

(12) 특허협력조약에 의하여 공개된 국제출원

(19) 세계지식재산권기구
국제사무국

(43) 국제공개일

2023년 6월 15일 (15.06.2023)



(10) 국제공개번호

WO 2023/106497 A1

(51) 국제특허분류:

H02J 50/20 (2016.01)

H04W 40/12 (2009.01)

H04W 40/10 (2009.01)

(21) 국제출원번호:

PCT/KR2021/019294

(22) 국제출원일:

2021년 12월 17일 (17.12.2021)

(25) 출원언어:

한국어

(26) 공개언어:

한국어

(30) 우선권정보:

10-2021-0176887 2021년 12월 10일 (10.12.2021) KR

(71) 출원인: 한밭대학교 산학협력단 (HANBAT NATIONAL UNIVERSITY INDUSTRY-ACADEMIC COOPERATION FOUNDATION) [KR/KR]; 34158 대전시 유성구 동서대로 125, Daejeon (KR).

(72) 발명자:

오포리-아만포콰아조 보아텡 (OFORI-AMAFO, Kwadwo Boateng); 34154 대전시 유성구 동서대로 158-11, A동 103호, Daejeon (KR). 이경재 (LEE, Kyoung-Jae); 34090 대전시 유성구 노은동로 111, 1010동 701호, Daejeon (KR).

(74) 대리인:

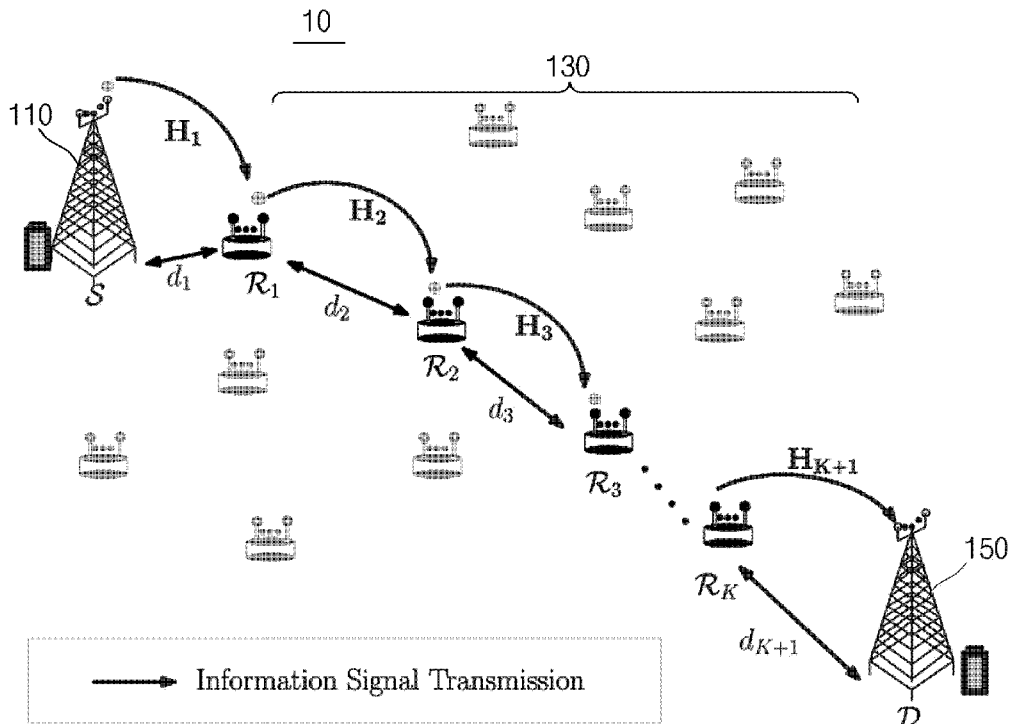
이은철 (LEE, Un Cheol); 05836 서울시 송파구 법원로11길 25, A동 714호 5T국제특허법률사무소, Seoul (KR).

(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, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD,

(54) Title: MULTI-HOP RELAY WIRELESS COMMUNICATION SYSTEM AND METHOD FOR MINIMIZING SOURCE TRANSMISSION POWER

(54) 발명의 명칭: 소스 전송 전력을 최소화하는 멀티 홉 릴레이 방식의 무선 통신 시스템 및 방법



(57) Abstract: The present invention relates to a multi-hop relay wireless power transmission system comprising a source node, a plurality of relay nodes which simultaneously beamform power and information by using a multi-hop method, and a destination node, wherein each of the relay nodes includes: a reception unit which receives an RF signal of the source node; a control unit which splits power and information from the received RF signal at a power split (PS) ratio or a time split (TS) ratio for energy harvesting (EH) and information decoding (ID); and a transmission unit which sequentially beamforms the power and information split by the control unit to a next relay node, and the control unit selects a next relay node that may be routed by the shortest path having the maximum channel gain and the minimum number of nodes according to energy and rate constraints, by using inverse average inter-node channel gains (IAICG).



WO 2023/106497 A1

SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ,
UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 역
내 권리의 보호를 위하여): ARIPO (BW, GH, GM, KE,
LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM,
ZW), 유라시아 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 유
럽 (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, KM, ML,
MR, NE, SN, TD, TG).

규칙 4.17에 의한 선언서:

— 신규성을 해치지 아니하는 개시 또는 신규성 상실의 예
외에 관한 선언 (규칙 4.17(v))

공개:

— 국제조사보고서와 함께 (조약 제21조(3))

(57) 요약서: 본 발명은, 소스 노드, 멀티홉 방식으로 전력 및 정보를 동시에 빔포밍을 수행하는 다수의 릴레이 노드,
및 목적지 노드를 포함하는 멀티 홉 중계 방식의 무선 전력 전송 시스템이 있어서, 상기 릴레이 노드는, 소스 노드의
RF 신호를 수신하는 수신부; 수신된 RF 신호에서 에너지 수확(EH) 및 정보 디코딩(ID)에 대한 전력분할 비율(PS ratio)
또는 시간분할 비율(TS ratio)로 전력 및 정보를 분할하는 제어부; 및 상기 제어부에서 분할된 전력 및 정보를 다음
릴레이 노드로 순차 빔포밍하는 송신부를 포함하고, 상기 제어부는, 역 평균 노드 간 채널 이득(inverse average inter-node
channel gains, IAICG)를 이용하여, 에너지 및 비율(rate) 제약 조건에 따라 최대의 채널 이득과 최소의 노드 수를 갖는
최단 경로로 라우팅할 수 있는 다음 릴레이 노드를 선택하는 것을 일 특징으로 한다.

명세서

발명의 명칭: 소스 전송 전력을 최소화하는 멀티 홉 릴레이 방식의 무선 통신 시스템 및 방법

기술분야

- [1] 본 발명은 멀티 홉 릴레이 방식의 무선 통신 시스템 및 방법에 관한 것으로서, 특히 멀티 홉 릴레이 방식으로 전력 및 정보 동시전송 빔포밍을 수행함에 있어, 소스 전송 전력을 최소화하는 멀티 홉 릴레이 방식의 무선 통신 시스템 및 방법에 관한 것이다.

배경기술

- [2] 최근 멀티미디어 서비스를 제공하기 위해 전송 데이터의 대용량화 및 데이터 전송의 고속화가 진행되면서 한정된 주파수를 효율적으로 사용할 수 있는 다중 안테나 시스템(MIMO(Multiple Input Multiple Output))의 연구가 활발히 진행되고 있다.
- [3] 이러한 다중 안테나 시스템은 안테나별로 서로 독립적인 채널을 이용하여 데이터를 전송하여 추가적인 주파수나 송신 전력 할당 없이도 단일 안테나 시스템에 비해 전송 신뢰도와 전송률을 증가시킬 수 있다.
- [4] 다중 사용자 환경의 다중 안테나 시스템은 비선형 방식의 프리코딩(Pre-coding) 방식인 더티 페이퍼 코딩(Dirty Paper Coding)을 이용하여 사용자들간 또는 안테나들간 간섭을 제거한다.
- [5] 더티 페이퍼 코딩은 채널에서 잡음 신호 외에 간섭 신호가 존재하는 상황에서 간섭 신호를 전송단이 미리 알고 있을 때, 수신단에서 간섭 신호의 영향을 받지 않도록 하는 전송단에서의 간섭 신호 제거 기법이다. 즉, 신호 A는 사용자 A에게 보내고자 하는 신호라 하고, 신호 B는 사용자 B에게 보내고자 하는 신호라 가정할 때, 신호A를 신호 B와 적절한 연관 관계로부터 먼저 처리하여 잡음과 같은 신호(A')를 만들어서 신호 B와 더해서 채널로 전송한다. 이 신호를 수신한 사용자 B는 원래 신호 B에 채널로부터의 잡음과 처리된 신호(A') 모두 잡음으로 간주하고 복호하면, 사용자 A는 가공된 잡음(A')으로부터 완벽하게 신호 A를 복원해 낼 수 있으며, 이를 더티 페이퍼 코딩이라 한다.
- [6] 이러한 DPC 기술은 셀룰러(Cellular) 이동전화망과 같은 싱글홉(Single-hop) 무선망에서의 MIMO(Multi-Input Multi-Output) 다중안테나 활용 기술로서 개발되었다.
- [7] 그러나 현재의 무선망은 셀룰러 또는 와이파이(WiFi)등과 같이 싱글홉 형태의 무선망이 주류를 이루고 있으나 4G, 와이브로, 메쉬등 차세대 무선망은 멀티홉(Multi-hop) 형태의 망 구성이 필수화되어 가고 있다.
- [8] 이러한 멀티홉 릴레이 방식의 WPCN에서 무선통신 노드가 전력과 정보를 동시에 전송하는 기술을 무선전력 및 정보 동시전송(simultaneous wireless

information and power transfer; SWIPT)이라 한다. WPCN, WPT 및 SWIPT 시스템의 구현과 이러한 시스템의 잠재적 이익을 이용하기 위한 연구개발이 진행되고 있다.

- [9] 최근, SWIPT의 아이디어는 비재생성(non-regenerative) 및 재생성(regenerative) 릴레이 시스템으로 확장되고 있다. 비재생성 릴레이 시스템의 경우, 각 릴레이는 받은 신호를 디코딩하지 않고 그대로 전달한다. 재생성 릴레이 시스템의 경우, 각 릴레이는 받은 신호를 우선 디코딩하고, 디코딩된 메시지를 기반으로 전송신호를 생성한다.
- [10] 비재생성 및 재생성 릴레이 시스템의 협조에 대한 연구는 증폭 후 전달(amplify-and-forward; AF) 및 복호 후 전달(decode-and-forward; DF) 규약으로 집중된다. AF와 DF 시스템에 대해, 시간 전환(time switching; TS)과 전력 분할(power splitting; PS)에 기반한 릴레이 규약이 특별히 연구되고 있다.

[11] [선행기술문헌]

[12] [특허문헌]

[13] 특허문헌1. 한국등록특허 제10-2209990호

발명의 상세한 설명

기술적 과제

- [14] 본 발명은 소스 전송 전력을 최소화하기 위한 최적의 전력분할 비율(PS rate) 또는 시간분할 비율(TS rate)을 도출하는 것을 일 목적으로 한다.
- [15] 또한, 본 발명은 라우팅 경로를 최적화하는 알고리즘을 제공하는 것을 다른 목적으로 한다.

과제 해결 수단

- [16] 상기 목적을 달성하기 위하여 본 발명은, 소스 노드, 멀티홉 방식으로 전력 및 정보를 동시에 빔포밍을 수행하는 다수의 릴레이 노드, 및 목적지 노드를 포함하는 멀티 홉 중계 방식의 무선 전력 전송 시스템이 있어서, 상기 릴레이 노드는, 소스 노드의 RF 신호를 수신하는 수신부; 수신된 RF 신호에서 에너지 수확(EH) 및 정보 디코딩(ID)에 대한 전력분할 비율(PS ratio) 또는 시간분할 비율(TS ratio)로 전력 및 정보를 분할하는 제어부; 및 상기 제어부에서 분할된 전력 및 정보를 다음 릴레이 노드로 순차 빔포밍하는 송신부를 포함하고, 상기 제어부는, 역 평균 노드 간 채널 이득(inverse average inter-node channel gains, IAICG)를 이용하여, 에너지 및 비율(rate) 제약 조건에 따라 최대의 채널 이득과 최소의 노드 수를 갖는 최단 경로로 라우팅할 수 있는 다음 릴레이 노드를 선택하는 것을 일 특징으로 한다.
- [17] 바람직하게는, 상기 제어부는, 최소 소스 전송 전력을 하기 [관계식 1]을 통해 도출할 수 있다.
- [18] [관계식 1]

[19]

$$E_0^{PS,*} = \sum_{k=1}^{K+1} \frac{\beta_k \bar{\gamma}_{th} \sigma_k^2}{\sum_{i=1}^L \Gamma_{k,i}}$$

[20]

(여기서, σ_k^2 는 노이즈 분산, β_k 는 에너지 수확 효율, $\bar{\gamma}_{th}$ 는 요구되는 비율 임계값, $\Gamma_{k,i} \triangleq \prod_{j=1}^{k-1} \beta_j \xi_{k,i}^2$ 을 의미한다.)

[21]

바람직하게는, 상기 제어부는, 소스 전송 전력을 최소화하기 위한 전력분할 비율을 하기 [관계식 2]를 통해 도출할 수 있다.

[22]

[관계식 2]

[23]

$$\rho_k^* = \begin{cases} 1 - \frac{1}{\prod_{j=1}^{k-1} \rho_j} \frac{\frac{\beta_k \bar{\gamma}_{th} \sigma_k^2}{\sum_{i=1}^L \Gamma_{k,i}}}{\sum_{k=1}^{K+1} \frac{\beta_k \bar{\gamma}_{th} \sigma_k^2}{\sum_{i=1}^L \Gamma_{k,i}}}, & \forall k, \\ 0, & k = K + 1 \end{cases}$$

[24]

(여기서, ρ_j 는 전력분할 비율을 의미한다.)

