



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2018년09월10일
(11) 등록번호 10-1897112
(24) 등록일자 2018년09월04일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04B 7/155 (2006.01) H04B 7/06 (2017.01)
H04B 7/08 (2017.01)
(52) CPC특허분류
H04B 7/15557 (2013.01)
H04B 7/0617 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-0091548
(22) 출원일자 2017년07월19일
심사청구일자 2017년07월19일
(56) 선행기술조사문헌
KR1020160088319 A
(뒷면에 계속)

(73) 특허권자
충남대학교 산학협력단
대전광역시 유성구 대학로 99 (궁동, 충남대학교)
(72) 발명자
정방철
대전광역시 서구 관저동로90번길 15 관저리슈빌아파트 102동 1901호
(74) 대리인
김영재

전체 청구항 수 : 총 9 항

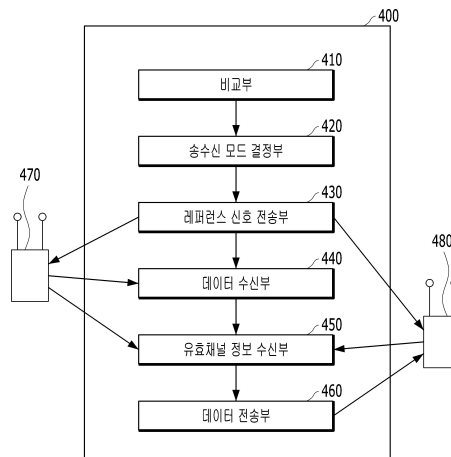
심사관 : 신상길

(54) 발명의 명칭 하프 듀플렉스 방식으로 동작하는 단말기들의 빔포밍 순서를 결정하는 인 밴드 풀 듀플렉스 방식의 기지국

(57) 요약

기지국은 풀 듀플렉스, 단말기들은 하프 듀플렉스 방식으로 동작하는 통신 시스템에서 전송 단말기들의 안테나 개수 및 수신 단말기들의 안테나 개수를 비교하여 빔포밍 순서를 결정하는 통신 시스템이 개시된다. 개시된 통신 시스템에 따르면, 안테나가 더 적은 단말기들이 우선적으로 빔포밍을 수행하고, 안테나가 더 많은 단말기들은 간섭을 널링시키도록 빔포밍을 수행하여, 전체 통신 시스템의 효율을 향상시킬 수 있다.

대표도 - 도4



(52) CPC특허분류

H04B 7/086 (2013.01)

(56) 선행기술조사문헌

KR1020070058355 A

Hyun Jong Yang et al., "Opportunistic Downlink Interference Alignment for Multi-Cell MIMO Networks," IEEE TRANSACTIONS ON WIRELESS COMMUNICATIONS, VOL. 16, NO. 3, MARCH 2017

KR1020150073739 A

KR1020100110965 A

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 NRF-2016R1A2B4014834

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 개인연구지원

연구과제명 실시간 IoT서비스 실현을 위한 포그 컴퓨팅 네트워크 원천기술

기 여 율 1/1

주관기관 충남대학교 산학협력단

연구기간 2016.06.01 ~ 2017.05.31

명세서

청구범위

청구항 1

하프 듀플렉스 방식으로 기지국과 통신하는 단말기들을 관리하는 기지국에 있어서,

전송 모드로 동작하는 전송 단말기들의 안테나 개수와 수신 모드로 동작하는 수신 단말기들의 안테나 개수를 비교하는 비교부;

상기 비교 결과에 따라 상기 전송 단말기들 및 상기 수신 단말기들의 빔포밍 순서를 결정하는 송수신 모드 결정부

를 포함하는 기지국.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 수신 단말기들의 안테나 개수가 상기 전송 단말기들의 안테나 개수 보다 더 많은 경우에,

상기 전송 단말기들로부터 전송 빔포밍된 제1 데이터를 수신하는 데이터 수신부 및

상기 전송 단말기들로부터 상기 전송 단말기들에서의 전송 빔포밍 벡터 및 상기 전송 단말기로부터 상기 기지국까지의 채널을 고려하여 결정된 업링크 유효 채널 정보를 수신하는 유효 채널 정보 수신부

를 더 포함하는 기지국.

청구항 3

제2항에 있어서,

데이터 전송부를 더 포함하고,

상기 업링크 유효 채널 정보에 기반하여 상기 수신 단말기에서의 수신 빔포밍 벡터가 결정되고,

상기 유효 채널 정보 수신부는 상기 결정된 수신 빔포밍 벡터 및 상기 기지국으로부터 상기 수신 단말기들까지의 채널을 고려하여 결정된 다운링크 유효 채널 정보를 수신하고

상기 데이터 전송부는 상기 수신된 다운링크 유효 채널 정보에 기반하여 상기 수신 단말기로 프리코딩을 수행하여 제2 데이터를 전송하는 기지국.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 수신 빔포밍 벡터는 상기 전송 단말기들로부터 상기 수신 단말기까지의 채널 행렬의 널(NULL) 스페이스에 포함되는 벡터 중의 하나로 결정되는 기지국.

