_{SD}=(1/1)^3=1$, $\lambda_{RD}=(1/0.6)^3=(1.667)^3$, $\delta_S=1/(1+\lambda_{SD}/\lambda_{RD})=1/(1+(1/(1.667)^3)=0.822$가 된다.

<161> 도 5 내지 도 7은 상기 $d(=d_{SR})=0.4$, 0.6, 0.8인 각각의 경우 별로 그 BER 대 SNR의 성능을 나타내고 있다.

<162> 에너지할당 계수인 δ_S 및 δ_b는 상기 $d(=d_{SR})$값에 따라 증가하는데, 그 이유는 상기 릴레이(R;120)가 상기 소스(S;110)로부터 멀리 떨어져 위치할수록 릴레이(R;120)와 소스(S;110) 간의 경로손실이 증가되기 때문이다. 이러한 경우, $E_S=\delta_S E$의 공식에 의해 상기 소스(S;110) 측에 에너지 할당을 크게 함으로써 극복할 수 있고, 이에 상대적으로 상기 릴레이(R;120)는 상기 목적지(D;130)와 가까워지므로 $E_S=(1-\delta_S)E$의 공식에 의해 릴레이(R;120) 측의 에너지 할당은 적게 분배되어도 무관하다.

<163> 도 5 내지 도 7의 결과를 기반으로 하여볼 때, 본 발명의 LLR에 기반한 최적 에너지 할당 방식을 이용한 경우(P3)는 여타 다른 경우들(DT, C1, C2, C3, P1, P2)에 비해 그 성능이 우수함을 알 수 있다.

<164> 물론, 종래의 SNR에 기반한 선택적 릴레이 방식(C1,C2,C3)만 고려한 경우에는, C1~C3 중에서 본 발명의 최적 에너지 할당을 적용한 C3의 경우가 가장 좋은 특성을 보이고 있다.

<165> 여기서, 10^{-5}의 BER을 기준으로 하여, P3(또는 C3)의 경우는, 소스(S;110)와 릴레이(R;120) 간의 동등한 에너지 할당을 갖는 P1(또는 C1)에 비하여 d=0.4,0.6,0.8 각각의 경우, 0.5dB, 1.5dB, 2.5dB(1dB, 2dB, 3dB) 정도의 우수한 에너지 절감 특성을 보인다.

<166> 또한, 본 발명의 단순 에너지 할당을 이용한 P2(또는 C2)는, P1(또는 C1)에 비해 성능이 우수하나 P3(또는 C3)에 비해서는 성능이 저조한 특성을 보인다.

<167> 그리고, P2(또는 C2)는 특정 d값의 낮은 SNR 조건에서는 P1(또는 C1) 보다 저조한 특성을 보이기도 한다.

<168> 이상과 같은 본 발명에 따른 에너지 할당을 이용한 LLR 기반의 선택적 릴레이 방식에 따르면, 상술한 바와 같이 에너지 효율이 극히 효율적임은 물론이며, 엄격한 에너지 제한 조건을 만족시켜야 하는 애드혹 네트워크 상에서 중요한 해결책으로 작용될 수 있을 뿐만 아니라 그 적용 범위 또한 보다 더 확장 가능할 것으로 보인다.

<169> 이상과 같이, 본 발명은 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 본 발명은 이것에 의해 한정되지 않으며 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 본 발명의 기술 사상과 아래에 기재될 청구범위의 균등 범위 내에서 다양한 수정 및 변형이 가능함은 물론이다.

도면의 간단한 설명

<170> 도 1은 소스가 릴레이의 협력에 의해 목적지 측으로 정보를 전송하는 일반적인 듀얼-홉(Dual-hop) 무선 애드혹 네트워크 상의 협력통신에 관한 구성도,

<171> 도 2는 종래의 SNR기반의 선택적 중계 방식의 개괄 흐름도,

<172> 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 에너지 할당을 이용한 LLR기반의 애드혹 네트워크에서의 선택적 중계 시스템의 구성도,

<173> 도 4는 도 3에 따른 LLR기반의 선택적 중계 방식의 개괄 흐름도,

<174> 도 5 내지 도 7은 도 3에 따른 본 발명의 성능을 나타내는 그래프이다.

<175> <도면의 주요 부분에 대한 부호의 설명>

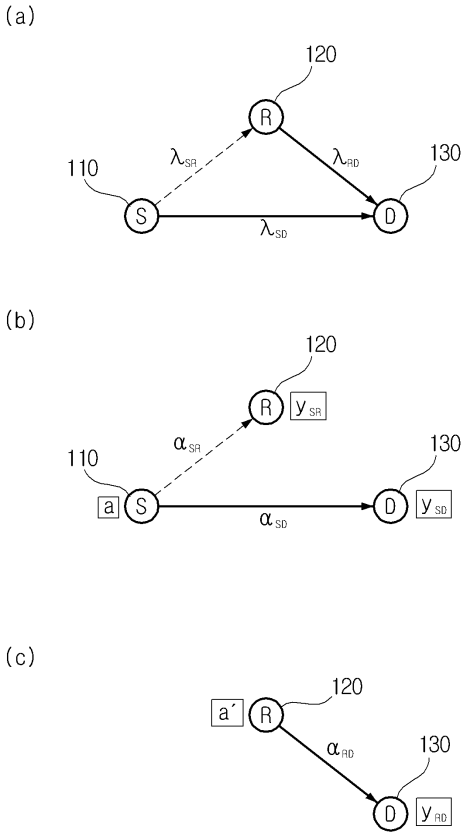
<176> 100...에너지 할당을 이용한 LLR기반의 애드혹 네트워크에서의 선택적 중계 시스템

