(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2018-0029624
(43) 공개일자 2018년03월21일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04B 7/06 (2017.01) *H04B 1/04* (2006.01)
H04B 7/04 (2017.01)
(52) CPC특허분류
H04B 7/0617 (2013.01)
H04B 1/0475 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2016-0117940
(22) 출원일자 2016년09월13일
심사청구일자 2016년09월13일

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
(72) 발명자
고영채
서울특별시 강남구 일원로 127, 107동 301호 (일원동, 가람아파트)
권재홍
서울특별시 노원구 한글비석로46나길 8, 2층 (상계동)
(74) 대리인
특허법인엠에이피에스

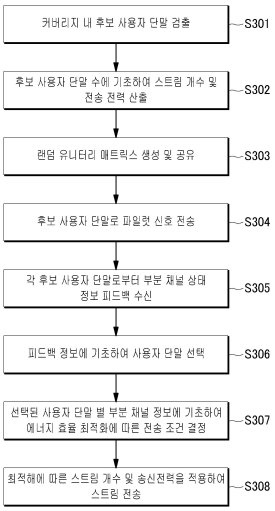
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 **다중사용자 다중입출력 방식에서의 랜덤 유니터리 빔포밍 장치 및 방법**

(57) 요 약

다중사용자 다중입출력에 기반한 랜덤 유니터리 빔포밍 시, 커버리지 내 데이터 전송을 요구하는 복수의 후보 사용자 단말들로 파일럿 신호를 전송하고, 후보 사용자 단말 별로 파일럿 신호에 대응하는 부분 채널 정보를 피드백받고, 후보 사용자 단말 별 부분 채널 정보에 기초하여 적어도 하나의 사용자 단말을 선택하고, 선택된 사용자 단말들의 부분 채널 정보에 기초하여 스트림 개수 및 전송전력의 값을 각각 최적화하는 에너지 효율성 함수의 최적해를 산출하고, 산출된 최적해에 따른 스트림 개수 및 전송 전력을 적용하여 선택된 사용자 단말들로 스트림을 전송하되, 부분 채널 정보는 파일럿 신호에 기초하여 선택된 빔포밍 인덱스, 수신 신호 크기, 및 간섭의 크기를 포함하고, 사용자 단말 별 수신 신호의 크기 및 간섭의 크기는 파일럿 신호를 이용하여 신호대간섭및잡음비(SINR)에 기초하여 산출된다.

대 표 도 - 도3



(52) CPC특허분류
H04B 7/0413 (2013.01)
H04B 7/0626 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1711035210
부처명 미래창조과학부
연구관리전문기관 정보통신산업진흥원
연구사업명 대학ICT 연구센터 육성지원사업
연구과제명 스마트한 주파수 이용을 위한 스펙트럼 및 전파기술
기 여 율 1/1
주관기관 인하대학교 산학협력단
연구기간 2016.01.01 ~ 2016.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

다중사용자 다중입출력에 기반한 랜덤 유니터리 빔포밍 장치에 있어서,

복수의 안테나;

복수의 사용자 단말 중 적어도 하나와 상기 안테나를 통해 신호를 송수신하는 통신모듈;

다운링크 데이터 전송에 대한 에너지 효율 최적화 프로그램이 저장된 메모리; 및

상기 메모리에 저장된 프로그램을 실행하는 프로세서를 포함하고,

상기 프로세서는 상기 프로그램의 실행에 대응하여, 신호 수신을 요청하는 복수의 후보 사용자 단말들로 파일럿 신호를 전송하여 그에 대한 응답으로서 부분 채널 정보를 포함하는 피드백을 각각 수신하고, 상기 피드백된 부분 채널 정보들에 기초하여 적어도 하나의 사용자 단말을 선택하고, 상기 선택된 사용자 단말들의 부분 채널 정보에 기초하여 스트림 개수 및 전송전력의 값을 각각 최적화하는 에너지 효율성 함수의 최적해를 산출하고, 상기 산출된 최적해에 따른 스트림 개수 및 전송 전력을 적용하여 상기 선택된 사용자 단말들로 스트림을 전송하며,

상기 부분 채널 정보는, 상기 파일럿 신호에 기초하여 선택된 빔포밍 벡터의 인덱스, 수신 신호 크기, 및 간섭 신호 크기를 포함하고,

상기 사용자 단말 별 수신 신호 크기 및 간섭 신호 크기는 상기 파일럿 신호를 이용하여 신호대간섭및잡음비(SINR)에 기초하여 산출된 것인, 랜덤 유니터리 빔포밍 장치.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 프로세서는,

평균 데이터율을 전체 전력 소모량으로 나눈 함수의 최적해를 구하여 상기 최적의 스트림 개수 및 전송 전력을 산출하되,

상기 평균 데이터율은 스트림의 개수, 전송 전력 및 후보 사용자 단말의 수를 파라미터로 하는 에르고딕 합 커패시티(ergodic sum capacity)이고,

상기 전체 전력 소모량은 데이터 전송 전력, 회로 사용 전력 및 고정 전력의 합에 기초하여 산출되는 것인, 랜덤 유니터리 빔포밍 장치.

청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 프로세서는,

상기 평균 데이터율을 전체 전력 소모량으로 나눈 함수의 값이 최대가 되도록 하는 스트림 개수 및 전송 전력을 최적해로 산출하되,

상기 함수에서 스트림 개수 변수 및 전송 전력 변수 중 스트림 개수 변수가 1인 초기 값을 가정하여 상기 전송 전력 변수의 해를 구한 후, 상기 구한 전송 전력 변수의 해를 적용하여 상기 스트림 개수 변수의 해를 구하고, 상기 구한 스트림 개수의 변수의 해를 적용하여 상기 전송 전력 변수의 해를 다시 구하는 과정을 상기 스트림 개수 변수해가 고정된 값으로 수렴될 때까지 반복하는, 랜덤 유니터리 빔포밍 장치.

청구항 4

제 2 항에 있어서,

상기 프로세서는,

상기 산출된 최적해 중 상기 전송 전력에 대해 새롭게 피드백된 부분 채널 정보를 적용하여 적응적 전력 제어를 수행하는, 랜덤 유니터리 빔포밍 장치.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 프로세서는,

커버리지 내 데이터 전송을 요구하는 상기 복수의 후보 사용자 단말들을 검출하고,

상기 후보 사용자 단말의 개수에 기초하여 스트림 개수 및 전송 전력을 산출하고,

상기 스트림 개수에 기초하여 랜덤 유니터리 매트릭스를 생성하여 상기 복수의 후보 사용자 단말로 제공하며,

상기 복수의 후보 사용자 단말들로부터 상기 랜덤 유니터리 매트릭스의 컬럼 벡터 벡터 중 어느 하나의 정보를 상기 빔포밍 벡터의 인덱스로 수신하는 것인, 랜덤 유니터리 빔포밍 장치.