[25]

바람직하게는, 상기 제어부는, 소스 전송 전력을 최소화하기 위한 시간분할 비율을 하기 [관계식 3]의 반복 알고리즘을 통해 도출할 수 있다.

[26]

[관계식 3]

[27]

$$\alpha_k^* = 1 - \left(\left[\prod_{j=1}^{K-1} \alpha_j \right]^{-1} \left[Q^* \frac{\beta_k \sigma_k^2}{\sum_{i=1}^{L_k} \Gamma_{k,i}} \left(2^{\frac{R_{TH,k}}{w_k}} - 1 \right) \right] \right)$$

[28]

(여기서, α_j 는 시간분할 비율, $R_{TH,k}$ 는 비율 임계값, $w_k = (1 - \alpha_k) T_k$ 를 의미한다.)

[29]

바람직하게는, 전력분할 방식의 경우에는 상기 비율 제약 조건은 $R_k^{PS} \geq R_{TH}$ 이고, 상기 에너지 제약 조건은 $E_0^\Omega = E_0^{PS,*} \leq E_{0,max}$ 일 수 있다.

[30]

(여기서, R_k^{PS} 는 달성 가능한 비율(rate), $E_{0,max}$ 는 최대 소스 전력을 의미한다.)

[31]

바람직하게는, 시간분할 방식의 경우에는 상기 비율(rate) 제약 조건은 $R_k^{TS} \geq R_{TH,k}$ 이고, 상기 에너지 제약 조건은 $E_0^\Omega = E_0^{TS,*} \leq E_{0,max}$ 일 수 있다.

[32]

(여기서, R_k^{TS} 는 달성가능한 비율(rate), $E_{0,max}$ 는 최대 소스 전력을 의미한다.)

[33]

또한, 본 발명은 소스 노드, 멀티홉 방식으로 전력 및 정보를 동시에 빔포밍을 수행하는 다수의 릴레이 노드, 및 목적지 노드를 포함하는 전송 시스템의 멀티홉 중계 방식의 무선 전력 전송 방법에 있어서, 상기 릴레이 노드에서 소스 노드의 RF 신호를 수신하는 수신 단계; 수신된 RF 신호에서 에너지 수확(EH) 및 정보 디코딩(ID)에 대한 전력분할 비율(PS ratio) 또는 시간분할 비율(TS ratio)로

전력 및 정보를 분할하는 제어 단계; 및 상기 제어 단계에서 분할된 전력 및 정보를 다음 릴레이 노드로 순차 빔포밍하는 송신 단계를 포함하고, 상기 제어 단계는, 역 평균 노드 간 채널 이득(inverse average inter-node channel gains, IAICG)를 이용하여, 에너지 및 비율(rate) 제약 조건에 따라 최대의 채널 이득과 최소의 노드 수를 갖는 최단 경로로 라우팅할 수 있는 다음 릴레이 노드를 선택하는 것을 다른 특징으로 한다.

발명의 효과

- [34] 본 발명에 따르면, 폐쇄형 비반복 알고리즘을 통해 전력분할 비율(PS rate)을 도출하여 소스 전송 전력을 최소화 할 수 있다는 이점이 있다.
- [35] 또한 본 발명은, 반복 알고리즘을 통해 시간분할 비율(TS rate)을 도출하여 소스 전송 전력을 최소화 할 수 있다는 이점이 있다.
- [36] 또한 본 발명은, Dijkstra 알고리즘(DA)을 기반으로 하는 라우팅 알고리즘을 통해 라우팅 경로를 최적화할 수 있다는 이점이 있다.

도면의 간단한 설명

- [37] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 멀티 홉 릴레이 방식의 무선 통신 시스템의 구성도를 나타낸다.
- [38] 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 릴레이 노드의 구성도를 나타낸다.
- [39] 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 시간분할 비율을 구하기 위한 반복 알고리즘의 수렴 테스트 결과 그래프를 나타낸다.
- [40] 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 서로 다른 SWIPT 체계에 대한 라우팅 경로를 나타낸다($d_T=300m$, $\bar{\gamma}_{th}=10dB$, $L=3$).
- [41] 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 서로 다른 SWIPT 체계에 대한 라우팅 경로를 나타낸다($d_T=50m$, $\bar{\gamma}_{th}=10dB$, $L=2$).
- [42] 도 6은 본 발명의 실시예에 따른 비율 임계값 변화에 대한 최소 전송 전력의 그래프를 나타낸다.
- [43] 도 7은 본 발명의 실시예에 따른 소스-목적지 거리에 대한 최소 전송 전력의 그래프를 나타낸다.
- [44] 도 8은 본 발명의 실시예에 따른 채널 추정 오류에 대한 최소 전송 전력의 그래프를 나타낸다.
- [45] 도 9는 본 발명의 실시예에 따른 안테나의 수에 대한 최소 전송 전력의 그래프를 나타낸다.
- [46] 도 10은 본 발명의 실시예에 따른 각 노드에서 수확되는 최소 에너지를 나타낸다.

발명의 실시를 위한 최선의 형태

- [47] 이하, 첨부된 도면들에 기재된 내용들을 참조하여 본 발명을 상세히 설명한다. 다만, 본 발명이 예시적 실시 예들에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다. 각 도면에 제시된 동일 참조부호는 실질적으로 동일한 기능을 수행하는 부재를

나타낸다.

- [48] 본 발명의 목적 및 효과는 하기의 설명에 의해서 자연스럽게 이해되거나 보다 분명해 질 수 있으며, 하기의 기재만으로 본 발명의 목적 및 효과가 제한되는 것은 아니다. 또한, 본 발명을 설명함에 있어서 본 발명과 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이, 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략하기로 한다.
- [49] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 멀티 홉 릴레이 방식의 무선 통신 시스템(10)의 구성도를 나타낸다. 도 1을 참조하면, 멀티 홉 릴레이 방식의 무선 통신 시스템(10)은 소스 노드(110), 릴레이 노드(130), 및 목적지 노드(150)를 포함할 수 있다. 멀티 홉 릴레이 방식의 무선 통신 시스템(10)은 전력분할(power splitting) 방식 또는 시간분할(time splitting) 방식으로 무선통신을 할 수 있다.
- [50] 멀티 홉 릴레이 방식의 무선 통신 시스템(10)은 소스 노드(110)가 무선 네트워크 내에서 k개의 SWIPT 다중 홉 무선 릴레이 노드(130)를 통해 라우팅하여 목적지 노드(150)와 통신할 수 있다. 멀티 홉 릴레이 방식의 무선 통신 시스템(10)은 복수개의 안테나를 구비한 노드로 구성될 수 있다.
- [51] 소스 노드(110) 및 목적지 노드(130)는 자체 에너지를 보유하고 있을 수 있다. 소스 노드(110)는 게이트웨이, 인터넷, 또는 외부 시스템을 의미할 수 있다. 각 릴레이 노드(130)는 수퍼 캐패시터와 무선 신호(RF)에서 정보 디코딩 및 에너지 수확(EH)을 동시에 빔포밍하도록 구비될 수 있다.
- [52] 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 릴레이 노드(130)의 구성도를 나타낸다. 도 2를 참조하면, 각 $\mathcal{R}_k$ 릴레이 노드(120)는 수신부(131), 제어부(133), 및 송신부(135)를 포함할 수 있다.
- [53] 수신부(131)는 소스 노드(110)로부터 전송된 RF신호를 수신할 수 있다. 수신부(131)는 수신된 RF 신호를 노이즈와 결합하여 제어부(133)로 전송할 수 있다. 송신부(135)는 제어부(133)에서 분할된 전력 및 정보를 다음 릴레이 노드(130)로 순차 빔포밍할 수 있다.
- [54] 수신부(131)는 이전 노드로부터 [수학식 1]과 같은 RF 신호를 수신할 수 있다.
- [55] [수학식 1]
- [56]
$$\mathbf{y}_k = \mathbf{H}_k \mathbf{F}_{k-1} \hat{\mathbf{x}}_{k-1} + \mathbf{n}_k, \quad k = 1, \dots, K + 1$$
- [57] 여기에서, $\mathbf{F}_{k-1} \in \mathbb{C}^{\mathcal{E}_{k-1} \times \mathcal{E}_{k-1}}$ 는 $\mathcal{E}_{k-1}$ 안테나의 이전 노드의 빔포밍 행렬이며, $\text{tr}\{\mathbf{F}_{k-1}\} \leq E_{k-1}$ 의 전력 제한이 있다. $\hat{\mathbf{x}}_{k-1}$ 는 이전 노드로부터 수신한 정보 신호 벡터이고, $\mathbf{n}_k \sim \mathcal{CN}(0, \delta_k^2 \mathbf{I}_{\mathcal{E}_{k-1}})$ 는 현재 노드의 안테나 노이즈 벡터이다. $\mathbf{H}_k \in \mathbb{C}^{\mathcal{E}_{k-1} \times \mathcal{E}_{k-1}}$ 는 이전 노드와 현재 노드 사이의 채널 계수이다.
- [58] 불완전한 CSI(channel state information) 상황에서, $\mathbf{H}_k = \hat{\mathbf{H}}_k + \mathbf{E}_k$ 이다. $\hat{\mathbf{H}}_k$ 는 추정된 채널 행렬이고, $\mathbf{E}_k$ 는 추정된 채널 에러 행렬이다. $\hat{\mathbf{H}}_k$ 의 각 원소는 $\hat{h}_{ij,k} = \sqrt{\mu_k} \tilde{h}_{ij,k}$ 로 모델링될 수 있다($\sim \mathcal{CN}(0, 1 - \sigma_E^2)$). $\tilde{h}_{ij,k}$ 를 만족하고,

$\mu_{ij,k}$ large-scale 페이딩 계수이다(ij 는 연속되는 두 노드를 의미한다). large-scale 페이딩 계수는 $\mu_k = C_0 d_k^{-\alpha_p}$ 로 정의된다. C_0 는 신호 감쇄 계수, d_k 는 거리 손실 지수, α_p 는 경로 손실 지수이다. $\mathbf{E}_k$ 의 각 원소는 $e_{ij,k} = \sqrt{\mu_k} \tilde{e}_{ij,k}$ 로 모델링될 수 있다($\tilde{e}_{ij,k} \sim \mathcal{CN}(0, \sigma_E^2)$).

[59] 전력분할 방식(PS)은 전력분할 비율(PS ratio)에 따라 노드 k 에서 수신된 RF 신호는 에너지 수확(EH) 및 정보 디코딩(ID)으로 분할될 수 있다. [수학식 2]는 에너지 수확에서 사용되는 RF 신호 부분이고, [수학식 3]은 정보 디코딩에서 사용되는 RF 신호 부분이다.

[60] [수학식 2]

$$[61] \quad \mathbf{y}_k^{EH} = \sqrt{\rho_k} \hat{\mathbf{H}}_k \mathbf{F}_{k-1} \hat{\mathbf{x}}_{k-1} + \sqrt{\rho_k} \mathbf{n}_k, \quad k = 1, \dots, K + 1$$

[62] [수학식 3]

$$[63] \quad \mathbf{y}_k^{ID} = (1 - \rho_k)^{1/2} \mathbf{W}_k \hat{\mathbf{H}}_k \mathbf{F}_{k-1} \hat{\mathbf{x}}_{k-1} + (1 - \rho_k)^{1/2} \mathbf{n}_k + \mathbf{z}_k,$$

[64] 여기에서, ρ_k 는 노드 k 의 전력분할 비율이고, $\mathbf{z}_k \sim \mathcal{CN}(0, \sigma_k^2)$ 는 정보 디코딩 회로에 의해 유도되는 추가 노이즈이며, $\mathbf{W}_k \in \mathbb{C}^{\mathbb{E}_{k-1} \times \mathbb{E}_{k-1}}$ 는 수신 결합 행렬이다.

[65] [수학식 2]로부터 슈퍼 커패시터에 저장된 수확 에너지는 [수학식 4]로 나타낼 수 있다.

[66] [수학식 4]

$$[67] \quad E_k = \beta_k \mathbb{E}_{\hat{\mathbf{x}}_k, \mathbf{n}_k} \left[|\mathbf{y}_k^{EH}|^2 \right] \simeq \beta_k \left\| \rho_k^{1/2} \hat{\mathbf{H}}_k \mathbf{F}_{k-1}^{1/2} \right\|^2$$

[68] (여기에서, β_k 는 k 번째 노드에 대한 에너지 수확 장치의 에너지 변환 효율이다.)

[69] [수학식 3]으로부터 노드에서 달성 가능한 비율을 [수학식 5]로 나타낼 수 있다.

[70] [수학식 5]

$$[71] \quad R_k = \log_2 \left| \mathbf{I} + (1 - \rho_k) \mathbf{W}_k \hat{\mathbf{H}}_k \mathbf{F}_{k-1} \hat{\mathbf{H}}_k^\dagger \mathbf{W}_k^\dagger q_1^{-1} \right| \\ \simeq \log_2 \left| \mathbf{I} + (1 - \rho_k) \mathbf{W}_k \hat{\mathbf{H}}_k \mathbf{F}_{k-1} \hat{\mathbf{H}}_k^\dagger \mathbf{W}_k^\dagger q_2^{-1} \right|$$

[72] (여기에서, $q_1 = ((1 - \rho_k) \delta_k^2 + \sigma_k^2)$, $q_2 = \sigma_k^2$, $\delta_k^2 \ll \sigma_k^2$)

[73] $\hat{\mathbf{H}}_k = \hat{\mathbf{U}}_k \hat{\Sigma}_k \hat{\mathbf{V}}_k^\dagger$ 의 singular value decomposition(SVD)를 적용하면, 이전 노드 최적의 빔포밍 행렬은 $\mathbf{F}_{k-1} = \hat{\mathbf{V}}_k \hat{\Phi}_{k-1} \hat{\mathbf{V}}_k^\dagger$ 현재 노드에서의 수신 결합 매트릭스는 $\mathbf{W}_k = \hat{\mathbf{U}}_k^\dagger$ 로 나타낼 수 있다($\hat{\mathbf{U}}_k$ 와 $\hat{\mathbf{V}}_k$ 는 단일행렬이다.).