<177> 110...소스 120...릴레이

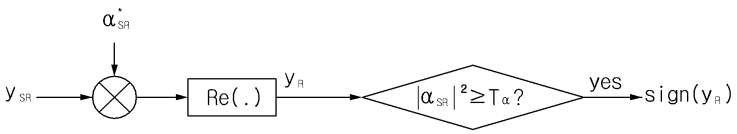
<178> 130...목적지 140...에너지할당부

도면

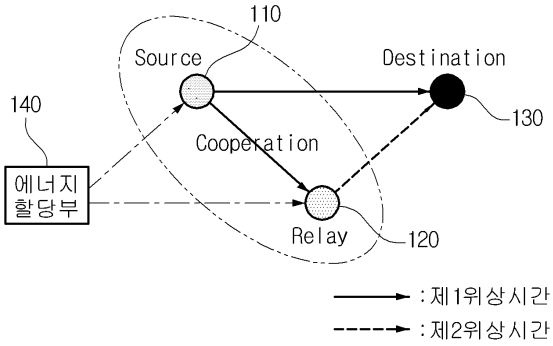
도면1



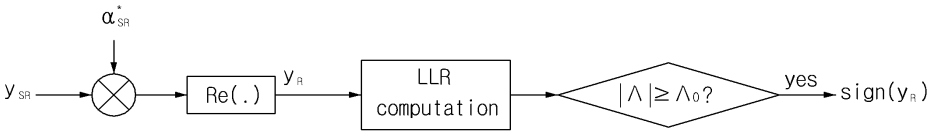
도면2



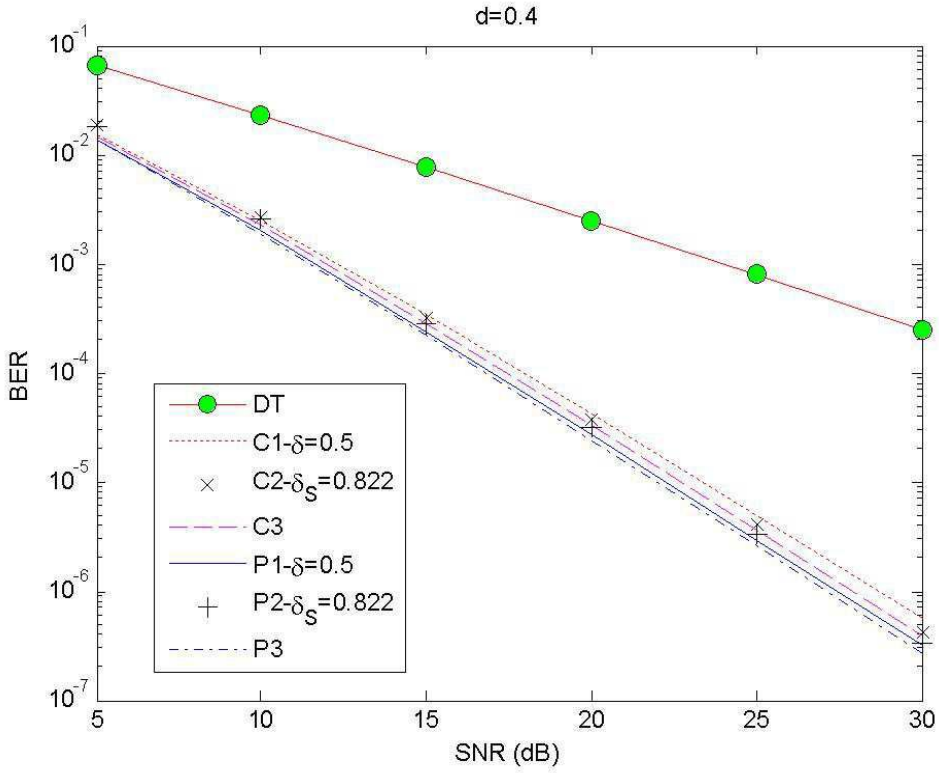
도면3


110
Source
Destination
130
140
Cooperation
에너지
할당부
Relay
120
: 제1위상시간
: 제2위상시간

