



- (51) 국제특허분류:
H04B 7/02 (2006.01) H04W 72/04 (2009.01)
- (21) 국제출원번호: PCT/KR2011/008929
- (22) 국제출원일: 2011년 11월 22일 (22.11.2011)
- (25) 출원언어: 한국어
- (26) 공개언어: 한국어
- (30) 우선권정보:
10-2010-0120084 2010년 11월 29일 (29.11.2010) KR
- (71) 출원인 (US 을(를) 제외한 모든 지정국에 대하여): **울산 대학교 산학협력단 (UNIVERSITY OF ULSAN FOUNDATION FOR INDUSTRY COOPERATION)** [KR/KR]; 울산 남구 무거 2 동 산 29, 680-749 Ulsan (KR).
- (72) 발명자; 겸
- (75) 발명자/출원인 (US 에 한하여): **공형윤 (KONG, Hyung-Yun)** [KR/KR]; 울산광역시 남구 무거동 1584 번지 롯데캐슬 101 동 703 호, 680-812 Ulsan (KR). **창충두이 (TRAN, Trung Duy)** [VN/VN]; 호치민시 디스트릭트 아이, 쿡 콰이인 스트리트 에이 1, HCM (VN).
- (74) 대리인: **정홍식 (JEONG, Hong-sik)**; 서울 서초구 서초동 1600-3 대림빌딩 8 층, 137-877 Seoul (KR).

- (81) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 국내 권리의 보호를 위하여): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 역내 권리의 보호를 위하여): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 유라시아 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), 유럽 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

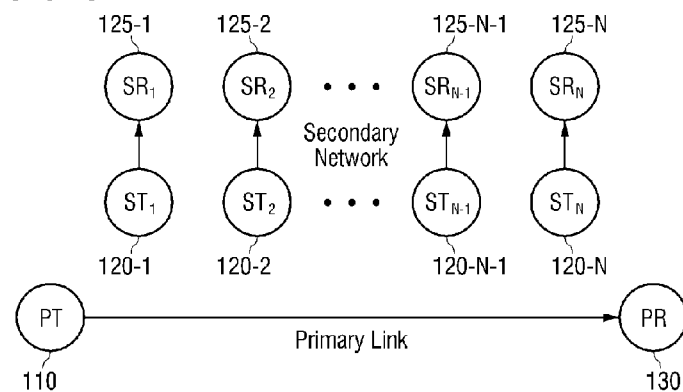
공개:

- 국제조사보고서 없이 공개하며 보고서 접수 후 이를 별도 공개함 (규칙 48.2(g))

(54) Title: RESOURCE SHARING DEVICE AND RESOURCE SHARING METHOD THEREOF

(54) 발명의 명칭: 자원 공유 장치 및 그에 따른 자원 공유 방법

[Fig. 1]



[Fig. 2]

(57) Abstract: Provided are a resource sharing device and a resource sharing method thereof. A resource sharing method in a cooperative relaying system including a plurality of nodes comprises the steps of: allowing a main source node to broadcast a first signal through a first time slot of a preset frequency band; allowing a sub-source node to receive and combine a signal with a second signal to be transmitted from the sub-source node, and to broadcast the combined combination signal through a second time slot of a preset frequency band; and allowing a main destination node corresponding to the main source node to receive and process the first signal transmitted through the first time slot and the combination signal transmitted through the second time slot, and allowing a sub-destination node corresponding to the sub-source node to receive the combination signal and to process the second signal.

(57) 요약서:

[다음 쪽 계속]



자원 공유 장치 및 그에 따른 자원 공유 방법이 제공된다. 복수의 노드를 포함하는 협력 통신 시스템에서의 자원 공유 방법은 메인 소스 노드가 기 설정된 주파수 대역의 제 1 타임 슬롯을 통해 제 1 신호를 브로드캐스트하는 단계, 서브 소스 노드가 신호를 수신하여 자신이 전송하고자 하는 제 2 신호와 결합하고, 결합된 결합 신호를 기 설정된 주파수 대역의 제 2 타임 슬롯을 통해 브로드캐스트하는 단계 및 메인 소스 노드에 대응되는 메인 목적지 노드가 상기 제 1 타임 슬롯을 통해 전송된 제 1 신호 및 제 2 타임 슬롯을 통해 전송된 결합 신호를 수신하여 처리하고, 서브 소스 노드에 대응되는 서브 목적지 노드가 결합 신호를 수신하여 제 2 신호를 처리하는 단계를 포함한다.

명세서

발명의 명칭: 자원 공유 장치 및 그에 따른 자원 공유 방법 기술분야

- [1] 본 발명은 자원 공유 장치 및 그에 따른 자원 공유 방법에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 주파수 자원을 공유하여 신호를 전송하는 자원 공유 장치 및 그에 따른 자원 공유 방법에 관한 것이다.

배경기술

- [2] 무선 장치의 수적인 급격한 증가로 인해, 사용할 수 있는 주파수의 부족은 중요한 이슈가 되었다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 제안된 기술의 하나로 무선 인지 기술, 협력 통신 기술 등을 들 수 있다.
- [3] 무선 인지 기술이란, 동적 주파수 자원 관리 개념을 기반으로 기존 1차 사용자의 권한을 침해하지 않고 2차 사용자가 기존 1차 사용자의 유휴주파수 부분을 공유함으로써 주파수 사용 효율을 높이는 기술을 의미한다.
- [4] 또한, 협력 통신(cooperative relaying) 기술은 동등한 기능을 갖는 2개 이상의 통신 노드들에 의해 형성된 다수의 경로를 통해 신호를 전달하고, 적어도 하나의 경로를 통해 목적지까지 신호가 중계되며, 이들 다수의 경로들로부터 수신된 신호를 결합하거나 또는 선택하여 전송 정보를 추정하는 통신 방식을 의미한다.
- [5] 특히, 이러한 협력 통신 기술은 복수의 통신 노드들에서 목적지까지 신호를 중계하여 다수의 통신 경로를 확보할 수 있지만, 복수의 중계 노드는 목적지까지의 신호를 중계할 뿐, 그들이 전송하고자 하는 신호는 전송하지 못하여 주파수 사용 효율에서 문제가 있어왔다.

발명의 상세한 설명

기술적 과제

- [6] 본 발명의 상기와 같은 문제점을 해결하기 위해 안출된 것으로서, 본 발명의 목적은 메인 소스 노드가 메인 목적지 노드로 신호를 전송함에 있어, 서브 소스 노드가 수신한 메인 소스 노드의 전송 신호에 자신이 전송하고자 하는 신호를 결합하여 전송하는 자원 공유 장치 및 그를 이용한 자원 공유 방법을 제공함에 있다.

과제 해결 수단

- [7] 상기의 목적을 달성하기 위한 본 발명의 일 실시 예에 따른, 복수의 노드를 포함하는 협력 통신 시스템에서의 자원 공유 방법은 메인 소스 노드가 기 설정된 주파수 대역의 제1 타임 슬롯을 통해 제1 신호를 브로드캐스트하는 단계, 서브 소스 노드가 상기 신호를 수신하여 자신이 전송하고자 하는 제2 신호와 결합하고, 상기 결합된 결합 신호를 상기 기 설정된 주파수 대역의 제2 타임 슬롯을 통해 브로드캐스트하는 단계 및 상기 메인 소스 노드에 대응되는 메인 목적지 노드가 상기 제1 타임 슬롯을 통해 전송된 상기 제1 신호 및 상기 제2

타임 슬롯을 통해 전송된 상기 결합 신호를 수신하여 처리하고, 상기 서브 소스 노드에 대응되는 서브 목적지 노드가 상기 결합 신호를 수신하여 상기 제2 신호를 처리하는 단계를 포함한다.

[8] 여기서, 상기 서브 소스 노드 및 상기 서브 목적지 노드는 각각 서로 대응되는 복수의 쌍으로 이루어진 것을 특징으로 할 수 있다.

[9] 여기서, 복수의 상기 서브 소스 노드는 상기 제1 타임 슬롯 이후의 타임 슬롯들을 순차적으로 이용하여, 각각이 전송하고자 하는 신호와 상기 제1 신호가 결합된 결합 신호를 전송하고, 상기 복수의 서브 소스 노드에 대응되는 복수의 상기 서브 목적지 노드는 각 타임 슬롯을 통해 전송되는 결합 신호를 수신하여 대응되는 서브 소스 노드의 신호를 처리할 수 있다.

[10] 한편, 상기 결합 신호는, 아래의 수학 식과 같이, 상기 제1 신호 및 상기 제2 신호 각각에 대응하는 전력 가중치를 적용하여, 상기 제1 신호 및 상기 제2 신호를 선형적으로 결합할 수 있다.

$$[11] \quad x_c = \sqrt{\alpha P} x_p + \sqrt{(1-\alpha)P} x_s$$

[12] 여기서, x_p 는 상기 메인 소스 노드에서 전송한 제1 신호, x_s 는 상기 서브 소스 노드에서 전송하고자 하는 제2 신호, P 는 상기 서브 노드의 전송 전력, α 및 $1-\alpha$ 는 전송 전력의 분할 계수, x_c 는 상기 제1 신호 및 상기 제2 신호가 결합된 결합 신호임이 바람직하다.

[13] 한편, 본 발명의 다른 실시 예에 따른, 메인 소스 노드로부터 전송된 신호를 중계하는 서브 소스 노드의 자원 공유 방법은 상기 서브 소스 노드가 기설정된 주파수 대역의 제1 타임 슬롯을 통해 상기 메인 소스 노드로부터 브로드캐스트된 제1 신호를 수신하는 단계, 상기 서브 소스 노드가 상기 수신된 제1 신호 및 자신이 전송하고자 하는 제2 신호 각각에 대응하는 전력 가중치를 적용하여 상기 제1 신호 및 상기 제2 신호를 선형적으로 결합하는 단계 및 상기 서브 소스 노드가 상기 결합된 결합 신호를 기설정된 주파수 대역의 제2 타임 슬롯을 통해 브로드캐스트하는 단계를 포함한다.

[14] 여기서, 상기 결합하는 단계는, 아래의 수학 식을 이용하여 상기 제1 신호 및 상기 제2 신호를 결합할 수 있다.

$$[15] \quad x_c = \sqrt{\alpha P} x_p + \sqrt{(1-\alpha)P} x_s$$

[16] 여기서, x_p 는 상기 메인 소스 노드에서 전송한 제1 신호, x_s 는 상기 서브 소스 노드에서 전송하고자 하는 제2 신호, P 는 상기 서브 노드의 전송 전력, α 및 $1-\alpha$ 는 전송 전력의 분할 계수, x_c 는 상기 제1 신호 및 상기 제2 신호가 결합된 결합 신호임이 바람직하다.

[17] 한편, 본 발명의 또 다른 실시 예에 따른, 메인 소스 노드에 의해 전송된 신호를 복수의 서브 소스 노드를 통해 수신하는 메인 목적지 노드의 자원 공유 방법은 상기 메인 목적지 노드가 기설정된 주파수 대역의 제1 타임 슬롯을 통해 메인

소스 노드로부터 브로드캐스트된 제1 신호를 수신하는 단계 및 상기 메인 목적지 노드가 상기 기 설정된 주파수 대역의 제2 타임 슬롯을 통해 상기의 서브 소스 노드가 전송한 결합 신호를 수신하여 처리하는 단계를 포함하며, 상기 결합 신호는, 상기 서브 소스 노드가 상기 제1 신호를 수신하여 자신이 전송하고자 하는 제2 신호와 결합한 결합 신호이다.

[18] 여기서, 상기 결합 신호는, 아래의 수학적식을 이용하여 산출될 수 있다.

$$[19] \quad x_c = \sqrt{\alpha P} x_p + \sqrt{(1-\alpha)P} x_s$$

[20] 여기서, x_p 는 상기 메인 소스 노드에서 전송한 제1 신호, x_s 는 상기 서브 소스 노드에서 전송하고자 하는 제2 신호, P 는 상기 서브 노드의 전송 전력, α 및 $1-\alpha$ 는 전송 전력의 분할 계수, x_c 는 상기 제1 신호 및 상기 제2 신호가 결합된 결합 신호임이 바람직하다.

[21] 한편, 본 발명의 또 다른 실시 예에 따른, 노드 장치는 기 설정된 주파수 대역의 제1 타임 슬롯을 통해 메인 소스 노드가 브로드캐스팅한 제1 신호를 수신하는 인터페이스부, 전송하고자 하는 신호 및 상기 제1 신호를 결합하여 결합 신호를 생성하고, 상기 결합 신호를 상기 주파수 대역의 제2 타임 슬롯을 통해 브로드캐스팅하도록 상기 인터페이스부를 제어하는 제어부를 포함한다.