청구항 6

랜덤 유니터리 빔포밍 장치를 통한 다중사용자 다중입출력에 기반한 랜덤 유니터리 빔포밍 방법에 있어서.

커버리지 내 데이터 전송을 요구하는 복수의 후보 사용자 단말들로 파일럿 신호를 전송하는 단계;

상기 후보 사용자 단말 별로 상기 파일럿 신호에 대응하는 부분 채널 정보를 피드백받는 단계;

상기 후보 사용자 단말 별 상기 부분 채널 정보에 기초하여 적어도 하나의 사용자 단말을 선택하고, 상기 선택된 사용자 단말들의 부분 채널 정보에 기초하여 스트림 개수 및 전송전력의 값을 각각 최적화하는 에너지 효율성 함수의 최적해를 산출하는 단계; 및

상기 산출된 최적해에 따른 스트림 개수 및 전송 전력을 적용하여 상기 선택된 사용자 단말들로 스트림을 전송하는 단계를 포함하며,

상기 부분 채널 정보는,

상기 파일럿 신호에 기초하여 선택된 빔포밍 인덱스, 수신 신호 크기, 및 간섭의 크기를 포함하고,

상기 사용자 단말 별 수신 신호의 크기 및 간섭의 크기는 상기 파일럿 신호를 이용하여 신호대간섭및잡음비(SINR)에 기초하여 산출된 것인, 랜덤 유니터리 빔포밍 방법.

청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 에너지 효율성 함수는 평균 데이터율을 전체 전력 소모량으로 나눈 함수이며,

상기 평균 데이터율은 스트림의 개수, 전송 전력 및 후보 사용자 단말의 수를 파라미터로 하는 에르고딕 합 커패시티(ergodic sum capacity)이고,

상기 전체 전력 소모량은 데이터 전송 전력, 회로 사용 전력 및 고정 전력의 합에 기초하여 산출되는 것인, 랜덤 유니터리 빔포밍 방법.

청구항 8

제 7 항에 있어서,

상기 에너지 효율성 함수의 최적해를 산출하는 단계는,

상기 평균 데이터율을 전체 전력 소모량으로 나눈 함수의 값이 최대가 되도록 하는 스트림 개수 및 전송 전력을 최적해로 산출하되,

(a) 상기 에너지 효율성 함수에서 스트림 개수 변수 및 전송 전력 변수 중 스트림 개수 변수가 1인 초기 값을 가정하여 상기 전송 전력 변수의 해를 구하는 단계;

(b) 상기 구한 전송 전력 변수의 해를 적용하여 상기 스트림 개수 변수의 해를 구하는 단계; 및

(c) 상기 구한 스트림 개수 변수의 해를 적용하여 상기 전송 전력 변수의 해를 다시 구하는 단계를 포함하며,

상기 (b) 및 (c)의 단계를 스트림 개수 변수의 해가 고정된 값으로 수렴될 때까지 반복하는, 랜덤 유니터리 빔포밍 방법.

청구항 9

제 7 항에 있어서,

상기 에너지 효율성 함수의 최적해를 산출하는 단계이후에,

상기 산출된 최적해 중 상기 전송 전력에 대해 새롭게 피트백된 부분 채널 정보를 적용하여 전송 전력을 변경하는 단계를 더 포함하는, 랜덤 유니터리 빔포밍 방법.

청구항 10

제 6 항에 있어서,

상기 파일럿 신호를 전송하는 단계 이전에,

커버리지 내 데이터 전송을 요구하는 상기 복수의 후보 사용자 단말들을 검출하는 단계;

상기 후보 사용자 단말의 개수에 기초하여 스트림 개수 및 전송 전력을 산출하는 단계; 및

상기 스트림 개수에 기초하여 랜덤 유니터리 매트릭스를 생성하여 상기 복수의 후보 사용자 단말로 제공하는 단계를 더 포함하되,

상기 복수의 후보 사용자 단말들로부터 상기 랜덤 유니터리 매트릭스의 컬럼 벡터 벡터 중 어느 하나의 정보를 상기 빔포밍 벡터의 인덱스로 수신하는 것인, 랜덤 유니터리 빔포밍 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 무선통신시스템에서 다중입출력 브로드캐스트 채널(MIMO Broadcast Channels)을 통해 다중사용자에게 신호를 송신하는 랜덤 유니터리 빔포밍 장치 및 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 다중사용자 다중입출력(Multi-user MIMO) 기술은 기존의 다중입출력(Multiple Input Multiple Output, MIMO) 기술에서 발전된 형태로서, 동일 자원(즉, 같은 주파수 및 시간 대역)에서 다수의 사용자들이 각각 원하는 데이터를 송수신할 수 있도록 함으로써 높은 데이터 속도를 달성할 수 있도록 하는 통신 기법이다.

[0003] 이러한 다중사용자 다중입출력에 기반한 무선 통신 시스템에서, 셀 내 사용자 간 협력(cooperation)이 되지 않

을 경우 사용자 간 간섭이 크게 증가하여 각 사용자들의 수신 신호 품질이 크게 떨어지는 문제가 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 기지국(또는 액세스포인트 등)은 베이스밴드에서 사용자 간 간섭을 최소화하고 사용자들의 수신 신호대잡음비(Signal to Noise Ratio, SNR)를 최대화 시키는 방향으로 빔포밍 벡터를 다운링크 신호에 곱하여 신호를 전송하는 디지털 빔포밍(Digital beamforming) 기술을 적용하고 있다.

[0004] 종래의 대부분의 빔포밍 기술들(예: 제로포싱 빔포밍 (zeroforcing beamforming) 및 DPC-BF(Dirty Paper Coding-Beamforming) 등)은, 기지국에서 각 사용자들로부터 채널 정보를 피드백 받되 모든 채널 정보(full Channel State Information, full CSI)를 아는 상태에서 수행하는 기법이 일반적이었다.

[0005] 그러나 이러한 종래의 빔포밍 기법들은 많은 수의 안테나를 이용하는 거대배열 다중입출력(massive MIMO) 시스템이나 또는 셀(즉, 커버리지) 안에 많은 숫자의 사용자가 존재하는 상황에서는 요구되는 피드백량의 증가로 인해 지연(delay) 등의 문제가 발생하였다.

[0006] 이를 해결하기 위한 방안으로서, 랜덤 유니터리 빔포밍(random unitary beamforming) 기법이 개발되었다. 랜덤 유니터리 빔포밍 기술은 다른 빔포밍 기술과 다르게 각 사용자마다 모든 채널 정보가 아닌 부분적인 채널 정보(partial CSI)만을 기지국으로 피드백하도록 하여 피드백량을 줄이고 동시에 높은 데이터 전송 속도를 얻을 수 있다.

[0007] 이와 관련하여, 대한민국 공개특허 제10-2011-0077157호(발명의 명칭: 다중 사용자 다중 안테나 시스템에서의 유니터리 프리코딩 장치 및 방법)는, 동일한 무선 자원을 사용하는 다중 사용자 다중 안테나 시스템에서 발생하는 간섭 신호들을 제거하면서 전송 용량을 향상시키기 위한 유니터리 행렬을 생성하고, 생성된 유니터리 행렬을 프리코딩 시 이용하는 기술이 개시되어 있다.