청구항 5

제3항에 있어서,

상기 전송 단말기들 및 상기 수신 단말기들로 레퍼런스 신호를 전송하는 레퍼런스 신호 전송부

를 더 포함하고,

상기 전송 단말기로부터 상기 기지국까지의 채널 및 상기 기지국으로부터 상기 수신 단말기들까지의 채널은 상기 레퍼런스 신호를 이용하여 추정된 것인 기지국.

청구항 6

제2항에 있어서,

상기 전송 빔포밍 벡터는 상기 제1 데이터가 상기 기지국에서 최대 수신 전력으로 수신될 수 있도록 결정되는 기지국.

청구항 7

제1항에 있어서, 상기 전송 단말기들의 안테나 개수가 상기 수신 단말기들의 안테나 개수 보다 더 많은 경우에, 상기 수신 단말기로 레퍼런스 신호를 전송하는 레퍼런스 신호 전송부; 및

상기 전송된 레퍼런스 신호를 이용하여 결정된 수신 빔포밍 벡터 및 상기 기지국으로부터 상기 수신 단말기들까지의 채널을 고려하여 결정된 다운링크 유효 채널 정보를 수신하는 유효 채널 정보 수신부;

를 포함하고,

상기 다운링크 유효 채널 정보는 상기 전송 단말기에서의 전송 빔포밍 벡터를 결정하기 위하여 사용되는 기지국.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 전송 단말기에서의 전송 빔포밍 벡터는 상기 전송 단말기들로부터 상기 수신 단말기까지의 채널 행렬의 널(NULL) 스페이스에 포함되는 벡터 중의 하나로 결정되는 기지국.

청구항 9

제7항에 있어서,

상기 전송 단말기에서의 전송 빔포밍 벡터를 이용하여 전송 빔포밍된 제1 데이터를 수신하는 데이터 수신부; 및 데이터 전송부

를 더 포함하고,

상기 유효 채널 정보 수신부는 상기 전송 단말기에서의 전송 빔포밍 벡터 및 상기 전송 단말기로부터 상기 기지국까지의 채널을 고려하여 결정된 업링크 유효 채널 정보를 수신하고,

상기 데이터 전송부는 업링크 유효 채널 정보에 기반하여 상기 수신 단말기로 프리코딩을 수행하여 제2 데이터를 전송하는 기지국.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 하기의 실시예들은 하프 듀플렉스 방식으로 동작하는 단말기의 송수신 모드를 결정하는 풀 듀플렉스 방식의 기지국에 관한 것으로, 구체적으로는 전송 모드로 동작하는 단말기의 안테나 개수와 수신 모드로 동작하는 단말기의 안테나 개수를 비교하여 단말기의 빔포밍 순서를 결정하는 기지국에 관한 것이다.

[0002] 본 발명은 미래창조과학부 및 한국연구재단의 중견연구사업의 일환으로 수행한 연구로부터 도출된 것이다. [과제관리번호 : NRF-2016R1A2B4014834, 과제명: 실시간 IoT서비스 실현을 위한 포그 컴퓨팅 네트워크 원천기술].

배경 기술

[0003] 무선 통신망을 이용하여 전송되는 신호의 양은 시간이 지남에 따라서 점차 증가하고 있다. 가까운 미래에는 현재 전송되는 신호의 수배에 이르는 용량의 신호가 무선 통신망을 이용하여 전송될 것으로 예상된다.

[0004] 무선 통신망은 복수의 기지국 및 단말기를 포함할 수 있다. 복수의 기지국 및 단말기들은 복수의 안테나들을 이용하여 데이터를 송수신할 것으로 예상된다. 이 경우에, 기지국은 업링크 및 다운링크 모두에서 복수의 안테나를 이용하여 데이터를 송수신할 수 있을 것으로 예상된다(기지국은 FDD 모드의 풀 듀플렉스 방식으로 동작할 수 있을 것으로 예상된다). 그러나, 단말기는 배터리 및 컴퓨팅 파워의 부족 등으로 인하여 하프 듀플렉스(Half Duplex) 방식으로만 통신할 수 있을 것으로 생각된다.

[0005] 이 경우에, 단말기들은 전송 모드 또는 수신 모드 중에서 어느 하나의 모드를 선택하여 동작한다. 전송 모드로 동작하는 단말기들이 기지국으로 전송한 데이터는 수신 모드로 동작하는 단말기들로도 전송된다. 이 경우에, 수신 모드로 동작하는 단말기들로 전송된 데이터는 수신 모드로 동작하는 단말기들에 대해 간섭 신호로 작용한다.