[22] [발명의 효과]

[23] 본 발명의 다양한 실시 예에 따른 자원 공유 장치 및 이에 따른 자원 공유 방법은 서브 소스 노드는 수신된 메인 소스 노드의 전송 신호에 자신이 전송하고자 하는 신호를 결합하여 결합 신호를 생성하고, 결합 신호를 서로 다른 타임 슬롯에서 브로드캐스트할 수 있다. 이에 따라, 메인 소스 노드의 전송 신호는 다수의 경로에 따라 메인 목적지 노드로 전송되므로, 다양한 다이버시티 이득을 얻을 수 있으며, 서브 소스 노드도 자신의 신호를 서브 목적지 노드로 전송할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[24] 도 1은 본 발명의 일 실시 예에 따른 협력 통신 시스템의 블록도,

[25] 도 2는 본 발명의 일 실시 예에 따른 협력 통신 시스템을 구성하는 서브 소스 노드의 블록도,

[26] 도 3은 본 발명의 일 실시 예에 따른 협력 통신 시스템의 자원 공유 방법을 나타낸 흐름도,

[27] 도 4는 본 발명의 일 실시 예에 따른 서브 소스 노드의 자원 공유 방법을 나타낸 흐름도,

[28] 도 5는 본 발명의 일 실시 예에 따른 메인 목적지 노드의 자원 공유 방법을 나타낸 흐름도,

[29] 도 6은 본 발명의 일 실시 예에 따른, 서브 소스 노드의 평균 SNR을 dB에 대한 중단 확률로 나타낸 그래프,

- [30] 도 7은 본 발명의 일 실시 예에 따른, 복수의 서브 소스 노드에서 메인 소스 노드의 전송 신호와 서브 소스 노드의 전송 신호를 결합함에 있어서, 메인 소스 노드의 전송 신호와 서브 소스 노드의 전송 신호 각각에 대응하는 전력 가중치를 변화시키는 경우에 따른 중단 확률에 대한 그래프,
- [31] 도 8 및 도 9는 본 발명의 일 실시 예에 따른, 협력 통신 시스템에서의 중단 확률을 이론적인 계산 값과 시뮬레이션 결과 값을 비교한 그래프, 그리고
- [32] 도 10 및 도 12는 본 발명의 일 실시 예에 따른, 각각의 서브 소스 노드 및 서브 목적지 노드의 중단 확률을 도시한 그래프이다.

발명의 실시를 위한 형태

- [33] 이하 도면을 참조하여 본 발명에 대하여 보다 구체적으로 살펴보기로 한다.
- [34] 도 1은 본 발명의 일 실시 예에 따른 협력 통신 시스템을 나타내는 블록도이다.
- [35] 도 1을 참조하면, 협력 통신 시스템(100)은 메인 소스 노드(110), 복수 개의 서브 소스 노드(120-1, 120-2, ..., 120-n), 복수 개의 서브 목적지 노드(125-1, 125-2, ..., 125-n) 및 메인 목적지 노드(130)를 포함한다. 도 1에서, 메인 소스 노드(110)는 PR, 복수 개의 서브 소스 노드(120-1, 120-2, ..., 120-n)는 각각 ST₁, ST₂, ..., ST_N, 복수 개의 서브 목적지 노드(125-1, 125-2, ..., 125-n)는 각각 SR₁, SR₂, ..., SR_N, 메인 목적지 노드(130)는 PR로 편의상 도시하였다.
- [36] 본 협력 통신 시스템(100)은 메인 소스 노드(110)에서 메인 목적지 노드(130)로 일정한 신호를 전송하고, 또한, 복수 개의 서브 소스 노드(120-1, 120-2, ..., 120-n)는 메인 소스 노드(110)의 신호 전송을 도우면서 자신의 신호를 각각의 복수 개의 서브 목적지 노드(125-1, 125-2, ..., 125-n)로 전송할 수 있다.
- [37] 또한, 본 통신 시스템(100)에서 메인 소스 노드(110) 및 복수 개의 서브 소스 노드(120-1, 120-2, ..., 120-n)가 신호를 각각 전송하고자 하는 경우, 기 부여된 주파수 대역에서, 서로 다른 타임 슬롯(time slot)을 이용하여 각자의 신호를 전송할 수 있다. 타임 슬롯 설정에 대해서는 보다 구체적으로 후술하기로 한다.
- [38] 메인 소스 노드(110)는 기 설정된 주파수 대역의 일정한 타임 슬롯 동안, 자신의 신호를 브로드캐스트(broadcast)할 수 있다. 이때, 메인 소스 노드(110)는 자신의 신호를 암호화(encoding)하고, 일정한 전송 전력(P)을 이용하여 브로드캐스트할 수 있다. 여기서, 메인 소스 노드(110)의 신호는 브로드캐스트되므로, 메인 소스 노드에 대응하는 메인 소스 노드(130)뿐만 아니라, 복수 개의 서브 소스 노드(120-1, 120-2, ..., 120-n) 및 복수 개의 서브 목적지 노드(125-1, 125-2, ..., 125-n)도 이를 수신할 수 있다.
- [39] 여기서, 일정한 타임 슬롯 값은 입력부(미도시)를 통해 사용자로부터 입력받거나, 기 저장된 타임 슬롯 정보에 기초하여, 제어부(미도시)의 제어에 따라 자동으로 설정될 수 있다.
- [40] 복수 개의 서브 소스 노드(120-1, 120-2, ..., 120-n) 및 복수 개의 서브 목적지 노드(125-1, 125-2, ..., 125-n)는 메인 소스 노드(110)에 의해 브로드캐스트된

신호를 수신하고, 수신된 메인 소스 노드(110)의 신호를 복호(encoding)하여, 메인 소스 노드(110)의 전송 신호를 검출할 수 있다.

[41] 여기서, 각각의 노드가 신호를 복호함에 있어, MRC(Maximum Ratio Combining) 기법, EGC(Equal Gain Combining) 기법, ORC(Orthogonality Restoring Combining) 기법, MMSEC(Minimum Mean Square Error Combining) 기법, LC(Linear Combining) 기법, SC(Selection Combining) 기법 등과 같은 다양한 기법을 이용할 수 있다.

[42] 복수 개의 서브 소스 노드(120-1, 120-2,..., 120-n)는 각각의 서브 소스 노드에 기 부여된 타임 슬롯 동안, 결합 신호를 브로드캐스트할 수 있다. 여기서, 결합 신호는 수신된 메인 소스 노드(110)의 신호에 각각의 서브 소스 노드들이 전송하고자 하는 신호를 결합한 신호로서, 아래와 같이 표현될 수 있다.

[43] 수학적 식 1

$$x_c = \sqrt{\alpha P} x_p + \sqrt{(1-\alpha)P} x_s$$

[44] 여기서, x_p 는 메인 소스 노드에 의해 브로드캐스트된 신호, x_s 는 서브 소스 노드 각각에서 전송하고자 하는 신호, P 는 서브 소스 노드의 전송 전력, α 및 $1-\alpha$ 는 전송 전력의 분할 계수, x_c 는 메인 소스 노드의 신호와 서브 소스 노드가 전송하고자 하는 신호가 결합된 결합 신호이다.

[45] 또한, 서브 소스 노드(120-1, 120-2,..., 120-n) 각각이 결합한 결합 신호는 서브 소스 노드마다 서로 다른 타임 슬롯에서 브로드캐스트될 수 있으며, 브로드캐스트된 신호는 메인 목적지 노드(130) 및 서브 목적지 노드(125-1, 125-2,..., 125-n)에서 수신할 수 있다.

[46] 한편, 메인 목적지 노드(130)는 다수의 경로를 통해 수신한 메인 소스 노드(110)의 신호를 종합하여, 메인 소스 노드(110)의 신호를 검출할 수 있다. 여기서, 다수의 경로는 메인 소스 노드(110)가 자신의 타임 슬롯에서 메인 목적지 노드(130)로 신호를 직접 전송하는 경로 및 복수 개의 서브 소스 노드(120-1, 120-2,..., 120-n)가 각각 서로 다른 타임 슬롯에서 메인 소스 노드(110) 신호에 자신의 신호를 결합하여 전송하는 경로를 의미할 수 있다.

[47] 여기서, 메인 목적지 노드(130)가 메인 소스 노드(110)의 신호를 종합하여 복호할 때, 다양한 다이버시티 이득을 얻기 위해 LC 기법을 사용할 수 있다. 즉, 다수의 경로를 통해 수신된 메인 소스 노드(110)의 신호를 선형적으로 결합하여 복호하므로, 보다 높은 다양한 다이버시티 이득을 얻을 수 있으며, 이에 대한 수학적 증명은 후술하기로 한다.

[48] 한편, 서브 목적지 노드(125-1, 125-2,..., 125-n)는 대응하는 서브 소스 노드(120-1, 120-2,..., 120-n)에 의해 브로드캐스트된 신호를 수신하여, 각각의 서브 소스 노드 신호를 검출할 수 있다. 구체적으로, 서로 다른 타임 슬롯에서 수신된 메인 소스 노드의 신호와 서브 소스 노드의 결합 신호를 이용하여 검출하며,

이에 대한 구체적인 설명은 후술하기로 한다.

- [49] 한편, 메인 목적지 노드(130) 및 서브 목적지 노드(125-1, 125-2,..., 125-n)은 메인 소스 노드(110) 및 서브 소스 노드(120-1, 120-2,..., 120-n)의 신호를 수신하여 복호할 때, 복호를 실패하면 전송한 노드로 신호를 재전송하라는 제어 신호를 전송함으로써, 신호를 재수신 받을 수 있다.
- [50] 서브 소스 노드(120-1, 120-2,..., 120-n) 각각이 브로드캐스트하는 결합 신호는 서로 다른 타임 슬롯에서 브로드캐스트되며, 또한, 서브 목적지 노드(125-1, 125-2,..., 125-n)은 서로 다른 타임 슬롯에서 수신된 메인 소스 노드(110)의 신호와 서브 소스 노드(120-1, 120-2,..., 120-n)를 이용하여 각각의 서브 소스 노드 신호를 검출할 수 있다. 이하에서는 구체적인 예를 들어, 서로 다른 타임 슬롯에 대해 보다 상술하기로 한다.
- [51] 일 예로서, 메인 소스 노드와 메인 목적지 노드 사이에 2쌍의 서브 노드 시스템(2개의 서브 소스 노드와 이에 대응하는 2개의 서브 목적지 노드)이 존재한다고 가정한다. 이때, 메인 소스 노드가 메인 목적지 노드로 전송하고자 하는 신호는 x_p 로 하고, 제1 서브 소스 노드가 제1 서브 목적지 노드로 전송하고자 하는 신호는 x_{s1} , 제2 서브 소스 노드가 제2 서브 목적지 노드로 전송하고자 하는 신호는 x_{s2} 로 각각 이하에서 표기하도록 한다.
- [52] 여기서, 서브 노드 시스템의 개수는 설명의 편의를 위한 일 예에 불과하며, 더 많거나 더 적은 서브 노드 시스템에 의해 본 발명의 기술적 사상이 구현될 수 있음은 물론이다.
- [53] 먼저, 메인 소스 노드가 x_p 를 브로드캐스트하면, 메인 목적지 노드 및 2개의 서브 소스 노드 및 2개의 서브 목적지 노드는 x_p 를 수신할 수 있다. 이때, 메인 소스 노드의 브로드캐스트 및 다른 노드들의 수신은 기 부여된 주파수 대역의 제1 타임 슬롯에서 이루어진다.
- [54] x_p 를 수신한 제1 서브 소스 노드는 자신이 전송하고자 하는 신호인 x_{s1} 을 x_p 에 결합하여 결합 신호를 생성한다. 이러한 동작은 제1 타임 슬롯에서 상술한 수학식 1과 같이 전력 가중치에 의해 이루어지지만, 편의상 결합 신호를 x_p+x_{s1} 으로 표기하기로 한다. 이 후, 제1 서브 소스 노드는 제1 타임 슬롯에 후속하는 시간 간격을 나타내는 제2 타임 슬롯에서 결합 신호 x_p+x_{s1} 를 브로드캐스트할 수 있다.
- [55] 제1 서브 소스 노드가 브로드캐스트한 x_p+x_{s1} 은 메인 목적지 노드 및 제1 서브 목적지 노드에 의해 수신될 수 있다. 이때, 제1 서브 목적지 노드는 제1 타임 슬롯에서 수신한 x_p 와 제2 타임 슬롯에서 수신한 x_p+x_{s1} 를 이용하여 제1 서브 소스 노드가 전송한 신호인 x_{s1} 을 검출할 수 있다. 이러한 과정을 수학식으로 표현하면 아래와 같이 나타낼 수 있다.
- [56] 수학식 2

$$y_{PR_1} = \sqrt{P} h_{PT,PR} x_p + n_{PT,PR}$$

- [57] 여기서, y_{PR_1} 은 제1 타임 슬롯에서 메인 소스 노드에 의해 브로드캐스트된 신호를 메인 목적지 노드에서 수신한 신호를 나타내며, P 는 메인 소스 노드의 송신 전력, $h_{PT,PR}$ 은 메인 소스 노드와 메인 목적지 노드 사이의 페이딩 계수(fading coefficient)이며, x_p 는 메인 소스 노드의 전송 신호이며, $n_{PT,PR}$ 은 메인 소스 노드와 메인 목적지 노드 사이의 가산성 백색 가우시안 잡음(additive white Gaussian noise : AWGN)이다.