[0008] 한편, 일반적으로 다중입출력 안테나 기술을 사용하는 무선통신시스템에서 에너지 효율성(energy efficiency)은 주파수 효율성(spectral efficiency)과 더불어 중요한 성능 평가 지표이다. 랜덤 유니터리 빔포밍 시스템에서도 이러한 에너지 효율성을 크게 높일 수 있는 스케줄링 및 전력 할당 기술이 필요하다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 본 발명의 일 실시예는 다중사용자 다중입출력에 기반한 랜덤 유니터리 빔포밍 시 에너지 효율성을 최적화 시킬 수 있는 랜덤 유니터리 빔포밍 장치 및 그 방법을 제공하고자 한다.

[0010] 다만, 본 실시예가 이루고자 하는 기술적 과제는 상기된 바와 같은 기술적 과제로 한정되지 않으며, 또 다른 기술적 과제들이 존재할 수 있다.

과제의 해결 수단

[0011] 상기와 같은 기술적 과제를 달성하기 위한 본 발명의 일 측면에 따른 다중사용자 다중입출력에 기반한 랜덤 유니터리 빔포밍 장치는, 복수의 안테나; 복수의 사용자 단말 중 적어도 하나와 상기 안테나를 통해 신호를 송수신하는 통신모듈; 다운링크 데이터 전송에 대한 에너지 효율 최적화 프로그램이 저장된 메모리; 및

[0012] 상기 메모리에 저장된 프로그램을 실행하는 프로세서를 포함하고, 상기 프로세서는 상기 프로그램의 실행에 대응하여, 신호 수신을 요청하는 복수의 후보 사용자 단말들로 파일럿 신호를 전송하여 그에 대한 응답으로서 부분 채널 정보를 포함하는 피드백을 각각 수신하고, 상기 피드백된 부분 채널 정보들에 기초하여 적어도 하나의 사용자 단말을 선택하고, 상기 선택된 사용자 단말들의 부분 채널 정보에 기초하여 스트림 개수 및 전송전력의 값을 각각 최적화하는 에너지 효율성 함수의 최적해를 산출하고, 상기 산출된 최적해에 따른 스트림 개수 및 전송 전력을 적용하여 상기 선택된 사용자 단말들로 스트림을 전송한다. 이때, 상기 부분 채널 정보는, 상기 파일럿 신호에 기초하여 선택된 빔포밍 벡터의 인덱스, 수신 신호 크기, 및 간섭 신호 크기를 포함하고, 상기 사용자 단말 별 수신 신호 크기 및 간섭 신호 크기는 상기 파일럿 신호를 이용하여 신호대간섭및잡음비(SINR)에 기초하여 산출된 것이다.

[0013] 또한 본 발명의 다른 측면에 따른 다중사용자 다중입출력에 기반한 랜덤 유니터리 빔포밍 방법은, 커버리지 내 데이터 전송을 요구하는 복수의 후보 사용자 단말들로 파일럿 신호를 전송하는 단계; 상기 후보 사용자 단말 별로 상기 파일럿 신호에 대응하는 부분 채널 정보를 피드백받는 단계; 상기 후보 사용자 단말 별 상기 부분 채널 정보에 기초하여 적어도 하나의 사용자 단말을 선택하고, 상기 선택된 사용자 단말들의 부분 채널 정보에 기초

하여 스트림 개수 및 전송전력의 값을 각각 최적화하는 에너지 효율성 함수의 최적해를 산출하는 단계; 및 상기 산출된 최적해에 따른 스트림 개수 및 전송 전력을 적용하여 상기 선택된 사용자 단말들로 스트림을 전송하는 단계를 포함한다. 이때, 상기 부분 채널 정보는, 상기 파일럿 신호에 기초하여 선택된 빔포밍 인덱스, 수신 신호 크기, 및 간섭의 크기를 포함하고, 상기 사용자 단말 별 수신 신호의 크기 및 간섭의 크기는 상기 파일럿 신호를 이용하여 신호대간섭및잡음비(SINR)에 기초하여 산출된 것이다.

발명의 효과

[0014] 전술한 본 발명의 과제 해결 수단 중 어느 하나에 의하면, 다중입출력 브로드캐스트 채널 상황에서 다중사용자로 피드백된 부분 채널 정보(partial CSI)에 기초하여 최적의 스트림 개수 및 전송 전력량을 설정할 수 있으며, 이를 채널 별 상태 및 신호 수신이 가능한 사용자 수의 변화에 따라 적응적으로 결정할 수 있어 에너지 효율성을 개선할 수 있다.

[0015] 그리고, 본 발명의 과제 해결 수단 중 어느 하나에 의하면, 셀 내의 사용자 수가 유동적인 환경에서는 최적의 에너지 효율성을 갖는 스트림 개수, 안테나 개수 및 전송 전력량을 적응적으로 변동시킬 수 있으며, 셀 내 사용자 수가 제한적인 환경에서는 최적의 에너지 효율성을 갖는 안테나 개수 및 전송 전력량을 설계할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0016] 도 1은 본 발명의 일 실시예가 적용된 랜덤 유니터리 빔포밍 시스템의 구성도이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 랜덤 유니터리 빔포밍 장치의 구성도이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 랜덤 유니터리 빔포밍 방법을 설명하기 위한 순서도이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 에너지 효율성을 최적화한 랜덤 유니터리 빔포밍에 의한 효과를 나타낸 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0017] 아래에서는 첨부한 도면을 참조하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 본 발명의 실시예를 상세히 설명한다. 그러나 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다. 그리고 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다.

[0018] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 다른 부분과 "연결"되어 있다고 할 때, 이는 "직접적으로 연결"되어 있는 경우뿐 아니라, 그 중간에 다른 소자를 사이에 두고 "전기적으로 연결"되어 있는 경우도 포함한다. 또한 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.

[0019] 본 명세서에 있어서 '부(部)' 또는 '모듈'이란, 하드웨어 또는 소프트웨어에 의해 실현되는 유닛(unit), 양방을 이용하여 실현되는 유닛을 포함하며, 하나의 유닛이 둘 이상의 하드웨어를 이용하여 실현되어도 되고, 둘 이상의 유닛이 하나의 하드웨어에 의해 실현되어도 된다.

[0020] 도 1은 본 발명의 일 실시예가 적용되는 무선통신시스템의 구성도이며, 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 랜덤 유니터리 빔포밍 장치의 구성도이다.