[0006] 수신 모드로 동작하는 단말기들은 수신 모드로 동작하는 다른 단말기로 전송되는 데이터 이외에도 전송 모드로 동작하는 단말기들로부터 추가적으로 간섭 신호를 수신한다. 따라서, 수신 모드로 동작하는 단말기들의 성능은 크게 저하된다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 하기 실시예들의 목적은 하프 듀플렉스 방식의 단말기들에 대하여 단말기들간의 간섭을 제거하는 것이다.

[0008] 하기 실시예들의 목적은 단말기들간의 간섭을 제거하여 데이터 전송의 효율성을 향상시키는 것이다.

과제의 해결 수단

[0009] 예시적 실시예에 따르면, 하프 듀플렉스 방식으로 기지국과 통신하는 단말기들을 관리하는 기지국에 있어서, 전송 모드로 동작하는 전송 단말기들의 안테나 개수와 수신 모드로 동작하는 수신 단말기들의 안테나 개수를 비교하는 비교부 및 상기 비교 결과에 따라 상기 전송 단말기들 및 상기 수신 단말기들의 빔포밍 순서를 결정하는 송수신 모드 결정부를 포함하는 기지국이 제공된다.

[0010] 여기서, 상기 수신 단말기들의 안테나 개수가 상기 전송 단말기들의 안테나 개수 보다 더 많은 경우에, 상기 전송 단말기들로부터 전송 빔포밍된 제1 데이터를 수신하는 데이터 수신부 및 상기 전송 단말기들로부터 상기 전송 단말기들에서의 전송 빔포밍 벡터 및 상기 전송 단말기로부터 상기 기지국까지의 채널을 고려하여 결정된 업링크 유효 채널 정보를 수신하는 유효 채널 정보 수신부를 더 포함할 수 있다.

[0011] 그리고, 데이터 전송부를 더 포함하고, 상기 업링크 유효 채널 정보에 기반하여 상기 수신 단말기에서의 수신 빔포밍 벡터가 결정되고, 상기 유효 채널 정보 수신부는 상기 결정된 수신 빔포밍 벡터 및 상기 기지국으로부터 상기 수신 단말기들까지의 채널을 고려하여 결정된 다운링크 유효 채널 정보를 수신하고, 상기 데이터 전송부는 상기 수신된 다운링크 유효 채널 정보에 기반하여 상기 수신 단말기로 프리코딩을 수행하여 제2 데이터를 전송할 수 있다.

[0012] 또한, 상기 수신 빔포밍 벡터는 상기 전송 단말기들로부터 상기 수신 단말기까지의 채널 행렬의 널(NULL) 스페이스에 포함되는 벡터 중의 하나로 결정될 수 있다.

[0013] 여기서, 상기 전송 단말기들 및 상기 수신 단말기들로 레퍼런스 신호를 전송하는 레퍼런스 신호 전송부를 더 포함하고, 상기 전송 단말기로부터 상기 기지국까지의 채널 및 상기 기지국으로부터 상기 수신 단말기들까지의 채널은 상기 레퍼런스 신호를 이용하여 추정된 것일 수 있다.

[0014] 그리고, 상기 전송 빔포밍 벡터는 상기 제1 데이터가 상기 기지국에서 최대 수신 전력으로 수신될 수 있도록 결정될 수 있다.

[0015] 또한, 상기 전송 단말기들의 안테나 개수가 상기 수신 단말기들의 안테나 개수 보다 더 많은 경우에, 상기 수신 단말기로 레퍼런스 신호를 전송하는 레퍼런스 신호 전송부 및 상기 전송된 레퍼런스 신호를 이용하여 결정된 수신 빔포밍 벡터 및 상기 기지국으로부터 상기 수신 단말기들까지의 채널을 고려하여 결정된 다운링크 유효 채널 정보를 수신하는 유효 채널 정보 수신부를 포함하고, 상기 다운링크 유효 채널 정보는 상기 전송 단말기에서의 전송 빔포밍 벡터를 결정하기 위하여 사용될 수 있다.

[0016] 여기서, 상기 전송 단말기에서의 전송 빔포밍 벡터는 상기 전송 단말기들로부터 상기 수신 단말기까지의 채널 행렬의 널(NULL) 스페이스에 포함되는 벡터 중의 하나로 결정될 수 있다.

[0017] 그리고, 상기 전송 단말기에서의 전송 빔포밍 벡터를 이용하여 전송 빔포밍된 제1 데이터를 수신하는 데이터 수신부 및 데이터 전송부를 더 포함하고, 상기 유효 채널 정보 수신부는 상기 전송 단말기에서의 전송 빔포밍 벡터 및 상기 전송 단말기로부터 상기 기지국까지의 채널을 고려하여 결정된 업링크 유효 채널 정보를 수신하고, 상기 데이터 전송부는 업링크 유효 채널 정보에 기반하여 상기 수신 단말기로 프리코딩을 수행하여 제2 데이터를 전송할 수 있다.