- [58] 수학적식 3

$$y_{SR_1} = \sqrt{P} h_{PT,SR} x_p + n_{PT,SR}$$

- [59] 여기서, y_{SR_1} 은 제1 타임 슬롯에서 메인 소스 노드에 의해 브로드캐스트된 신호를 제1 서브 목적지 노드에서 수신한 신호를 나타내며, P 는 메인 소스 노드의 송신 전력, $h_{PT,SR}$ 은 메인 소스 노드와 서브 목적지 노드 사이의 페이딩 계수이며, x_p 는 메인 소스 노드의 전송 신호이며, $n_{PT,SR}$ 은 메인 소스 노드와 제1 서브 목적지 노드 사이의 AWGN이다.

- [60] 제1 타임 슬롯에 후속하는 제2 타임 슬롯에서, 제1 서브 소스 노드는 메인 소스 노드의 전송 신호에 자신이 전송하고자 하는 신호를 결합하여(상술한 수학적식 1 참조), 브로드캐스트할 수 있으며, 이는 메인 목적지 노드 및 제1 서브 목적지 노드에 의해 수신될 수 있다.

- [61] 수학적식 4

$$y_{PR_2} = h_{ST,PR} x_c + n_{ST,PR}$$

- [62]
$$= h_{ST,PR} (\sqrt{\alpha P} x_p + \sqrt{(1-\alpha)P} x_s) + n_{ST,PR}$$

- [63]
$$= \sqrt{\alpha P} h_{ST,PR} x_p + \sqrt{(1-\alpha)P} h_{ST,PR} x_s + n_{ST,PR}$$

- [64] 여기서, y_{PR_2} 는 제2 타임 슬롯에서 메인 목적지 노드에서 수신한 신호이며, P 는 메인 소스 노드의 송신 전력, $h_{ST,PR}$ 및 $n_{ST,PR}$ 은 제1 서브 소스 노드와 메인 목적지 노드 사이의 페이딩 계수 및 AWGN을 각각 나타낸다.

- [65] 이때, 제2 타임 슬롯에서, 서브 목적지 노드가 수신한 신호는 아래와 같이 나타낼 수 있다.

[66] 수학식 5

$$y_{SR_2} = h_{ST,SR} x_c + n_{ST,SR}$$

$$[67] = h_{ST,SR} (\sqrt{\alpha P} x_p + \sqrt{(1-\alpha)P} x_s) + n_{ST,SR}$$

$$[68] = \sqrt{\alpha P} h_{ST,SR} x_p + \sqrt{(1-\alpha)P} h_{ST,PR} x_s + n_{ST,SR}$$

[69] 여기서, y_{SR2} 는 제2 타임 슬롯에서 서브 목적지 노드가 수신한 신호이며, P 는 메인 소스 노드의 송신 전력, $h_{ST,SR}$ 및 $n_{ST,SR}$ 은 서브 소스 노드와 서브 목적지 노드 사이의 페이딩 계수 및 AWGN을 각각 나타낸다.

[70] 결론적으로, 제1 서브 목적지 노드는 수학식 5에서의 수신 신호(y_{SR2})에서 수학식 3에서의 수신 신호(y_{SR1})를 제거하여, 제2 타임 슬롯에서 제1 서브 소스 신호가 전송하고자 하는 신호를 결정할 수 있게 된다.

[71] 한편, 제2 타임 슬롯에 후속하는 제3 타임 슬롯에서 제2 서브 소스 노드는 결합 신호를 브로드캐스트할 수 있다. 구체적으로는, 제1 타임 슬롯에서 수신한 x_p 와 제2 타임 슬롯에서 수신한 x_p+x_{s1} 에 SC 기법을 적용하여 x_p 를 복호하고, 복호된 x_p 에 전송하고자 하는 신호인 x_{s2} 를 결합하여, 결합 신호 x_p+x_{s2} 를 생성할 수 있다. 여기서, 결합 신호 x_p+x_{s2} 는 편의상 표기한 것이며, 상술한 수학식 1을 이용하여 전력 가중치에 의해 결합된다. 여기서, SC 기법이란 수신된 신호 중 최적에 해당하는 수신 신호를 선택하여 복호하는 기법을 의미할 수 있으며, 이에 대해서는 후술하기로 한다.

[72] 이렇게 생성된 결합 신호 x_p+x_{s2} 는 제3 타임 슬롯에서 브로드캐스트되며, 제2 서브 목적지 노드 및 메인 목적지 노드는 결합 신호 x_p+x_{s2} 를 수신할 수 있다.

[73] 제2 서브 목적지 노드는 상술한 방법(제1 서브 목적지 노드가 제1 서브 소스 노드 신호를 검출하는 방법)과 같이, 제1 타임 슬롯에서 수신한 메인 소스 노드 신호와 제3 타임 슬롯에서 수신한 제2 서브 소스 노드의 결합 신호를 이용하여, 제2 서브 소스 노드의 신호를 검출할 수 있다.

[74] 한편, 메인 목적지 노드는 다수의 경로를 통해 수신된 신호를 이용하여 메인 소스 노드의 신호를 검출할 수 있다. 구체적으로는, 제1 타임 슬롯을 통해 메인 소스 노드로부터 직접 수신한 신호인 x_p 와 제2 타임 슬롯을 통해 제1 서브 소스 노드로부터 수신한 신호인 x_p+x_{s1} 및 제3 타임 슬롯을 통해 제2 서브 소스 노드로부터 수신한 신호인 x_p+x_{s2} 를 종합하여, x_p 를 검출할 수 있다. 이때, LC 기법에 의해 x_p 가 복호될 수 있기 때문에, 메인 소스 노드의 신호는 다양한 다이버시티 이득을 얻으며 메인 목적지 노드에 전송될 수 있게 된다.

[75] 이와 같이, 모든 소스 노드들이 자신의 신호 전송이 끝나면, 제3 타임 슬롯에 후속하는 제4 타임 슬롯에서는 다시 메인 소스 노드가 자신의 신호 x_p 를

브로드캐스트하고, 상술한 과정이 반복되어 신호를 전송하게 된다.

- [76] 비록 본 실시 예에서는 2개의 서브 소스 노드 및 2개의 서브 목적지 노드로 한정하였으나, 이는 설명의 편의를 위한 것일 뿐이며, 더 많은 다이버시티를 위해 서브 소스 노드 및 대응하는 서브 목적지 노드의 개수를 증가시킬 수 있다. 이때, 각각의 서브 목적지 노드가 수신하는 신호는 메인 소스 노드 사이 및 대응하는 서브 소스 노드 사이의 페이딩 계수 및 AWGN 값만을 달리하여, 상술한 수학식 3 및 수학식 5와 같은 형태로 나타낼 수 있다.
- [77] 이에 따라, 본 발명의 일 실시 예에 따른 협력 통신 시스템(100)에서, 메인 목적지 노드(130)는 메인 소스 노드(110)가 직접 전송하는 신호를 수신할 뿐만 아니라, 각각의 서브 소스 노드(120-1, 120-2,..., 120-n)가 자신의 신호에 소스 노드의 신호에 결합하여 전송한 신호를 수신하여 복호하므로, 여러 경로를 통해 메인 소스 노드(110)의 신호를 수신할 수 있어, 다이버시티 이득이 향상될 수 있다. 또한, 각각의 서브 소스 노드(120-1, 120-2,..., 120-n)는 메인 소스 노드(110)의 신호에 자신의 신호를 결합하여 브로드캐스트하므로, 대응하는 서브 목적지 노드(125-1, 125-2,..., 125-n) 각각에 자신의 신호를 전송할 수 있다.
- [78] 도 2는 본 발명의 일 실시 예에 따른 서브 소스 노드의 블록도를 나타낸 도면이다.
- [79] 도 2를 참조하면, 서브 소스 노드(200)는 메인 소스 노드의 신호에 자신이 전송하고자 하는 신호를 결합하여 브로드캐스트하는 기능을 하며, 이는 인터페이스부(210)와 제어부(220)를 포함할 수 있다. 비록 도 2에는 하나의 서브 소스 노드(200)에 대한 블록도를 도시하였지만, 복수 개의 서브 소스 노드도 이와 동일한 구성을 가질 수 있다.
- [80] 인터페이스부(210)는 메인 소스 노드(110)가 브로드캐스트한 신호를 수신하는 기능을 한다. 즉, 메인 소스 노드(110)가 제1 타임 슬롯에서 브로드캐스트한 메인 소스 노드의 전송 신호를 수신할 수 있다.
- [81] 제어부(220)는 인터페이스부(210)에서 수신한 신호에 서브 소스 노드(200)가 전송하고자 하는 신호를 결합하는 기능을 한다. 구체적으로는, 제1 타임 슬롯에서 수신한 메인 소스 노드의 전송 신호를 복호하고, 여기에 자신이 전송하고자 하는 신호를 결합하여, 결합 신호를 생성할 수 있다.
- [82] 상술한 바와 같이, 복수 개의 서브 소스 노드는 서로 다른 타임 슬롯에서 서로 다른 결합 신호를 생성하며, 이는 자세히 설명한 바 있으므로, 이하에서는 생략하기로 한다.
- [83] 또한, 제어부(220)는 제1 타임 슬롯 이후의 타임 슬롯에서 결합 신호를 브로드캐스트하도록 인터페이스부(210)를 제어할 수 있다. 이 경우, 본 발명의 일 실시 예에 따른 서브 소스 노드가 복수 개 마련되면, 각각의 서브 소스 노드는 서로 다른 타임 슬롯에서 결합 신호를 전송할 수 있다. 구체적으로는, N개의 서브 소스 노드가 마련되었다면, 제1 서브 소스 노드는 제2 타임 슬롯에서 결합 신호를 브로드캐스트하고, 제2 서브 소스 노드는 제3 타임 슬롯에서 결합 신호를

브로드캐스트하는 방식을 취하며, 이에 따라, 제N+1 타임 슬롯에서는 제N 서브 소스 노드가 결합 신호를 브로드캐스트 하게 된다.

[84] 또한, 제어부(220)는 인터페이스부(210)를 제어하여, 신호를 전송한 노드에 대해, 재송신의 명령을 전송할 수 있다.

[85] 도 3은 본 발명의 일 실시 예에 따른 협력 통신 시스템의 자원 공유 방법을 나타낸 흐름도이다.

[86] 먼저, 메인 소스 노드는 기 설정된 주파수 대역의 제1 타임 슬롯에서 자신의 신호를 브로드캐스트한다(S310).

[87] 이 후, 브로드캐스트된 신호는 복수 개의 서브 소스 노드, 복수 개의 서브 목적지 노드 및 메인 목적지 노드에서 수신될 수 있으며, 복수 개의 서브 소스 노드는 이를 복호하여, 메인 소스 노드의 신호를 검출한다.

[88] 이 후, 서브 소스 노드 각각은 서로 다른 타임 슬롯에서 메인 소스 노드의 신호에 자신이 전송하고자 하는 신호를 결합하여 브로드캐스트한다(S320). 만일 서브 소스 노드가 N개라면, 제1 타임 슬롯에 후속하는 제2 타임 슬롯에서 제1 서브 소스 노드가 메인 소스 노드의 신호에 자신의 신호를 결합하여 브로드캐스트하고, 제3 타임 슬롯에서는 제2 서브 소스 노드가 메인 소스 노드의 신호에 자신의 신호를 결합하여 브로드캐스트하게 된다. 이와 같은 방식으로, 제N+1 타임 슬롯에서 제N 서브 소스 노드는 메인 소스 노드 신호에 자신의 신호를 결합하여 브로드캐스트하게 된다.

[89] 서로 다른 타임 슬롯에서 각각의 서브 소스 노드에 의해 브로드캐스트된 서로 다른 결합 신호는 대응하는 서브 목적지 노드 및 메인 목적지 노드에서 수신할 수 있다.

[90] 메인 목적지 노드는 제1 타임 슬롯에서 메인 소스 노드로부터 직접 수신한 메인 소스 노드의 신호와 서로 다른 타임 슬롯에서 서브 소스 노드 각각으로부터 수신한 결합 신호를 이용하여 메인 소스 노드의 신호를 검출할 수 있다(S330). 이에 따라, 다수의 경로를 통해 메인 소스 노드 신호를 수신하여 검출하므로, 다양한 다이버시티 이득을 얻을 수 있게 된다.