$\hat{\Sigma}_k = \text{diag}(\xi_{k,1}, \dots, \xi_{k,L_k})$ 는 음이 아닌 대각행렬을 나타낸다.

$\hat{\Phi}_{k-1} = \text{diag}(P_{k-1,1}, \dots, P_{k-1,L_k})$ 는 노드 k-1에 대한 프리코딩 전력 할당으로 구성된 대각행렬을 나타낸다. $L_k = \min(\Xi_{k-1}, \Xi_k)$ 는 $\hat{\mathbf{H}}_k$ 의 0이 아닌

특이값에 해당하는 활성 채널의 수를 나타낸다. 따라서, 각 릴레이 노드(130)에서 수확된 에너지는 [수학식 6]으로 나타낼 수 있다. 또한, 각 노드에서 달성 가능한 비율은 [수학식 7]로 나타낼 수 있다.

[74] [수학식 6]

$$[75] \quad E_k^{PS} = \beta_k \rho_k \sum_{i=0}^{L_k} P_{k-1,i} \xi_{k,i}^2$$

[76] [수학식 7]

$$[77] \quad R_k^{PS} = \log_2 \left(1 + \frac{(1 - \rho_k) \sum_{i=0}^{L_k} P_{k-1,i} \xi_{k,i}^2}{\sigma_k^2} \right)$$

[78] 소스 전송 전력 E_0^{PS} 에 대한 최소화 문제는 [수학식 8]과 같이 나타낼 수 있다.

[79] [수학식 8]

$$[80] \quad \begin{aligned} & \text{minimize } E_0^{PS} \\ & \quad E_0^{PS}, \{\rho_k\} \\ & \text{subject to } \frac{\Psi_k^{PS}}{\beta_k \sigma_k^2} \geq \bar{\gamma}_{th}, \quad E_0^{PS} \geq 0, \\ & \quad 0 \leq \rho_k \leq 1, \quad k = 1, \dots, K + 1 \end{aligned}$$

[81] (여기에서, $\bar{\gamma}_{th}$ 는 요구되는 비율 임계값,

$$\Psi_k^{PS} = E_0^{PS} \prod_{j=1}^{k-1} \rho_j (1 - \rho_k) \sum_{i=0}^{L_k} \Gamma_{k-1,i} \xi_{k,i}^2 \text{ 이다.})$$

[82] 시간분할 방식과 전력분할 방식의 차이점은 에너지 수확이 어떻게 발생하는지에 차이가 있다. 전력분할 방식이 에너지 수확과 정보 디코딩에 대한 신호 전력을 분할하는 반면, 시간분할 방식은 에너지 수확과 정보 디코딩 사이의 시간을 분할한다. 따라서 SWIPT 전력분할 방식에 대해 제시된 것과 유사한 절차에 따르면 k번째 노드에서 수확된 에너지는 [수학식 9]로 나타낼 수 있다. 또한, 달성 가능한 비율은 [수학식 10]으로 나타낼 수 있다.

[83] [수학식 9]

$$[84] \quad E_k^{TS} = \alpha_k \beta_k \sum_{i=0}^{L_k} P_{k-1,i} \xi_{k,i}^2$$

[85] [수학식 10]

[86]

$$R_k^{TS} = (1 - \alpha_k) \log_2 \left(1 + \frac{(1 - \alpha_k) \sum_{i=0}^{L_k} P_{k-1,i} \xi_{k,i}^2}{\sigma_k^2} \right)$$

[87]

(여기에서, α_k 는 노드 k에서 시간분할 비율을 의미한다.)

[88]

소스 전송 전력 E_0^{TS} 에 대한 최소화 문제는 [수학식 11]과 같이 나타낼 수 있다.

[89]

[수학식 11]

[90]

$$\begin{aligned} & \underset{E_0^{TS}, \{\alpha_k\}}{\text{minimize}} E_0^{TS} \\ & \text{subject to } \frac{\Psi_k^{TS}}{\beta_k \sigma_k^2} \geq \bar{\gamma}_{th}, E_0^{TS} \geq 0, \\ & 0 \leq \alpha_k \leq 1, \quad k = 1, \dots, K+1 \end{aligned}$$

[91]

(여기에서, $\Psi_k^{TS} = E_0^{TS} \prod_{j=1}^{k-1} \alpha_j (1 - \alpha_k) \sum_{i=0}^{L_k} \Gamma_{k-1,i} \xi_{k,i}^2$ 이다.)

[92]

제어부(133)는 수신부(131)에서 수신된 신호와 노이즈가 결합된 신호를 전달 받을 수 있다. 제어부(133)는 전송받은 신호를 다음 릴레이 노드(130)로 전송하기 위해 전송받은 RF 신호에서 전력을 수확할 수 있다. 제어부(133)는 슈퍼 캐패시터를 이용하여 이전 릴레이 노드(130)로부터 수신받은 정보를 디코딩한 후 다음 릴레이 노드(130)로 재전송하기 위해 수확된 전력을 소비할 수 있다. 제어부(133)는 DF(Decoding and Forward) 방식의 전력 및 정보 동시 전송 빔포밍을 수행하기 위해 전력분할 비율 또는 시간분할 비율을 통해 RF 신호에서 전력을 수확할 수 있다.

[93]

제어부(133)는 수신된 RF 신호에서 에너지 수확(EH) 및 정보 디코딩(ID)에 대한 전력분할 비율(PS ratio) 또는 시간분할 비율(TS ratio)로 전력 및 정보를 분할할 수 있다.

[94]

제어부(133)는 최소 소스 전송 전력을 하기 [관계식 1]을 통해 도출할 수 있다.

[95]

[관계식 1]

[96]

$$E_0^{PS,*} = \sum_{k=1}^{K+1} \frac{\beta_k \bar{\gamma}_{th} \sigma_k^2}{\sum_{i=1}^L \Gamma_{k,i}}$$

[97]

(여기서, σ_k^2 는 노이즈 분산, β_k 는 에너지 수확 효율, $\bar{\gamma}_{th}$ 는 요구되는 비율 임계값, $\Gamma_{k,i} \triangleq \prod_{j=1}^{k-1} \beta_j \xi_{j,i}^2$ 을 의미한다.)

[98]

제어부(133)는 소스 전송 전력을 최소화하기 위한 전력분할 비율을 하기 [관계식 2]를 통해 도출할 수 있다.

[99]

[관계식 2]

$$[100] \quad \rho_k^* = \begin{cases} 1 - \frac{1}{\prod_{j=1}^{k-1} \rho_j} \frac{\frac{\beta_k \bar{\gamma}_{th} \sigma_k^2}{\sum_{i=1}^L \Gamma_{k,i}}}{\sum_{k=1}^{K+1} \frac{\beta_k \bar{\gamma}_{th} \sigma_k^2}{\sum_{i=1}^L \Gamma_{k,i}}}, & \forall k, \\ 0, & k = K + 1 \end{cases}$$

[101] (여기서, ρ_j 는 전력분할 비율을 의미한다.)

[102] 제어부(133)는 소스 전송 전력을 최소화하기 위한 시간분할 비율을 하기 [관계식 3]의 반복 알고리즘을 통해 도출할 수 있다.

[103] [관계식 3]

$$[104] \quad \alpha_k^* = 1 - \left(\left[\prod_{j=1}^{K-1} \alpha_j \right]^{-1} \left[Q^* \frac{\beta_k \sigma_k^2}{\sum_{i=1}^{L_k} \Gamma_{k,i}} \left(2^{\frac{R_{TH,k}}{w_k}} - 1 \right) \right] \right)$$

[105] (여기서, α_j 는 시간분할 비율, $R_{TH,k}$ 는 비율 임계값, $w_k = (1 - \alpha_k) T_k$ 를 의미한다.)

[106] 시간분할 방식은 최적화 α_k 에서 변수가 계속 존재하기 때문에 SWIPT TS

기술에 대해 폐쇄형 해를 구할 수 없다. 따라서, 제어부(133)은 반복 알고리즘(Algorithm 1)을 통해 소스 전송 전력을 최소화하기 위한 시간분할 비율을 도출할 수 있다.

[107] [수학식 11]에 주어진 문제를 해결하기 위해, 주어진 총 시간 T_T 에서 최소 소스 전송 전력 $E_0^{TS,*}$ 과 최적의 시간분할 비율 α^* 은 [수학식 14]의 반복

알고리즘을 사용하여 도출할 수 있다. [수학식 14]를 이용하여 최종적으로 도출한 최적의 시간분할 비율 α^* 은 [관계식 3]으로 나타낼 수 있다.

[108] [수학식 14]

$$[109] \quad Q^* = \left[\sum_{k=1}^{K+1} \frac{\beta_k \sigma_k^2}{\sum_{i=1}^{L_k} \Gamma_{k,i}} \left(2^{\frac{R_{TH,k}}{w_k}} - 1 \right) \right]^{-1}$$

[110] [table 1]은 [수학식 14]를 통해 [관계식 3]을 도출하는 반복 알고리즘(Algorithm 1)을 나타낸다.

[111] [table 1]

[112]

Algorithm 1 Transmit Power Minimization Algorithm**repeat** $\mathbf{w}_k \leftarrow \text{initialized}$ Calculate Q^* Calculate $[\alpha_k^*]_{k=1}^K, \alpha_{k+1}^* = 0, \alpha_0^*$ Update $\mathbf{w}_k^* = T_T \times \frac{\mathbf{a}^*}{\|\mathbf{a}^*\|}$ **until** $\frac{1}{Q^*}$ converges $E_0^{TS} \leftarrow \frac{1}{Q^*}$ $[T_k^*]_{k=1}^K = \left[\frac{w_k^*}{1-\alpha_k^*} \right]$
$$\alpha_k^* = 1 - \left(\left[\prod_{j=1}^{K-1} \alpha_j \right]^{-1} \left[Q^* \frac{\beta_k \sigma_k^2}{\sum_{i=1}^{L_k} \Gamma_{k,i}} \left(2^{\frac{R_{TH,k}}{w_k}} - 1 \right) \right] \right)$$

[113] 제어부(133)는 역 평균 노드 간 채널 이득(inverse average inter-node channel gains, IAICG)를 이용하여, 에너지 및 비율(rate) 제약 조건에 따라 최대의 채널 이득과 최소의 노드 수를 갖는 최단 경로로 라우팅할 수 있는 다음 릴레이 노드를 선택할 수 있다. 제어부(133)는 IAICG 가중치 행렬이 사용되는 DA 알고리즘(Algorithm 2)을 이용할 수 있다. 본 발명의 실시예에서는 채널 이득 모델이 채널효과(노드 간 거리, 신호 페이딩 및 레일리 페이딩)로 구성되고, 채널 이득이 클수록 역수는 작아지므로 IAICG 가중치 행렬이 사용되는 DA 알고리즘이 적합하다. 제어부(133)는 IAICG가 적용된 DA를 사용하여 최고의 채널 이득과 최소 노드 수를 기반으로 최단 경로를 선택할 수 있다.

[114] [table 2]는 IAICG 가중치 행렬이 사용되는 DA 알고리즘(Algorithm 2)을 나타낸다.

[115] [table 2]

[116]

Algorithm 2 Routing Algorithm Based on the DA

Set the source node, the destination node, and the graph matrix, $\mathbf{G}$ with inter-node inverse average channel gains (i.e., $g_{ji} = 1/|\bar{h}_k|^2$ with $\bar{h}_k = \mathbb{E}[\hat{\mathbf{H}}_k]$)

for each vertex $v \in \mathbf{G}$ **do**

$g_{ji}[v] = \infty$, and set previous $g_{ji}[v-1] = \text{undefined}$

Set $g_{ji}[\text{source}] = 0$, and let $\tilde{\mathbf{Q}} = \mathbf{G}$

while $\tilde{\mathbf{Q}} \neq \emptyset$ **do**

Set $u = v$ in $\tilde{\mathbf{Q}}$ with smallest $g_{ji}[\]$

Remove u from $\tilde{\mathbf{Q}}$

for all $v \in \text{neighbor}[u]$ **do**

if $g_{ji}[v] < g_{ji}[u] + \text{inter-dist}(u, v)$ **then**

$\text{dist}g_{ji}[v] = \text{dist}g_{ji}[u] + \text{inter-dist}(u, v)$

Let previous $g_{ji}[v] = u$

end if

end for

end while

end for

Calculate E_0^Ω with returned indexes from the for loop

if $E_0^\Omega \leq E_{0,\max}$ **then**

Use selected nodes for transmission

end if

[117] 어부(133)는 전력분할 방식의 경우에는 비율 제약 조건을 $R_k^{PS} \geq R_{TH}$ 으로

하고, 에너지 제약 조건을 $E_0^\Omega = E_0^{PS,*} \leq E_{0,\max}$ 으로 할 수 있다. 여기서, R_k^{PS} 는 달성 가능한 비율(rate), $E_{0,\max}$ 는 최대 소스 전력을 의미한다.

제어부(133)는 비율 제약 조건 및 에너지 제약 조건이 만족되지 않을 때 새로운 경로를 선택할 수 있다.