발명의 효과

- [0018] 하기 실시예들에 따르면, 하프 듀플렉스 방식의 단말기들에 대하여 단말기들간의 간섭을 제거할 수 있다.
- [0019] 하기 실시예들에 따르면, 단말기들간의 간섭을 제거하여 데이터 전송의 효율성을 향상시킬 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0020] 도 1은 예시적 실시예에 따라 단말기들간의 간섭을 제거하는 개념을 도시한 도면이다.
- 도 2는 수신 단말기의 안테나 개수가 더 많은 경우에, 전송 단말기부터 빔포밍을 수행하는 예시적 실시예를 도시한 순서도이다.
- 도 3은 전송 단말기의 안테나 개수가 더 많은 경우에, 수신 단말기부터 빔 포밍을 수행하는 예시적 실시예를 도시한 순서도이다.
- 도 4는 예시적 실시예에 따른 기지국의 구조를 도시한 블록도이다.
- 도 5는 예시적 실시예에 따라 단말기들간의 간섭을 도시한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0021] 이하, 실시예를 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다.
- [0022] 도 1은 예시적 실시예에 따라 단말기들간의 간섭을 제거하는 개념을 도시한 도면이다.
- [0023] 데이터 전송률을 증가시키기 위하여, 기지국(110)과 단말기들(121, 122, 131, 132)은 복수의 안테나를 사용하고 있다. 그러나, 기지국(110)의 경우 복수의 안테나들을 모두 사용하여 풀 듀플렉스(Full Duplex)방식으로 통신할 수 있으나, 대부분의 단말기(121, 122, 131, 132)들은 배터리 용량의 부족 및 컴퓨팅 파워의 부족 등으로 인하여 하프 듀플렉스(Half Duplex) 방식으로만 통신할 수 있을 것으로 생각된다.
- [0024] 이에 따르면, 일부 단말기들(121, 122)이 기지국(110)으로 데이터를 전송하는 동안에 다른 일부의 단말기들(131, 132)은 기지국(110)으로부터 데이터를 수신할 수 있다.
- [0025] 이 경우에, 전송 모드로 동작하는 단말기들(121, 122)이 기지국(110)으로 전송한 데이터는 수신 모드로 동작하는 단말기들(131, 132)로도 전송된다. 이 경우에, 수신 모드로 동작하는 단말기들(131, 132)로 전송된 데이터는 수신 모드로 동작하는 단말기들(131, 132)에 대해 간섭 신호로 작용한다.
- [0026] 즉, 기지국은 풀 듀플렉스 방식으로 동작하고, 전송 모드로 동작하는 하프 듀플렉스 단말기와 수신 모드로 동작하는 하프 듀플렉스 단말기가 존재하므로, 전송 모드로 동작하는 하프 듀플렉스 단말기로부터 수신 모드로 동작하는 하프 듀플렉스 단말기로 간섭 신호가 전송된다.
- [0027] 수신 모드로 동작하는 단말기들(131, 132)은 수신 모드로 동작하는 다른 단말기(131, 132)로 전송되는 데이터 이외에도 전송 모드로 동작하는 단말기(121, 122)들로부터 추가적으로 간섭 신호를 수신한다. 따라서, 수신 모드로 동작하는 단말기들(131, 132)의 성능은 크게 저하된다.
- [0028] 도 1에 도시된 실시예에서, 전송 모드로 동작하는 단말기(121, 122) 및 수신 모드로 동작하는 단말기(131, 132)들은 모두 복수의 안테나를 구비할 수 있다. 따라서, 수신 모드로 동작하는 단말기들(131, 132)은 전송 모드로 동작하는 단말기들(121, 122)로부터 전송되는 간섭 신호를 널링(NULLING)하기 위하여 복수의 안테나를 사용할 수 있다.
- [0029] 일측에 따르면, 각 단말기들(121, 122, 131, 132)이 구비한 안테나의 개수와 해당 안테나를 이용하여 간섭 신호를 널링할 수 있는 능력은 비례한다. 즉, 각 단말기들(121, 122, 131, 132)이 많은 안테나를 구비할수록 좀더 많은 개수의 간섭 신호를 널링할 수 있다. 하나의 기지국(110)에 다수의 단말기(121, 122, 131, 132)들이 접속하여 데이터를 전송하는 경우, 수신 모드로 동작하는 단말기(131, 132)들은 많은 개수의 간섭 신호를 수신할 수 있으며, 구비된 안테나를 모두 이용하여도 간섭 신호를 충분히 널링하지 못할 수도 있다.
- [0030] 본 명세서에서는 전송 모드로 동작하는 단말기(전송 단말기, 121, 122)와 수신 모드로 동작하는 단말기(수신 단말기, 131, 132)의 안테나 개수를 비교하여 전송 단말기(121, 122)와 수신 단말기(131, 132)의 빔포밍 순서 및 데이터 전송 순서를 제어함으로써, 간섭 신호를 최대한 널링할 수 있는 빔포밍 순서 결정 장치 및 방법을 제공

한다.