[91] 또한, 서브 목적지 노드는 각각의 타임 슬롯에서 대응하는 서브 소스 노드가 브로드캐스트한 신호와 제1 타임 슬롯에서 메인 소스 노드가 브로드캐스트한 신호를 이용하여 서브 소스 노드의 신호를 전송받을 수 있다. 구체적으로, 제2 타임 슬롯에서는 제1 서브 소스 노드가 메인 소스 노드 신호에 자신의 신호를 결합하고 결합 신호를 브로드캐스트하고, 제3 타임 슬롯에서는 제2 서브 소스 노드가 메인 소스 노드 신호에 자신의 신호를 결합하고 결합 신호를 브로드캐스트한다. 이에 따라, 제2 타임 슬롯에서 제1 서브 목적지 노드는 제1 타임 슬롯에서 수신한 메인 소스 노드 신호와 제2 타임 슬롯에서 수신한 제1 서브 소스 노드의 신호를 이용하여, 제1 소스 노드의 신호를 검출할 수 있으며, 구체적인 방법은 수학식 3 및 5에서 설명한 바 있으므로, 여기서는 생략한다. 마찬가지로, 제3 타임 슬롯에서는 제2 서브 목적지 노드가 제2 서브 소스 노드의

신호를 검출할 수 있게 된다.

[92] 비록 상술한 실시 예에서는, 서브 소스 노드 및 서브 목적지 노드의 개수를 2개로 각각 한정하였지만, 이들 개수는 확장될 수 있으며, N개의 서브 소스 노드의 경우, 제N 서브 소스 노드는 제N+1 타임 슬롯에서 결합 신호를 브로드캐스트하게 된다.

[93] 이처럼, 본 발명의 일 실시 예에 따른 협력 통신 시스템에서의 자원 공유 방법은 서브 소스 노드가 메인 소스 노드의 신호에 자신의 신호를 결합하여 서로 다른 타임 슬롯에서 브로드캐스트하므로, 메인 소스 노드의 신호는 다이버시티 이득을 얻으며 전송될 수 있고, 서브 소스 노드는 자신의 신호를 서브 목적지 노드에 전송할 수 있게 되는 것이다.

[94] 도 4는 본 발명의 일 실시 예에 따른 서브 소스 노드의 자원 공유 방법을 나타낸 흐름도이다.

[95] 서브 소스 노드는 제1 타임 슬롯 동안 메인 소스 노드가 브로드캐스트한 신호를 수신한다(S410).

[96] 이 후, 서브 소스 노드는 수신된 메인 소스 노드의 신호에 자신이 전송하고자 하는 신호를 결합하여 결합 신호를 생성한다(S420). 이때, 결합 신호를 생성하는 방법은 상술한 바 있기 때문에, 여기서는 생략한다.

[97] 서브 소스 노드는 제2 타임 슬롯 동안 결합 신호를 브로드캐스트한다(S420). 비록 상술한 예에서는 제2 타임 슬롯으로 기술하였지만, 서브 소스 노드가 복수 개로 확장되면, 복수 개의 서로 다른 타임 슬롯에서 각각의 결합 신호를 전송할 수 있다.

[98] 도 5는 본 발명의 일 실시 예에 따른 메인 목적지 노드의 자원 공유 방법을 나타낸 흐름도이다.

[99] 먼저, 제1 타임 슬롯에서 메인 소스 노드를 통해 브로드캐스트한 신호를 수신한다(S510).

[100] 서브 소스 노드가 복수 개라면, 제2 타임 슬롯에서 제1 서브 소스 노드에 의해 브로드캐스트된 결합 신호를 수신하고, 이와 마찬가지로 제3 타임 슬롯에서는 제2 서브 소스 노드의 결합 신호를 수신하여, 제N+1 타임 슬롯에서는 제N 서브 소스 노드의 결합 신호를 수신하게 된다(S520). 이렇게 수신된 여러 가지의 신호를 이용하여, 메인 소스 노드의 신호를 검출하며, 이때 LC 기법이 적용되어 다이버시티 이득을 향상시킬 수 있다.

[101] 이하에서, 본 발명의 일 실시 예에 따른 협력 통신 시스템의 동작을 정전 확률(outage probability) 및 다이버시티 이득 측면에서 분석한다.

[102] 이를 위해, 먼저 본 발명의 일 실시 예에 따른 협력 통신 시스템이 가지는 통신 환경에 대해 설명한다. 설명의 편의를 위해, 메인 소스 노드는 PT, 메인 목적지 노드는 RP로 표기하며, 서브 소스 노드 및 서브 목적지 노드는 N쌍으로 가정하여, 서브 소스 노드는 ST_1 내지 ST_n 및 서브 목적지 노드는 SR_1 내지 SR_n 으로 표기한다. 각각의 노드 사이의 채널은 레일리 플랫 페이딩(Rayleigh flat

fading)으로 가정한다. 또한, 각각의 노드는 단일 반 이중 라디오(single half duplex radio) 및 단일 안테나(single antenna)를 가지며, 반 이중 때문에, 각각의 노드는 구별된 채널에서 신호를 전송할 수 있다. 또한, 직교 채널을 인지하기 위해 N+1의 타임 슬롯을 포함하는 시분할 채널 할당이 차지된다.

[103] 노드 i에서 신호를 전송하면, 노드 j에서 수신된 신호는 아래의 수학적식과 같이 나타낼 수 있다.

[104] 수학적식 6

$$r_{i,j} = \sqrt{P} h_{i,j} x_i + \eta_j$$

[105] 여기서, 노드 j에서 AWGN 잡음 η_j 는 분산 N_0 를 가지며, $h_{i,j}$ 는 노드 i와 노드 j 사이의 페이딩 계수를 나타내며, x_i 는 노드 i에서의 전송 신호이다. 또한, P는 전송 전력으로, 모든 노드에서 동일하다고 가정한다.

[106] 수학적식 6으로부터 순간적인 신호대 잡음비(instantaneous signal to noise ratio(SNR))은 아래와 같이 결정될 수 있다.

[107] 수학적식 7

$$\gamma_{i,j} = \frac{P |h_{i,j}|^2}{N_0} = \bar{\gamma} |h_{i,j}|^2$$

[108] 여기서,

$$\bar{\gamma} = \frac{P}{N_0}$$

는 평균 SNR을 의미한다.

[109] 수학적식 7에서,

$$|h_{i,j}|^2$$

는

$$\lambda^2$$

를 가지는 지수적 분포(exponential distribution)이다. 경로 손실(path loss)을 고려하면, 노드 i와 노드 j 사이의 채널 계수의 분산은 노드 사이의 거리 함수로 나타낼 수 있으므로, 파라미터

$$\lambda^2$$

는 아래와 같이 표현될 수 있다.

[110] 수학적식 8

$$\lambda_{i,j} = d_{i,j}^{\beta}$$

[111] 여기서, β 는 2에서 6으로 변하는 경로 손실 지수(exponent)이고, $d_{i,j}$ 는 노드 i와 노드 j 사이의 거리이다.

[112] 이하에서, 본 발명의 일 실시 예에 따른 협력 통신 시스템의 정전 확률을 이론적으로 산출한다. 상술한 바와 같이, 중계 노드 및 중계 노드의 목적지 노드는 N쌍(ST_j - SR_j ($1 < j < N$))으로 가정한다.

[113] 먼저, 소스 노드로부터 수신한 신호를 성공적으로 복호하는 중계 노드(ST_j ($1 < j < N$))의 집합을 D_j 로 가정한다. D_j 는 랜덤 집합이며, 집합 D_j 의 노드의 수 n 는 $0 < n < j-1$ 의 범위를 가지는 랜덤 변수일 수 있다. 또한, $D_j = \{ST_{k_1}, ST_{k_2}, \dots, ST_{k_n}\}$ 이고, 여기서, $1 \leq k_1 < k_2 < \dots < k_n \leq j-1$ 이다. 또한, 소스 노드로부터 수신한 신호를 성공적으로 복호하지 못하는 중계 노드의 집합을 $F_j = \{ST_{l_1}, ST_{l_2}, \dots, ST_{l_{j-1-n}}\}$ 이고, $1 \leq l_1 < l_2 < \dots < l_{j-1-n} \leq j-1$ 로 가정할 수 있다.

[114] 각각의 n 에서, 크기 n 의 가능한 집합

$$\binom{j-1}{n}$$

이 되므로, D_j 의 가능한 집합은 2^{j-1} 이 될 수 있다. 이제, 이하에서는 집합 D_j 의 정전 확률을 계산한다.

[115] 집합 D_j 을 포함하는 노드 ST_{km} ($1 \leq m \leq n$)를 고려하면, ST_{km} 은 메인 소스 노드(PT)로부터 1개와 $ST_{k_1}, ST_{k_2}, \dots, ST_{k_{m-1}}$ 의 서브 소스 노드로부터 ($m-1$)개의 신호를 수신하여, 총 m 개의 소스 노드 신호를 수신하는 것을 알 수 있다. ST_{kg} ($1 \leq g \leq m-1$)는 메인 소스 노드(PT)의 신호를 성공적으로 복호하기 때문에, 메인 소스 노드의 신호 x_p 와 자신의 신호 $x_{s,kg}$ 를 결합할 수 있으며, 이는 아래의 수학적식과 같이 표현될 수 있다.

[116] 수학적식 9

$$z_{ST_{kg}} = \sqrt{\alpha_{k_g} P} x_p + \sqrt{(1 - \alpha_{k_g}) P} x_{s,k_g}$$

[117] 한편, ST_{km} 에서 수신 신호는 ST_{kg} 의 전송 때문에 아래의 수학적식 10과 같이 표현될 수 있다.

[118] 수학적식 10

$$r_{ST_{kg}, ST_{km}} = h_{ST_{kg}, ST_{km}} z_{ST_{kg}} + \eta_{ST_{km}} = \sqrt{\alpha_{k_g} P} h_{ST_{kg}, ST_{km}} x_p + \sqrt{(1 - \alpha_{k_g}) P} h_{ST_{kg}, ST_{km}} x_{s,k_g} + \eta_{ST_{km}}$$

[119] 상기의 수학적식 10으로부터 순간적인 SNR을 구하면,

[120] 수학식 11

$$\gamma_{ST_{k_g}, ST_{k_m}} = \frac{\alpha_{k_g} P |h_{ST_{k_g}, ST_{k_m}}|^2}{(1 - \alpha_{k_g}) P |h_{ST_{k_g}, ST_{k_m}}|^2 + N_0} = \frac{\bar{\gamma} \alpha_{k_g} |h_{ST_{k_g}, ST_{k_m}}|^2}{\bar{\gamma} (1 - \alpha_{k_g}) |h_{ST_{k_g}, ST_{k_m}}|^2 + 1}$$

[121] 이 되며, 이에 따라, ST_{km}에서 SC(selection combining) 기법에 의한 출력에서 순간적인 SNR은

[122] 수학식 12

$$\gamma_{ST_{k_m}} = \max_{g=1,2,\dots,m-1} \left(\gamma_{PT, ST_{k_m}}, \gamma_{ST_{k_g}, ST_{k_m}} \right)$$

[123] 와 같이 될 수 있다.

[124] 다음으로, PT와 ST_{km} 사이의 달성 전송 속도(achievable rate)는 아래의 수학식과 같이 표현될 수 있다.

[125] 수학식 13

$$R_{ST_{k_m}} = \frac{1}{N+1} \log_2 \left(1 + \gamma_{ST_{k_m}} \right)$$

[126] 여기서, N+1은 전체 전송이 N+1로 분할된 타임 슬롯에서 이루어짐을 의미한다. ST_{km}은 성공적으로 소스 노드의 신호를 복호할 수 있기 때문에, R_{ST_{km}}은 시스템의 타겟 속도 R보다 클 수 있다. 따라서, 본 경우의 확률은 아래와 같이 계산될 수 있다.

[127] 수학식 14

$$\begin{aligned} \Pr(R_{ST_{k_m}} \geq R) &= \Pr(\gamma_{ST_{k_m}} \geq \tau) = 1 - \Pr\left(\max_{g=1,2,\dots,m-1} (\gamma_{PT, ST_{k_m}}, \gamma_{ST_{k_g}, ST_{k_m}}) < \tau\right) \\ &= 1 - \Pr(\gamma_{PT, ST_{k_m}} < \tau) \prod_{g=1}^{m-1} \Pr(\gamma_{ST_{k_g}, ST_{k_m}} < \tau) \end{aligned}$$

[128] 여기서,

$$\tau = 2^{(N+1)R} - 1$$

이다.

[129] 한편, 수학식 7 및 8에 따르면, 수학식 13의 확률

$$\Pr(\gamma_{PT, ST_{k_m}}) < \tau$$

은 아래와 같이 주어질 수 있다.

[130] 수학식 15

$$\Pr\left(\gamma_{PT,ST_{k_m}} < \tau\right) = \Pr\left(|h_{PT,ST_{k_m}}|^2 < \rho\right) = 1 - \exp\left(-\lambda_{PT,ST_{k_m}} \rho\right)$$

[131] 여기서,

$$\rho = \frac{\tau}{\gamma}$$

이다.

[132] 이제,

$$\Pr(\gamma_{PT,ST_{k_m}}) < \tau$$

을 계산하기 위해, 확률 변수

$$\gamma_{ST_{k_g},ST_{k_m}} = \frac{\bar{\gamma} \alpha_{k_g} |h_{ST_{k_g},ST_{k_m}}|^2}{\bar{\gamma}(1-\alpha_{k_g}) |h_{ST_{k_g},ST_{k_m}}|^2 + 1}$$

의 CDF(cumulative density function)가 요구되며, CDF의 일반적인 정의를 이용하면, 아래의 수학식을 얻을 수 있다.