[118] 멀티 홉 릴레이 방식의 무선 통신 시스템(10)은 소스 노드(110)에서 구현하는 중앙 집중식 방식의 라우팅 알고리즘을 이용할 수 있다. 구체적으로 소스 노드(110)는 $\tilde{\mathbf{E}}$ 와 $\tilde{\mathbf{V}}$ 로 표시된 무선 네트워크 내의 모든 가장자리와 꼭지점으로 구성된 그래프 행렬 $\mathbf{G}$ 를 식별하고 개발할 수 있다. 소스 노드(110) 역할을 하는 현재 또는 가장 최근 노드 $g_{ji}[\text{source}] = 0$ 는 새로운 행렬 $\tilde{\mathbf{Q}}$ 를 갖는 $\mathbf{G}$ 값으로 인스턴스화될 수 있다. 행렬 $\tilde{\mathbf{Q}}$ 내에는 $g_{ji}[v] = \infty$ 및 이전 노드는 정의되지

($g_{ji}[v - 1] = \text{undefined}$). 제어부(133)는 위와 같은 방식으로 이전에 선택한 모든 노드를 다시 선택되지 않게 할 수 있다.

[119] 다음으로, 소스 노드(110)는 비율 및 소스 노드 전력 제약 조건을 충족하는 가장 낮은 가중치 $g_{ji}[v]$ 를 갖는 첫 번째로 연결될 릴레이 노드(130)를 선택할 수

있다. 제어부(133)는 현재 노드에서 목적지 노드(150)에 도달할 때까지 동일한 프로세스를 반복할 수 있다.

[120] 제어부(133)는 시간분할 방식의 경우에는 비율(rate) 제약 조건을 $R_k^{TS} \geq R_{TH,k}$

으로 하고, 에너지 제약 조건을 $E_0^\Omega = E_0^{TS,*} \leq E_{0,max}$ 으로 할 수 있다.

여기서, R_k^{TS} 는 달성가능한 비율(rate), $E_{0,max}$ 는 최대 소스 전력을 의미한다.

이하, 프로세스는 전력분할 방식과 동일하다.

[121] 본 발명의 다른 실시예로 멀티 홉 릴레이 방식의 무선 통신 방법은 수신 단계, 제어 단계, 및 송신 단계를 포함할 수 있다.

[122] 수신 단계는 릴레이 노드에서 소스 노드의 RF 신호를 수신할 수 있다. 수신 단계는 전술한 수신부(131)에서 수행되는 기능을 의미한다.

[123] 제어 단계는 수신된 RF 신호에서 에너지 수확(EH) 및 정보 디코딩(ID)에 대한 전력분할 비율(PS ratio) 또는 시간분할 비율(TS ratio)로 전력 및 정보를 분할할 수 있다. 제어 단계는 전술한 제어부(133)에서 수행되는 기능을 의미한다.

[124] 제어 단계는 역 평균 노드 간 채널 이득(inverse average inter-node channel gains, IAICG)를 이용하여, 에너지 및 비율(rate) 제약 조건에 따라 최대의 채널 이득과 최소의 노드 수를 갖는 최단 경로로 라우팅할 수 있는 다음 릴레이 노드를 선택할 수 있다.

[125] 송신 단계는 제어 단계에서 분할된 전력 및 정보를 다음 릴레이 노드로 순차 빔포밍할 수 있다. 송신 단계는 전술한 송신부(135)에서 수행되는 기능을 의미한다.

[126] 이하에서는 중앙 집중식 및 분산형 SWIPT 비율 프로토콜을 구현하는 방법에 대해 설명한다.

[127] 먼저, 중앙 집중식 구현에서 SWIPT 전력분할 방식에 대해 살펴본다. 중앙 집중식 방식의 경우 소스 노드(110)는 네트워크에서 선택된 릴레이 노드(130)에 대한 모든 채널 이득을 알고 있다. 따라서, 소스 노드(110)는 각 릴레이 노드(130)에 대한 전력분할 비율을 계산할 수 있다. 소스 노드(110)는 안테나 구조에 따라 ρ_k^* 및 소스 전송 전력 최소화를 사용하여 각 노드에 대한 전력분할 비율을 계산한다. 소스 노드(110)는 계산 후 전력분할 비율, 선택된 릴레이 노드(130)의 인덱스 및 정보 신호를 첫 번째 릴레이 노드(130)로 전송한다. 릴레이 노드 k는 디코딩된 정보를 후속 중계 노드의 인덱스 및 전력분할 비율과

함께 다음 릴레이 노드(130)로 전송한다.

- [128] 중앙 집중식 구현에서 SWIPT 시간분할 방식에 대해 살펴본다. SWIPT 시간분할 비율 기반 방식을 통해 중앙 집중식 접근 방식을 구현하려면 Algorithm 1을 소스 노드(110)에서 실행하여 모든 시간분할 비율과 소스 전송 전력을 탐색해야 한다. Algorithm 1의 구현은 4개의 다른 산술 방정식이 사용된다. 따라서, 계산은 이러한 산술 계산을 반복하는 작업이 포함된다. 이로 인해, 시간분할 방식은 전력분할 방식에 비해 더 많은 계산 능력이 요구된다. 그러나 각 노드에서의 데이터 전송은 시간분할 및 전력분할 비율 모두에 대해 동일하다. 이는 두 기술 모두 실제 정보 신호, SWIPT 비율 및 인덱스를 전송하기 때문이다.

- [129] 다음으로, 분산식 구현에서 SWIPT 전력분할 방식에 대해 살펴본다. SWIPT 전력분할 방식에서 소스 노드(110)는 첫 번째 릴레이 노드(130)의 전력분할 비율을 [수학식 15]와 같이 계산한다.

- [130] [수학식 15]

$$\begin{aligned} \rho_1 &= 1 - \tilde{\psi}_1, \\ \tilde{\psi}_1 &= \frac{1}{\sum_{i=1}^L |h_{1,i}|^2 \sum_{j=1}^{K+1} \frac{\beta_j}{\sum_{i=1}^L \Gamma_{j,i}}} \end{aligned}$$

- [132] 소스 노드(110)는 계산 후 정보 신호, ρ_1 , $\tilde{\psi}_1$, 및 모든 릴레이 노드(130)

인덱스를 첫 번째 릴레이 노드(130)로 전송한다. k번째 릴레이 노드(130)는 k+1번째의 릴레이 노드(130)의 전력분할 비율을 [수학식 16]과 같이 계산한다.

- [133] [수학식 16]

$$\tilde{\psi}_{k+1} = \frac{1}{\sum_{i=1}^L \rho_{k,i} \beta_{k,i} |h_{k+1,i}|^2} \tilde{\psi}_k \quad (k = 1, \dots, K-1)$$

- [135] 현재 노드인 k번째의 릴레이 노드(130)는 디코딩된 정보, ρ_{k+1} , $\tilde{\psi}_{k+1}$, $K-k$ 번째의 릴레이 노드들의 인덱스를 다음 노드인 k+1번째의 릴레이 노드(130)에 전송한다.

- [136] 중앙 집중식 구현의 장점은 릴레이 노드(130)가 전력분할 비율 계산과 관련하여 부담이 없다는 것이다. 그러나 처음 몇 개의 릴레이 노드(130)는 전송되는 후속 릴레이 노드(130)의 전력분할 비율에 따라 처리하고 전달할 많은 양의 데이터 비트를 갖는다. 중앙 집중식 구현은 릴레이 노드(130)에 충분한 메모리가 없으면 DF 프로세스가 영향을 받을 수 있다.

- [137] 분산식 구현은 각 노드가 중앙 집중식 구현과 비교하여 DF 기능에 대해 더 적은 데이터 비트를 수신한다. 분산식 구현의 단점은 릴레이 노드(130)가 다음 노드로 재전송하기 전에 변수 ρ_{k+1} 와 $\tilde{\psi}_{k+1}$ 를 계산해야 한다는 것이다.

- [138] 이하에서는 본 발명의 시뮬레이션 결과를 설명한다.
- [139] 도 3는 본 발명의 실시예에 따른 시간분할 비율을 구하기 위한 반복 알고리즘의 수렴 테스트 결과 그래프를 나타낸다. 도 3을 참조하면, 반복 알고리즘(Algorithm 1)은 2회 이상의 반복 후에 수렴되기 시작함을 알 수 있다.
- [140] 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 서로 다른 SWIPT 체계에 대한 라우팅 경로를 나타낸다($d_T=300\text{m}$, $\bar{\gamma}_{th}=10\text{dB}$, $L=3$).
- [141] 도 5은 본 발명의 실시예에 따른 서로 다른 SWIPT 체계에 대한 라우팅 경로를 나타낸다($d_T=50\text{m}$, $\bar{\gamma}_{th}=10\text{dB}$, $L=2$).
- [142] 도 4와 도 5를 참조하면, 서로 다른 DF-SWIPT 방식에 대한 다양한 라우팅 경로를 알 수 있다. 라우팅은 사용 가능한 최대 소스 전력 $E_{0,max}=30\text{dBm}$ 인 Algorithm 2를 통해 수행된다. 최적의 전력분할 비율 방식($E_0^{PS,*}$), 고정된 전력분할 비율 방식($E_0^{PS,fix}$), 최적의 시간분할 비율 방식($E_0^{TS,*}$), 고정된 시간분할 비율 방식($E_0^{TS,fix}$) 각각을 사용하여 소스 노드(110)와 목적지 노드(150) 간의 E2E 통신에 필요한 최소 소스 전력을 탐색한다. 시뮬레이션 토폴로지는 50개의 노드가 차원이 있는 정사각형에 분산된 것이다 ($d_x \times d_y$, 여기서, $d_x = d_y = d_T$).
- [143] 도 4 및 도 5는 에너지 수확 방식, 안테나 구성 및 채널 이득에 기초하여 동일하거나 상이한 라우팅 경로가 정보 전송을 위해 선택될 수 있음을 보여준다. 또한, 도 4 및 도 5는 전체 면적이 증가함에 따라 통신을 지원하는 데 필요한 최소 소스 전력이 증가함을 보여준다. 따라서, SWIPT 기반 에너지 수확 및 라우팅 기능을 모두 적용한 시도는 성능향상에 상당히 도움이 됨을 알 수 있다. 도 4 및 도 5를 통해 알 수 있듯이, 본 발명은 가장 가까운 릴레이 노드가 선택될 뿐만 아니라 전송 시 에너지를 가장 적게 사용할 수 있다.
- [144] 도 6은 본 발명의 실시예에 따른 비율 임계값 변화에 대한 최소 전송 전력의 그래프를 나타낸다. 도 6을 참조하면, 필요한 최소 소스 전력량은 SNR 임계값이 증가함에 따라 증가함을 알 수 있다. 안테나 숫자가 2와 5인 두 가지 다른 MIMO 구성은 SISO 구성을 완전히 능가한다는 것을 확인할 수 있다. $L=2$ 인 MIMO와 $L=5$ 인 MIMO는 각각 100dBm , 150dBm 의 에너지 수요가 감소함을 알 수 있다.
- [145] 특히, 두 개의 서로 다른 MIMO 설정에 초점을 맞추면, 서로 다른 안테나 구성에 대한 동일한 방식에서 전송 전력 수요가 약 50dBm 증가한다는 사실을 알 수 있다. 이것은 요구되는 최소 소스 전송 전력에 대한 폐쇄형 솔루션의 추론으로 확인할 수 있다. 또한, 전력분할 방식은 시간분할 방식과 비교하여 통신을 용이하게 하기 위해 더 적은 E_0 를 필요로 하는 것을 알 수 있다. 또한, 최적의 방식은 최소 E_0 측면에서 고정 비율 방식보다 성능이 뛰어남을 알 수

있다.