- [0032] 예시적 실시예에 따른 기지국(110)은 수신 단말기(131, 132)의 안테나 개수와 전송 단말기(121, 122)의 안테나 개수를 비교할 수 있다. 일측에 따르면, 기지국(110)은 안테나 개수가 더 적은 단말기들이 먼저 빔포밍을 수행하도록 결정할 수 있다. 예를 들어, 전송 단말기(121, 122)의 안테나 개수보다 수신 단말기(131, 132)의 안테나 개수가 더 많다면, 기지국(110)은 전송 단말기(121, 122)가 먼저 전송 빔포밍을 수행하고, 전송 단말기(121, 122)에서의 전송 빔포밍에 사용된 전송 빔포밍 벡터 및 기지국(110)과 전송 단말기(121, 122)까지의 채널 정보를 이용하여 수신 단말기(131, 132)가 수신 빔포밍을 수행하도록 결정할 수 있다.
- [0033] 다른 실시예에 따르면, 수신 단말기(131, 132)의 안테나 개수보다 전송 단말기(121, 122)의 안테나 개수가 더 많다면, 기지국(110)은 수신 단말기(131, 132)가 먼저 수신 빔포밍을 수행하고, 수신 단말기(131, 132)에서의 수신 빔포밍에 사용된 수신 빔포밍 벡터 및 기지국(110)과 수신 단말기(131, 132)까지의 채널 정보를 이용하여 전송 단말기(121, 122)가 전송 빔포밍을 수행하도록 결정할 수 있다.
- [0035] 도 2는 수신 단말기의 안테나 개수가 더 많은 경우에, 전송 단말기부터 빔포밍을 수행하는 예시적 실시예를 도시한 순서도이다.
- [0036] 단계(240)에서 기지국(220)은 전송 단말기(210) 및 수신 단말기(230)로 레퍼런스 신호를 전송한다. 여기서, 레퍼런스 신호는 파일럿 신호 등 전송 단말기(210) 및 수신 단말기(230)가 이미 그 값을 알고 있는 신호로서, 기지국(220)으로부터 각 단말기(210, 230)까지의 채널을 추정하기 위하여 사용되는 신호이다.
- [0037] 단계(251)에서, 전송 단말기(210)는 기지국(220)으로부터 전송 단말기(210)까지의 무선 채널을 추정한다.
- [0038] 단계(252)에서, 수신 단말기(230)는 기지국(220)으로부터 수신 단말기(230)까지의 무선 채널을 추정한다.
- [0039] 단계(253)에서, 전송 단말기(210)는 전송 단말기(210)에서의 전송 빔포밍 벡터를 결정한다. 일측에 따르면, 전송 단말기(210)는 전송 단말기(210)에서의 전송 빔포밍 벡터를 이용하여 전송 빔포밍된 제1 데이터가 기지국(220)에서 최대 수신 전력으로 수신될 수 있도록 전송 단말기(210)에서의 전송 빔포밍 벡터를 결정할 수 있다.
- [0040] 단계(254)에서, 전송 단말기(210)는 전송 단말기(210)에서의 전송 빔포밍 벡터를 이용하여 제1 데이터를 빔포밍한다. 전송 빔포밍된 제1 데이터는 기지국(220)으로 전송된다.
- [0041] 단계(255)에서, 전송 단말기(210)는 업링크 유효 채널 정보를 기지국(220)으로 전송한다. 여기서, 업링크 유효 채널 정보는 전송 빔포밍 벡터 및 전송 단말기(210)로부터 기지국(220)까지의 채널을 고려하여 결정될 수 있다.
- [0042] 단계(260)에서, 수신 단말기(230)는 전송 단말기(210)로부터 기지국(220)으로 전송되는 업링크 유효 채널 정보를 오버히어(overhear)할 수 있다. 또 다른 실시예에 따르면, 기지국(220)은 전송 단말기(210)로부터 수신한 업링크 유효 채널 정보를 수신 단말기(230)로 포워딩할 수 있다.
- [0043] 단계(261)에서, 수신 단말기(230)는 업링크 유효 채널 정보에 기반하여 수신 단말기(230)의 수신 빔포밍 벡터를 결정할 수 있다. 일측에 따르면, 수신 단말기(230)는 전송 단말기(210)로부터 전송되는 간섭 신호를 널링할 수 있도록 수신 빔포밍 벡터를 결정할 수 있다.
- [0044] 단계(262)에서, 수신 단말기(230)는 다운링크 유효 채널 정보를 기지국(220)으로 전송한다. 여기서, 다운링크 유효 채널 정보는 수신 빔포밍 벡터 및 수신 단말기(230)로부터 기지국(220)까지의 채널을 고려하여 결정될 수 있다.
- [0045] 단계(270)에서 기지국(270)은 프리코딩을 수행하여 제2 데이터를 수신 단말기(230)로 전송한다. 일측에 따르면, 기지국(220)은 기지국(220)으로부터 수신 단말기(230)로 전송되는 복수의 데이터 스트림간의 간섭을 제거할 수 있도록 기지국(220)에서의 프리코딩 행렬을 결정하고, 결정된 프리코딩 행렬을 이용하여 제2 데이터를 전송할 수 있다.
- [0046] 단계(280)에서, 수신 단말기(230)는 수신 빔포밍 벡터를 이용하여 제2 데이터를 수신한다.
- [0048] 도 3은 전송 단말기의 안테나 개수가 더 많은 경우에, 수신 단말기부터 빔포밍을 수행하는 예시적 실시예를 도시한 순서도이다.
- [0049] 단계(340)에서 기지국(320)은 전송 단말기(310) 및 수신 단말기(330)로 레퍼런스 신호를 전송한다.
- [0050] 단계(351)에서, 전송 단말기(310)는 기지국(320)으로부터 전송 단말기(310)까지의 무선 채널을 추정한다.