[133] 수학식 16

$$F_{\gamma_{ST_{k_g},ST_{k_m}}}(\chi) = \Pr\left(\frac{\bar{\gamma} \alpha_{k_g} |h_{ST_{k_g},ST_{k_m}}|^2}{\bar{\gamma}(1-\alpha_{k_g}) |h_{ST_{k_g},ST_{k_m}}|^2 + 1} < \chi\right) = \Pr\left(\bar{\gamma} [\alpha_{k_g} - (1-\alpha_{k_g}) \chi] |h_{ST_{k_g},ST_{k_m}}|^2 < \chi\right)$$

$$= \begin{cases} 0; & \text{if } \chi < 0 \\ 1 - \exp\left(-\frac{\lambda_{ST_{k_g},ST_{k_m}} \chi}{\bar{\gamma}(\alpha_{k_g} - (1-\alpha_{k_g}) \chi)}\right); & \text{if } 0 \leq \chi < \frac{\alpha_{k_g}}{(1-\alpha_{k_g})} \\ 1; & \text{if } \chi \geq \frac{\alpha_{k_g}}{(1-\alpha_{k_g})} \end{cases}$$

[134] 수학식 15 및 16를 이용하면 수학식 14는 아래와 같이 될 수 있다.

[135] 수학식 17

$$\Pr\left(R_{ST_{k_m}} \geq R\right) = 1 - \left(1 - \exp\left(-\lambda_{PT,ST_{k_m}} \rho\right)\right) \prod_{g=1}^{m-1} F_{\gamma_{ST_{k_g},ST_{k_m}}}(\tau)$$

[136] m=1인 경우, 수학식 17은

$$\Pr\left(R_{ST_{k_1}} \geq R\right) = \exp\left(-\lambda_{PT, ST_{k_1}} \rho\right)$$

와 같이 간략히 할 수 있으므로, 집합 D_j 의 확률은 아래와 같이 나타낼 수 있다.

[137] 수학식 18

$$P(D_j) = \prod_{m=1}^n \Pr\left(R_{ST_{k_m}} \geq R\right) = \exp\left(-\lambda_{ST_{k_m}, PT} \rho\right) \prod_{m=2}^n \left[1 - \left(1 - \exp\left(-\lambda_{PT, ST_{k_m}} \rho\right)\right) \prod_{g=1}^{m-1} F_{\gamma_{ST_{k_g}, ST_{k_m}}}(\tau)\right]$$

[138] 상술한 바와 같이, 집합 D_j 의 확률을 이론적으로 산출할 수 있으며, 이와 같은 방법으로 집합 F_j 의 확률도 아래와 같이 계산할 수 있다.

[139] 집합 F_j 에 속하는 $ST_{l_b}(1 \leq b \leq j-1-n)$ 를 고려하여, $k_{m-1} < l_b < k_m (1 < m < n)$ 을 가정한다. 이 경우, ST_{l_b} 는 PT로부터 1개의 메인 소스 노드 신호와 $ST_{k_1}, ST_{k_2}, \dots, ST_{k_{m-1}}$ 로부터 $(m-1)$ 개의 서브 소스 노드 신호를 수신하여, 총 m 개의 소스 노드 신호를 수신할 수 있다. 집합 D_j 와 동일한 방법을 사용하면, 성공적으로 소스 노드 신호를 복호하지 못한 ST_{l_b} 는 아래와 같이 나타낼 수 있다.

[140] 수학식 19

$$\begin{aligned} \Pr\left(R_{ST_{l_b}} < R\right) &= \Pr\left(\max_{g=1,2,\dots,m-1} \left(\gamma_{PT, ST_{l_b}}, \gamma_{ST_{k_g}, ST_{l_b}}\right) < \tau\right) = \Pr\left(\gamma_{PT, ST_{l_b}} < \tau\right) \prod_{g=1}^{m-1} \Pr\left(\gamma_{ST_{k_g}, ST_{l_b}} < \tau\right) \\ &= \left(1 - \exp\left(-\lambda_{PT, ST_{l_b}} \rho\right)\right) \prod_{g=1}^{m-1} F_{\gamma_{ST_{k_g}, ST_{l_b}}}(\tau) \end{aligned}$$

[141] $l_b < k_1$ 인 경우, ST_{l_b} 는 단지 PT로부터만 신호를 수신하기 때문에, 수학식 19은 아래와 같이 나타낼 수 있다.

[142] 수학식 20

$$\Pr\left(R_{ST_{l_b}} < R\right) = 1 - \exp\left(-\lambda_{PT, ST_{l_b}} \rho\right)$$

[143] 게다가, $l_b > k_n$ 인 경우, 노드 ST_{l_b} 는 집합 D_j 에 속하는 모든 노드로부터 소스 노드 신호를 수신할 수 있으므로 수학식 19는 아래와 같이 표현될 수 있다.

[144] 수학식 21

$$\Pr\left(R_{ST_{l_b}} < R\right) = \left(1 - \exp\left(-\lambda_{PT, ST_{l_b}} \rho\right)\right) \prod_{g=1}^n F_{\gamma_{ST_{k_g}, ST_{l_b}}}(\tau)$$

[145] 수학식 19 내지 21으로부터, 집합 F_j 의 확률은 아래와 같이 표현될 수 있다.

[146] 수학식 22

$$P(F_j) = \prod_{b=1}^{j-n-1} \Pr(R_{ST_b} < R) = \prod_{b=1}^{j-n-1} \left[\left(1 - \exp(-\lambda_{PT,ST_b} \rho) \right) \prod_{g=1}^{m-1} F_{\gamma_{ST_{k_g}, ST_b}}(\tau) \right]$$

[147] $l_b > k_n$ 인 경우와 유사하게, ST_j 및 SR_j 는 집합 D_j 에 속하는 모든 노드로부터 신호를 수신할 수 있으며, 그러므로, ST_j 및 SR_j 에서 복호가 성공적이지 못할 확률은 아래와 같이 각각 나타낼 수 있다.

[148] 수학적식 23

$$P_{ST_j}^{\text{out}, x_p} = \left(1 - \exp(-\lambda_{PT,ST_j} \rho) \right) \prod_{g=1}^n F_{\gamma_{ST_{k_g}, ST_j}}(\tau)$$

[149] 수학적식 24

$$P_{SR_j}^{\text{out}, x_p} = \left(1 - \exp(-\lambda_{PT,SR_j} \rho) \right) \prod_{g=1}^n F_{\gamma_{ST_{k_g}, SR_j}}(\tau)$$

[150] 여기서, $j=1$ 이면, 수학적식 23 및 24는

$$P_{ST_1}^{\text{out}, x_p} = 1 - \exp(-\lambda_{PT,ST_1} \rho)$$

,

$$P_{SR_1}^{\text{out}, x_p} = 1 - \exp(-\lambda_{PT,SR_1} \rho)$$

와 같이 간단히 각각 표현될 수 있다.

[151] ST_j 에서 소스 노드 신호를 정확하게 복호하면, 메인 소스 노드 신호와 ST_j 가 전송하고자 하는 신호는 결합되어 전송되며, 여기서 결합 신호는 아래와 같이 표현될 수 있다.

[152] 수학적식 25

$$z_{ST_j} = \sqrt{\alpha_j P} x_p + \sqrt{(1 - \alpha_j) P} x_{s,j}$$

[153] SR_j 에서 수신 신호는 ST_j 의 전송 때문에 아래와 같이 표현될 수 있다.

[154] 수학적식 26

$$r_{ST_j, SR_j} = h_{ST_j, SR_j} z_{ST_j} + n_{SR_j} = \sqrt{\alpha_j P} h_{ST_j, SR_j} x_p + \sqrt{(1 - \alpha_j) P} h_{ST_j, SR_j} x_{s,j} + n_{SR_j}$$

[155] 만일 SR_j 가 성공적으로 메인 소스 노드 신호를 복호하면,

$$\sqrt{\alpha_j P} h_{ST_j, SR_j} x_p$$

는 수학적식 26에서 제거될 수 있으며, 이는 통해 아래의 수학적식 27을 얻을 수

있다.

[156] 수학식 27

$$r'_{ST_j, SR_j} = \sqrt{(1 - \alpha_j) P h_{ST_j, SR_j}} x_{s,j} + n_{SR_j}$$

[157] 그러므로, ST_j와 SR_j 사이의 탈성전송 속도는 아래와 같이 주어질 수 있다.

[158] 수학식 28

$$R_{ST_j, SR_j} = \frac{1}{N+1} \log_2 \left(1 + \bar{\gamma} (1 - \alpha_j) |h_{ST_j, SR_j}|^2 \right)$$

[159] 수학식 28을 통해 노드 SR_j가 올바르게 못하게 x_{s,j}를 회수하는 경우를 나타낼 수 있으며, 이는 수학식 29에서 보여진다.

[160] 수학식 29

$$P_{SR_j}^{out, x_{s,j}} = \Pr(R_{ST_j, SR_j} < R) = 1 - \exp \left(- \frac{\lambda_{ST_j, SR_j} \rho}{(1 - \alpha_j)} \right)$$

[161] 만일 SR_j 또는 ST_j가 정확하게 x_p를 복호하지 못하거나 ST_j-SR_j 링크가 중단 상태에 있으며, SR_j는 x_{s,j}를 성공적으로 회수할 수 없다. 그러므로, 수학식 18, 22 내지 24으로부터 SR_j에서 전체 중단 확률은 아래와 같이 나타낼 수 있다.

[162] 수학식 30

$$P_{SR_j}^{out} = \sum_{D_j} P(D_j) \times P(F_j) \times \left[1 - (1 - P_{ST_j}^{out, x_p}) (1 - P_{SR_j}^{out, x_p}) (1 - P_{SR_j}^{out, x_{s,j}}) \right]$$

[163] 만일, 서브 노드 시스템의 중단 확률을 정의한 것이 모든 서브 소스 노드들이 중단 상태에 있는 확률과 동일하다면, 아래의 수학식을 얻을 수 있다.

[164] 수학식 31

$$P_{\text{Secondary}}^{out} = \prod_{j=1}^N P_{SR_j}^{out}$$

[165] 메인 소스 노드 링크를 고려하면, 소스 노드 신호를 성공적으로 복호하는 집합 D와 성공적으로 복호하지 못하는 집합 F를 가지는 서브 소스 노드의 집합을 정의할 수 있다. 각각을 $0 \leq n \leq N$, $1 \leq k_1 < \dots < k_n \leq N$ 및 $1 \leq l_1 < \dots < l_{(N-n)} \leq N$ 을 만족하는 $D = \{ST_{k1}, ST_{k2}, \dots, ST_{kn}\}$, $F = \{ST_{l1}, ST_{l2}, \dots, ST_{l(N-n)}\}$ 으로 가정하면, 수학식 18, 22 및 23과 유사하게 아래의 수학식을 얻을 수 있다.

[166] 수학식 32

$$P(D) = \prod_{m=1}^n \left[1 - \left(1 - \exp(-\lambda_{\text{ST}_{k_m}, \text{PR}} \rho) \right) \prod_{g=1}^{m-1} F_{\gamma_{\text{ST}_{k_g}, \text{PR}}}(\tau) \right]$$

[167] 수학식 33

$$P(F) = \prod_{b=1}^{N-n} \left[\left(1 - \exp(-\lambda_{\text{PT}, \text{ST}_{l_b}} \rho) \right) \prod_{g=1}^{m-1} F_{\gamma_{\text{ST}_{k_g}, \text{ST}_{l_b}}}(\tau) \right]$$

[168] 수학식 34

$$P_{\text{PR}}^{\text{out}} = \left(1 - \exp(-\lambda_{\text{PT}, \text{PR}} \rho) \right) \prod_{g=1}^n F_{\gamma_{\text{ST}_{k_g}, \text{PR}}}(\tau)$$

[169] 전확률 이론(total probability theorem)을 이용하면, 메인 소스 노드 및 메인 목적지 노드 사이의 평균 중단 확률은 아래와 같이 나타낼 수 있다.

[170] 수학식 35

$$P_{\text{Primary}}^{\text{out}} = \sum_D P(D) \times P(F) \times P_{\text{PR}}^{\text{out}}$$

[171] 이하에서는, 본 발명의 일 실시 예에 따른 협력 통신 시스템의 다이버시티 이득을 이론적으로 산출하여 본다.

[172] 노드 $\text{ST}_j (1 \leq j \leq N)$ 는 전송 전력 P 를 α_j 와 $1-\alpha_j$ 로 분할하여 메인 노드 소스의 신호와 자신이 전송하고자 하는 신호에 할당한다. 만일 α_j 가

$$\frac{\alpha_j}{1 - \alpha_j} \leq \tau$$

를 만족하면, ST_j 는 논-다이버시티 서브 소스 노드(non-diversity relay)로 언급된다. 만일 N 개의 서브 소스 노드 중에서 q 개의 논-다이버시티 서브 소스 노드가 존재하면, 메인 소스 노드를 위한 달성가능한 다이버시티 이득은 $N+1-q$ 가 될 수 있다. 이하에서 이를 증명하여 본다.