- [146] 도 7은 본 발명의 실시예에 따른 소스-목적지 거리에 대한 최소 전송 전력의 그래프를 나타낸다. 도 7을 참조하면, 필요한 최소 E_0 는 노드간 거리가 10m에서 30m로 늘어남에 따라 증가함을 알 수 있다. MIMO 모델은 $L=1$ 과 $L=2$ 사이에서 약 80dBm, $L=1$ 과 $L=5$ 사이에서 약 130dBm의 하락으로 벤치마크 SISO 모델을 능가함을 알 수 있다. 또한, 최적의 방식은 고정 비율 방식보다 성능이 우수함을 알 수 있다. 예를 들면, 최적 전력분할 방식은 $L=5$ 로 설정된 고정 비율 방식으로 이동할 때 전력 수요가 약 20dBm이 증가한다. 안테나는 5에서 2로 감소할 때, 모든 방식에 대한 소스-목적지 통신을 지원하는데 필요한 최소 E_0 가 증가함을 알 수 있다.
- [147] 도 8은 본 발명의 실시예에 따른 채널 추정 오류에 대한 최소 전송 전력의 그래프를 나타낸다. 도 8을 참조하면, 최적화된 MIMO 라우팅 방식은 벤치마크 SISO 시스템보다 유리하다는 것을 확인할 수 있다. 즉, 전송에 필요한 에너지는 채널 추정 오차가 증가할수록 증가함을 확인할 수 있다.
- [148] 도 9은 본 발명의 실시예에 따른 안테나의 수에 대한 최소 전송 전력의 그래프를 나타낸다. 도 9을 참조하면, 전송에 필요한 에너지는 각 노드의 안테나 수가 증가함에 따라 감소함을 알 수 있다. 필요한 최소 소스 전송 에너지는 채널 추정 오류가 0에서 0.3으로 증가함에 따라 증가함을 알 수 있다. 이것은 채널 추정 오차의 증가는 더 큰 손실을 발생시킨다는 것을 의미한다. 최적의 전력분할 방식은 최적의 시간분할 방식보다 성능이 뛰어남을 확인할 수 있다.
- [149] 도 10은 본 발명의 실시예에 따른 각 노드에서 수확되는 최소 에너지를 나타낸다. 도 10을 참조하면, 두 개의 릴레이 노드(130)가 있는 경우 노드 1이 노드 2보다 더 많은 에너지를 수확했음을 알 수 있다. 전력분할 방식과 시간분할 방식은 노드 에너지 수확량이 동일하다. 노드 1은 70dBm~65dBm, 노드 2는 85dBm~65dBm이다. 그러나 전체 누적 효과는 시간분할 방식보다 전력분할 방식에서 더 큼을 알 수 있다.
- [150] 이상에서 대표적인 실시예를 통하여 본 발명을 상세하게 설명하였으나, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자는 상술한 실시예에 대하여 본 발명의 범주에서 벗어나지 않는 한도 내에서 다양한 변형이 가능함을 이해할 것이다. 그러므로 본 발명의 권리 범위는 설명한 실시예에 국한되어 정해져서는 안 되며, 후술하는 특허청구범위뿐만 아니라 특허청구범위와 균등 개념으로부터 도출되는 모든 변경 또는 변형된 형태에 의하여 정해져야 한다.
- [151] [부호의 설명]
- [152] 10 : 멀티 홉 릴레이 방식의 무선 통신 시스템
- [153] 110 : 소스 노드
- [154] 130 : 릴레이 노드
- [155] 131 : 수신부
- [156] 133 : 제어부

- [157] 135 : 송신부
- [158] 150 : 목적지 노드

청구범위

[청구항 1] 소스 노드, 멀티홉 방식으로 전력 및 정보를 동시에 빔포밍을 수행하는 다수의 릴레이 노드, 및 목적지 노드를 포함하는 멀티 홉 중계 방식의 무선 전력 전송 시스템이 있어서,
상기 릴레이 노드는,
소스 노드의 RF 신호를 수신하는 수신부;
수신된 RF 신호에서 에너지 수확(EH) 및 정보 디코딩(ID)에 대한 전력분할 비율(PS ratio) 또는 시간분할 비율(TS ratio)로 전력 및 정보를 분할하는 제어부; 및
상기 제어부에서 분할된 전력 및 정보를 다음 릴레이 노드로 순차 빔포밍하는 송신부를 포함하고,
상기 제어부는, 역 평균 노드 간 채널 이득(inverse average inter-node channel gains, IAICG)를 이용하여, 에너지 및 비율(rate) 제약 조건에 따라 최대의 채널 이득과 최소의 노드 수를 갖는 최단 경로로 라우팅할 수 있는 다음 릴레이 노드를 선택하는 것을 특징으로 하는 멀티 홉 릴레이 방식의 무선 통신 시스템.

[청구항 2] 제 1 항에 있어서,
상기 제어부는,
최소 소스 전송 전력을 하기 [관계식 1]을 통해 도출하는 것을 특징으로 하는 멀티 홉 릴레이 방식의 무선 통신 시스템.

[관계식 1]

$$E_0^{PS,*} = \sum_{k=1}^{K+1} \frac{\beta_k \bar{\gamma}_{th} \sigma_k^2}{\sum_{i=1}^L \Gamma_{k,i}}$$

(여기서, σ_k^2 는 노이즈 분산, β_k 는 에너지 수확 효율, $\bar{\gamma}_{th}$ 는 요구되는 비율 임계값, $\Gamma_{k,i} \triangleq \prod_{j=1}^{k-1} \beta_{j,i} \xi_{k,i}^2$ 을 의미한다.)

[청구항 3] 제 2 항에 있어서,
상기 제어부는,
소스 전송 전력을 최소화하기 위한 전력분할 비율을 하기 [관계식 2]를 통해 도출하는 것을 특징으로 하는 멀티 홉 릴레이 방식의 무선 통신 시스템.

[관계식 2]

$$\rho_k^* = \begin{cases} 1 - \frac{1}{\prod_{j=1}^{k-1} \rho_j} \frac{\frac{\beta_k \bar{\gamma}_{th} \sigma_k^2}{\sum_{i=1}^L \Gamma_{k,i}}}{\sum_{k=1}^{K+1} \frac{\beta_k \bar{\gamma}_{th} \sigma_k^2}{\sum_{i=1}^L \Gamma_{k,i}}}, & \forall k, \\ 0, & k = K + 1 \end{cases}$$

(여기서, ρ_j 는 전력분할 비율을 의미한다.)

- [청구항 4] 제 2 항에 있어서,
상기 제어부는,
소스 전송 전력을 최소화하기 위한 시간분할 비율을 하기 [관계식 3]의
반복 알고리즘을 통해 도출하는 것을 특징으로 하는 멀티 홉 릴레이
방식의 무선 통신 시스템.

[관계식 3]

$$\alpha_k^* = 1 - \left(\left[\prod_{j=1}^{K-1} \alpha_j \right]^{-1} \left[Q^* \frac{\beta_k \sigma_k^2}{\sum_i^{L_k} \Gamma_{k,i}} \left(2^{\frac{R_{TH,k}}{w_k}} - 1 \right) \right] \right)$$

(여기서, α_j 는 시간분할 비율, $R_{TH,k}$ 는 비율 임계값, $w_k = (1 - \alpha_k) T_k$ 를 의미한다.)

- [청구항 5] 제 1 항에 있어서,
전력분할 방식의 경우에는 상기 비율 제약 조건은 $R_k^{PS} \geq R_{TH}$ 이고, 상기
에너지 제약 조건은 $E_0^\Omega = E_0^{PS,*} \leq E_{0,max}$ 인 것을 특징으로 하는 멀티
홉 릴레이 방식의 무선 통신 시스템.

(여기서, R_k^{PS} 는 달성가능한 비율(rate), $E_{0,max}$ 는 최대 소스 전력을
의미한다.)

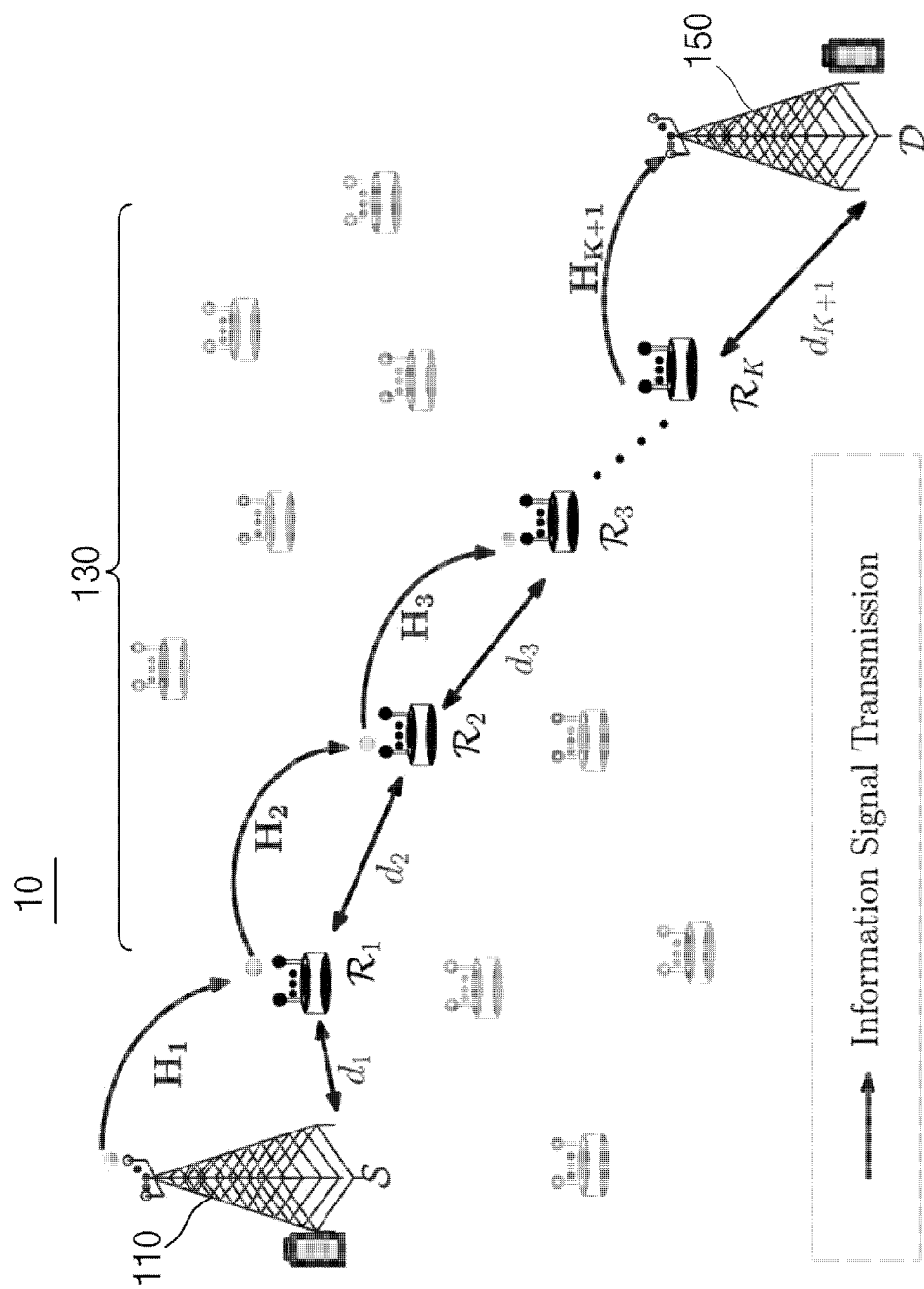
- [청구항 6] 제 1 항에 있어서,
시간분할 방식의 경우에는 상기 비율(rate) 제약 조건은 $R_k^{TS} \geq R_{TH,k}$ 이고,
상기 에너지 제약 조건은 $E_0^\Omega = E_0^{TS,*} \leq E_{0,max}$ 인 것을 특징으로 하는
멀티 홉 릴레이 방식의 무선 통신 시스템.

(여기서, R_k^{TS} 는 달성가능한 비율(rate), $E_{0,max}$ 는 최대 소스 전력을
의미한다.)

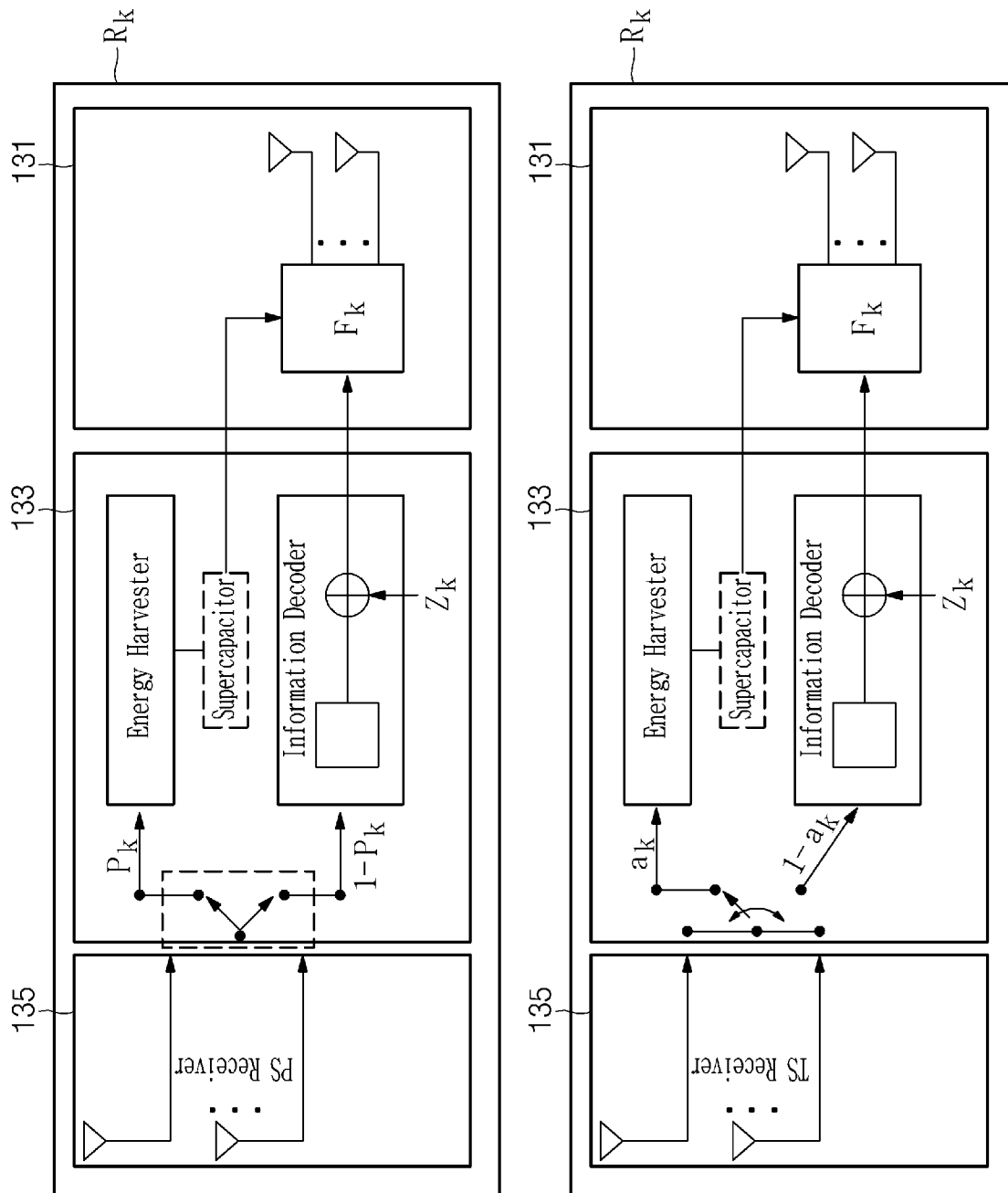
- [청구항 7] 소스 노드, 멀티홉 방식으로 전력 및 정보를 동시에 빔포밍을 수행하는
다수의 릴레이 노드, 및 목적지 노드를 포함하는 전송 시스템의 멀티 홉
중계 방식의 무선 전력 전송 방법에 있어서,
상기 릴레이 노드에서 소스 노드의 RF 신호를 수신하는 수신 단계;
수신된 RF 신호에서 에너지 수확(EH) 및 정보 디코딩(ID)에 대한
전력분할 비율(PS ratio) 또는 시간분할 비율(TS ratio)로 전력 및 정보를
분할하는 제어 단계; 및 상기 제어 단계에서 분할된 전력 및 정보를 다음
릴레이 노드로 순차 빔포밍하는 송신 단계를 포함하고,
상기 제어 단계는, 역 평균 노드 간 채널 이득(inverse average inter-node
channel gains, IAICG)를 이용하여, 에너지 및 비율(rate) 제약 조건에 따라

최대의 채널 이득과 최소의 노드 수를 갖는 최단 경로로 라우팅할 수 있는 다음 릴레이 노드를 선택하는 것을 특징으로 하는 멀티 홉 릴레이 방식의 무선 통신 방법.

