



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0043689
(43) 공개일자 2020년04월28일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04B 7/06 (2017.01) H02J 50/23 (2016.01)
H02J 50/40 (2016.01) H04B 17/336 (2014.01)
(52) CPC특허분류
H04B 7/0617 (2013.01)
H02J 50/23 (2016.02)
(21) 출원번호 10-2018-0124348
(22) 출원일자 2018년10월18일
심사청구일자 2018년10월18일

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
(72) 발명자
장석주
서울특별시 동대문구 약령사로 5-7, 402호 (제기동)
이인규
서울특별시 강남구 영동대로 640, 웨스트동 3303호 (삼성동, 아이파크삼성)
(74) 대리인
윤귀상

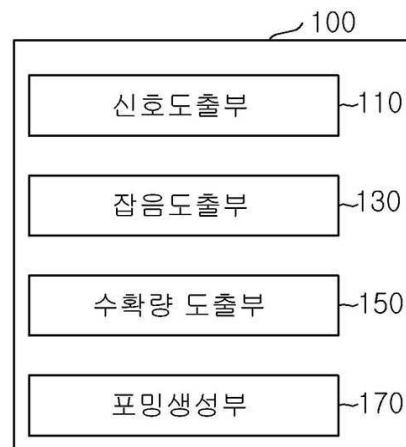
전체 청구항 수 : 총 11 항

(54) 발명의 명칭 무선 정보 및 전력 동시 전송 시스템에서의 빔포밍 생성 방법, 이를 수행하기 위한 기록매체 및 장치

(57) 요약

무선 정보 및 전력 동시 전송 시스템에서의 빔포밍 생성 방법 및 이를 수행하기 위한 장치는, N_T (여기서, N_T 는 자연수)개의 안테나를 가진 기지국에서 다수의 정보유저와 다수의 에너지유저에게 전송하는 송신신호를 도출하고, m (여기서, m 은 자연수)번째 셀에 포함된 상기 i (여기서, i 는 자연수)번째 정보유저의 잡음파워를 이용하여 각 i (여기서, i 는 자연수)번째 정보유저의 잡음비(SINR)를 도출하고, m (여기서, m 은 자연수)번째 셀에 포함된 j (여기서, j 는 자연수)번째 에너지유저의 에너지 수확량을 도출하고, 기지국에서의 송신신호 전력과 기지국으로부터 송신신호를 수신하는 다수의 에너지유저의 총 에너지 수확량을 이용하여 빔포밍을 생성할 수 있다. 이에 따라, 정보유저의 QoS(Quality of Service)와 송신파워 제한을 만족시킴과 동시에 에너지유저들의 에너지 수확량을 최대화시키면서 기지국의 송신파워를 최소화시키는 효과를 향상시킬 수 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

H02J 50/40 (2016.02)

H04B 17/336 (2015.01)

명세서

청구범위

청구항 1

각 셀에 포함된 N_T (여기서, N_T 는 자연수)개의 안테나를 가진 기지국에서 다수의 정보유저와 다수의 에너지유저에게 전송하는 송신신호를 도출하고,

m (여기서, m 은 자연수)번째 셀에 포함된 i (여기서, i 는 자연수)번째 정보유저의 잡음파워를 이용하여 상기 각 i (여기서, i 는 자연수)번째 정보유저의 잡음비(SINR)를 도출하고,

상기 m (여기서, m 은 자연수)번째 셀에 포함된 j (여기서, j 는 자연수)번째 에너지유저의 에너지 수확량을 도출하고,

상기 기지국에서의 송신신호 전력과 상기 기지국으로부터 송신신호를 수신하는 상기 다수의 에너지유저의 총 에너지 수확량을 이용하여 빔포밍을 생성하는, 무선 정보 및 전력 동시 전송 시스템에서의 빔포밍 생성 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 에너지 수확량을 도출하는 것은,

상기 m 번째(여기서, m 은 자연수) 셀의 j (여기서, j 는 자연수)번째 에너지유저를 선형모델에 적용하여 선형 에너지 수확량을 도출하고,

상기 m 번째(여기서, m 은 자연수) 셀의 j (여기서, j 는 자연수)번째 에너지유저를 비선형모델에 적용하여 비선형 에너지 수확량을 도출하고,

상기 도출된 선형 및 비선형 에너지 수확량을 이용하여 상기 m 번째(여기서, m 은 자연수) 셀의 j (여기서, j 는 자연수)번째 에너지유저에 대한 에너지 수확량을 도출하는, 무선 정보 및 전력 동시 전송 시스템에서의 빔포밍 생성 방법.

청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 선형 에너지 수확량을 도출하는 것은,

상기 m 번째(여기서, m 은 자연수) 셀의 j (여기서, j 는 자연수)번째 에너지유저의 수신신호 전력(P_{jm}^E) 및 전력 변환 효율(η_{jm})을 이용하여 도출하는, 무선 정보 및 전력 동시 전송 시스템에서의 빔포밍 생성 방법.

청구항 4

제 2 항에 있어서,

상기 비선형 에너지 수확량을 도출하는 것은,

상기 비선형모델의 파라미터인 상기 m 번째(여기서, m 은 자연수) 셀의 j (여기서, j 는 자연수)번째 에너지유저의 최대 에너지 수확량(M_{jm}), 충전속도(a_{jm}) 및 민감도(b_{jm})를 이용하여 도출하는, 무선 정보 및 전력 동시 전송 시스템에서의 빔포밍 생성 방법.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 빔포밍을 생성하는 것은,

상기 기지국의 송신신호 전력과 상기 에너지유저의 총 에너지 수확량을 상기 정보유저의 서비스(QoS: Quality of Service)를 기반으로 하여 비선형적으로 최적화하는, 무선 정보 및 전력 동시 전송 시스템에서의 빔포밍 생성 방법.

청구항 6

제 1 항에 따른 무선 정보 및 전력 동시 전송 시스템에서의 빔포밍 생성 방법을 수행하기 위한, 컴퓨터 프로그램 랩이 기록된 컴퓨터로 판독 가능한 기록 매체.

청구항 7

각 셀에 포함된 N_T (여기서, N_T 는 자연수)개의 안테나를 가진 기지국에서 다수의 정보유저와 다수의 에너지유저에게 전송하는 송신신호를 도출하는 신호도출부;

m (여기서, m 은 자연수)번째 셀에 포함된 i (여기서, i 는 자연수)번째 정보유저의 잡음파워를 이용하여 상기 각 i (여기서, i 는 자연수)번째 정보유저의 잡음비(SINR)를 도출하는 잡음도출부;

상기 m (여기서, m 은 자연수)번째 셀에 포함된 j (여기서, j 는 자연수)번째 에너지유저의 에너지 수확량을 도출하는 수확량 도출부; 및

상기 신호도출부에서 도출한 송신신호 전력과 상기 수확량 도출부에서 도출한 에너지 수확량으로부터 도출되는 상기 다수의 에너지유저의 총 에너지 수확량을 이용하여 빔포밍을 생성하는 포밍생성부;를 포함하는, 무선 정보 및 전력 동시 전송 시스템에서의 빔포밍 생성 장치.

청구항 8

제 7 항에 있어서,

상기 수확량 도출부는,

상기 m 번째(여기서, m 은 자연수) 셀의 j (여기서, j 는 자연수)번째 에너지유저를 선형모델에 적용하여 선형 에너지 수확량을 도출하는 제1 도출부;

상기 m 번째(여기서, m 은 자연수) 셀의 j (여기서, j 는 자연수)번째 에너지유저를 비선형모델에 적용하여 비선형 에너지 수확량을 도출하는 제2 도출부; 및

상기 도출된 선형 및 비선형 에너지 수확량을 이용하여 상기 m 번째(여기서, m 은 자연수) 셀의 j (여기서, j 는 자연수)번째 에너지유저에 대한 에너지 수확량을 도출하는 결합부;를 포함하는, 무선 정보 및 전력 동시 전송 시스템에서의 빔포밍 생성 장치.

청구항 9

제 8 항에 있어서,

상기 제1 도출부는,

상기 m 번째(여기서, m 은 자연수) 셀의 j (여기서, j 는 자연수)번째 에너지유저의 수신신호 전력(P_{jm}^E) 및 전력 변

환 효율(η_{jm})을 이용하여 도출하는, 무선 정보 및 전력 동시 전송 시스템에서의 빔포밍 생성 장치.

청구항 10

제 8 항에 있어서,

상기 제2 도출부는,

상기 비선형모델의 파라미터인 상기 m 번째(여기서, m 은 자연수) 셀의 j (여기서, j 는 자연수)번째 에너지유저의 최대 에너지 수확량(M_{jm}), 충전속도(a_{jm}) 및 민감도(b_{jm})를 이용하여 도출하는, 무선 정보 및 전력 동시 전송 시스템에서의 빔포밍 생성 장치.