[0021] 도 1에 도시한 본 발명의 일 실시예에 따른 랜덤 유니터리 빔포밍 장치(100)는 무선 통신 시스템(10) 상에서 복수의 사용자 단말(200)로 다중입출력 브로드캐스트 채널을 제공한다. 즉, 랜덤 유니터리 빔포밍 장치(100)는 무선통신시스템(10)에서 복수의 사용자 단말(200)과 무선 통신하되, 다중사용자 다중입출력 기법을 적용하여 다운링크 신호를 전송하는 장치이다. 이러한, 랜덤 유니터리 빔포밍 장치(100)는 기지국 또는 액세스포인트와 같은 통신 장비일 수 있다.

[0022] 이하에서는, 설명의 편의상 랜덤 유니터리 빔포밍 장치(100)가 '기지국'이며, 각 사용자 단말(200)을 '사용자'라고 지칭하도록 한다.

[0023] 기지국(100)은 M개의 안테나를 통해 각각 스트림(stream)을 전송하되, 다중입출력 브로드캐스트 채널 상황에서 신호의 전송을 요청하는 복수의 사용자(200)들에게 다운링크 신호를 전송한다.

[0024] 이때, 기지국(100)은 복수의 사용자(200) 별로 채널 상태 정보를 피드백받고, 피드백된 결과에 기초하여 전송할

스트림 개수 및 전체 전송 전력을 최적화 계산한다. 그리고 기지국(100)은 최적화시킨 조건에 기초하여 선택된 사용자(200)들에 대한 다운링크 스케줄링을 처리한 후 해당 사용자(200) 별로 선택한 빔포밍 벡터를 프리코딩하여 신호를 전송한다.

[0025] 사용자 단말(200)들은 각각 기지국(100)과 무선통신하는 장치들로서, 하나 이상의 안테나 및 통신 모듈을 포함한다. 본 발명의 일 실시예에서는, 하나의 사용자 단말(200)이 하나의 안테나를 갖는(즉, 스트림을 한 개씩 수신하는) 시스템을 가정하여 설명하도록 한다. 다만, 본 발명의 일 실시예가 적용되는 무선통신시스템(10)에서 사용자 단말(200) 별로 구비된 안테나는 복수 개일 수 있으며, 이에 따라 하나의 사용자 단말(200)에 둘 이상의 다운링크 스트림이 할당될 수 있다. 이때, 이하에서 설명할 기지국(100)의 에너지 효율성 최적화 문제의 해결 시에는 하나의 사용자 단말(200)의 복수의 안테나를 각각 하나씩 사용자 단말(200)로 인식하여 처리하는 것도 가능하다.

[0026] 도 2에 도시한 바와 같이, 기지국(100)은 다중입출력 안테나(110), 통신모듈(120), 메모리(130) 및 프로세서(140)를 포함한다.

[0027] 기지국(100)은 M개의 안테나(110)를 갖되, 도 2에서는 4개의 안테나(110)를 통해 4개 이하의 스트림을 전송할 수 있는 것을 예로서 나타내었다.

[0028] 통신모듈(120)은 복수의 사용자(200)와 설정된 통신 포맷으로 데이터 신호를 송수신한다. 이때, 통신모듈(120)은 프로세서(140)의 제어에 따라 M개의 안테나(110) 중 적어도 하나를 통해 다운링크 신호를 송출한다.

[0029] 메모리(130)에는 다운링크 데이터 전송에 대한 에너지 효율 최적화 프로그램이 저장되어 있다. 이때, 메모리(130)에 저장된 에너지 효율 최적화 프로그램은, 다운링크 신호 전송 시 최적화된 스트림 개수 및 전체 전송 전력을 적응적으로 변경하여 설정하는 프로그램, 및 설정된 최적화 조건에 따라 복수의 사용자들의 다운링크 신호를 스케줄링하여 송출하도록 하는 프로그램이 하나 또는 서로 연동하여 동작하는 복수개로 저장되어 있다.

[0030] 참고로, 메모리(130)는 전원이 공급되지 않아도 저장된 정보를 계속 유지하는 비휘발성 저장장치 및 저장된 정보를 유지하기 위하여 전력이 필요한 휘발성 저장장치를 통칭하는 것이다.

[0031] 프로세서(140)는 메모리(130)에 저장된 프로그램을 실행하여 그에 따른 처리들을 수행한다.

[0032] 이하에서는 도 3을 참조하여 본 발명의 일 실시예에 따른 랜덤 유니터리 빔포밍 장치(100)의 프로세서(140)가 에너지 효율이 최적화된 다운링크 신호 전송을 처리하는 과정에 대해서 상세히 설명하도록 한다.

[0033] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 랜덤 유니터리 빔포밍 방법을 설명하기 위한 순서도이다.

[0034] 먼저, 기지국(또는 액세스 포인트)(100)의 커버리지(즉, 셀 또는 무선통신 가능 거리) 내 신호 전송을 요구하는 복수의 사용자(이하, "후보 사용자"라고 지칭함)(200)를 검출한다(S301).

[0035] 다음으로, 검출된 복수의 후보 사용자 수(이하, "K" 라고 함)에 기초하여 통계적으로 에너지 효율성이 최대인 스트림 개수(이하, "N"이라고 함) 및 전송 전력량(이하, "P"라고 함)을 산출한다(S302).

[0036] 그런 다음, 산출된 스트림 개수에 기반하여 N*N의 랜덤 유니터리 매트릭스를 생성한다(S303).

[0037] 이러한 N*N의 랜덤 유니터리 매트릭스를 사용자 별로 전송하여 사전에 각 사용자들과 공유한다.

[0038] 다음으로, 후보 사용자(200)들에게 각각 파일럿 신호를 전송하고(S304), 이에 따라 각 후보 사용자(200)들로부터 부분적인 채널 상태 정보(이하, "부분 채널 상태 정보"라고 지칭함)를 피드백받는다(S305).

[0039] 참고로, 부분 채널 상태 정보는, 다운링크 채널 상태를 측정하기 위해 사전에 설정된 모든 종류의 채널 상태 정보 중 기설정된 소정의 종류의 채널 상태 정보를 의미한다. 본 발명의 일 실시예에서는, 부분 채널 상태 정보로서, 사용자가 사용하고자 하는 유니터리 매트릭스의 컬럼 벡터 중 어느 하나(즉, 빔포밍 벡터)의 정보인 빔포밍 인덱스 및, 신호대간섭및잡음비(signal to interference and noise ratio, SINR)에 따른 수신 신호의 크기와 다른 사용자의 수신 신호에 따른 간섭의 크기가 사용된다.

[0040] 이러한 부분 채널 상태 정보에 대해서 좀 더 상세히 설명하도록 한다.

[0041] 먼저, K개의 사용자가 각각 단일 안테나를 가지며, 하나의 사용자에게 하나의 스트림이 할당되는 것으로 가정한다. 기지국(100)은 M개의 안테나(110)를 포함하며, 총 N개의 스트림이 송신되는 랜덤 유니터리 빔포밍 시스템에서 기지국(100)의 전송신호는 다음의 수학식 1과 같이 정의할 수 있다. 이때, 스트림의 개수 N은 안테나 개

수 M 이하이다.