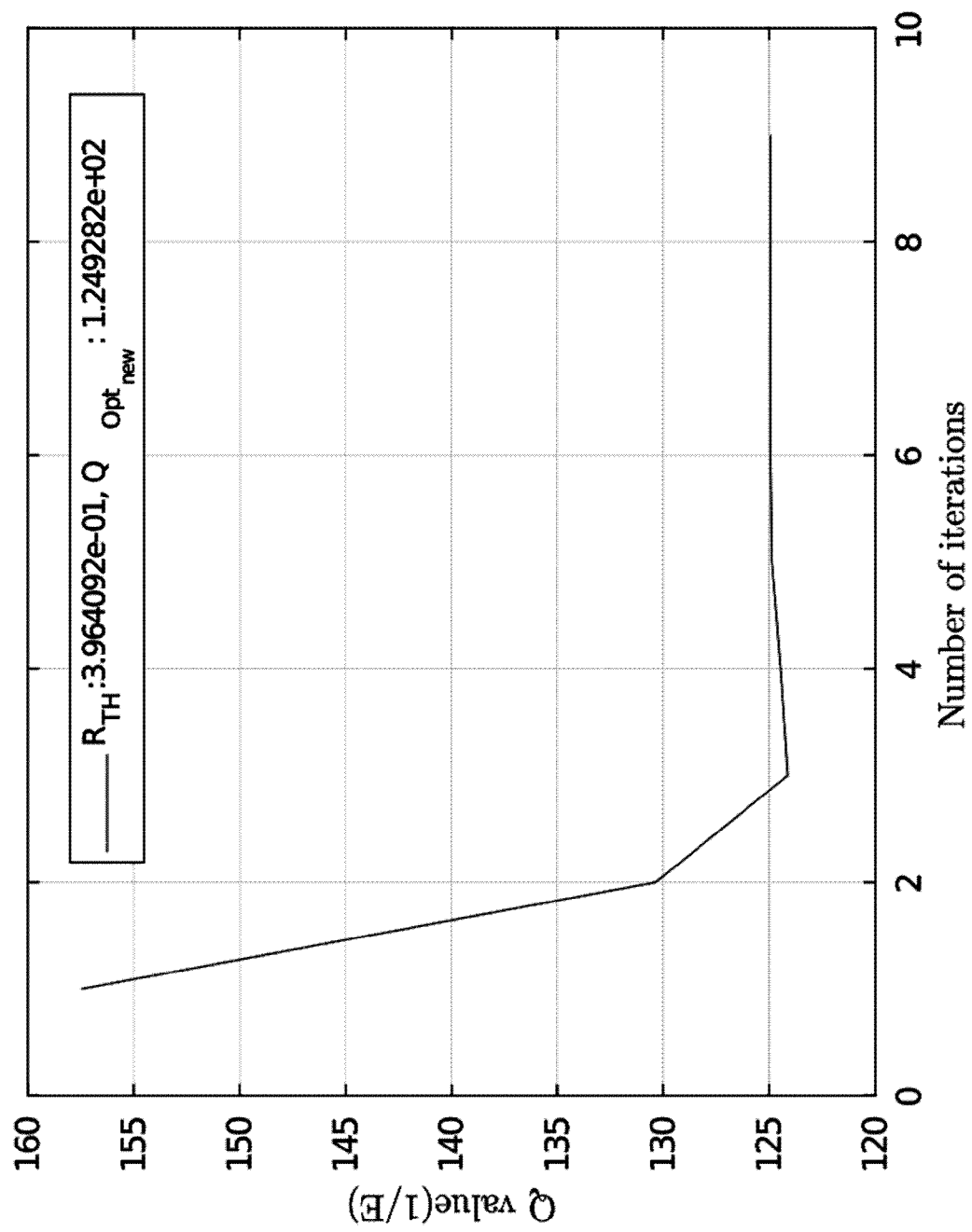
[도 1]



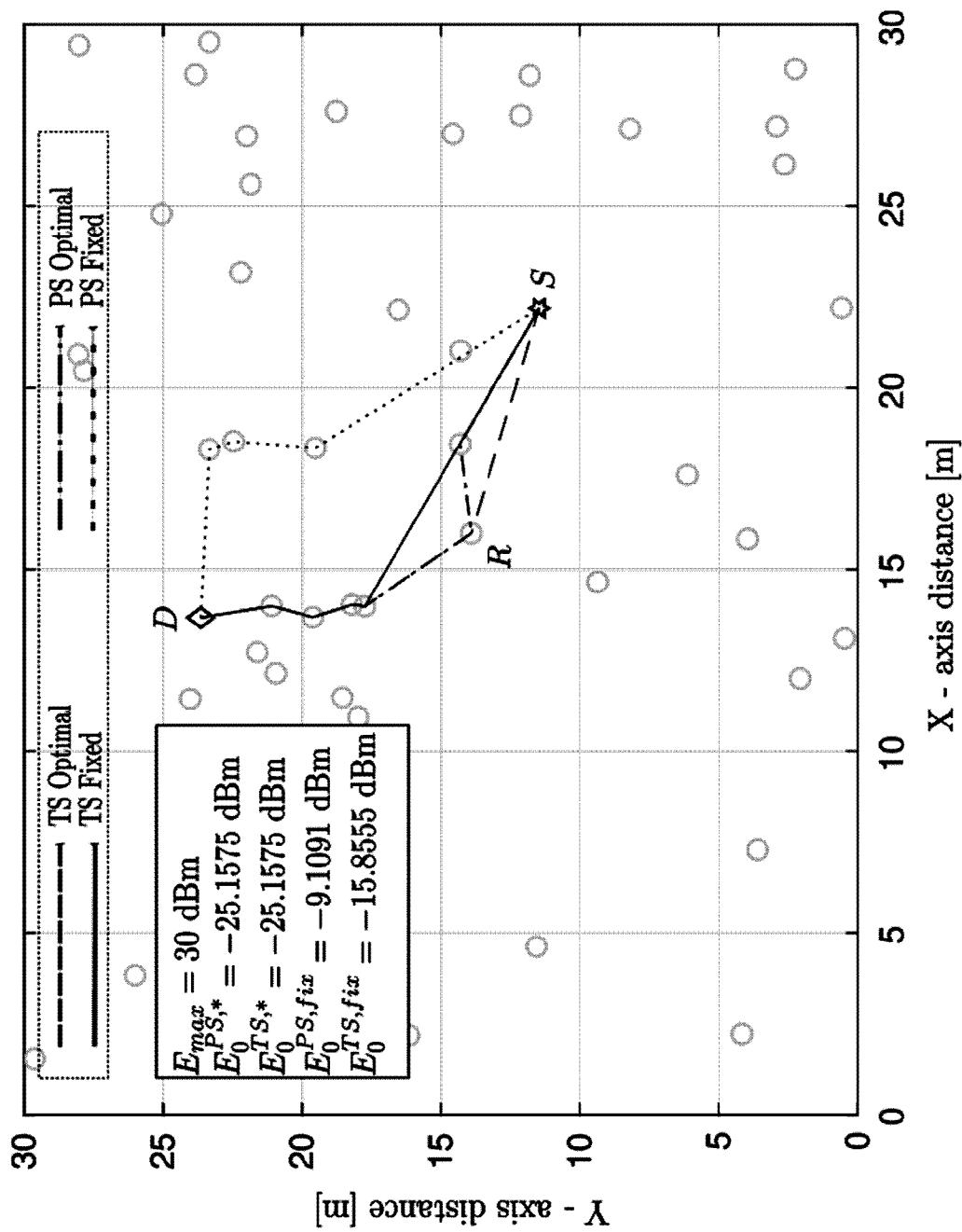
[도2]



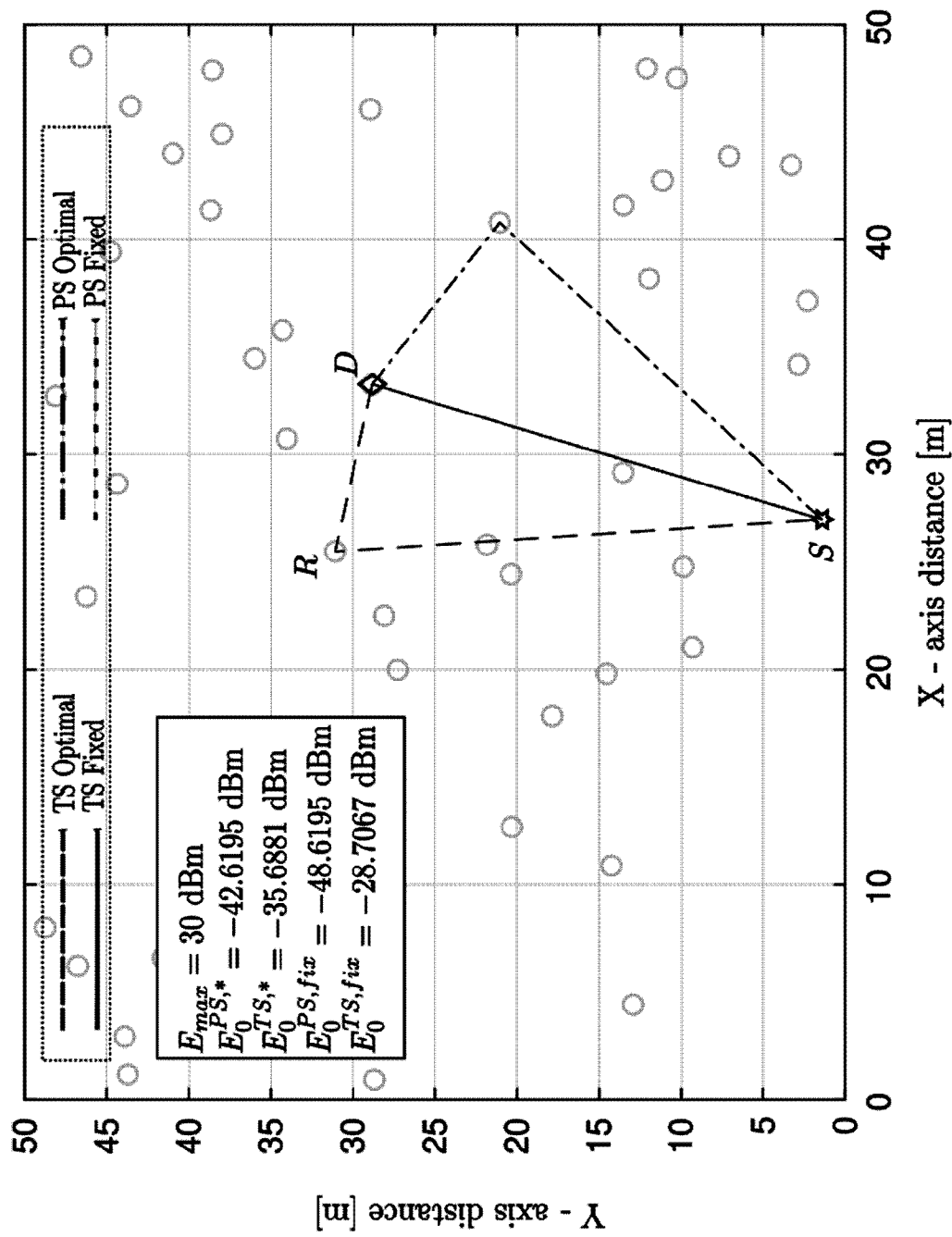
[도3]