청구항 11

제 1 항에 있어서,

상기 포밍생성부는,

상기 기지국의 송신신호 전력과 상기 에너지유저의 총 에너지 수확량을 상기 정보유저의 서비스(QoS: Quality of Service)를 기반으로 하여 비선형적으로 최적화하는, 무선 정보 및 전력 동시 전송 시스템에서의 빔포밍 생성 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 무선 정보 및 전력 동시 전송 시스템에서의 빔포밍 생성 방법, 이를 수행하기 위한 기록매체 및 장치에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 송신기와 수신기 간 RF(Radio Frequency) 신호를 주고받는 무선 통신 네트워크 환경에서 효율적인 빔포밍을 생성할 수 있는 무선 정보 및 전력 동시 전송 시스템에서의 빔포밍 생성 방법, 이를 수행하기 위한 기록매체 및 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 최근 에너지 제약적(energy constrained) 무선 네트워크에 있어서 무선 에너지 전송 기술을 적용하려는 시도가 활발하게 이루어지고 있다.

[0003] 그 일환으로 송신기에 의해 방사된 신호로 사용자 단말들을 무선으로 충전시키며, 사용자 단말들은 수확된 에너지를 사용하여 정보 신호들을 송신할 수 있는 구조의 무선 전력 통신 네트워크(WPCN: wireless powered communication network system)에 대한 연구가 진행되고 있다.

[0004] 이에 따라, 정보 유저의 QoS(quality of service)를 만족시킴과 동시에 에너지를 수확하는 에너지유저들의 총 수확된 에너지를 최대화하기 위한 무선 정보 및 전력 동시 전송 시스템에 대한 실험도 진행되고 있다.

[0005] 하지만, 기존의 무선 정보 및 전력 동시 전송 시스템에서는 기지국에서 소비하는 전력을 고려하여 최적화하지 않고, 에너지유저의 효율은 고려하지 않고, 비선형 모델을 고려하지 않는 등 다양한 문제점이 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0006] (특허문헌 0001) 한국공개특허 제10-2017-0112746호

(특허문헌 0002) 한국등록특허 제10-1887526호

(특허문헌 0003) 미국등록특허 US 9408155 B2

(특허문헌 0004) 한국등록특허 제10-1697431호

비특허문헌

- [0007] (비특허문헌 0001) MIMO broadcasting for simultaneous wireless information and power transfer, R. Zhang and C. K. Ho, IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 12, No. 5, pp. 1989-2001, May 2013.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0008] 본 발명의 일측면은 RF 신호를 이용한 에너지 수확 기술을 통신 시스템에 접목시킨 무선 정보 및 전력 동시 전송 시스템에서의 빔포밍 생성 방법, 이를 수행하기 위한 기록매체 및 장치를 제공한다.
- [0009] 본 발명의 기술적 과제는 이상에서 언급한 기술적 과제로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 기술적 과제들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

- [0010] 본 발명의 일 실시예에 따른 무선 정보 및 전력 동시 전송 시스템에서의 빔포밍 생성 방법은, 각 셀에 포함된 N_T (여기서, N_T 는 자연수)개의 안테나를 가진 m 번째(여기서, m 은 자연수) 기지국에서 다수의 정보유저와 다수의 에너지유저에게 전송하는 송신신호를 도출하고, m (여기서, m 은 자연수)번째 셀에 포함된 i (여기서, i 는 자연수)번째 정보유저의 잡음파워를 이용하여 상기 각 i (여기서, i 는 자연수)번째 정보유저의 잡음비(SINR)를 도출하고, 상기 m (여기서, m 은 자연수)번째 기지국에 포함된 j (여기서, j 는 자연수)번째 에너지유저의 에너지 수확량을 도출하고, 상기 기지국에서의 송신신호 전력과 상기 기지국으로부터 송신신호를 수신하는 상기 다수의 에너지유저의 총 에너지 수확량을 이용하여 빔포밍을 생성한다.
- [0011] 상기 에너지 수확량을 도출하는 것은, 상기 j (여기서, j 는 자연수)번째 에너지유저를 선형모델에 적용하여 선형 에너지 수확량을 도출하고, 상기 j (여기서, j 는 자연수)번째 에너지유저를 비선형모델에 적용하여 비선형 에너지 수확량을 도출하고, 상기 도출된 선형 및 비선형 에너지 수확량을 이용하여 상기 j (여기서, j 는 자연수)번째 에너지유저에 대한 에너지 수확량을 도출할 수 있다.
- [0012] 상기 선형 에너지 수확량을 도출하는 것은, 상기 m 번째(여기서, m 은 자연수) 셀의 j (여기서, j 는 자연수)번째 에너지유저의 수신신호 전력(P_{jm}^E) 및 전력 변환 효율(η_{jm})을 이용하여 도출할 수 있다.
- [0013] 상기 비선형 에너지 수확량을 도출하는 것은, 상기 비선형모델의 파라미터인 상기 m 번째(여기서, m 은 자연수) 셀의 j (여기서, j 는 자연수)번째 에너지유저의 최대 에너지 수확량(M_{jm}), 충전속도(a_{jm}) 및 민감도(b_{jm})를 이용하여 도출할 수 있다.
- [0014] 상기 빔포밍을 생성하는 것은, 상기 기지국의 송신신호 전력과 상기 에너지유저의 총 에너지 수확량을 상기 정보유저의 서비스(QoS: Quality of Service)를 기반으로 하여 비선형적으로 최적화할 수 있다.
- [0015] 본 발명의 다른 실시예에 따른 컴퓨터로 판독 가능한 기록매체에는 무선 정보 및 전력 동시 전송 시스템에서의 빔포밍 생성 방법을 수행하기 위한 컴퓨터 프로그램이 기록되어 있다.
- [0016] 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 무선 정보 및 전력 동시 전송 시스템에서의 빔포밍 생성 장치는, 각 셀에 포함된 N_T (여기서, N_T 는 자연수)개의 안테나를 가진 m 번째(여기서, m 은 자연수) 기지국에서 다수의 정보유저와 다수의 에너지유저에게 전송하는 송신신호를 도출하는 신호도출부; m (여기서, m 은 자연수)번째 셀에 포함된 i (여기서, i 는 자연수)번째 정보유저의 잡음파워를 이용하여 상기 각 i (여기서, i 는 자연수)번째 정보유저의 잡음비(SINR)를 도출하는 잡음도출부; 상기 m (여기서, m 은 자연수)번째 기지국에 포함된 j (여기서, j 는 자연수)번째 에너지유저의 에너지 수확량을 도출하는 수확량 도출부; 및 상기 신호도출부에서 도출한 송신신호 전력과 상

기 수확량 도출부에서 도출한 에너지 수확량으로부터 도출되는 상기 다수의 에너지유저의 총 에너지 수확량을 이용하여 빔포밍을 생성하는 포밍생성부;를 포함한다.

[0017] 상기 수확량 도출부는, 상기 j (여기서, j 는 자연수)번째 에너지유저를 선형모델에 적용하여 선형 에너지 수확량을 도출하는 제1 도출부; 상기 j (여기서, j 는 자연수)번째 에너지유저를 비선형모델에 적용하여 비선형 에너지 수확량을 도출하는 제2 도출부; 및 상기 도출된 선형 및 비선형 에너지 수확량을 이용하여 상기 j (여기서, j 는 자연수)번째 에너지유저에 대한 에너지 수확량을 도출하는 결합부;를 포함할 수 있다.

[0018] 상기 제1 도출부는, 상기 m 번째(여기서, m 은 자연수) 셀의 j (여기서, j 는 자연수)번째 에너지유저의 수신신호 전력(P_{jm}^E) 및 전력 변환 효율(η_{jm})을 이용하여 도출할 수 있다.

[0019] 상기 제2 도출부는, 상기 비선형모델의 파라미터인 상기 m 번째(여기서, m 은 자연수) 셀의 j (여기서, j 는 자연수)번째 에너지유저의 최대 에너지 수확량(M_{jm}), 충전속도(a_{jm}) 및 민감도(b_{jm})를 이용하여 도출할 수 있다.

[0020] 상기 포밍생성부는, 상기 기지국의 송신신호 전력과 상기 에너지유저의 총 에너지 수확량을 상기 정보유저의 서비스(QoS: Quality of Service)를 기반으로 하여 비선형적으로 최적화할 수 있다.

발명의 효과

[0021] 상술한 본 발명의 일 측면에 따르면, 기지국에서 소비하는 전력을 고려하고, 선형 모델뿐만 아니라 비선형 모델에 적용한 에너지 수확량을 도출하여 보다 효율적인 빔포밍을 생성할 수 있다.

[0022] 또한, 정보유저의 QoS(Quality of Service)와 송신파워 제한을 만족시킴과 동시에 에너지유저들의 에너지 수확량을 최대화시키면서 기지국의 송신파워를 최소화시키는 효과를 기대할 수 있다.

[0023] 본 발명에서 얻을 수 있는 효과는 이상에서 언급한 효과로 제한되지 않으며, 언급하지 않은 또 다른 효과들은 아래의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

[0024] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 무선 정보 및 전력 동시 전송 시스템에서의 빔포밍 생성 장치를 도시한 블록도이다.

도 2는 도 1의 수확량 도출부를 자세히 도시한 블록도이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 무선 정보 및 전력 동시 전송 시스템에서의 빔포밍 생성 방법을 개략적으로 도시한 흐름도이다.

도 4는 도 3의 에너지 수확량을 도출하는 과정을 자세히 도시한 흐름도이다.