[0042] <수학식 1>

$$x=\sum_{j=1}^{N} f_j s_j$$

[0043]

[0044] 이때, s_j 및 f_j는 각각 j번째 선택된 사용자(즉, 스트림)에 할당된 데이터 심볼과 빔포밍 벡터이다. 이러한 전송신호는 $tr\{E[xx^H]\}=P$ 의 전력 제한을 갖는다.

[0045] 그리고 i번째 사용자가 수신하는 신호(즉, 수신 신호 y_i)는 다음의 수학식 2와 같이 표현된다.

[0046] <수학식 2>

$$y_i=h_i^T x+n_i=h_i^T f_i s_i+\sum_{j=1,j\neq i}^{N} h_i^T f_j s_j+n_i$$

[0047]

[0048] 이때, $h_i=[h_{i1}, h_{i2},..., h_{iN}]$인 레일레이 페이딩 채널 벡터(Rayleigh fading channel vector)로 모델링하며, n_i는 N_0를 분산값(spectral density)으로 갖는 백색 가우시안 잡음이다. 그리고 $h_i^T f_i s$는 i번째 사용자가 받아야 할 신호이며, $\sum_{j=1,j\neq i}^{N} h_i^T f_j s_j$는 다른 사용자에게 보낸 신호가 i번째 사용자에게 미치는 간섭이다.

[0049] 기지국(100)의 프로세서(140)는 사용자 선택(user selection) 및 스케쥴링(user scheduling)을 위하여, 사용자별 신호 대 간섭 및 잡음 비(SINR)를 사용한다.

[0050] i 번째 사용자의 SINR(즉, γ_i)은 다음의 수학식 3과 같이 표현된다.

[0051] <수학식 3>

$$\gamma_i=\frac{\frac{\rho}{N}\left|h_i^T f_i\right|^2}{\frac{\rho}{N}\sum_{j=1,j\neq i}^{N}\left|h_i^T f_j\right|^2+1}=\frac{T_i}{O_i+\frac{N}{\rho}}$$

[0052]

[0053] 이때, ρ 는 신호대잡음비(SNR)로서 $\rho=\frac{P}{WN_o}$ 로 정의되고, T_i 는 i번째 사용자가 수신할 신호의 크기로서 $T_i=\left|h_i^T f_i\right|^2$ 로 정의되고, O_i 는 i번째 사용자에게 미치는 간섭신호의 크기로서 $O_i=\sum_{j=1,j\neq i}^{N}|h_i^T f_j|^2$ 로 정의된다. 그리고, W는 시스템의 대역폭이다.

[0054] 즉, 사용자(200)가 기지국(100)으로 피드백하는 정보 중 T_i 및 O_i 가 위와 같이 계산될 수 있다.

[0055] 다음으로, 사용자(200)는 다운링크 신호 수신에 사용하고자 하는 빔포밍 벡터 f_i로서, 랜덤으로 생성된 유니터리

행렬(random Unitary matrix)인 $U=\{u_1,u_2,\cdots,u_N\}$ 의 컬럼 벡터 중 하나를 선택한다. 이때, 유니터리 행렬에서 컬럼 벡터를 선택하는 기준은 다음의 수학식 4와 같이 나타낼 수 있다.

[0056] <수학식 4>

$$f_i=\arg\max_{u_m}\left[\frac{\frac{\rho}{N}\left|h_i^T u_m\right|^2}{\frac{\rho}{N}\sum_{j=1,j\neq m}^{N}\left|h_i^T u_j\right|^2+1}\right]$$

[0057]

[0058] 이상에 의해, i번째 사용자(200)는, 기지국(100)으로부터 파일럿 심볼(pilot symbol)을 전송받은 후, 가장 높은 SINR을 갖는 빔포밍 벡터의 인덱스(index)와 해당되는 T_i 및 O_i 값을 기지국(100)에 피드백한다.

[0059] 다시, 도 3으로 돌아가서, 모든 사용자 후보로부터 피드백받은 정보(즉, 빔포밍 벡터의 인덱스, T_i 및 O_i)에 기초하여, 총 N개의 사용자(즉, 전송할 스트림의 개수)를 선택한다(S306).

[0060] 이때, 기지국(100)의 프로세서(140)는 피드백된 부분 채널 정보에 포함된 빔포밍 인덱스에 기초하여 사용자 별로 해당되는 빔포밍 벡터를 할당한다.

[0061] 다음으로, 상기 단계 (S306)을 통해 선택된 N개의 사용자(200)들 각각의 피드백된 부분 채널 정보에 기초하여, 에너지 효율을 최대화할 수 있는 전송 조건을 결정한다(S307).

[0062] 이러한 에너지 효율성을 최대화시키는 전송 조건(즉, 최적의 스트림 개수 및 전송 전력량)을 산출 및 결정하는 과정은 아래와 같다.

[0063] 랜덤 유니터리 빔포밍 시스템에서 목표하는 성능 즉, 데이터율(achievable data rate)은 다음의 수학식 5와 같다.

[0064] <수학식 5>

$$R=\sum_{i\in S}\log_2(1+SINR_i)$$

[0065]

[0066] 이때, 통계적 특성에 기반하여, 랜덤 유니터리 빔포밍 시스템의 평균 데이터율을 의미하는 에르고딕 합 커패시티(ergodic sum capacity)는 다음의 수학식 6과 같이 산출된다.

[0067] <수학식 6>

$$E[R]=E\left[\sum_{i=1}^{N}\log_2\left(1+\gamma_i^*\right)\right]=M\times E\left[\log_2\left(1+\gamma_i^*\right)\right]$$

$$=M\int_0^{\infty}\log_2(1+x)f_{\gamma_i^*}(x)dx$$

[0068]

[0069] 수학식 6에서, γ_i^* 의 확률밀도함수(probability density function, pdf)인 $f_{\gamma_i^*}(x)$ 는 다음의 수학식 7과 같

이 유도될 수 있다.

[0070] <수학식 7>

$$f_{\gamma_i^*}(x)=K\frac{e^{\frac{-Mx}{\rho}}}{(1+x)^M}\left(\frac{M}{\rho}(1+x)+M-1\right)\left(1-\frac{e^{\frac{-Mx}{\rho}}}{(1+x)^{M-1}}\right)^{K-1}$$

[0071]

[0072] 이러한 랜덤 유니터리 빔포밍 시스템의 에너지 효율성을 의미하는 η_{EE} 은 "에르고딕 합 커패시티/전력 소모량"으로 정의되며, 다음의 수학식 8과 같이 스트림 개수인 N, 전송 전력량인 P, 사용자의 수인 K의 함수로 표현될 수 있다.