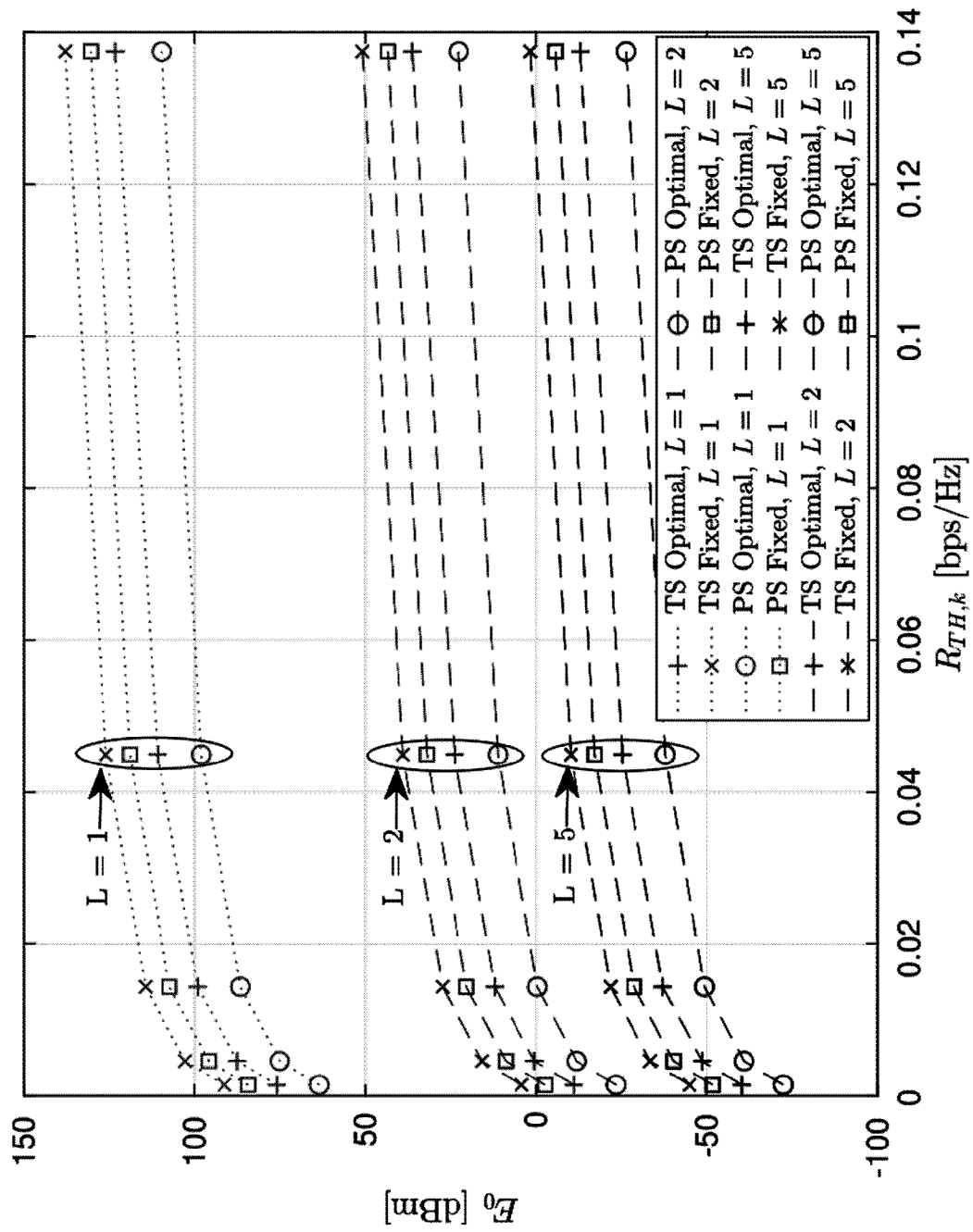
[도4]



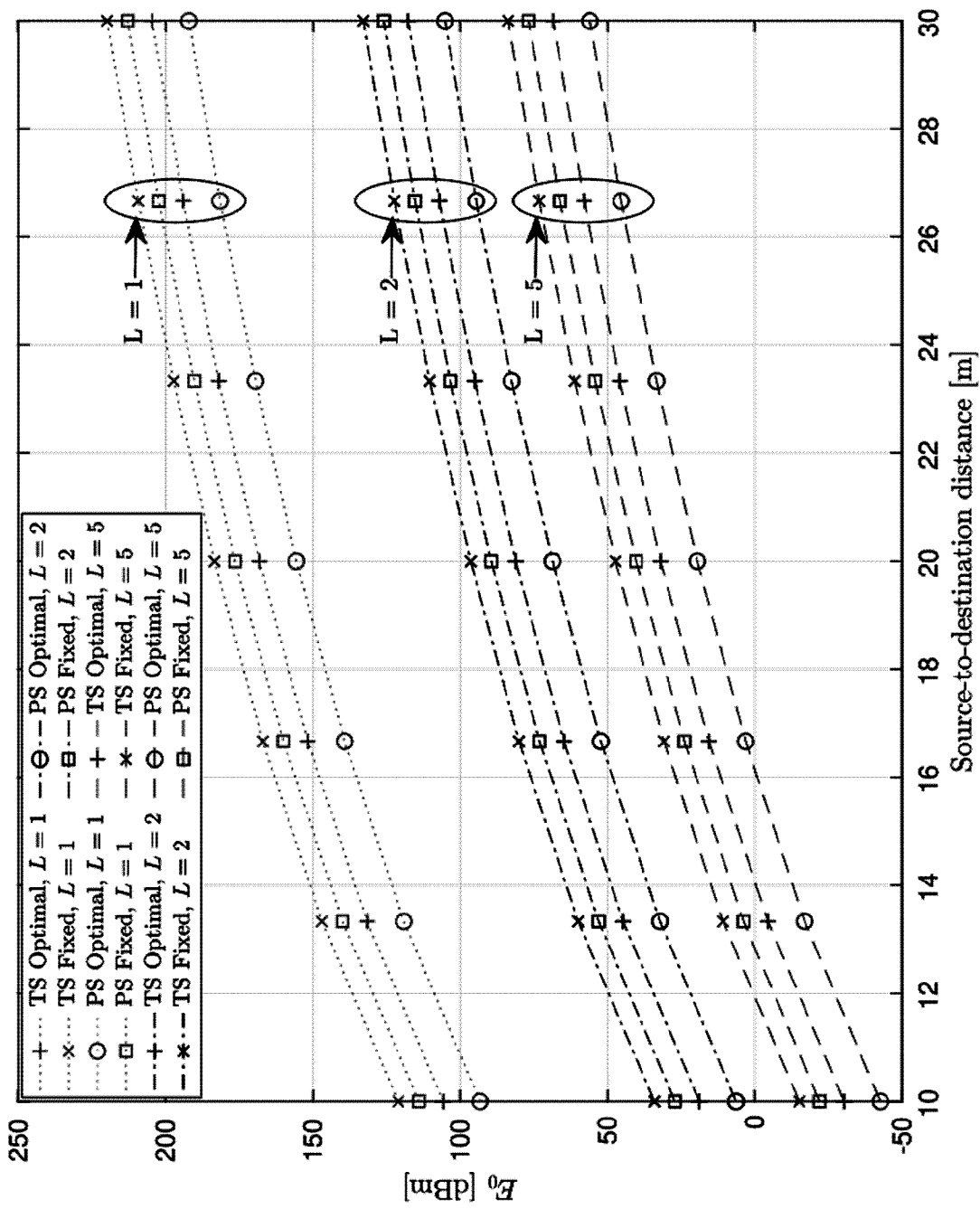
[도5]



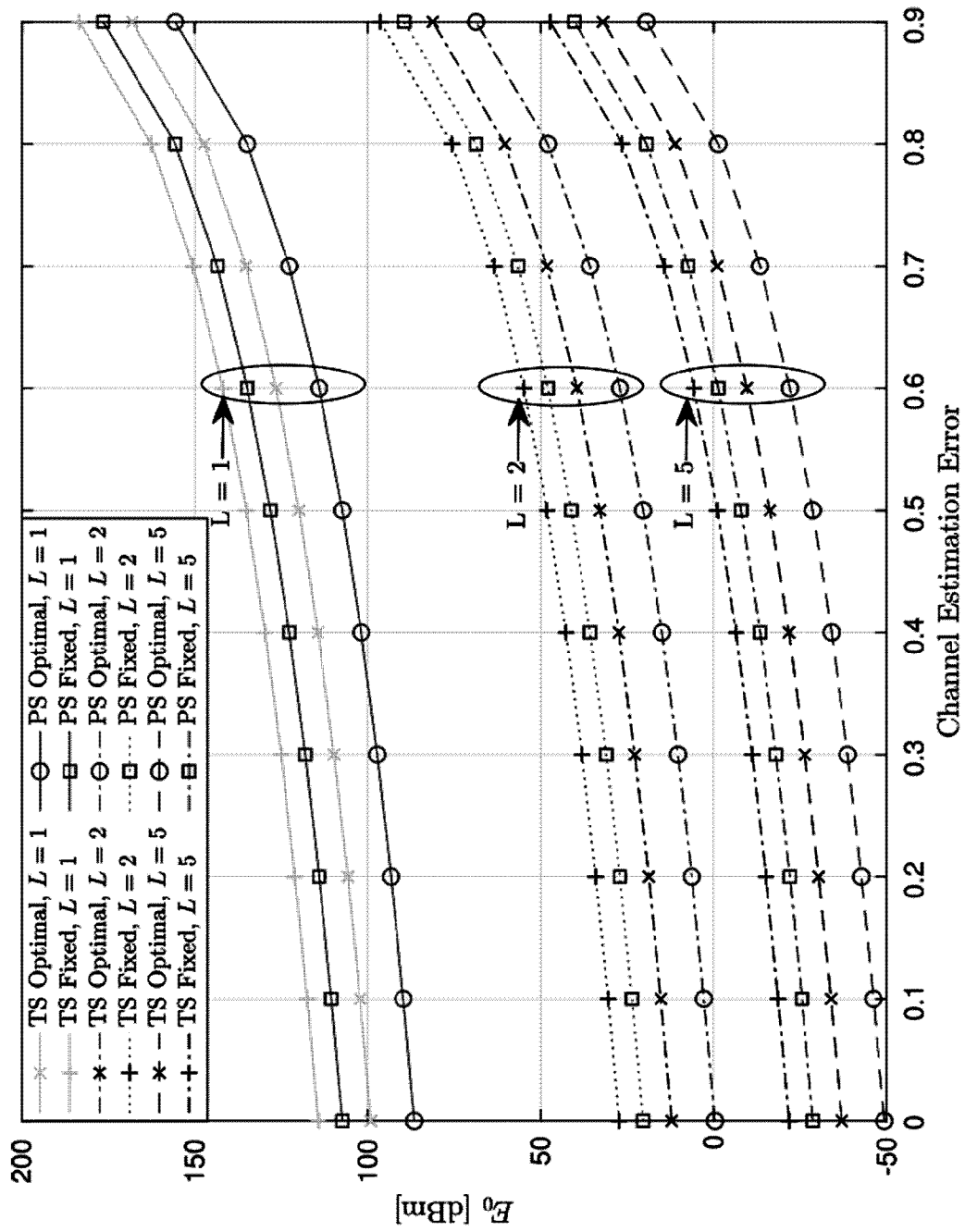
[도6]



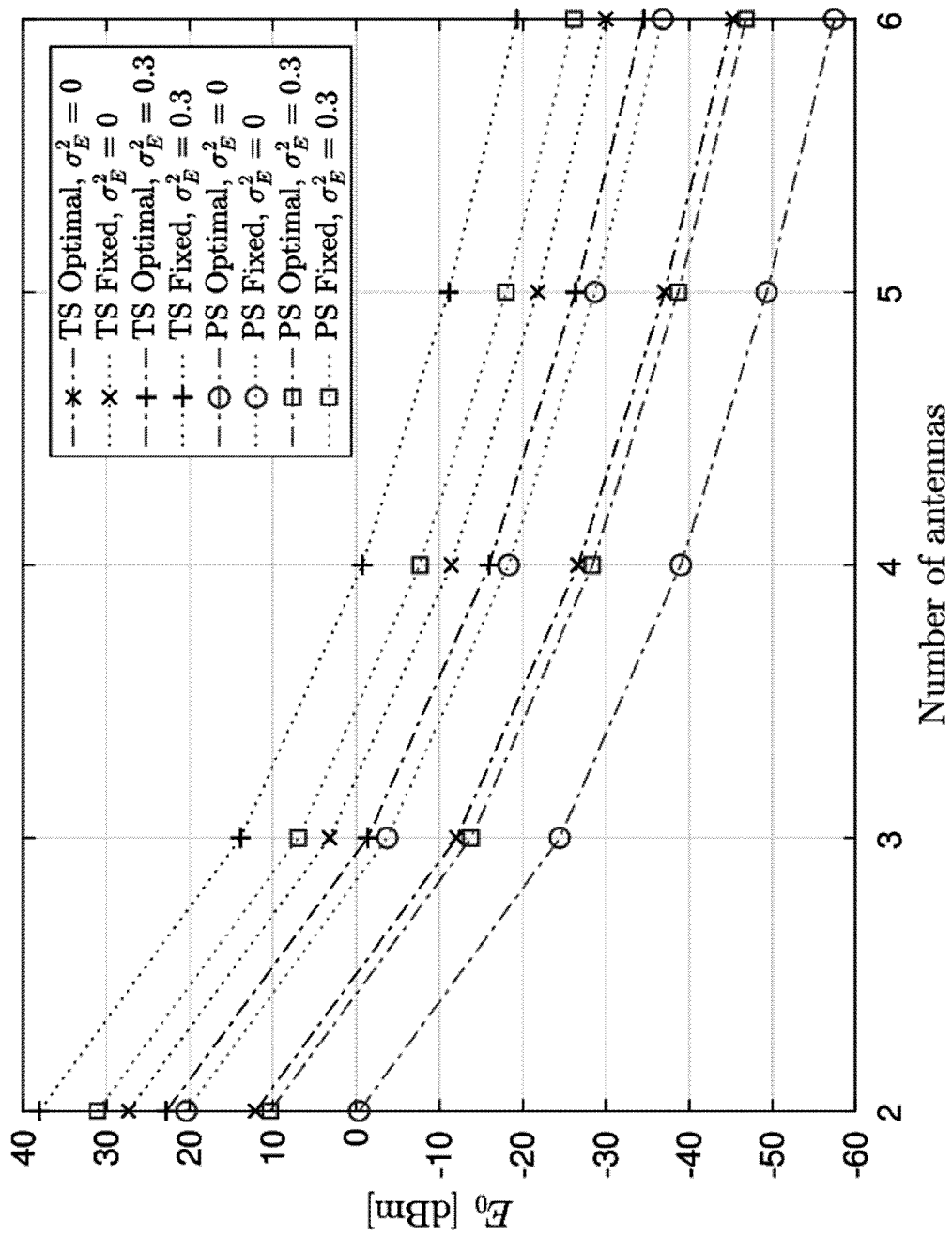
[도7]