도 5는 본 발명이 제안하는 무선 정보 및 전력 동시 전송 시스템에서의 빔포밍 생성 장치를 적용한 무선 정보 및 전력 동시 전송 시스템의 예를 나타낸 예시도이다.

도 6은 본 발명에 따른 무선 정보 및 전력 동시 전송 시스템에서의 빔포밍 생성 방법 중 선형모델에 적용하여 선형에너지 수확량을 도출한 결과를 나타낸 도면이다.

도 7은 본 발명에 따른 무선 정보 및 전력 동시 전송 시스템에서의 빔포밍 생성 방법 중 비선형모델에 적용하여 비선형 에너지 수확량을 도출한 결과를 나타낸 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0025] 후술하는 본 발명에 대한 상세한 설명은, 본 발명이 실시될 수 있는 특정 실시예를 예시로서 도시하는 첨부 도면을 참조한다. 이들 실시예는 당업자가 본 발명을 실시할 수 있기에 충분하도록 상세히 설명된다. 본 발명의 다양한 실시예는 서로 다르지만 상호 배타적일 필요는 없음이 이해되어야 한다. 예를 들어, 여기에 기재되어 있는 특정 형상, 구조 및 특성은 일 실시예와 관련하여 본 발명의 정신 및 범위를 벗어나지 않으면서 다른 실시예로 구현될 수 있다. 또한, 각각의 개시된 실시예 내의 개별 구성요소의 위치 또는 배치는 본 발명의 정신 및 범위를 벗어나지 않으면서 변경될 수 있음이 이해되어야 한다. 따라서, 후술하는 상세한 설명은 한정적인 의미로

서 취하려는 것이 아니며, 본 발명의 범위는, 적절하게 설명된다면, 그 청구항들이 주장하는 것과 균등한 모든 범위와 더불어 첨부된 청구항에 의해서만 한정된다. 도면에서 유사한 참조부호는 여러 측면에 걸쳐서 동일하거나 유사한 기능을 지칭한다.

[0026] 이하, 도면들을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예들을 보다 상세하게 설명하기로 한다.

[0027] 본 발명은 선형 모델뿐만 아니라 비선형 모델에 적용한 에너지 수확량을 도출하여 보다 효율적인 빔포밍을 생성할 수 있는 무선 정보 및 전력 동시 전송 시스템에서의 빔포밍 생성 장치이다.

[0028] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 무선 정보 및 전력 동시 전송 시스템에서의 빔포밍 생성 장치의 개략적인 구성이 도시된 도면이다.

[0029] 본 발명의 일 실시예에 따른 무선 정보 및 전력 동시 전송 시스템에서의 빔포밍 생성 장치(100, 이하 빔포밍 생성 장치)는 신호도출부(110), 잡음도출부(130), 수확량 도출부(150) 및 포밍생성부(170)를 포함할 수 있다.

[0030] 신호도출부(110)는 각 셀에 포함된 N_T (여기서, N_T 는 자연수)개의 안테나를 가진 m 번째(여기서, m 은 자연수) 기지국(BS, Base Station)에서 다수의 정보유저와 다수의 에너지유저에게 전송하는 송신신호를 도출할 수 있다.

[0031] 여기서, 셀은 m (여기서, m 은 자연수)개로 구성될 수 있으며, N_T (여기서, N_T 는 자연수)개의 안테나를 가진 하나의 기지국, 다수의 정보유저 및 다수의 에너지 유저를 포함할 수 있다.

[0032] 기지국은 N_T (여기서, N_T 는 자연수)의 안테나를 이용하여 단일 안테나를 가진 다수의 정보유저와 다수의 에너지유저에게 각각 정보와 전력을 동시에 전송할 수 있다.

[0033] m 번째(여기서, m 은 자연수) 기지국에서 정보유저와 에너지유저에게 전송하는 송신신호(x_m)는 아래 [수학식 1]을 통하여 도출할 수 있다.

수학식 1

$$x_m = \sum_{i \in \mathcal{U}_m^I} w_{im} s_{im}^I + \sum_{j \in \mathcal{U}_m^E} v_{jm} s_{jm}^E$$

[0034]

[0035] 여기서, w_{im} 은 m 번째 기지국에서 정보를 수신한 i 번째 정보유저를 위한 빔포밍을 의미할 수 있고, v_{jm} 은 m 번째 기지국에서 에너지를 수신한 j 번째 에너지유저를 위한 빔포밍을 의미할 수 있다.

[0036] 또한, s_{im}^I 는 m 번째 셀의 i 번째 정보유저를 위한 심볼을 의미할 수 있고, s_{jm}^E 는 m 번째 셀의 j 번째 에너지유저를 위한 심볼을 의미할 수 있고, $\mathcal{U}_m^I$ 는 m 번째 셀의 다수의 정보유저의 집합을 의미할 수 있고, $\mathcal{U}_m^E$ 는 m 번째 셀의 다수의 에너지유저의 집합을 의미할 수 있다.

[0037] m 번째(여기서, m 은 자연수) 셀의 i (여기서, i 는 자연수)번째 정보유저가 수신한 수신신호(y_{im}^I)는 아래 [수학식 2]로부터 도출할 수 있고, m 번째(여기서, m 은 자연수) 셀의 j (여기서, j 는 자연수)번째 정보유저가 수신한 수신신호(y_{jm}^E)는 아래 [수학식 3]으로부터 도출할 수 있다.

수학식 2

$$y_{im}^I = \underbrace{h_{imm}^H w_{im} s_{im}^I}_{\text{desired signal}} + \underbrace{\sum_{k \in \mathcal{U}_m^I \setminus \{i\}} h_{imm}^H w_{km} s_{km}^I}_{\text{intra-cell interference}} + \underbrace{\sum_{n \in \mathcal{M} \setminus \{m\}} \sum_{k \in \mathcal{U}_n^I} h_{imn}^H w_{kn} s_{kn}^I}_{\text{inter-cell interference}} + \underbrace{\sum_{n \in \mathcal{M}} \sum_{j \in \mathcal{U}_n^E} h_{imn}^H v_{jn} s_{jn}^E}_{\text{interference induced by energy signals}} + n_{im}$$

[0038]

수학식 3

$$y_{jm}^E = \sum_{n \in \mathcal{M}} \sum_{k \in \mathcal{U}_n^E} g_{jmn}^H w_{kn} s_{kn}^I + \sum_{n \in \mathcal{M}} \sum_{l \in \mathcal{U}_n^E} g_{jmn} v_{ln} s_{ln}^E + n_{jm}$$

여기서, h_{imn} 은 n번째(여기서, n은 자연수) 기지국과 m번째 셀의 i번째 정보유저와의 채널을 의미할 수 있고, g_{jmn} 은 n번째(여기서, n은 자연수) 기지국과 m번째 셀의 j번째 에너지유저와의 채널을 의미할 수 있고, n_{im}^I 는 m번째 셀의 i번째 정보유저의 잡음을 의미할 수 있고, n_{jm}^E 는 m번째 셀의 j번째 에너지유저의 잡음을 의미할 수 있다.

잡음도출부(130)는 m(여기서, m은 자연수)번째 셀에 포함된 다수의 정보유저 중 i(여기서, i는 자연수)번째 정보유저의 수신신호로부터 잡음을 추출할 수 있고, 추출된 잡음으로부터 잡음파워(σ_{im}^2)를 도출할 수 있다.

잡음도출부(130)는 도출된 잡음파워를 아래 [수학식 4]에 적용하여 각 m번째(여기서, m은 자연수) 셀의 i(여기서, i는 자연수)번째 정보유저의 잡음비($SINR_{im}$, signal-to-interference-plus-noise ratio)를 도출할 수 있다.

수학식 4

$$SINR_{im} = \frac{|h_{imn}^H w_{im}|^2}{\sum_{k \in \mathcal{U}_m \setminus \{i\}} |h_{imn}^H w_{km}|^2 + \sum_{n \in \mathcal{M} \setminus \{m\}} \sum_{k \in \mathcal{U}_n^I} |h_{imn}^H w_{kn}|^2 + \sum_{n \in \mathcal{M}} \sum_{j \in \mathcal{U}_n^E} |h_{imn}^H v_{jn}|^2 + \sigma_{im}^2}$$

수확량 도출부(150)는 m(여기서, m은 자연수)번째 셀에 포함된 j(여기서, j는 자연수)번째 에너지유저의 선형 에너지 수확량(E_{jm}^{Linear}) 및 비선형 에너지 수확량($E_{jm}^{Non-linear}$)을 이용하여 총 에너지 수확량(E_{jm})을 도출할 수 있다.

수확량 도출부(150)는 아래 [수학식 5]를 이용하여 선형 에너지 수확량(E_{jm}^{Linear})을 도출할 수 있다.

수학식 5

$$E_{jm}^{Linear} = \eta_{jm} P_{jm}^{EH}$$

여기서, η_{jm} 는 수신한 RF 신호를 전력으로 바꾸는 효율을 나타내는 0과 1사이의 양수로서 m번째 셀의 j번째 에너지유저의 전력 변환 효율을 의미할 수 있고, P_{jm}^{EH} 는 m번째 셀의 j번째 에너지유저의 수신신호의 전력을 의미할 수 있다.