- [0051] 단계(352)에서, 수신 단말기(330)는 기지국(320)으로부터 수신 단말기(330)까지의 무선 채널을 추정한다.
- [0052] 단계(353)에서, 수신 단말기(330)는 수신 단말기(330)의 수신 빔포밍 벡터를 결정한다. 일측에 따르면, 수신 단말기(330)는 수신 빔포밍되어 수신된 데이터의 수신 전력이 최대가 되도록 수신 빔포밍 벡터를 결정할 수 있다.
- [0053] 단계(354)에서, 수신 단말기(330)는 기지국(320)으로 다운링크 유효 채널 정보를 전송한다. 다운링크 유효 채널 정보는 수신 빔포밍 벡터 및 기지국(320)으로부터 수신 단말기(330)까지의 채널을 고려하여 결정될 수 있다.
- [0054] 단계(360)에서, 전송 단말기(310)는 전송 단말기(330)로부터 기지국(320)으로 전송되는 다운링크 유효 채널 정보를 오버히어(overhear)할 수 있다. 또 다른 실시예에 따르면, 기지국(320)은 수신 단말기(330)로부터 수신한 다운링크 유효 채널 정보를 전송 단말기(310)로 포워딩할 수 있다.
- [0055] 단계(361)에서, 전송 단말기(310)는 다운링크 유효 채널 정보를 이용하여 전송 단말기(310)에서의 전송 빔포밍 벡터를 결정한다. 일측에 따르면, 전송 단말기(310)는 기지국(320)으로 전송된 데이터가 기지국(320)에서 최대 수신 전력으로 수신 되도록 전송 단말기(310)에서의 전송 빔포밍 벡터를 결정할 수 있다.
- [0056] 단계(362)에서, 전송 단말기(310)는 전송 단말기(310)에서의 전송 빔포밍 벡터를 이용하여 제1 데이터를 기지국(320)으로 전송할 수 있다.
- [0057] 단계(364)에서, 전송 단말기(310)는 업링크 유효 채널 정보를 기지국(320)으로 전송할 수 있다. 일측에 따르면, 업링크 유효 채널 정보는 전송 단말기(310)에서의 전송 빔포밍 벡터 및 전송 단말기(310)로부터 기지국(320)까지의 채널을 고려하여 결정될 수 있다.
- [0058] 단계(370)에서, 기지국(320)은 기지국(320)의 프리코딩 행렬을 결정한다. 일측에 따르면, 기지국(320)은 기지국(320)으로부터 전송되는 간섭 신호의 상관성이 감소 되도록 기지국(320)에서의 전송 빔포밍 벡터를 결정할 수 있다.
- [0059] 단계(371)에서, 기지국(320)은 기지국(320)의 전송 빔포밍 벡터를 이용하여 제2 데이터를 전송 빔포밍한다. 전송 빔포밍된 제2 데이터는 수신 단말기(330)로 전송된다.
- [0060] 단계(380)에서, 수신 단말기(330)는 이미 결정된 수신 빔포밍 벡터를 이용하여 제2 데이터를 수신한다.
- [0062] 일측에 따르면, 기지국은 수신 단말기의 안테나 개수와 전송 단말기의 안테나 개수를 비교할 수 있다. 또한, 기지국은 비교 결과에 따라 수신 단말기 및 전송 단말기들이 도 2 또는 도 3에 도시된 데이터 송수신 방법에 따라 동작하도록 수신 단말기 및 전송 단말기들을 제어할 수 있다.
- [0064] 도 4는 예시적 실시예에 따른 기지국의 구조를 도시한 블록도이다.
- [0065] 예시적 실시예에 따른 기지국(400)은 비교부(410), 송수신 모드 결정부(420), 레퍼런스 신호 전송부(430), 데이터 수신부(440), 유효 채널 정보 수신부(450) 및 데이터 전송부(460)를 포함한다.
- [0066] 기지국(400)에 속한 단말기(470)들은 컴퓨팅 파워의 부족 등으로 인하여 하프 듀플렉스(Half Duplex) 방식으로만 기지국(400)과 통신한다. 즉, 일부 단말기(470)이 기지국(400)으로 데이터를 전송하는 동안에 다른 일부의 단말기(480)는 기지국(400)으로부터 데이터를 수신할 수 있다.
- [0067] 일측에 따르면, 비교부(410)는 수신 모드로 동작하는 단말기(480)가 데이터 수신을 위해 사용하는 안테나의 개수와 전송 모드로 동작하는 단말기(470)가 데이터를 전송하기 위해 사용하는 안테나의 개수를 비교할 수 있다. 기지국(400)은 안테나 개수의 비교 결과에 따라서 각 단말기(470, 480)들의 빔포밍 순서를 달리 결정할 수 있다.
- [0068] 일측에 따르면, 수신 모드로 동작하는 수신 단말기(480)들의 안테나 개수가 전송 모드로 동작하는 전송 단말기(470)들의 안테나 개수보다 더 많은 경우에, 송수신 모드 결정부(420)는 전송 단말기(470)가 우선적으로 전송 단말기(470)의 전송 빔포밍 벡터를 먼저 결정하고, 수신 단말기(480)는 전송 단말기(470)가 결정한 전송 단말기(470)의 전송 빔포밍 벡터를 고려하여 수신 빔포밍을 수행하도록 빔포밍 순서를 결정할 수 있다.
- [0069] 또한, 전송 단말기(470)의 안테나 개수가 수신 단말기(480)의 안테나 개수보다 더 많은 경우에, 송수신 모드 결정부(420)는 수신 단말기(480)가 우선적으로 수신 빔포밍 벡터를 먼저 결정하고, 전송 단말기(470)는 수신 단말기(480)가 결정한 수신 단말기(480)의 수신 빔포밍 벡터를 고려하여 전송 빔포밍을 수행하도록 빔포밍 순서를 결정할 수 있다.