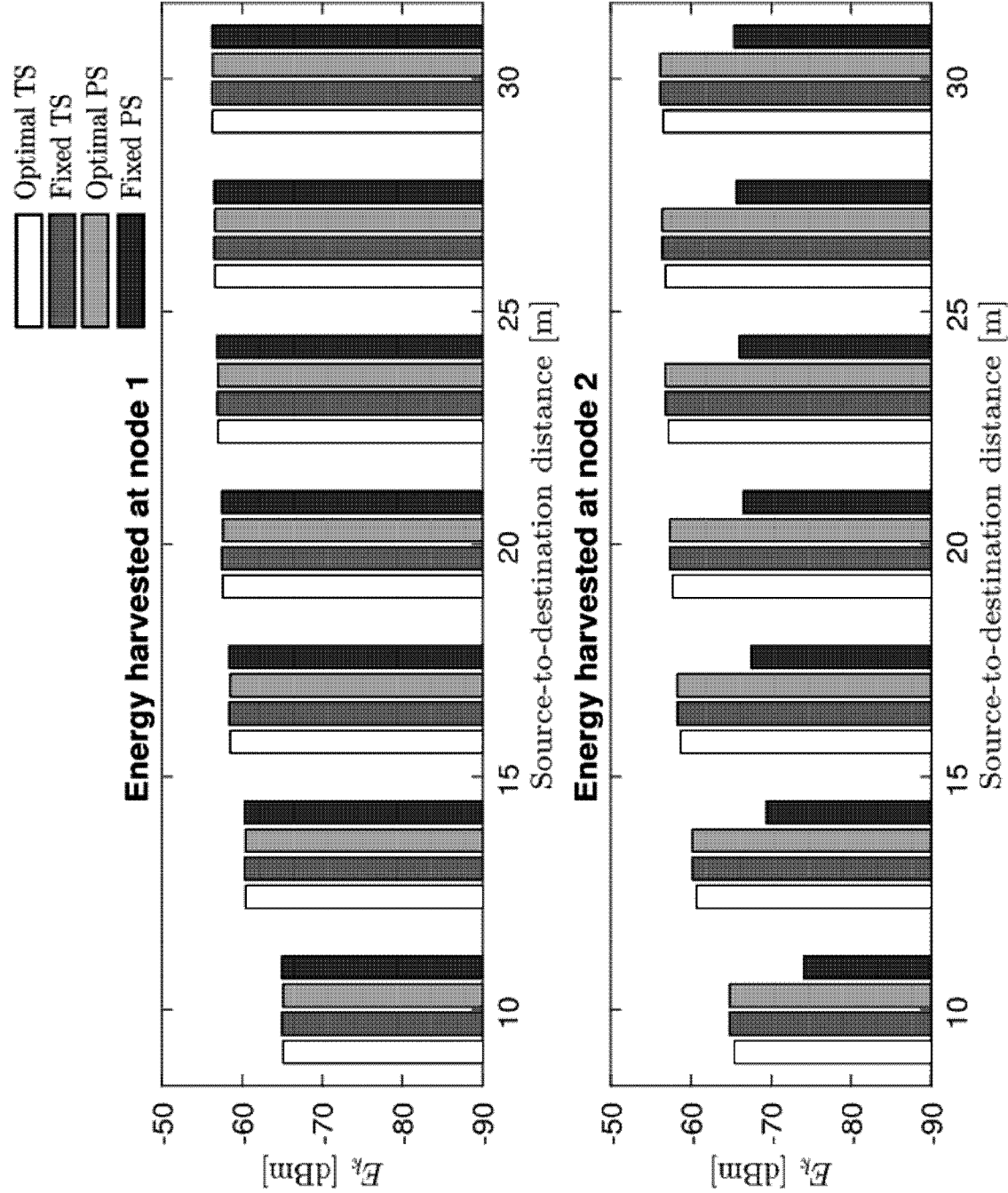
[도8]



[도9]



[도10]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/KR2021/019294

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**H02J 50/20**(2016.01)i; **H04W 40/10**(2009.01)i; **H04W 40/12**(2009.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H02J 50/20(2016.01); H04B 7/06(2006.01); H04B 7/14(2006.01); H04W 24/06(2009.01); H04W 72/08(2009.01)

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Korean utility models and applications for utility models: IPC as above

Japanese utility models and applications for utility models: IPC as above

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

eKOMPASS (KIPO internal) & keywords: 멀티홉 네트워크(multi-hop network), 전력 분할(power splitting), 시간 분할(time splitting), 에너지 수확(energy harvest), 정보 디코딩(information decoding), 역 평균 노드 간 채널 이득(inverse average inter-node channel gains, IAICG), 라우팅(routing)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	KR 10-2020-0060286 A (HANBAT NATIONAL UNIVERSITY INDUSTRY-ACADEMIC COOPERATION FOUNDATION) 29 May 2020 (2020-05-29) See paragraphs [0013]-[0073] and claims 1-13.	1-7
A	US 8411611 B2 (KWON, Tae Soo et al.) 02 April 2013 (2013-04-02) See claims 1-19.	1-7
A	ASIEDU, Derek Kwaku Pobi et al. Simultaneous Wireless Information and Power Transfer for Decode-and-Forward Multihop Relay Systems in Energy-Constrained IoT Networks. In: IEEE Internet of Things Journal. vol. 6, no. 6, December 2019, pp. 9413-9426, E-ISSN: 2327-4662. See pages 9413-9426.	1-7
A	KR 10-1179722 B1 (SOGANG UNIVERSITY RESEARCH & BUSINESS DEVELOPMENT FOUNDATION) 04 September 2012 (2012-09-04) See paragraphs [0021]-[0069].	1-7

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“D” document cited by the applicant in the international application

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

01 September 2022

Date of mailing of the international search report

01 September 2022

Name and mailing address of the ISA/KR

Korean Intellectual Property Office
Government Complex-Daejeon Building 4, 189 Cheongsaro, Seo-gu, Daejeon 35208

Facsimile No. +82-42-481-8578

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/KR2021/019294

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2007-0147322 A1 (AGRAWAL, Avneesh et al.) 28 June 2007 (2007-06-28) See paragraphs [0009]-[0016].	1-7
X	OFORI-AMANFO, Kwadwo Boateng et al. Multi-Hop MIMO Relaying Based on Simultaneous Wireless Information and Power Transfer. In: IEEE Access. vol. 9, 22 October 2021, pp. 144857-144870, E-ISSN: 2169-3536. See pages 144857-144870. [Note: This document is a document declaring `exceptions to lack of novelty` by the applicant.]	1-7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/KR2021/019294

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)		Publication date (day/month/year)
KR	10-2020-0060286	A	29 May 2020	KR	10-2209990 B1	01 February 2021
US	8411611	B2	02 April 2013	CN	101409678 A	15 April 2009
				CN	101409678 B	17 April 2013
				JP	2009-100443 A	07 May 2009
				JP	5280756 B2	04 September 2013
				KR	10-1345139 B1	26 December 2013
				KR	10-2009-0037719 A	16 April 2009
				US	2009-0097432 A1	16 April 2009
KR	10-1179722	B1	04 September 2012	None		
US	2007-0147322	A1	28 June 2007	CN	101331787 A	24 December 2008
				CN	101331787 B	25 November 2015
				EP	1938652 A1	02 July 2008
				EP	1938652 B1	20 May 2020
				JP	2009-513067 A	26 March 2009
				JP	5123194 B2	16 January 2013
				KR	10-2008-0068715 A	23 July 2008
				TW	200733611 A	01 September 2007
				US	8576872 B2	05 November 2013
				WO	2007-048118 A1	26 April 2007

A. 발명이 속하는 기술분류(국제특허분류(IPC)) H02J 50/20(2016.01)i; H04W 40/10(2009.01)i; H04W 40/12(2009.01)i		
B. 조사된 분야 조사된 최소문헌(국제특허분류를 기재) H02J 50/20(2016.01); H04B 7/06(2006.01); H04B 7/14(2006.01); H04W 24/06(2009.01); H04W 72/08(2009.01) 조사된 기술분야에 속하는 최소문헌 이외의 문헌 한국등록실용신안공보 및 한국공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC 일본등록실용신안공보 및 일본공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC 국제조사에 이용된 전산 데이터베이스(데이터베이스의 명칭 및 검색어(해당하는 경우)) eKOMPASS(특허청 내부 검색시스템) & 키워드: 멀티홉 네트워크(multi-hop network), 전력 분할(power splitting), 시간 분할(time splitting), 에너지 수확(energy harvest), 정보 디코딩(information decoding), 역 평균 노드 간 채널 이득(inverse average inter-node channel gains, IAICG), 라우팅(routing)		
C. 관련 문헌		
카테고리*	인용문헌명 및 관련 구절(해당하는 경우)의 기재	관련 청구항
A	KR 10-2020-0060286 A (한밭대학교 산학협력단) 2020.05.29 단락 [0013]-[0073] 및 청구항 1-13	1-7
A	US 8411611 B2 (TAE SOO KWON 등) 2013.04.02 청구항 1-19	1-7
A	DEREK KWAKU POBI ASIEDU 등, Simultaneous Wireless Information and Power Transfer for Decode-and-Forward Multihop Relay Systems in Energy-Constrained IoT Networks, In: IEEE Internet of Things Journal, 6권, 6호, 2019.12, pp.9413-9426, E-ISSN: 2327-4662. 페이지 9413-9426	1-7
A	KR 10-1179722 B1 (서강대학교 산학협력단) 2012.09.04 단락 [0021]-[0069]	1-7
A	US 2007-0147322 A1 (AVNEESH AGRAWAL 등) 2007.06.28 단락 [0009]-[0016]	1-7
☒ 추가 문헌이 C(계속)에 기재되어 있습니다. ☒ 대응특허에 관한 별지를 참조하십시오.		
* 인용된 문헌의 특별 카테고리: “A” 특별히 관련이 없는 것으로 보이는 일반적인 기술수준을 정의한 문헌 “D” 본 국제출원에서 출원인이 인용한 문헌 “E” 국제출원일보다 빠른 출원일 또는 우선일을 가지나 국제출원일 이후에 공개된 선출원 또는 특허 문헌 “L” 우선권 주장에 의문을 제기하는 문헌 또는 다른 인용문헌의 공개일 또는 다른 특별한 이유(이유를 명시)를 밝히기 위하여 인용된 문헌 “O” 구두 개시, 사용, 전시 또는 기타 수단을 언급하고 있는 문헌 “P” 우선일 이후에 공개되었으나 국제출원일 이전에 공개된 문헌 “T” 국제출원일 또는 우선일 후에 공개된 문헌으로, 출원과 상충하지 않으며 발명의 기초가 되는 원리나 이론을 이해하기 위해 인용된 문헌 “X” 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌 하나만으로 청구된 발명의 신규성 또는 진보성이 없는 것으로 본다. “Y” 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌이 하나 이상의 다른 문헌과 조합하는 경우로 그 조합이 당업자에게 자명한 경우 청구된 발명은 진보성이 없는 것으로 본다. “&” 동일한 대응특허문헌에 속하는 문헌		
국제조사의 실제 완료일 2022년09월01일(01.09.2022)		국제조사보고서 발송일 2022년09월01일(01.09.2022)
ISA/KR의 명칭 및 우편주소 대한민국 특허청 (35208) 대전광역시 서구 청사로 189, 4동 (둔산동, 정부대전청사) 팩스 번호 +82-42-481-8578		심사관 박혜련 전화번호 +82-42-481-3463

C. 관련 문헌		
카테고리*	인용문헌명 및 관련 구절(해당하는 경우)의 기재	관련 청구항
X	KWADWO BOATENG OFORI-AMANFO 등, Multi-Hop MIMO Relaying Based on Simultaneous Wireless Information and Power Transfer, In: IEEE Access, 9권, 2021.10.22, pp.144857-144870, E-ISSN: 2169-3536. 페이지 144857-144870 [참고: 본 문헌은 출원인에 의해 '신규성 상실의 예외'가 선언된 문헌임.]	1-7

국제조사보고서에서 인용된 특허문헌	공개일	대응특허문헌	공개일
KR 10-2020-0060286 A	2020/05/29	KR 10-2209990 B1	2021/02/01
US 8411611 B2	2013/04/02	CN 101409678 A	2009/04/15
		CN 101409678 B	2013/04/17
		JP 2009-100443 A	2009/05/07
		JP 5280756 B2	2013/09/04
		KR 10-1345139 B1	2013/12/26
		KR 10-2009-0037719 A	2009/04/16
		US 2009-0097432 A1	2009/04/16
KR 10-1179722 B1	2012/09/04	없음	
US 2007-0147322 A1	2007/06/28	CN 101331787 A	2008/12/24
		CN 101331787 B	2015/11/25
		EP 1938652 A1	2008/07/02
		EP 1938652 B1	2020/05/20
		JP 2009-513067 A	2009/03/26
		JP 5123194 B2	2013/01/16
		KR 10-2008-0068715 A	2008/07/23
		TW 200733611 A	2007/09/01
		US 8576872 B2	2013/11/05
		WO 2007-048118 A1	2007/04/26