수확량 도출부(150)는 아래 [수학식 6]를 이용하여 비선형 에너지 수확량($E_{jm}^{Non-linear}$)을 도출할 수 있다.

수학식 6

$$E_{jm}^{\text{Nonlinear}} = \frac{\frac{M_{jm}}{1+\exp(-a_{jm}(P_{jm}^{EH}-b_{jm}))} - M_{jm}\Omega_{jm}}{1-\Omega_{jm}}$$

여기서, M_{jm} 는 m번째 셀의 j번째 에너지유저의 최대 에너지 수확량(maximum harvested power)을 의미할 수 있다.

또한, a_{jm} 는 m번째 셀의 j번째 에너지유저의 충전속도(charging rate)를 의미할 수 있고, b_{jm} 는 m번째 셀의 j번째 에너지유저의 민감도(sensitivity)를 의미할 수 있고, Ω_{jm} 은 a_{jm} 과 b_{jm} 을 이용한 [수학식 7]을 이용하여 산출될 수 있다.

수학식 7

$$\Omega_{jm} \triangleq \frac{1}{1+\exp(a_{jm}b_{jm})}$$

에너지를 수신한 m번째 셀의 j번째 에너지유저의 수신신호의 전력인 P_{jm}^{EH} 는 아래 [수학식 8]을 이용하여 도출할 수 있다.

수학식 8

$$P_{jm}^{EH} \triangleq \mathbb{E} [|y_{jm}^E|^2] = \sum_{n \in \mathcal{M}} \left(\sum_{k \in \mathcal{U}_n^I} |g_{jmn}^H w_{kn}|^2 + \sum_{l \in \mathcal{U}_n^E} |g_{jmn}^H v_{ln}|^2 \right)$$

포밍생성부(170)는 신호도출부(110)에서 도출한 송신신호의 전력(P_{total})과 수확량 도출부(150)에서 도출한 총 에너지 수확량(E_{jm})으로부터 도출되는 다수의 에너지유저의 총 에너지 수확량을 이용한 [수학식 9]를 이용하여 에너지 수확 효율 (EHE, Energy Harvesting Efficiency)를 최대화하는 빔포밍을 생성할 수 있다.

수학식 9

$$\max \text{EHE} = \frac{\text{에너지 유저들의 총 에너지 수확량}}{\text{기지국에서의 송신 파워}} = \frac{\sum_{m \in \mathcal{M}} \sum_{j \in \mathcal{U}_m^E} E_{jm}}{P_{total}}$$

여기서 송신신호의 전력(P_{total})은 아래 [수학식 10]을 이용하여 도출할 수 있다.

수학식 10

$$P_{total} = \sum_{m \in \mathcal{M}} \left(\sum_{i \in \mathcal{U}_m^I} \|w_{im}\|^2 + \sum_{j \in \mathcal{U}_m^E} \|v_{jm}\|^2 + P_{C,m} \right)$$

즉, 본 발명의 일 실시예에 따른 빔포밍 생성 장치(100)의 최대 에너지 효율적인 빔포밍은 기지국에서의 송신파위에 대한 에너지유저들의 총 에너지 수확량을 의미할 수 있다.

- [0060] 도 2는 도 1의 수확량 도출부를 자세히 도시한 블록도이다.
- [0061] 본 발명이 제안하는 빔포밍 생성 장치(100)의 수확량 도출부(150)는 제1 도출부(151), 제2 도출부(155) 및 결합부(159)를 포함할 수 있다.
- [0062] 제1 도출부(151)는 에너지 신호를 수신한 m 번째(여기서, m 은 자연수) 셀의 j 번째(여기서, j 는 자연수) 에너지유저를 전술한 [수학식 5]와 같은 선형모델에 적용하여 선형 에너지 수확량(E_{jm}^{Linear})을 도출할 수 있다.
- [0063] 제1 도출부(151)가 선형 에너지 수확량(E_{jm}^{Linear})을 도출하는 과정은 Centralized 알고리즘을 이용한 선형모델에 적용하여 도출할 수 있다.
- [0064] 먼저, Centralized 알고리즘을 이용하여 전술한 [수학식 5]에 따라 선형모델에 적용하여 도출된 선형 에너지 수확량(E_{jm}^{Linear})의 최대값을 아래 [수학식 11]를 이용하여 산출할 수 있다.

수학식 11

$$\begin{aligned} \max_{\{\bar{\mathbf{w}}_{km}, \bar{\mathbf{v}}_{lm}\}, \alpha} \quad & \sum_{m \in \mathcal{M}} \left(\sum_{k \in \mathcal{U}_m^I} \bar{\mathbf{w}}_{km}^H \mathbf{G}_m \bar{\mathbf{w}}_{km} + \sum_{l \in \mathcal{U}_m^E} \bar{\mathbf{v}}_{lm}^H \mathbf{G}_m \bar{\mathbf{v}}_{lm} \right) \\ \text{s.t.} \quad & \overline{\text{SINR}}_{im} \geq \gamma_{im}, \forall i \in \mathcal{U}_m^I, \forall m \in \mathcal{M}, \\ & \sum_{k \in \mathcal{U}_m^I} \|\bar{\mathbf{w}}_{km}\|^2 + \sum_{l \in \mathcal{U}_m^E} \|\bar{\mathbf{v}}_{lm}\|^2 \leq \alpha P_{T,m}, \forall m \in \mathcal{M}, \\ & \sum_{m \in \mathcal{M}} \left(\sum_{k \in \mathcal{U}_m^I} \|\bar{\mathbf{w}}_{km}\|^2 + \sum_{l \in \mathcal{U}_m^E} \|\bar{\mathbf{v}}_{lm}\|^2 + \alpha P_{C,m} \right) = 1 \end{aligned}$$

[0066] 여기서, $\mathbf{G}_m$ 은 $\mathbf{G}_m \triangleq \sum_{n \in \mathcal{M}} \sum_{j \in \mathcal{U}_n^E} \eta_{jn} g_{jnm} g_{jnm}^H, \forall m \in \mathcal{M}, \gamma_{im}$ 으로 정의될 수 있다.

[0067] 또한, $\bar{\mathbf{w}}_{km}$ 은 $\sqrt{\alpha} \mathbf{w}_{km}$ 을 의미할 수 있고, $\bar{\mathbf{v}}_{lm}$ 은 $\sqrt{\alpha} \mathbf{v}_{lm}$ 을 의미할 수 있고, $\forall l \in \mathcal{U}_m^I, \forall m \in \mathcal{M}$ 을 의미할 수 있고, $\overline{\text{SINR}}_{im}$ 은 아래 [수학식 12]으로 정의될 수 있다.

수학식 12

$$\overline{\text{SINR}}_{im} = \frac{|\mathbf{h}_{im}^H \bar{\mathbf{w}}_{im}|^2}{\sum_{k \in \mathcal{U}_m^I \setminus \{i\}} |\mathbf{h}_{im}^H \bar{\mathbf{w}}_{km}|^2 + \sum_{n \in \mathcal{M} \setminus \{m\}} \sum_{k \in \mathcal{U}_n^I} |\mathbf{h}_{im}^H \bar{\mathbf{w}}_{kn}|^2 + \sum_{n \in \mathcal{M}} \sum_{l \in \mathcal{U}_n^E} |\mathbf{h}_{im}^H \bar{\mathbf{v}}_{ln}|^2 + \sigma_{im}^2 \alpha}$$

[0069] [수학식 11]로부터 얻어지는 최종 수학식은 [수학식 13]를 의미할 수 있다.

수학식 13

$$\begin{aligned} \max_{\{\bar{\mathbf{w}}_{km}, \bar{\mathbf{v}}_{lm}\}, \alpha} f_1(\{\bar{\mathbf{w}}_{km}, \bar{\mathbf{v}}_{lm}\}, \alpha) &\triangleq \frac{\sum_{m \in \mathcal{M}} \left(\sum_{k \in \mathcal{U}_m^I} \bar{\mathbf{w}}_{km}^H \mathbf{G}_m \bar{\mathbf{w}}_{km} + \sum_{l \in \mathcal{U}_m^E} \bar{\mathbf{v}}_{lm}^H \mathbf{G}_m \bar{\mathbf{v}}_{lm} \right)}{\sum_{m \in \mathcal{M}} \left(\sum_{k \in \mathcal{U}_m^I} \|\bar{\mathbf{w}}_{km}\|^2 + \sum_{l \in \mathcal{U}_m^E} \|\bar{\mathbf{v}}_{lm}\|^2 + \alpha P_{C,m} \right)} \\ \text{s.t.} \quad &\overline{\text{SINR}}_{im} \geq \gamma_{im}, \forall i \in \mathcal{U}_m^I, \forall m \in \mathcal{M}, \\ &\sum_{k \in \mathcal{U}_m^I} \|\bar{\mathbf{w}}_{km}\|^2 + \sum_{l \in \mathcal{U}_m^E} \|\bar{\mathbf{v}}_{lm}\|^2 \leq \alpha P_{T,m}, \forall m \in \mathcal{M} \end{aligned}$$

[0070]