- [0071] 이하 전송 단말기(470)가 우선적으로 전송 빔포밍 벡터를 결정하는 송수신 모드를 간단히 제1 송수신 모드라고 하고, 수신 단말기(480)가 우선적으로 수신 빔포밍 벡터를 결정하는 송수신 모드를 간단히 제2 송수신 모드라고 구분하여 지칭하기로 한다.
- [0072] 이하 각 송수신 모드에서 기지국의 동작을 설명한다.
- [0074] 1. 제1 송수신 모드
- [0076] 레퍼런스 신호 전송부(430)는 전송 단말기(470) 및 수신 단말기(480)로 레퍼런스 신호를 전송한다. 전송 단말기(470)는 레퍼런스 신호를 이용하여 기지국(400)으로부터 전송 단말기(470)까지의 무선 채널을 추정한다. 또한, 수신 단말기(480)는 레퍼런스 신호를 이용하여 기지국(400)으로부터 수신 단말기(480)까지의 무선 채널을 추정한다.
- [0077] 일측에 따르면, 전송 단말기(470)가 데이터를 기지국(400)으로 전송하기 위하여 사용하는 주파수 대역과 수신 단말기(480)가 데이터를 기지국(400)으로부터 수신하기 위하여 사용하는 주파수 대역은 동일할 수 있다. 즉, 기지국(400), 전송 단말기(470) 및 수신 단말기(480)를 포함하는 통신 시스템의 업링크 주파수 대역과 다운링크 주파수 대역은 동일할 수 있다.
- [0078] 업링크 주파수 대역과 다운링크 주파수 대역이 동일하므로, 업링크 채널과 다운링크 채널은 대칭적(reciprocal)인 것으로 가정할 수 있다.
- [0079] 도 5를 참고하면, 전송 단말기(521, 522, 523)의 안테나 개수는 L_u 개이고, 수신 단말기(531, 532, 533, 534)의 안테나 개수는 L_d 개이다. 제1 송수신 모드에서의 가정에 따라서, $L_d \geq L_u$ 이다. 또한, 수신 단말기(531, 532, 533, 534)의 개수 N_u 는 $N_u = \min\{M, L_d - 1\}$ 로 결정될 수 있다. 여기서, M 은 기지국(510)이 데이터 송수신을 위해 사용하는 안테나의 개수이다.
- [0080] 기지국(510)은 N_d 개의 전송 안테나(511)를 이용하여 데이터를 수신 단말기(531, 532, 533, 534)로 전송한다. 여기서, $N_d = M$ 인 것으로 가정할 수 있다. 또한, 기지국(520)은 N_u 개의 수신 안테나(512)를 이용하여 데이터를 전송 단말기(521, 522, 523)로부터 수신할 수 있다.
- [0081] 도 5에서, i 번째 수신 단말기는 다운링크 채널을 추정하여 H_i^d 를 획득하고, j 번째 전송 단말기는 업링크 채널을 추정하여 H_j^u 를 획득할 수 있다.
- [0082] 전송 단말기(470)는 전송 단말기(470)의 전송 빔포밍 벡터를 결정한다. 일측에 따르면, 전송 단말기(470)는 전송 단말기(470)에서 전송 빔포밍된 제1 데이터가 기지국(400)에서 최대 수신 전력으로 수신될 수 있도록 전송 빔포밍 벡터를 결정할 수 있다.
- [0083] j 번째 전송 단말기의 전송 빔포밍 벡터 $\mathbf{v}_j^u$ 는 $\mathbf{v}_j^u \in \mathbb{C}^{L_u \times 1}$ 이고, $\|\mathbf{v}_j^u\|^2 = 1$ 이다. j 번째 전송 단말기의 전송 빔포밍 벡터 $\mathbf{v}_j^u$ 는 하기 수학식 1과 같이 결정될 수 있다.
- [0085] [수학식 1]
- [0087]
$$\mathbf{v}_j^u = \arg \max_{\mathbf{v}} \|\mathbf{H}_j^u \mathbf{v}\|^2$$
- [0089] 일측에 따르면, j 번째 전송 단말기의 전송 빔포밍 벡터 $\mathbf{v}_j^u$ 는 j 번째 전송 단말기와 기지국간의 무선 채널