[0073] <수학식 8>

$$\eta_{EE}=\frac{W\times M\int_0^{\infty}\log_2(1+x)f_{\gamma_i^*}(x)dx}{C_1P+C_2N+C_3}\quad(bit/Joule)$$

[0074]

[0075] 수학식 8에서 분모인 전체 전력 소모량의 모델(power consumption model)은 전송 전력 (transmission power)인 P와, 스트림의 개수인 N, 그리고 상수(즉, C)의 선형 조합(linear combination)으로 표현될 수 있다. 참고로, 전력 소모 모델은 데이터 전송 전력, 회로 사용 전력 및 고정 전력(static power)의 합으로 구성될 수 있다. 이때, 데이터 전송 전력은 $\frac{1}{\eta}P$ 이며 η 는 기지국(100)의 송신기(미도시)의 전력 증폭 효율(power amplifier efficiency)이다. 그리고 회로 사용 전력은 기지국(100)의 신호 전송 시 각 회로에서 소모되는 전력이며, 고정 전력은 기지국(100)의 시스템 쿨링 및 제어 신호 전송 등에 사용되는 고정된 전력을 의미한다. 즉, 상기 수학식 8의 상수값인 C_1, C_2, C_3는 기지국(100)(즉, 랜덤 유니터리 빔포밍 장치)의 성능에 따라 변경되는 값들이다. 또한, 수학식 8에서 분자에 포함된 K 값은 셀 크기 또는 장치의 송신 반경 등에 의해 결정되며, 별도로 제어할 수 없다. 따라서, 랜덤 유니터리 빔포밍 시스템의 에너지 효율성은 N과 P의 함수에 의해 정해지게 되며, 이 두 변수에 의한 최적화 문제(two-variable optimization problem)를 해결함으로써 에너지 효율성을 최대화할 수 있다.

[0076] 랜덤 유니터리 빔포밍 시스템의 통계적 특징에 의하여, 평균 에너지 효율성 η_{EE}는 다음의 수학식 9과 같이 정의될 수 있다다.

[0077] 다음의 수학식 9는 최적화된 N과 P를 구하기 위한 η_{EE} 를 나타냈다.

[0078] <수학식 9>

$$\max_{N,P}\left[\frac{M\int_0^{\infty}\log_2(1+x)f_{\gamma_i^*}(x)dx}{C_1P+C_2N+C_3}\right]$$

[0079]

[0080] 수학식 9에서 두 변수 N과 P에 대해 모두 최적화를 수행하기 위해서는, 한 변수를 고정시키고 나머지 한 변수에 대한 최적화 문제를 푸는 처리를 두 변수에 대해서 각각 수행한다.

[0081] 먼저 전송 전력량 P를 고정시키고 스트림 개수 N에 대해 최적화 문제를 설정하면, 이 문제는 준볼록(quasi-concave) 문제가 되므로 간단히 다음의 수학식 10과 같이 계산이 가능하다.

[0082] <수학식 10>

$$N^{*}=\max\left[\arg\min_{N}\left|\frac{\partial \eta_{EE}}{\partial N}\right|,1\right]$$

[0083]

[0084] 마찬가지로 스트림 수 N을 고정시키고 전력량 P에 대한 최적화 문제를 설정하면, 이 또한 준볼록 문제이므로 다음의 수학식 11과 같이 계산할 수 있다.

[0085] <수학식 11>

$$P^{*}=\arg\min_{P}\left|\frac{\partial \eta_{EE}}{\partial P}\right|$$

[0086]

[0087] 이상에서와 같이, 각각의 최적화 문제의 해답은 서로에게 영향을 주게 되므로, 두 변수에 대한 공동 최적화 문제는 수학식 10과 11을 반복하며 풀어서 해답을 구하게 된다.

[0088] 즉, 적절한 초기값 N=1일 때,수학식 11을 이용하여 P^{*} 을 구하고, 구한 P^{*} 값을 수학식 10에 대입하여 N^{*} 을 구한다. 이에 따라 업데이트된 N^{*} 값을 다시 수학식 11에 대입하여 P^{*} 을 구하는 방식으로 계산을 반복한다. 이러한 반복 계산을 통해 정수인 N^{*} 값에 대해 수렴의 특성을 적용하여, N^{*} 값 이 변화없이 고정될 때 수렴이 선언되어 그 값이 확정된다.

[0089] 이상에서와 같은 결합 최적화 문제(joint optimization problem)의 해를 찾기 위하여, 프로세서(140)는 다음의 표 1과 같은 처리 과정을 수행할 수 있다.

표 1

Algorithm 1 Joint optimization algorithm

Initialize $N = 1$, $P = 0$ and $\widetilde{N} = 0$.
while $N \neq \widetilde{N}$ **do**
  $\widetilde{N} \leftarrow N$.
  Compute P from equation (10).
  Compute N from equation (11).
end while
return $N^{*} \leftarrow N$ and $P^{*} \leftarrow P$.

[0090]

[0091] 그런 다음, 최적해에 따른 스트림 개수 및 전송 전력을 적용하여, N^{*} 개의 선택된 사용자(200)들(즉, 최적화된 스트림 개수)에 기설정된 빔포밍 벡터를 곱한 신호(즉, 다운링크 신호)를 전송 전력 P^{*} 로 전송한다(S308).

[0092] 즉, 프로세서(140)는 설정된 N 개의 스트림들에 대한 스케줄링을 처리하여, 각 스트림 별로 각각 해당 사용자에

대해 할당된 빔포밍 벡터를 적용한 후 이를 설정된 전송 전력으로 송출한다.

[0093] 이때, 프로세서(140)는 선택된 N개의 스트림의 수가 안테나(110)의 수 M보다 작은 경우 N개의 안테나를 랜덤하게 선택하여 빔포밍할 수 있다.

[0094] 참고로, 프로세서(140)는 초기 다운링크 전송 이후에, 복수의 후보 사용자 수(즉, K)가 변화되지 않는 경우, 앞서 설명한 단계 (S301) 내지 (S303)의 과정은 생략하고, 단계 (S304) 내지 (S308)의 과정을 반복 처리할 수 있다.

[0095] 또한, 프로세서(140)는 복수의 후보 사용자 수(K)가 크게 변경되는 경우(예: 변경 시간 범위 및 변경량 중 적어도 하나가 각 임계값을 초과할 경우)에는 상기 단계 (S301)부터의 과정을 재처리할 수 있다.

[0096] 한편, 정수인 N^* 은 채널의 변화에 따라 큰 변화가 없으나 실수인 P^* 는 채널의 통계적 특징에서 약간의 오차를 가질 수 있다. 따라서, 프로세서(140)는 즉각적인 (instantaneous) 피드백 정보인 T_i와 O_i에 기반하여 적응적인 전력 제어(adaptive power control)를 처리한다.

[0097] 구체적으로, 피드백 정보를 기반으로 새 함수 $Z(P)$를 아래의 수학식 12와 같이 정의할 수 있다.