[0071] 여기서, $\text{rank}(\overline{\mathbf{w}}_{km})$ 가 1보다 작거나 같고, $\text{rank}(\overline{\mathbf{v}}_{lm})$ 가 1보다 작거나 같을 때 [수학식 11]는 아래 [수학식 14]와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 14

$$\begin{aligned} \max_{\{\bar{\mathbf{W}}_{km} \succeq \mathbf{0}, \bar{\mathbf{V}}_{lm} \succeq \mathbf{0}\}, \alpha} &\sum_{m \in \mathcal{M}} \left(\sum_{k \in \mathcal{U}_m^I} \text{tr}(\mathbf{G}_m \bar{\mathbf{W}}_{km}) + \sum_{l \in \mathcal{U}_m^E} \text{tr}(\mathbf{G}_m \bar{\mathbf{V}}_{lm}) \right) \\ \text{s.t.} \quad &\overline{\text{SINR}}_{im}^{\text{SDR}} \geq \gamma_{im}, \forall i \in \mathcal{U}_m^I, \forall m \in \mathcal{M}, \\ &\sum_{k \in \mathcal{U}_m^I} \text{tr}(\bar{\mathbf{W}}_{km}) + \sum_{l \in \mathcal{U}_m^E} \text{tr}(\bar{\mathbf{V}}_{lm}) \leq \alpha P_{T,m}, \forall m \in \mathcal{M}, \\ &\sum_{m \in \mathcal{M}} \left(\sum_{k \in \mathcal{U}_m^I} \text{tr}(\bar{\mathbf{W}}_{km}) + \sum_{l \in \mathcal{U}_m^E} \text{tr}(\bar{\mathbf{V}}_{lm}) + \alpha P_{C,m} \right) = 1 \end{aligned}$$

[0072]

[0073] 여기서, H_{imn} 은 $h_{imn} h_{imn}^H$ 으로 정의될 수 있고, $\forall i \in \mathcal{U}_m^I, \forall m, n \in \mathcal{M}$, $\mathbf{X} \succeq \mathbf{0}$ 을 의미할 수 있고, $\overline{\text{SINR}}_{im}^{\text{SDR}}$ 은 아래 [수학식 15]으로 정의될 수 있다.

수학식 15

$$\overline{\text{SINR}}_{im}^{\text{SDR}} = \frac{\text{tr}(\mathbf{H}_{imn} \bar{\mathbf{W}}_{im})}{\sum_{k \in \mathcal{U}_m^I \setminus \{i\}} \text{tr}(\mathbf{H}_{imn} \bar{\mathbf{W}}_{km}) + \sum_{n \in \mathcal{M} \setminus \{m\}} \sum_{k \in \mathcal{U}_n^I} \text{tr}(\mathbf{H}_{imn} \bar{\mathbf{W}}_{kn}) + \sum_{n \in \mathcal{M}} \sum_{l \in \mathcal{U}_n^E} \text{tr}(\mathbf{H}_{imn} \bar{\mathbf{V}}_{ln}) + \sigma_{im}^2 \alpha}$$

[0074]

[0075] 제2 도출부(155)는 에너지 신호를 수신한 m번째(여기서, m은 자연수) 셀의 j번째(여기서, j는 자연수)번째 에너지유저를 전술한 [수학식 6]과 같은 비선형모델에 적용하여 비선형 에너지 수확량($E_{jm}^{\text{Non-linear}}$)을 도출할 수 있다.

[0076] 제2 도출부(155)가 비선형 에너지 수확량($E_{jm}^{\text{Non-linear}}$)을 도출하는 과정은 Centralized 알고리즘을 이용한 비선형모델에 적용하여 도출할 수 있다

[0077] 먼저, Centralized 알고리즘을 이용하여 전술한 [수학식 6]에 따라 선형모델에 적용하여 도출된 비선형 에너지 수확량($E_{jm}^{\text{Non-linear}}$)의 최대값 산출하기 위해 아래 [수학식 16]를 이용하여 산출할 수 있다.

수학식 16

$$\begin{aligned} \max_{\{\mathbf{w}_{km}, \mathbf{v}_{lm}\}} & \frac{\sum_{m \in \mathcal{M}} \sum_{l \in \mathcal{U}_m^E} \frac{M_{lm}}{1 - \Omega_{lm}} \left(\frac{1}{1 + \exp(-a_{lm}(P_{lm}^{EH} - b_{lm}))} - \Omega_{lm} \right)}{\sum_{m \in \mathcal{M}} \left(\sum_{k \in \mathcal{U}_m^I} \|\mathbf{w}_{km}\|^2 + \sum_{l \in \mathcal{U}_m^E} \|\mathbf{v}_{lm}\|^2 + P_{C,m} \right)} \\ s.t. & \text{ SINR}_{im} \geq \gamma_{im}, \forall i \in \mathcal{U}_m^I, \forall m \in \mathcal{M}, \\ & \sum_{k \in \mathcal{U}_m^I} \|\mathbf{w}_{km}\|^2 + \sum_{l \in \mathcal{U}_m^E} \|\mathbf{v}_{lm}\|^2 \leq P_{T,m}, \forall m \in \mathcal{M}, \end{aligned}$$

[0078]

[0079] [수학식 16]은 아래 [수학식 17] 및 [수학식 18]로 나타낼 수 있고, 이를 이용하여 [수학식 19]을 이용하여 비선형 에너지 수확량($E_{jm}^{Non-linear}$)를 도출할 수 있다.

수학식 17

$$\hat{q}^* = \frac{U(\{\mathbf{w}_{km}^*, \mathbf{v}_{lm}^*\})}{U_{TP}(\{\mathbf{w}_{km}^*, \mathbf{v}_{lm}^*\})} = \max_{\{\mathbf{w}_{km}, \mathbf{v}_{lm}\} \in \mathcal{F}} \frac{U(\{\mathbf{w}_{km}, \mathbf{v}_{lm}\})}{U_{TP}(\{\mathbf{w}_{km}, \mathbf{v}_{lm}\})}$$

[0080]

[0081] 여기서, [수학식 16]과 마찬가지로 각 분자 및 분모의 조건은 $U(\{\mathbf{w}_{km}, \mathbf{v}_{lm}\}) > 0$, $U_{TP}(\{\mathbf{w}_{km}, \mathbf{v}_{lm}\}) \geq 0$ 로 정의될 수 있다.

수학식 18

$$T(\hat{q}^*) = \max_{\{\mathbf{w}_{km}, \mathbf{v}_{lm}\} \in \mathcal{F}} U(\{\mathbf{w}_{km}, \mathbf{v}_{lm}\}) - \hat{q}^* U_{TP}(\{\mathbf{w}_{km}, \mathbf{v}_{lm}\}) = 0$$

[0082]

[0083] 이로부터, EHE $\hat{q}^*$ 의 최대값은 $T(\hat{q}^*)$ 가 0일때를 의미할 수 있다.

수학식 19

$$\begin{aligned} \max_{\{\mathbf{w}_{km}, \mathbf{v}_{lm}\}} & U(\{\mathbf{w}_{km}, \mathbf{v}_{lm}\}) - \hat{q}^* U_{TP}(\{\mathbf{w}_{km}, \mathbf{v}_{lm}\}) \\ s.t. & \text{ SINR}_{im} \geq \gamma_{im}, \forall i \in \mathcal{U}_m^I, \forall m \in \mathcal{M}, \\ & \sum_{k \in \mathcal{U}_m^I} \|\mathbf{w}_{km}\|^2 + \sum_{l \in \mathcal{U}_m^E} \|\mathbf{v}_{lm}\|^2 \leq P_{T,m}, \forall m \in \mathcal{M} \end{aligned}$$

[0084]

[0085] [수학식 19]은 아래 [수학식 20]과 같이 나타낼 수도 있다.

수학식 20

$$\begin{aligned}
 & \max_{\{\mathbf{w}_{km}, \mathbf{v}_{lm}, \rho_{lm}\}} \sum_{m \in \mathcal{M}} \sum_{l \in \mathcal{U}_m^E} \hat{U}(\rho_{lm}) - \hat{q}_{UTP}(\{\mathbf{w}_{km}, \mathbf{v}_{lm}\}) \\
 & s.t. \sum_{n \in \mathcal{M}} \left(\sum_{k \in \mathcal{U}_n^I} |\mathbf{g}_{jmn}^H \mathbf{w}_{kn}|^2 + \sum_{l \in \mathcal{U}_n^E} |\mathbf{g}_{jmn}^H \mathbf{v}_{ln}|^2 \right) \geq \rho_{jm}, \forall j \in \mathcal{U}_m^E, \forall m \in \mathcal{M} \\
 & \text{SINR}_{im} \geq \gamma_{im}, \forall i \in \mathcal{U}_m^I, \forall m \in \mathcal{M}, \\
 & \sum_{k \in \mathcal{U}_m^I} \|\mathbf{w}_{km}\|^2 + \sum_{l \in \mathcal{U}_m^E} \|\mathbf{v}_{lm}\|^2 \leq P_{T,m}, \forall m \in \mathcal{M}
 \end{aligned}$$

여기서, $\hat{U}(\rho_{lm}) \triangleq \frac{M_{lm}}{1 - \Omega_{lm}} \left(\frac{1}{1 + \exp(-a_{lm}(\rho_{lm} - b_{lm}))} - \Omega_{lm} \right)$ 을 의미할 수 있다.