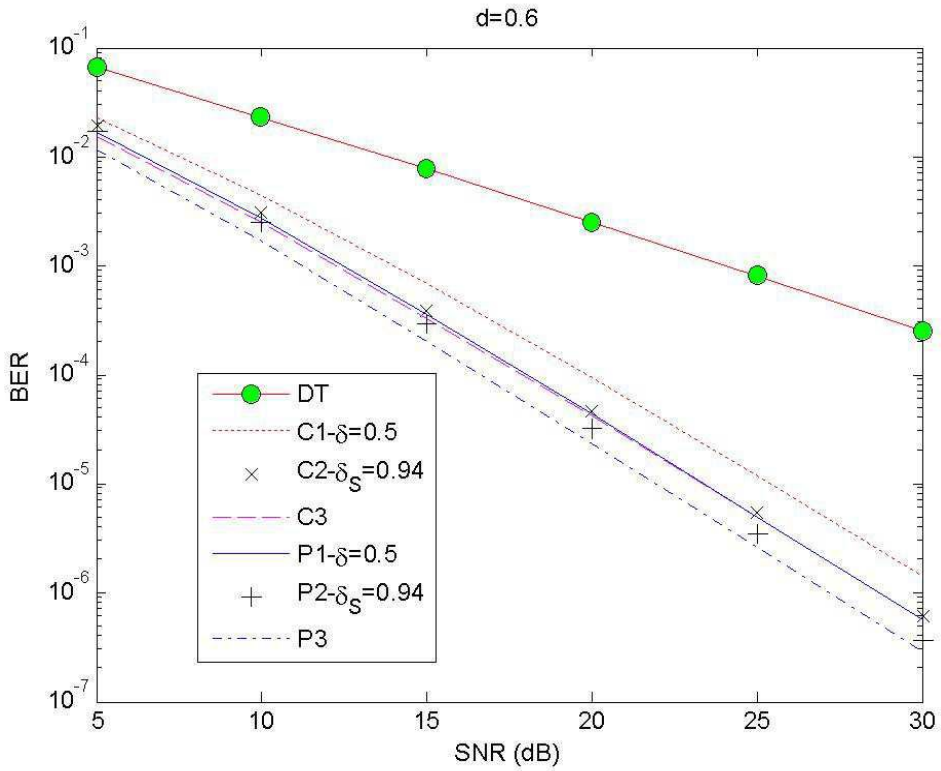
도면4


Re(.)
LLR
computation
yes
sign(y_R)

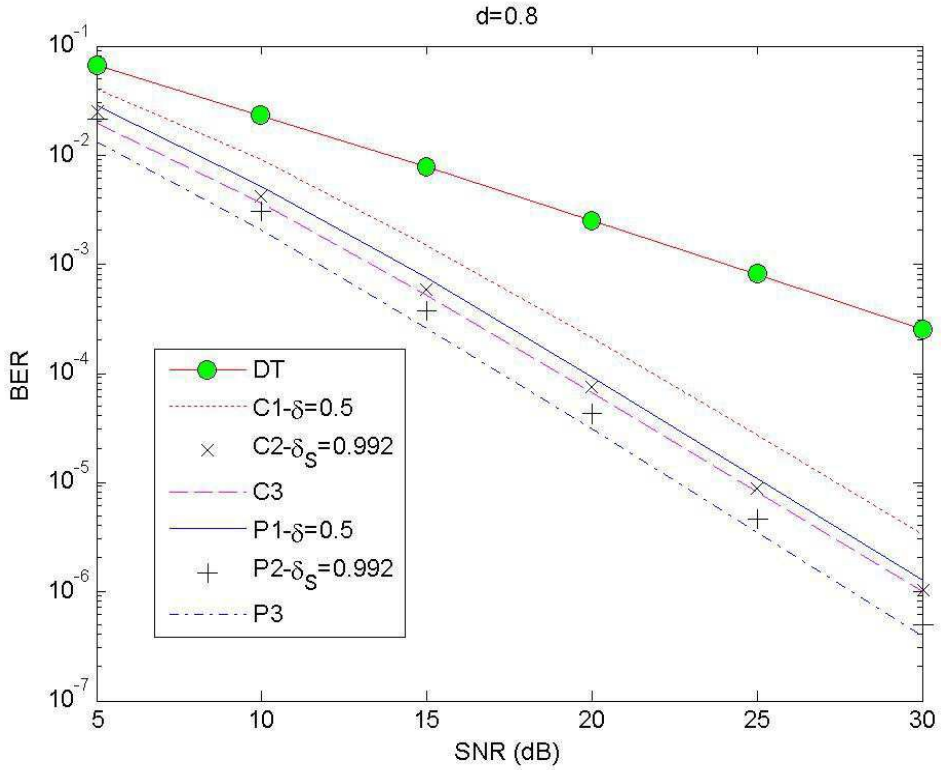
도면5


d=0.4
BER
SNR (dB)
DT
C1-δ=0.5
C2-δS=0.822
C3
P1-δ=0.5
P2-δS=0.822
P3

도면6


d=0.6
BER
SNR (dB)
DT
C1-δ=0.5
C2-δS=0.94
C3
P1-δ=0.5
P2-δS=0.94
P3

도면7


d=0.8
BER
SNR (dB)
DT
C1-δ=0.5
C2-δS=0.992
C3
P1-δ=0.5
P2-δS=0.992
P3