[0098] <수학식 12>

[0099]
$$Z(P)=\prod_{i=1}^{N}\left(\frac{e^{\frac{T_i}{\rho T_i+M}}}{\rho T_i+M}\times\frac{e^{\frac{O_i}{\rho O_i+M}}}{\rho O_i+M}\right)-\frac{C_1}{C_1\rho+C_2N+C_3}$$

[0100] 즉각적인 채널 정보를 통해 좀 더 미세하게 제어한 전력량을 P^{**}라 하며, 이는 수학식 12를 이용한 언덕오르기(hill-climbing) 알고리즘을 적용하여 구할 수 있다. 이때, 초기값은 채널의 통계적 특징을 이용해 계산한 수학식 11의 값을 사용한다.

[0101] 이상에서와 같은 적응적인 전력 제어를 위하여, 프로세서(140)는 다음의 표 2와 같은 처리 과정을 수행할 수 있다.

표 2

[0102]

Algorithm 2 Hill-climbing power control algorithm

Initialize $i = 0$, $\mathbf{p} = \varnothing$ and $p(0) = P^*$.
while $Z(p(i)) \cdot Z(p(i+1)) > 0$ **do**
  if $(Z(p(i)) > 0)$
    $p(i+1) = p(i) + \epsilon$.
  else if
    $p(i+1) = p(i) - \epsilon$.
  end if
end while
return $P^{**} = p(i+1)$

[0103] 즉, 상기 산출된 최적해 중 전송 전력 P^*에 대해 새롭게 피드백된 부분 채널 정보를 적용하여 P^{**}를 산출하

고, 선택된 사용자(200)들에 산출된 P^{**} 를 적용하여 스트림을 송출할 수 있다.

[0104] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 에너지 효율성을 최적화한 랜덤 유니터리 빔포밍에 의한 효과를 나타낸 그래프이다.

[0105] 도 4를 참조하면, 기존의 랜덤 유니터리 빔포밍에 최대 전력량 및 최대 개수의 스트림을 스케줄링한 경우에 비해, 본 발명의 일 실시예에 따른 최적화된 스트림 개수 및 전송 전력량을 적응적으로 적용한 결과, 에너지 효율성이 크게 증가된 것을 알 수 있다.

[0106] 이상의 본 발명의 일 실시예에 따른 에너지 효율성을 증진시킨 랜덤 유니터리 빔포밍 장치 및 그 에너지 효율화 방법은 컴퓨터에 의해 실행되는 프로그램 모듈과 같은 컴퓨터에 의해 실행 가능한 명령어를 포함하는 기록 매체의 형태로도 구현될 수 있다. 컴퓨터 판독 가능 매체는 컴퓨터에 의해 액세스될 수 있는 임의의 가용 매체일 수 있고, 휘발성 및 비휘발성 매체, 분리형 및 비분리형 매체를 모두 포함한다. 또한, 컴퓨터 판독가능 매체는 컴퓨터 저장 매체 및 통신 매체를 모두 포함할 수 있다. 컴퓨터 저장 매체는 컴퓨터 판독가능 명령어, 데이터 구조, 프로그램 모듈 또는 기타 데이터와 같은 정보의 저장을 위한 임의의 방법 또는 기술로 구현된 휘발성 및 비휘발성, 분리형 및 비분리형 매체를 모두 포함한다. 통신 매체는 전형적으로 컴퓨터 판독가능 명령어, 데이터 구조, 프로그램 모듈, 또는 반송파와 같은 변조된 데이터 신호의 기타 데이터, 또는 기타 전송 메커니즘을 포함하며, 임의의 정보 전달 매체를 포함한다.

[0107] 전술한 본 발명의 설명은 예시를 위한 것이며, 본 발명이 속하는 기술분야의 통상의 지식을 가진 자는 본 발명의 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 쉽게 변형이 가능하다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다. 예를 들어, 단일형으로 설명되어 있는 각 구성 요소는 분산되어 실시될 수도 있으며, 마찬가지로 분산된 것으로 설명되어 있는 구성 요소들도 결합된 형태로 실시될 수 있다.

[0108] 본 발명의 범위는 상기 상세한 설명보다는 후술하는 특허청구범위에 의하여 나타내어지며, 특허청구범위의 의미 및 범위 그리고 그 균등 개념으로부터 도출되는 모든 변경 또는 변형된 형태가 본 발명의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 한다.