이로부터, [수학식 21]가 산출될 수 있다.

수학식 21

$$\begin{aligned}
 & \max_{\{\mathbf{W}_{km}, \mathbf{V}_{lm}, \rho_{lm}\}} \sum_{m \in \mathcal{M}} \sum_{l \in \mathcal{U}_m^E} \hat{U}_{LB}^{(t)}(\rho_{lm}) - \hat{q}_{UTP}(\{\mathbf{W}_{km}, \mathbf{V}_{lm}\}) \\
 & s.t. \widehat{\text{SINR}}_{im}^{SDR} \geq \gamma_{im}, \forall i \in \mathcal{U}_m^I, \forall m \in \mathcal{M}, \\
 & \sum_{k \in \mathcal{U}_m^I} \text{tr}(\mathbf{W}_{km}) + \sum_{l \in \mathcal{U}_m^E} \text{tr}(\mathbf{V}_{lm}) \leq P_{T,m}, \forall m \in \mathcal{M}, \\
 & \sum_{n \in \mathcal{M}} \left(\sum_{k \in \mathcal{U}_n^I} \text{tr}(\hat{\mathbf{G}}_{jmn} \mathbf{W}_{kn}) + \sum_{l \in \mathcal{U}_n^E} \text{tr}(\hat{\mathbf{G}}_{jmn} \mathbf{V}_{ln}) \right) \geq \rho_{jm}, \forall j \in \mathcal{U}_m^E, \forall m \in \mathcal{M}
 \end{aligned}$$

여기서, $\mathbf{w}_{km} \triangleq \mathbf{w}_{km} \mathbf{w}_{km}^H$ 을 의미할 수 있고, $\mathbf{v}_{lm} \triangleq \mathbf{v}_{lm} \mathbf{v}_{lm}^H$ 을 의미할 수 있고, $U_{TP}(\{\mathbf{w}_{km}, \mathbf{v}_{lm}\}) \triangleq \sum_{m \in \mathcal{M}} (\sum_{k \in \mathcal{U}_m^I} \text{tr}(\mathbf{w}_{km}) + \sum_{l \in \mathcal{U}_m^E} \text{tr}(\mathbf{v}_{lm}) + P_{C,m})$ 을 의미할 수 있고, $\hat{\mathbf{G}}_{jm} \triangleq \mathbf{g}_{jmn} \mathbf{g}_{jmn}^H$, $\forall l, j \in \mathcal{U}_m^E, \forall m, n \in \mathcal{M}$ 을 의미할 수 있고, $\widehat{\text{SINR}}_{im}^{SDR}$ 은 아래 [수학식 22]을 이용하여 산출할 수 있다.

수학식 22

$$\widehat{\text{SINR}}_{im}^{SDR} = \frac{\text{tr}(\mathbf{H}_{imm} \mathbf{W}_{im})}{\sum_{k \in \mathcal{U}_m^I \setminus \{i\}} \text{tr}(\mathbf{H}_{imm} \mathbf{W}_{km}) + \sum_{n \in \mathcal{M} \setminus \{m\}} \sum_{k \in \mathcal{U}_n^I} \text{tr}(\mathbf{H}_{imn} \mathbf{W}_{kn}) + \sum_{n \in \mathcal{M}} \sum_{l \in \mathcal{U}_n^E} \text{tr}(\mathbf{H}_{imn} \mathbf{V}_{ln}) + \sigma_{im}^2}$$

이로부터, 정리된 Centralized 알고리즘은 아래 [표 1]과 같다.

표 1

Algorithm 1 : Centralized algorithm for the non-linear EH model

```

1: Set  $\hat{q} = 0$ .
2: Initialize  $t = 0$  and  $\{\rho_{lm}^{(t)}\} = 0$ .
3: Let  $t \leftarrow t + 1$ . Solve the problem [수학식 22] for a given  $\hat{q}$ , and obtain  $\{\rho_{lm}^{(t)}\}$ .
4: If  $\{\rho_{lm}^{(t)}\}$  converge, return  $\{W_{km}^*\}$  and go to step 5. Otherwise, go back to step 3.
5: Compute  $\{w_{km}^*\}$  by EVD of  $\{W_{km}^*\}$  and set  $\{v_{lm}^*\} = 0$ .
6: If  $U(\{w_{km}^*, v_{lm}^*\}) - \hat{q} U_{TP}(\{w_{km}^*, v_{lm}^*\})$  converges, return  $\{w_{km}^*, v_{lm}^*\}$  and then stop.
   Otherwise, update  $\hat{q} = \frac{U(\{w_{km}^*, v_{lm}^*\})}{U_{TP}(\{w_{km}^*, v_{lm}^*\})}$  and go back to step 2.

```

[0093]

[0094] $\hat{q} = 0$ 으로 설정하고, $t=0$, $\{\rho_{lm}^{(t)}\}=0$ 으로 초기화한 뒤 t값을 '1'씩 증가시키면서 [수학식 21]를 풀어나갈 수 있고, 만약 $\{\rho_{lm}^{(t)}\}$ 가 수렴되면, 5단계를 수행하여 $\{W_{km}^*\}$ 을 풀어나갈 수 있으나 그렇지 않으면 3단계를 재수행할 수 있다.

[0095]

5단계 수행 후 $U(\{w_{km}^*, v_{lm}^*\}) - \hat{q} U_{TP}(\{w_{km}^*, v_{lm}^*\})$ 가 수렴된다면 해당 수학식의 풀이를 중단할 수 있으나 그렇지 않다면 2단계로 돌아가 $\hat{q} = \frac{U(\{w_{km}^*, v_{lm}^*\})}{U_{TP}(\{w_{km}^*, v_{lm}^*\})}$ 를 업데이트할 수 있다.

[0096]

결합부(159)는 제1 도출부(151)에서 도출한 선형 에너지 수확량(E_{jm}^{Linear})과 제2 도출부에서 도출한 비선형 에너지 수확량($E_{jm}^{Non-linear}$)을 이용하여 총 에너지 수확량(E_{jm})을 도출할 수 있다.

[0098]

이하에서는, 도 3 및 도4를 참조하여 무선 정보 및 전력 동시 전송 시스템에서의 빔포밍 생성 방법을 구체적으로 설명하도록 한다.

[0099]

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 무선 정보 및 전력 동시 전송 시스템에서의 빔포밍 생성 방법을 개략적으로 도시한 흐름도이다.

[0100]

각 셀에 포함된 N_T (여기서, N_T 는 자연수)개의 안테나를 가진 기지국(BS, Base Station)에서 다수의 정보유저와 다수의 에너지유저에게 전송하는 송신신호를 도출할 수 있다(S1100).

[0101]

여기서, 셀은 m(여기서, m은 자연수)개로 구성될 수 있으며 N_T (여기서, N_T 는 자연수)개의 안테나를 가진 하나의 기지국, 다수의 정보유저 및 다수의 에너지 유저를 포함할 수 있다.

[0102]

기지국은 N_T (여기서, N_T 는 자연수)개의 안테나를 이용하여 단일 안테나를 가진 다수의 정보유저와 다수의 에너지유저에게 각각 정보와 전력을 동시에 전송할 수 있다.

[0103]

m(여기서, m은 자연수)번째 기지국에서 정보 신호 및 에너지 신호를 수신하는 정보유저 및 에너지유저들은 각각 안테나로부터 수신된 수신신호(y_{im}^I, y_{jm}^E)를 도출할 수 있다.

[0104]

m(여기서, m은 자연수)번째 기지국에서 정보 신호를 수신하는 다수의 정보유저 중에서 i(여기서, i는 자연수)번째 정보유저의 잡음은 도출된 수신신호(y_{im}^I)로부터 추출할 수 있다.

[0105]

추출된 잡음으로부터 m번째 셀의 i번째 정보유저의 수신신호에 대한 잡음파워(σ_{im}^2)를 도출할 수 있고, 도출된 잡음파워(σ_{im}^2)를 이용하여 m번째 셀의 i번째 정보유저의 잡음비($SINR_{im}$, signal-to-interference-plus-noise ratio)를 도출할 수 있다(S1500).

[0106]

한편, m(여기서, m은 자연수)번째 기지국에서 에너지 신호를 수신하는 다수의 에너지유저 중에서 j(여기서, j는

자연수)번째 에너지유저의 수신신호(y_{jm}^E)를 이용하여 에너지 수확량을 도출할 수 있다(S1500).