[173] 이를 위해, $D = \{\text{ST}_{k_1}, \text{ST}_{k_2}, \dots, \text{ST}_{k_n}\}$, $F = \{\text{ST}_{l_1}, \text{ST}_{l_2}, \dots, \text{ST}_{l_{N-n}}\}$ 이고, 집합 D 에 $w (0 \leq w \leq n)$ 개의 논-다이버시티 서브 소스 노드, 집합 F 에 $q-w$ 개의 논-다이버시티 서브 소스 노드가 존재한다고 가정한다. 수학식 16 및 32로부터, 높은(high) SNR

$\overline{\gamma}$

에서, 수학식 32 내지 34에서의

$$P(D)$$

,

$$P(F)$$

및

$$P_{\text{PR}}^{\text{out}}$$

는 각각 아래와 같이 나타낼 수 있다.

[174] 수학식 36

$$P(D) \approx 1$$

[175] 수학식 37

$$P(F) \approx \begin{cases} c_{1,D} (\bar{\gamma})^{-(N-n)} ; & \text{if } m \leq w+1 \\ c_{2,D} (\bar{\gamma})^{-(N-n)(m-w)} ; & \text{if } m > w+1 \end{cases}$$

[176] 수학식 38

$$P_{\text{PR}}^{\text{out}} \approx c_{3,D} (\bar{\gamma})^{-(n-w+1)}$$

[177] 여기서,

$$c_{1,D} = \prod_{b=1}^{N-n} \lambda_{\text{PT}, \text{ST}_{ib}} \tau$$

,

$$c_{2,D} = \prod_{b=1}^{N-n} \lambda_{\text{PT}, \text{ST}_{ib}} \tau \prod_{g=w+1}^{m-1} \frac{\lambda_{\text{ST}_{k_g}, \text{ST}_{ib}} \tau}{\alpha_{k_g} - (1 - \alpha_{k_g}) \tau}$$

,

$$c_{3,D} = \lambda_{\text{PT}, \text{PR}} \tau \prod_{g=w+1}^n \frac{\lambda_{\text{ST}_{k_g}, \text{PR}} \tau}{\alpha_{k_g} - (1 - \alpha_{k_g}) \tau}$$

이다.

[178] 수학식 36 내지 38에 따라, D의 가능한 집합 각각을 위한 메인 소스 링크의 중단

확률은 아래와 같이 근사화할 수 있다.

[179] 수학식 39

$$P(D) \times P(F) \times P_{\text{PR}}^{\text{out}} \approx \begin{cases} c_{1,D} c_{3,D} (\bar{\gamma})^{-(N-w+1)} & \text{if } m \leq w+1 \\ c_{1,D} c_{3,D} (\bar{\gamma})^{-(N-n)(m-w)-(n-w+1)} & \text{if } m > w+1 \end{cases}$$

[180] 게다가, 이 경우에는 모든 서브 소스 노드는 성공적으로 복호할 수 있거나 또는 $D=\{ST_{k1}, ST_{k2}, \dots, ST_{kn}\}$, $F=\{\Phi\}$ 이므로, 중단 확률은 아래와 같이 나타낼 수 있다.

[181] 수학식 40

$$P(D) \times P(F) \times P_{\text{PR}}^{\text{out}} = (1 - \exp(-\lambda_{\text{PT,PR}} \rho)) \prod_{j=1}^N (1 - \exp(-\lambda_{\text{ST}_j, \text{PR}} \rho))$$

[182] 높은 SNR

$$\bar{\gamma}$$

에서 상술한 수학식 39는 아래와 같이 근사화 가능하다.

[183] 수학식 41

$$P(D) \times P(F) \times P_{\text{PR}}^{\text{out}} \approx c_{4,D} (\bar{\gamma})^{-(N-q+1)}$$

[184] 여기서,

$$c_{4,D} = \lambda_{\text{PT,PR}} \tau \prod_{j=q+1}^N (\lambda_{\text{ST}_j, \text{PR}} \tau)$$

이다.

[185] 게다가, 게다가, $(N-n)(m-w)+n-w+1 \geq N-w+1 \geq N-q+1$ 로 나타낼 수 있으므로, 수학식 35, 39 및 41으로부터 높은 SNR

$$\bar{\gamma}$$

에서

$$P_{\text{Primary}}^{\text{out}}$$

를 아래와 같이 근사할 수 있다.

[186] 수학식 42

$$P_{\text{Primary}}^{\text{out}} = \sum_D P(D) \times P(F) \times P_{\text{PR}}^{\text{out}} \approx c(\bar{\gamma})^{-(N-q+1)}$$

[187] 여기서, c는 상수(constant)이다.

[188] 이에 따라, 다이버시티 이득은 아래와 같이 나타낼 수 있게 된다.

[189] 수학적식 43

$$\text{Diversity order} = \lim_{\gamma \rightarrow \infty} - \frac{\log(P_{\text{Primary}}^{\text{out}})}{\log(\bar{\gamma})} = \lim_{\gamma \rightarrow \infty} - \frac{\log\left(c(\bar{\gamma})^{-(N-q+1)}\right)}{\log(\bar{\gamma})} = N - q + 1$$

[190] 이하에서는, 서브 노드 시스템에서 얻을 수 있는 다이버시티 이득에 대해 알아본다. 본 발명의 일 실시 예에 따른 협력 중계 시스템에서 각각의 서브 노드에서는 1의 다이버시티 이득을 얻을 수 있으며, 서브 노드 시스템에서는 N의 다이버시티 이득을 얻을 수 있게 된다. 이를 첨부된 수학적식과 함께 이를 증명하여 본다.

[191] 이를 위해, $D=\{ST_{k1}, ST_{k2}, \dots, ST_{kn}\}$, $F=\{ST_{l1}, ST_{l2}, \dots, ST_{lN-n}\}$ 이고, 집합 D에 $w(0 \leq w \leq n)$ 개의 논-다이버시티 서브 소스 노드가 존재하면, $D=\{ST_{k1}, ST_{k2}, \dots, ST_{kw}\}$ 라고 가정할 수 있다.

[192] 먼저, 높은 SNR

$$\bar{\gamma}$$

에서 수학적식 18, 22를 근사화하면 아래와 같다.

[193] 수학적식 44

$$P(D_j) \approx 1$$

[194] 수학적식 45

$$P(F_j) \approx \begin{cases} c_{1,D_j} (\bar{\gamma})^{-(j-n-1)}; & \text{if } m \leq w+1 \\ c_{2,D_j} (\bar{\gamma})^{-(j-n-1)(m-w)}; & \text{if } m > w+1 \end{cases}$$

[195] 여기서,

$$c_{1,D_j} = \prod_{b=1}^{j-n-1} \lambda_{\text{PI}, S\Gamma_{l_b}} \tau, \quad c_{2,D_j} = \prod_{b=1}^{j-n-1} \lambda_{\text{PT}, ST_{l_b}} \tau \prod_{g=w+1}^n \frac{\lambda_{ST_{k_g}, ST_{l_b}} \tau}{\alpha_{k_g} - (1 - \alpha_{k_g}) \tau}$$

이다. 다음으로, 수학적식 23, 24 및 29로부터, 수학적식 29의

$$1 - \left(1 - P_{ST_j}^{\text{out}, x_p}\right) \left(1 - P_{SR_j}^{\text{out}, x_p}\right) \left(1 - P_{SR_j}^{\text{out}, x_{s,j}}\right)$$

는 아래와 같이 근사화될 수 있다.

[196] 수학식 46

$$1 - \left(1 - P_{ST_j}^{\text{out}, x_p}\right) \left(1 - P_{SR_j}^{\text{out}, x_p}\right) \left(1 - P_{SR_j}^{\text{out}, x_{s,j}}\right) \approx \begin{cases} c_{3,D_j} (\bar{\gamma})^{-1}; & \text{if } m \leq w+1 \\ c_{4,D_j} (\bar{\gamma})^{-1}; & \text{if } m > w+1 \end{cases}$$

[197] 여기서,

$$c_{3,D_j} = \left(\lambda_{PT,ST_j} + \lambda_{PT,SR_j} + \frac{\lambda_{ST_j,SR_j}}{1 - \alpha_j} \right) \tau$$

,

$$c_{4,D_j} = \frac{\lambda_{ST_j,SR_j} \tau}{1 - \alpha_j}$$

이다.

[198] 수학식 44 내지 46으로부터, 가능한 집합 D_j 각각의 중단 확률은 아래와 같이 표현될 수 있다.

[199] 수학식 47

$$P(D_j)P(F_j) \left[1 - \left(1 - P_{ST_j}^{\text{out}, x_p}\right) \left(1 - P_{SR_j}^{\text{out}, x_p}\right) \left(1 - P_{SR_j}^{\text{out}, x_{s,j}}\right) \right] \approx \begin{cases} c_{1,D_j} c_{3,D_j} (\bar{\gamma})^{-(j-n)}; & \text{if } m \leq w+1 \\ c_{2,D_j} c_{4,D_j} (\bar{\gamma})^{-(j-n-1)(m-w)-1}; & \text{if } m > w+1 \end{cases}$$

[200] 2^{j-1} 의 가능한 집합 D_j 에서, 모든 노드 $ST_1, ST_2, \dots, ST_{j-1}$ 은 성공적으로 복호할 수 있으므로, $n=j-1$ 이고 수학식 47은 아래와 같이 나타낼 수 있다.

[201] 수학식 48

$$P(D_j)P(F_j) \left[1 - \left(1 - P_{ST_j}^{\text{out}, x_p}\right) \left(1 - P_{SR_j}^{\text{out}, x_p}\right) \left(1 - P_{SR_j}^{\text{out}, x_{s,j}}\right) \right] \approx \begin{cases} c_{1,D_j} c_{3,D_j} (\bar{\gamma})^{-1}; & \text{if } m \leq w+1 \\ c_{2,D_j} c_{4,D_j} (\bar{\gamma})^{-1}; & \text{if } m > w+1 \end{cases}$$

[202] 집합 D_j 의 모든 경우에서, $(j-n-1)(m-w)+1 \geq j-n \geq 1$ 이고, 그러므로, 높은 SNR

$\bar{\gamma}$

에서 수학식 29에서의 ST_j - SR_j 의 중단 확률

$P_{SR_j}^{\text{out}}$

은 아래와 같이 나타낼 수 있다.

[203] 수학식 49

$$P_{SR_j}^{out} \approx c_j (\bar{\gamma})^{-1}$$

[204] 여기서, c_j 는 상수이다.

[205] 그러므로, 수학식 21에서의 서브 노드의 중단 확률은 아래와 같이 표현될 수 있다.

[206] 수학식 50

$$P_{Secondary}^{out} = \prod_{j=1}^N P_{SR_j}^{out} \approx (\bar{\gamma})^{-N} \prod_{j=1}^N c_j$$

[207] 따라서, 서브 노드 한 쌍인 ST_j - SR_j 과 N 개의 쌍을 가지는 서브 노드 시스템의 다이버시티 이득은 각각 1과 N 으로 결정될 수 있게 된다.

[208] 이하에서는, 본 발명의 일 실시 예에 따른 송, 수신 장치의 시뮬레이션 결과를 첨부된 도면과 함께 설명한다. 이를 위해, 몬테 카를로(Monte-Carlo) 시뮬레이션을 사용하며, 서브 소스 노드는 메인 소스 노드와 메인 목적지 노드 사이에 배치되며, 서브 소스 노드와 메인 송신 노드 사이의 거리는 1로 정규화한다(normalize). 게다가, 복수의 서브 소스 노드들에서 각 서브 소스 노드와 메인 소스 노드 사이의 거리는 $j/(N+1)$ 이며(여기서, j 는 서브 노드의 인덱스를 의미한다), 각 노드 사이의 경로 손실(β)은 3, 타겟 속도는 1로 설정하였다.

[209] 도 6은 본 발명의 일 실시 예에 따른, 서브 소스 노드의 평균 SNR을 dB에 대한 중단 확률로 나타낸 그래프이다. 본 시뮬레이션에서, 서브 소스 노드 개수(N)는 0-3으로 변화하며, 메인 소스 노드의 전송 신호에 대한 전력 가중치(α)는 0.95이다. 여기서, $N=0$ 인 경우는 메인 소스 노드가 서브 소스 노드의 도움 없이 직접 메인 목적지 노드로 신호를 전송하는 것을 의미하며, N 의 값이 커질수록, 메인 소스 노드가 전송하는 신호에 대해 중계 역할을 하는 서브 소스 노드의 개수가 증가하는 것을 의미한다. 도 6를 참조하면, 메인 소스 노드가 서브 소스 노드의 도움 없이 직접 신호를 전송할 때보다, 서브 소스 노드에 의해 협력을 받는 경우에서 더 높은 SNR를 가지는 것을 알 수 있다.