부호의 설명

[0109] 10: 랜덤 유니터리 빔포밍 시스템

100: 랜덤 유니터리 빔포밍 장치

200: 사용자 단말

110: 안테나

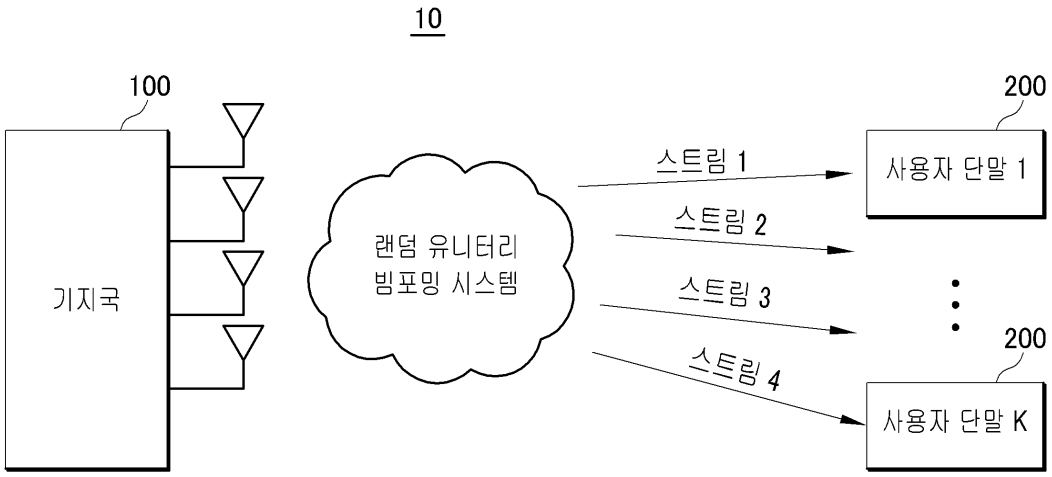
120: 통신모듈

130: 메모리

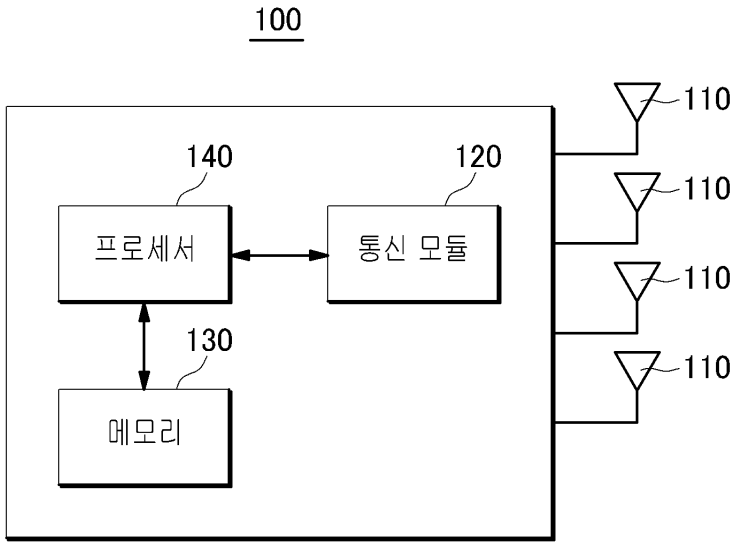
140: 프로세서

도면

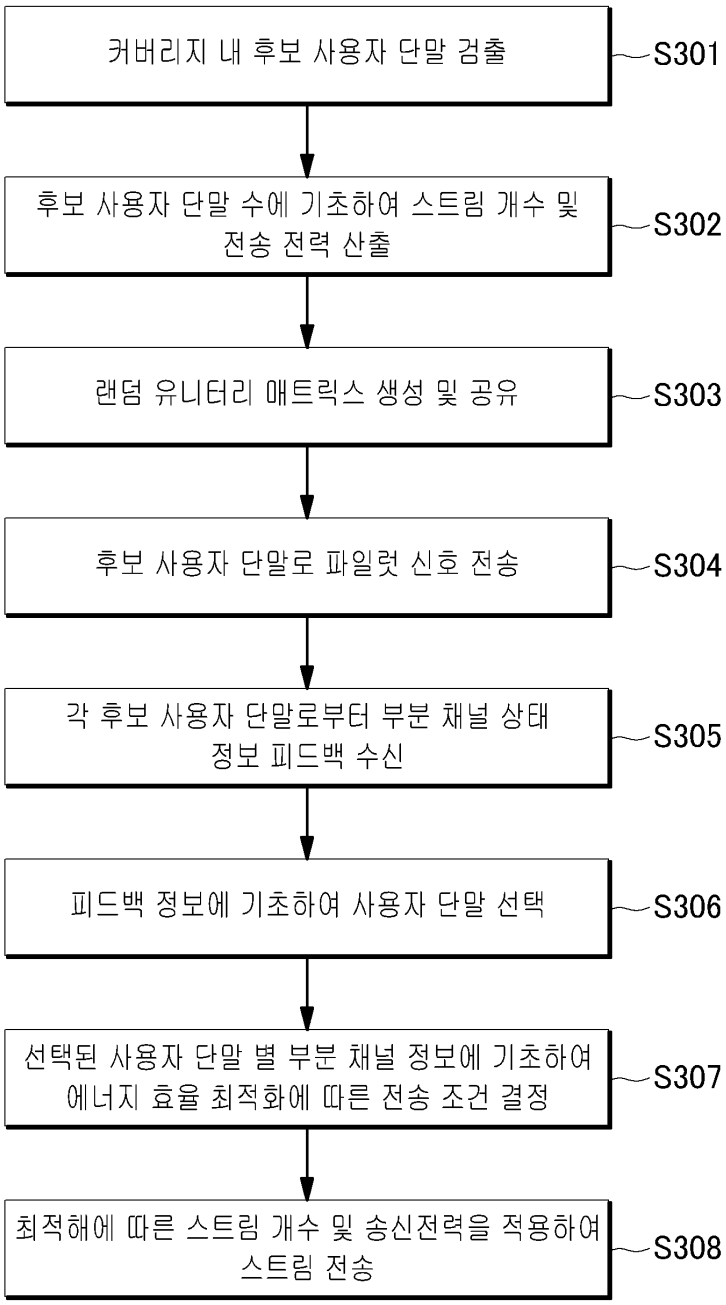
도면1


10
100
기지국
랜덤 유니터리
빔포밍 시스템
스트림 1
스트림 2
스트림 3
스트림 4
200
사용자 단말 1
200
사용자 단말 K

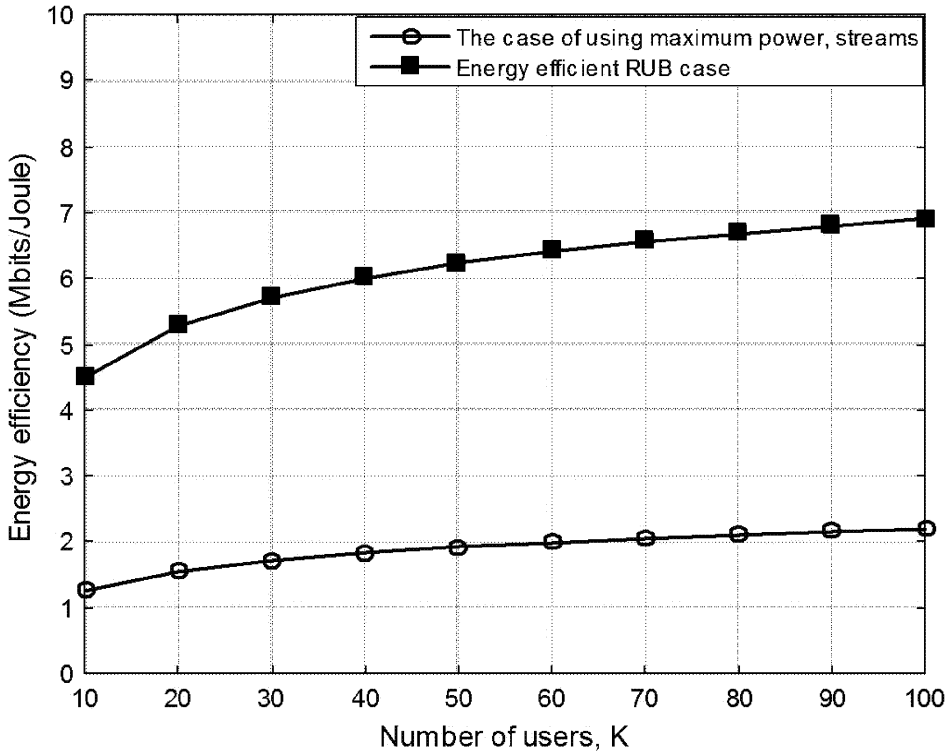
도면2


100
110
110
110
110
140
프로세서
120
통신 모듈
130
메모리

도면3


커버리지 내 후보 사용자 단말 검출
S301
후보 사용자 단말 수에 기초하여 스트림 개수 및 전송 전력 산출
S302
랜덤 유니터리 매트릭스 생성 및 공유
S303
후보 사용자 단말로 파일럿 신호 전송
S304
각 후보 사용자 단말로부터 부분 채널 상태 정보 피드백 수신
S305
피드백 정보에 기초하여 사용자 단말 선택
S306
선택된 사용자 단말 별 부분 채널 정보에 기초하여 에너지 효율 최적화에 따른 전송 조건 결정
S307
최적해에 따른 스트림 개수 및 송신전력을 적용하여 스트림 전송
S308

도면4


The case of using maximum power, streams
Energy efficient RUB case
Energy efficiency (Mbits/Joule)
Number of users, K
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100