- [0107] 여기서, 에너지유저의 에너지 수확량은 m (여기서, m 은 자연수)번째 셀의 j (여기서, j 는 자연수)번째 에너지유저의 선형 에너지 수확량(E_{jm}^{Linear}) 및 비선형 에너지 수확량($E_{jm}^{Non-linear}$)을 이용하여 도출할 수 있다.
- [0108] N_T (여기서, N_T 는 자연수)개의 안테나를 가진 기지국들의 송신신호의 전력(P_{total})과 에너지유저의 총 에너지 수확량(E_{jm})을 이용하여 에너지 효율적인 빔포밍(EHE, Energy Harvesting Efficiency)을 생성할 수 있다(S1700).
- [0109] 즉, 본 발명의 일 실시예에 따른 빔포밍 생성 장치(100)의 최대 에너지 효율적인 빔포밍은 기지국에서의 송신과 위에 대한 에너지유저들의 총 에너지 수확량을 의미할 수 있다.
- [0110] 도 4는 도 3의 에너지 수확량을 도출하는 과정을 자세히 도시한 흐름도이다.
- [0111] 에너지 신호를 수신받은 m 번째(여기서, m 은 자연수) 셀의 다수의 에너지유저 중에서 j (여기서, j 는 자연수)번째 에너지유저를 선형모델에 적용할 수 있다(S1310).
- [0112] m 번째 셀의 j 번째 에너지유저가 안테나로부터 수신되는 수신신호의 전력(P_{jm}^{EH}) 및 전력 변환 효율(η_{jm})을 이용하여 선형 에너지 수확량(E_{jm}^{Linear})을 도출할 수 있다(S1330).
- [0113] 여기서, 전력 변환 효율(η_{jm})은 m 번째 셀의 j 번째 에너지유저가 안테나로부터 수신한 RF 신호(radio frequency signal)를 전력으로 바꾸는 효율을 나타내는 0과 1사이의 양수를 의미할 수 있다.
- [0114] 선형 에너지 수확량(E_{jm}^{Linear})을 도출한 후, 에너지 신호를 수신받은 m 번째(여기서, m 은 자연수) 셀의 다수의 에너지유저 중에서 j (여기서, j 는 자연수)번째 에너지유저를 비선형모델에 적용할 수 있다(S1350).
- [0115] m 번째 셀의 j 번째 에너지유저의 최대 에너지 수확량(M_{jm}), 충전속도(a_{jm} , charging rate) 및 민감도(b_{jm} , sensitivity)를 이용하여 비선형 에너지 수확량($E_{jm}^{Non-linear}$)을 도출할 수 있다(S1370).
- [0116] 도출된 선형 에너지 수확량 및 비선형 에너지 수확량($E_{jm}^{Non-linear}$)을 이용하여 m 번째 셀의 j 번째 에너지유저에 대한 총 에너지 수확량(E_{jm})을 도출할 수 있다(S1390).
- [0118] 이하에서는, 도 5 내지 도 7을 참조하여 본 발명이 제안하는 무선 정보 및 전력 동시 전송 시스템에서의 빔포밍 생성 방법의 실시예를 설명하기로 한다.
- [0119] 도 5는 본 발명이 제안하는 무선 정보 및 전력 동시 전송 시스템(10)에서의 빔포밍 생성 장치를 적용한 무선 정보 및 전력 동시 전송 시스템(10)의 예를 나타낸 예시도이다.
- [0120] 본 발명은 다중사용자 무선 정보 및 전력 동시전송 시스템(10)을 고려한 빔포밍 생성 장치(100)로서, N_T (여기서, N_T 는 자연수)개의 안테나를 가진 기지국은 단일안테나를 가진 다수의 정보유저와 다수의 에너지유저에게 각각 정보와 에너지를 동시에 전송할 수 있다.
- [0121] 즉, N_T (여기서, N_T 는 자연수)개의 안테나를 포함한 기지국은 m (여기서, m 은 자연수)개의 기지국(50a, ..., 50m)들로 구성될 수 있고, 각 기지국(50a, ..., 50m)는 정보 신호 또는 에너지 신호를 송신할 수 있는 범위에 포함하는 다수의 정보유저(70a, ..., 70i) 또는 에너지유저(30a, ..., 30j)에게 정보 신호 또는 에너지 신호를 송신할 수 있다.
- [0122] 예를 들어, 하나의 기지국(50a)는 정보 신호를 송신할 수 있는 범위에 포함된 정보유저의 집합(U_1^I ID user)에 포함된 i (여기서, i 는 자연수)개의 정보유저($70a_1, \dots, 70i_1$)에 정보 신호를 송신할 수 있다.

- [0123] 하나의 기지국(50a)는 에너지 신호를 송신할 수 있는 범위에 포함된 에너지유저의 집합(U_1^E EH user)에 포함된 j(여기서, j는 자연수)개의 에너지유저($30a_1, \dots, 30j_1$)에 에너지 신호를 송신할 수 있다.
- [0124] 또한, 본 발명은 정보유저의 QoS(quality of service)를 만족시키면서, 송신전력을 고려하여 에너지유저의 성능을 최대화할 수 있고, 에너지 수확량을 도출함에 있어서 선형모델뿐만 아니라 비선형모델을 고려하여 도출할 수 있다.
- [0125] 에너지 수확량을 도출하기 위하여 에너지유저의 수신신호를 선형모델과 비선형모델에 적용한 결과는 도 6 및 도 7을 참조하여 설명하기로 한다.
- [0126] 도 6 및 도 7은 본 발명이 제안하는 무선 정보 및 전력 동시 전송 시스템(10)에서의 빔포밍 생성 방법을 각각 선형모델 및 비선형모델에 적용한 결과를 나타낸 도면이다.
- [0127] 도 6을 참조하면, 본 발명이 제안하는 무선 정보 및 전력 동시 전송 시스템(10)에서의 빔포밍 생성 방법과 max-HE([수학식 9]의 EHE의 분자만 최대화 시키는 기법)이 유사하게 생성되는 것을 확인할 수 있다.
- [0128] 그러나, 송신파워가 증가할수록 본 발명에서 제안하는 기법이 max-EH기법보다 성능이 좋을 수 있다.
- [0129] 또한, 도 7을 참조하면, 본 발명이 제안하는 무선 정보 및 전력 동시 전송 시스템(10)에서의 빔포밍 생성 방법과 빔포밍 생성 최대값(max-HE)이 유사하지 않게 생성되는 것을 확인할 수 있다.
- [0130] 본 발명이 제안하는 빔포밍 생성 방법으로 도출한 비선형 에너지 수확량($E_{jm}^{Non-linear}$)이 max-HE기법보다 큰 값으로 생성되는 이유는 안테나의 송신신호의 전력을 송신함에 있어서 max-HE기법이 본 발명에서 제안된 기법보다 소비하는 전력이 크기 때문이다.
- [0131] 전술한 바와 같이, 본 발명의 빔포밍 생성 방법은 정보유저의 QoS(Quality of Service)와 송신파워 제한을 만족 시킴과 동시에 에너지유저들의 에너지 수확량을 최대화시키면서 기지국의 송신파워를 최소화시키는 효과를 향상시킬 수 있다.
- [0132] 이와 같은, 무선 정보 및 전력 동시 전송 시스템에서의 빔포밍 생성 방법은 어플리케이션으로 구현되거나 다양한 컴퓨터 구성요소를 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령어의 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능한 기록 매체에 기록될 수 있다. 상기 컴퓨터 판독 가능한 기록 매체는 프로그램 명령어, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다.
- [0133] 상기 컴퓨터 판독 가능한 기록 매체에 기록되는 프로그램 명령어는 본 발명을 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 분야의 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다.
- [0134] 컴퓨터 판독 가능한 기록 매체의 예에는, 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체, CD-ROM, DVD 와 같은 광기록 매체, 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광 매체(magneto-optical media), 및 ROM, RAM, 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령어를 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다.
- [0135] 프로그램 명령어의 예에는, 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드 뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드도 포함된다. 상기 하드웨어 장치는 본 발명에 따른 처리를 수행하기 위해 하나 이상의 소프트웨어 모듈로서 작동하도록 구성될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다.
- [0136] 이상에서는 실시예들을 참조하여 설명하였지만, 해당 기술 분야의 숙련된 당업자는 하기의 특허 청구범위에 기재된 본 발명의 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명을 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있음을 이해할 수 있을 것이다.

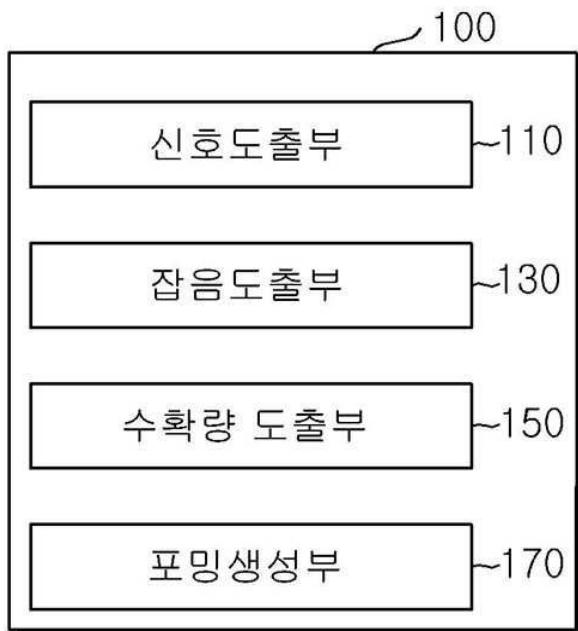
부호의 설명

- [0137] 10: 무선 정보 및 전력 동시 전송 시스템
100: 무선 정보 및 전력 동시 전송 시스템에서의 빔포밍 생성 장치
110: 신호도출부
130: 잡음도출부