[210] 도 7은 본 발명의 일 실시 예에 따른, 복수의 서브 소스 노드에서 메인 소스 노드의 전송 신호와 서브 소스 노드의 전송 신호를 결합함에 있어서, 메인 소스 노드의 전송 신호와 서브 소스 노드의 전송 신호 각각에 대응하는 전력 가중치를 변화시키는 경우에 따른 중단 확률에 대한 그래프이다. 도 7을 참조하면, 본 발명의 일 실시 예에 따른, 협력 통신 시스템은 $[\alpha_1, \alpha_2]=[0.8, 0.8]$ 인 경우에 나쁜

동작 성능을 나타내는 것을 알 수 있다. 이는

$$\tau > \frac{\alpha_1}{1 - \alpha_1}$$

이고,

$$\tau > \frac{\alpha_2}{1 - \alpha_2}$$

이고, 이에 따라 본 경우에서 달성 다이버시티 차수는 1과 같이 때문이다.

하지만, 본 발명의 일 실시 예에 따른, 협력 통신 시스템은 $[\alpha_1, \alpha_2] = [0.9, 0.8]$ (또는 $[\alpha_1, \alpha_2] = [0.8, 0.9]$) 인 경우,

$$\tau < \frac{\alpha_1}{1 - \alpha_1}$$

(또는

$$\tau < \frac{\alpha_2}{1 - \alpha_2}$$

) 이기 때문에, 본 경우에서의 다이버시티 차수는 서브 소스 노드의 도움으로 1보다 크게 된다. 또한, $[\alpha_1, \alpha_2] = [0.9, 0.9]$ 인 경우, 높은 SNR 영역에서 달성할 수 있는 다이버시티 이득의 3이기 때문에, 가장 좋은 동작 성능을 가지게 된다.

[211] 도 8 및 도 9는 본 발명의 일 실시 예에 따른, 협력 통신 시스템에서의 중단 확률을 이론적인 계산 값과 시뮬레이션 결과 값을 비교한 그래프이다.

[212] 도 8에서, 서브 소스 노드 및 서브 목적지 노드는 3쌍으로 구성되는 것으로 가정하였으며, 각각의 서브 소스 노드는 동일한 전력 가중치(α)에 의해 메인 소스 노드의 전송 신호와 각각의 서브 소스 노드의 전송 신호를 결합하는 것으로 가정한다. 도 8에서와 같이, 전력 가중치의 값(α)이 감소할수록 서브 소스 노드의 동작 성능은 증가한다. 이는 서브 소스 노드의 전송 신호에 부여되는 전력 가중치 값($1 - \alpha$)이 증가하기 때문이다. 게다가, 시뮬레이션과 이론적인 계산은 서로 잘 부합되는 것을 알 수 있다. 도 9에서 서브 소스 노드의 개수는 4개이며, 전력 가중치 값(α)은 변화한다. 이를 통해 전력 가중치 값(α)의 변화에 따른 중단 확률의 변화를 볼 수 있으며, 다이버시티 이득은 4로 서로 동일하다.

[213] 도 10 및 도 12는 본 발명의 일 실시 예에 따른, 각각의 서브 소스 노드 및 서브 목적지 노드의 중단 확률을 도시한 그래프이다. 이를 통해 이론적인 결과와 시뮬레이션 결과는 매우 동일한 값을 나타내는 것을 알 수 있으며, $\alpha_j (1 \leq \alpha_j \leq 3)$ 이 감소할수록 서브 소스 노드 및 서브 목적지 노드의 동작 성능은 증가하는 것을

알 수 있다. 게다가, 첫 번째 서버 소스 노드 및 서버 목적지 노드는 α_2, α_3 에 의존하기 않으며, 두 번째 서버 소스 노드 및 서버 목적지 노드는 α_1 에 의존하고, 세 번째 서버 소스 노드 및 서버 목적지 노드는 α_1 및 α_2 에 의존하는 것을 알 수 있다.

- [214] 또한, 이상에서는 본 발명의 바람직한 실시 예에 대하여 도시하고 설명하였지만, 본 발명은 상술한 특징의 실시 예에 한정되지 아니하며, 청구범위에서 청구하는 본 발명의 요지를 벗어남이 없이 당해 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진자에 의해 다양한 변형실시가 가능한 것은 물론이고, 이러한 변형실시들은 본 발명의 기술적 사상이나 전망으로부터 개별적으로 이해되어져서는 안 될 것이다.

[215]

청구범위

[청구항 1]

복수의 노드를 포함하는 협력 통신 시스템에서의 자원 공유 방법에 있어서,
메인 소스 노드가 기 설정된 주파수 대역의 제1 타임 슬롯을 통해 제1 신호를 브로드캐스트하는 단계;
서브 소스 노드가 상기 신호를 수신하여 자신이 전송하고자 하는 제2 신호와 결합하고, 상기 결합된 결합 신호를 상기 기 설정된 주파수 대역의 제2 타임 슬롯을 통해 브로드캐스트하는 단계; 및
상기 메인 소스 노드에 대응되는 메인 목적지 노드가 상기 제1 타임 슬롯을 통해 전송된 상기 제1 신호 및 상기 제2 타임 슬롯을 통해 전송된 상기 결합 신호를 수신하여 처리하고, 상기 서브 소스 노드에 대응되는 서브 목적지 노드가 상기 결합 신호를 수신하여 상기 제2 신호를 처리하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 협력 통신 시스템에서의 자원 공유 방법.

[청구항 2]

제1항에 있어서,
상기 서브 소스 노드 및 상기 서브 목적지 노드는 각각 서로 대응되는 복수의 쌍으로 이루어진 것을 특징으로 하는 협력 통신 시스템에서의 자원 공유 방법.

[청구항 3]

제2항에 있어서,
복수의 상기 서브 소스 노드는 상기 제1 타임 슬롯 이후의 타임 슬롯들을 순차적으로 이용하여, 각각이 전송하고자 하는 신호와 상기 제1 신호가 결합된 결합 신호를 전송하고,
상기 복수의 서브 소스 노드에 대응되는 복수의 상기 서브 목적지 노드는 각 타임 슬롯을 통해 전송되는 결합 신호를 수신하여 대응되는 서브 소스 노드의 신호를 처리하는 것을 특징으로 하는 협력 통신 시스템에서의 자원 공유 방법.

[청구항 4]

제1항에 있어서,
상기 결합 신호는,
아래의 수학 식과 같이, 상기 제1 신호 및 상기 제2 신호 각각에 대응하는 전력 가중치를 적용하여, 상기 제1 신호 및 상기 제2 신호를 선형적으로 결합하는 것을 특징으로 하는 협력 통신 시스템에서의 자원 공유 방법:

$$x_c = \sqrt{\alpha P} x_p + \sqrt{(1-\alpha)P} x_s$$

여기서, x_p 는 상기 메인 소스 노드에서 전송한 제1 신호, x_s 는 상기 서브 소스 노드에서 전송하고자 하는 제2 신호, P 는 상기 서브 노드의 전송 전력, α 및 $1-\alpha$ 는 전송 전력의 분할 계수, x_c 는 상기 제1

[청구항 5]

신호 및 상기 제2 신호가 결합된 결합 신호이다.

메인 소스 노드로부터 전송된 신호를 중계하는 서브 소스 노드의 자원 공유 방법에 있어서,

상기 서브 소스 노드가 기설정된 주파수 대역의 제1 타임 슬롯을 통해 상기 메인 소스 노드로부터 브로드캐스트된 제1 신호를 수신하는 단계;

상기 서브 소스 노드가 상기 수신된 제1 신호 및 자신이 전송하고자 하는 제2 신호 각각에 대응하는 전력 가중치를 적용하여 상기 제1 신호 및 상기 제2 신호를 선형적으로 결합하는 단계; 및

상기 서브 소스 노드가 상기 결합된 결합 신호를 기설정된 주파수 대역의 제2 타임 슬롯을 통해 브로드캐스트하는 단계;를 포함하는 자원 공유 방법.

[청구항 6]

제5항에 있어서,

상기 결합하는 단계는,

아래의 수학 식을 이용하여 상기 제1 신호 및 상기 제2 신호를 결합하는 것을 특징으로 하는 신호 처리 방법:

$$x_c = \sqrt{\alpha P} x_p + \sqrt{(1-\alpha)P} x_s$$

여기서, x_p 는 상기 메인 소스 노드에서 전송한 제1 신호, x_s 는 상기 서브 소스 노드에서 전송하고자 하는 제2 신호, P 는 상기 서브 노드의 전송 전력, α 및 $1-\alpha$ 는 전송 전력의 분할 계수, x_c 는 상기 제1 신호 및 상기 제2 신호가 결합된 결합 신호이다.

[청구항 7]

메인 소스 노드에 의해 전송된 신호를 복수의 서브 소스 노드를 통해 수신하는 메인 목적지 노드의 자원 공유 방법에 있어서,

상기 메인 목적지 노드가 기설정된 주파수 대역의 제1 타임 슬롯을 통해 메인 소스 노드로부터 브로드캐스트된 제1 신호를 수신하는 단계; 및

상기 메인 목적지 노드가 상기 기 설정된 주파수 대역의 제2 타임 슬롯을 통해 상기의 서브 소스 노드가 전송한 결합 신호를 수신하여 처리하는 단계;를 포함하며,

상기 결합 신호는, 상기 서브 소스 노드가 상기 제1 신호를 수신하여 자신이 전송하고자 하는 제2 신호와 결합한 결합 신호인 것을 특징으로 하는 메인 목적지 노드의 자원 공유 방법.

[청구항 8]

제7항에 있어서,

상기 결합 신호는,

아래의 수학식을 이용하여 산출되는 것을 특징으로 하는 신호 처리 방법:

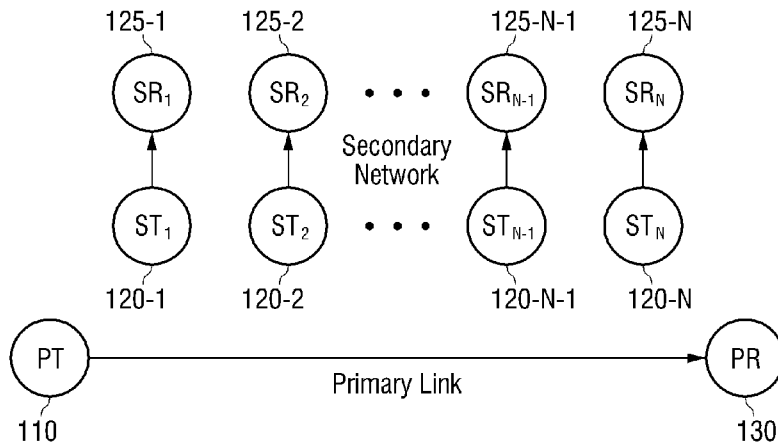
$$x_c = \sqrt{\alpha P} x_p + \sqrt{(1-\alpha)P} x_s$$

여기서, x_p 는 상기 메인 소스 노드에서 전송한 제1 신호, x_s 는 상기 서브 소스 노드에서 전송하고자 하는 제2 신호, P 는 상기 서브 노드의 전송 전력, α 및 $1-\alpha$ 는 전송 전력의 분할 계수, x_c 는 상기 제1 신호 및 상기 제2 신호가 결합된 결합 신호이다.

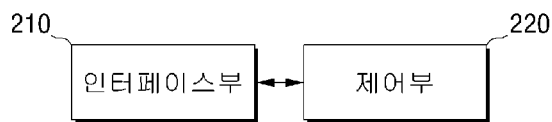
[청구항 9]

기 설정된 주파수 대역의 제1 타임 슬롯을 통해 메인 소스 노드가 브로드캐스팅한 제1 신호를 수신하는 인터페이스부;
전송하고자 하는 신호 및 상기 제1 신호를 결합하여 결합 신호를 생성하고, 상기 결합 신호를 상기 주파수 대역의 제2 타임 슬롯을 통해 브로드캐스팅하도록 상기 인터페이스부를 제어하는 제어부;를 포함하는 노드 장치.

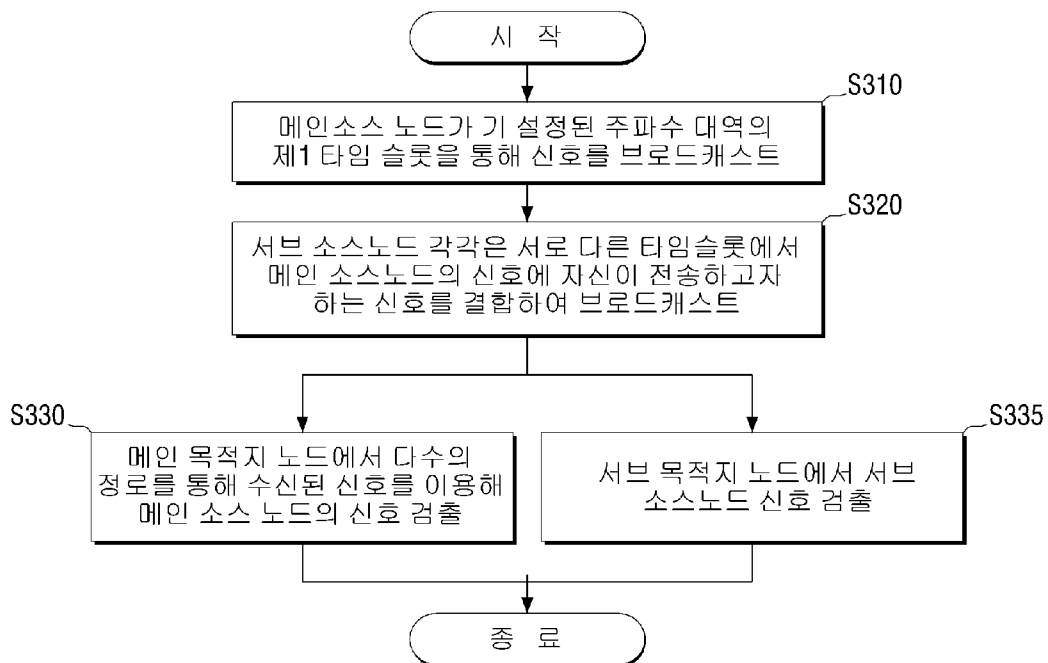
[Fig. 1]



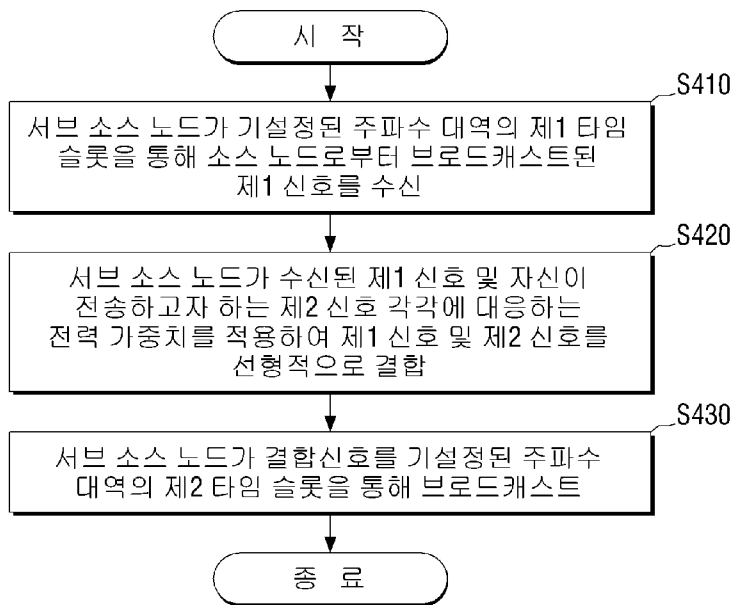
[Fig. 2]



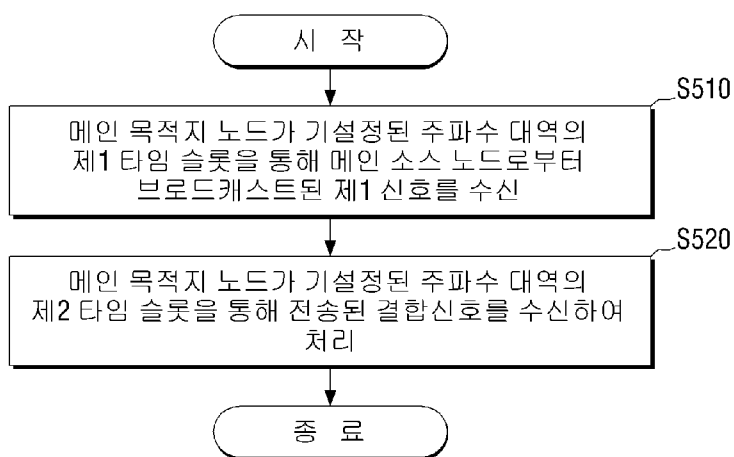
[Fig. 3]



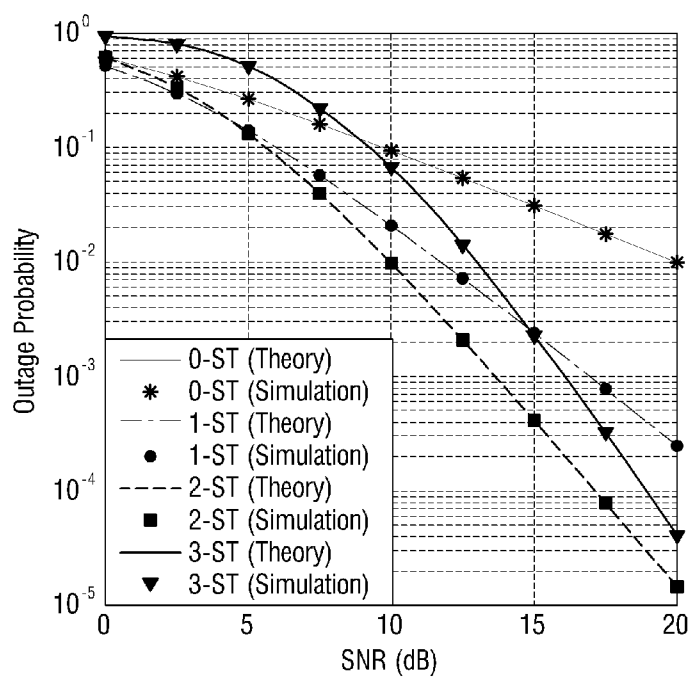
[Fig. 4]



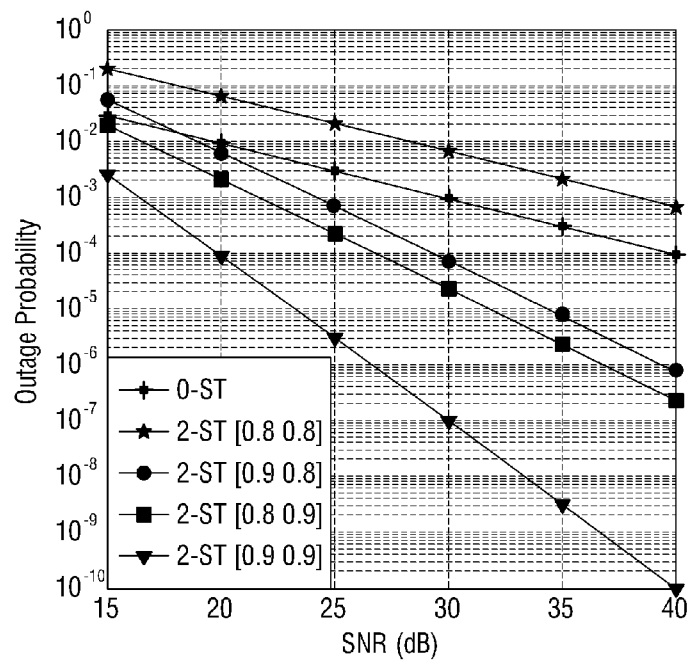
[Fig. 5]



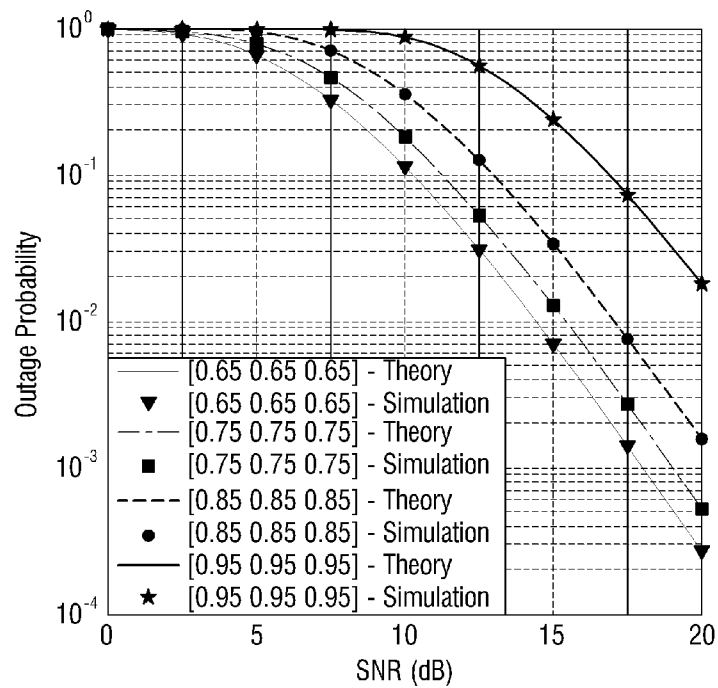
[Fig. 6]



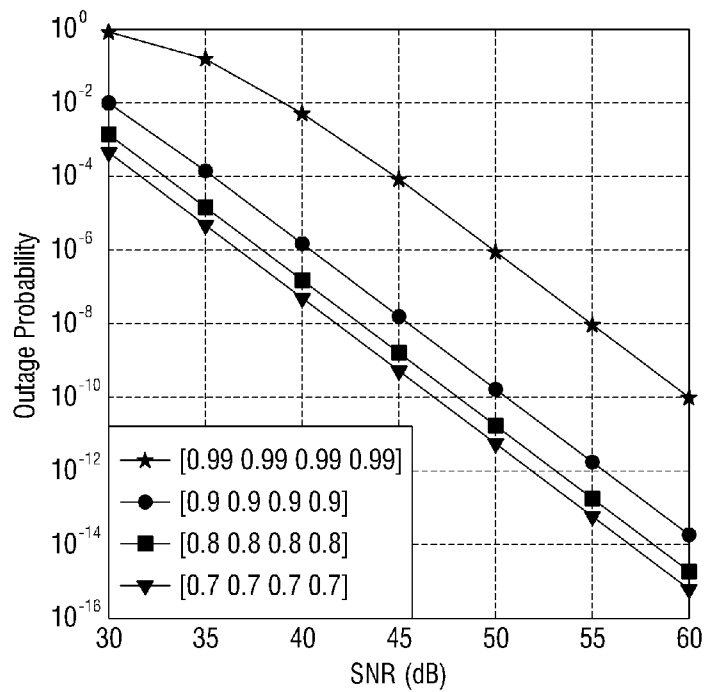
[Fig. 7]



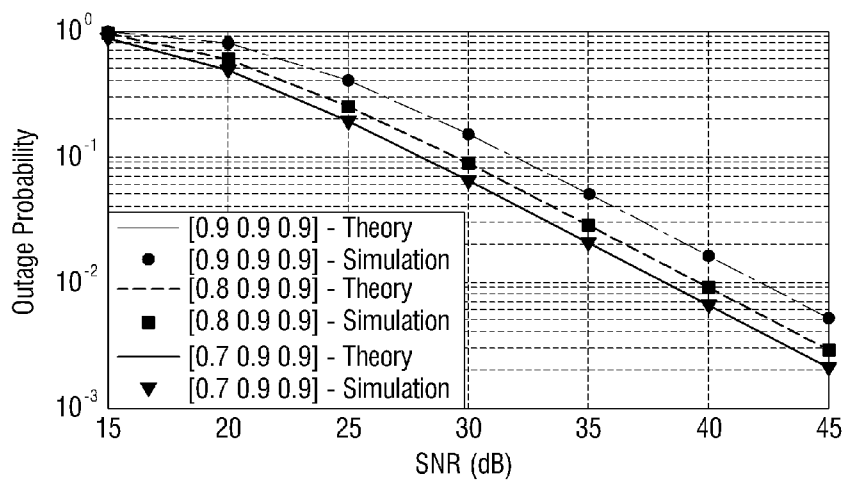
[Fig. 8]



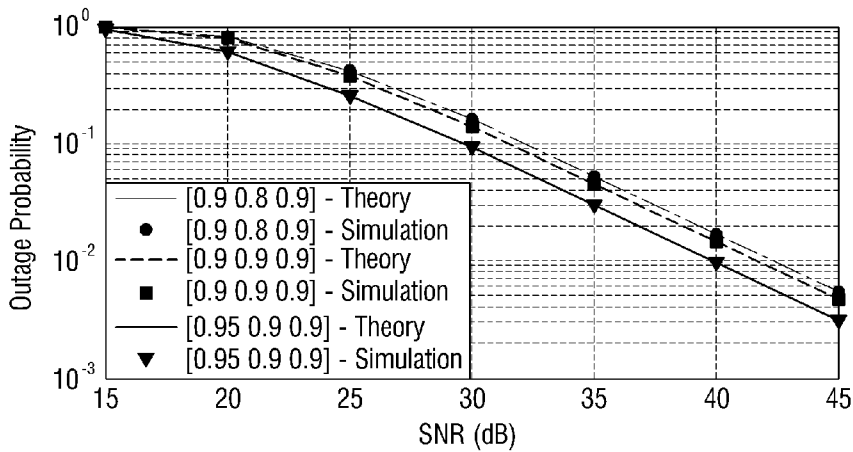
[Fig. 9]



[Fig. 10]



[Fig. 11]



[Fig. 12]