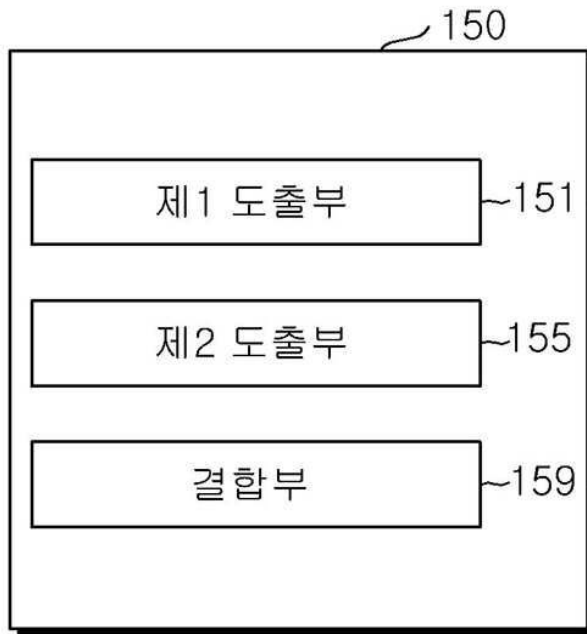
150: 수확량 도출부
 151: 제1 도출부
 155: 제2 도출부
 159: 결합부
 170: 포밍생성부
 30a, ... , 30j: 에너지유저
 50a, ... , 50m: 안테나
 70a, ... , 70i: 정보유저

도면

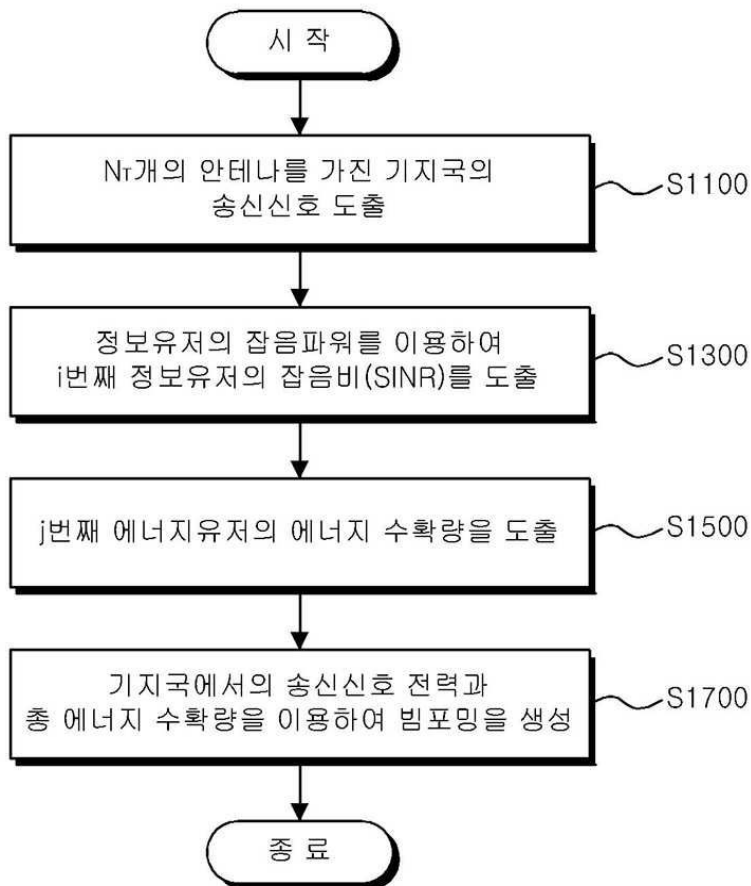
도면1



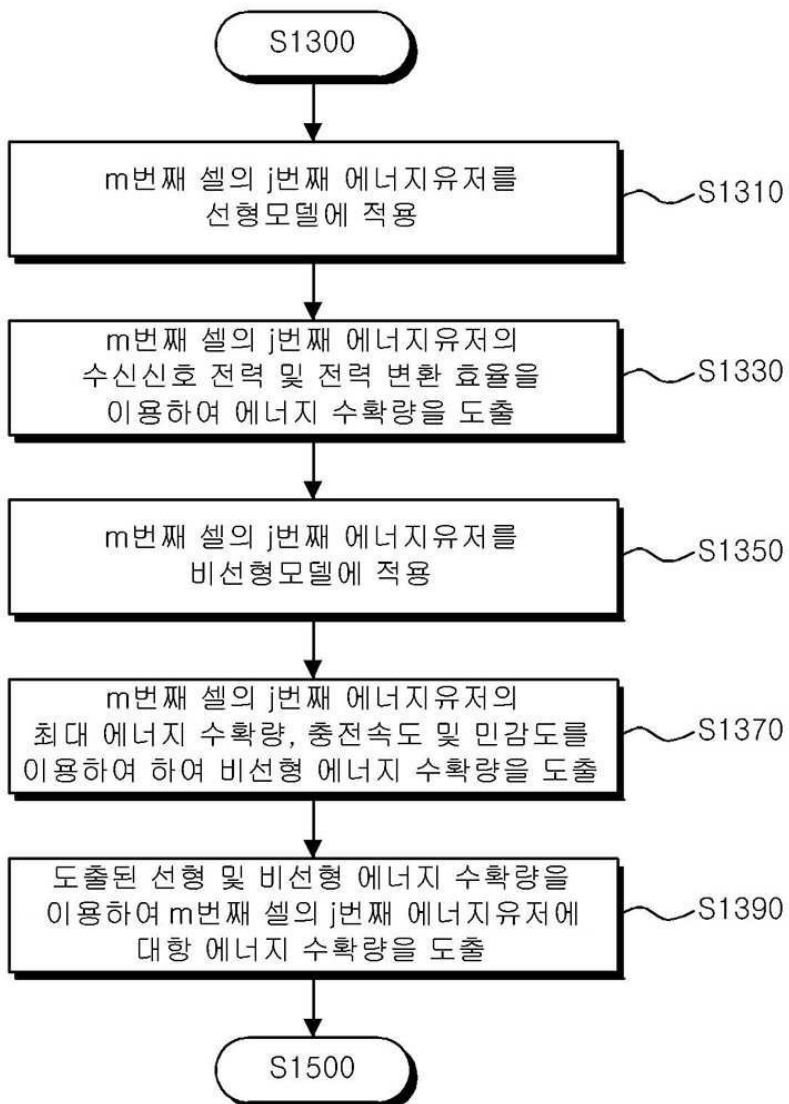
도면2



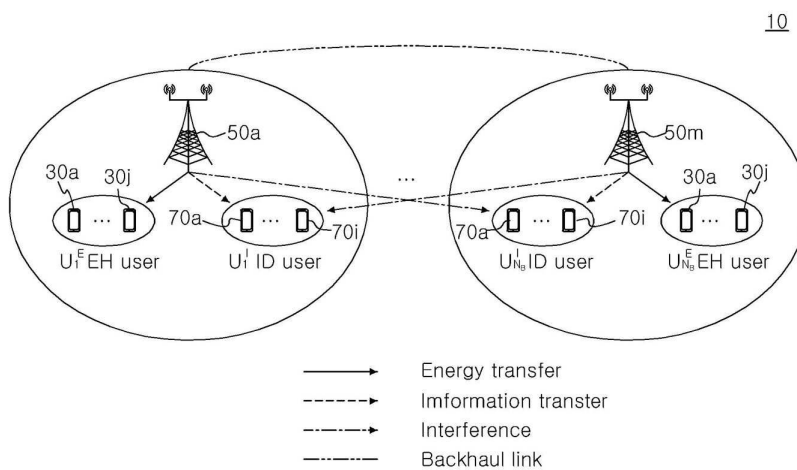
도면3



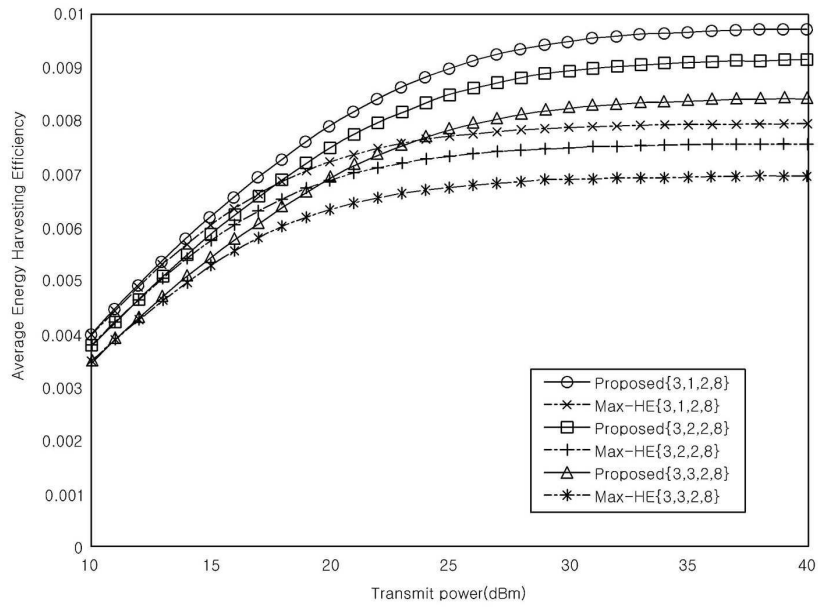
도면4



도면5



도면6



도면7