$\mathbf{H}_j^u$ 의 최대 고유값에 대응되는 고유벡터일 수 있다.

[0090] 도 4의 데이터 수신부(440)는 전송 단말기(470)의 전송 빔포밍 벡터를 이용하여 전송 빔포밍된 제1 데이터를 전송 단말기(470)로부터 수신할 수 있다.

[0091] 또한, 유효 채널 정보 수신부(450)는 전송 단말기(470)로부터 업링크 유효 채널 정보를 수신할 수 있다. 업링크 유효 채널 정보는 도 5의 전송 단말기(521, 522, 523)들에서의 전송 빔포밍 벡터 및 전송 단말기(521, 522, 523)로부터 기지국(510)까지의 무선 채널을 고려하여 산출된 유효 채널이다. 일측에 따르면, 업링크 유효 채널 정보는 하기 수학식 2와 같이 산출될 수 있다.

[0093] [수학식 2]

$$\mathbf{f}_j^u \triangleq \mathbf{H}_j^u \mathbf{v}_j^u$$

[0095]

[0097] 일측에 따르면, 수신 단말기(480)는 전송 단말기(470)로부터 기지국(400)으로 전송된 업링크 유효 채널 정보를 엿들음(overhear) 수 있다. 다른 측면에 따르면, 기지국(400)은 수신된 업링크 유효 채널 정보를 수신 단말기(480)로 포워딩할 수 있다.

[0098] 수신 단말기(480)는 수신된 업링크 유효 채널 정보에 기반하여 수신 단말기(480)에서의 수신 빔포밍 벡터를 결정할 수 있다. 일측에 따르면, 수신 단말기(480)는 전송 단말기(470)로부터 전송되는 업링크-다운링크간 간섭(UDI: Uplink-Downlink Interference)의 영향 및 기지국(400)으로부터 수신되는 간섭 신호의 영향을 모두 고려하여 수신 단말기(480)의 수신 빔포밍 벡터를 결정할 수 있다.

[0099] 일측에 따르면, 수신 단말기(480)는 수신 빔포밍 벡터를 전송 단말기(470)로부터 수신 단말기(480)까지의 채널 행렬의 널(NULL) 스페이스에 포함되는 벡터 중의 하나로 결정할 수 있다.

[0100] 일측에 따르면, 도 5에서 i번째 수신 단말기는 하기 수학식 3에 따라서 i번째 수신 단말기의 수신 빔포밍 벡터 $\mathbf{u}_i^d$ 를 결정할 수 있다.

[0102] [수학식 3]

$$\mathbf{u}_i^d = \mathbf{u} \in \text{Null}([\mathbf{H}_i^{\text{UDI}}]^T)$$

[0104]

[0106] 여기서, $\|\mathbf{u}_i^d\|^2 = 1$ 이고, $\mathbf{H}_i^{\text{UDI}} \triangleq [\mathbf{H}_{i,1} \mathbf{v}_1^u, \dots, \mathbf{H}_{i,N_u} \mathbf{v}_{N_u}^u]$ 이다.

[0108] 도 4에서 유효 채널 정보 수신부(450)는 수신 단말기(480)로부터 다운링크 유효 채널 정보를 수신할 수 있다. 다운링크 유효 채널 정보는 도 5의 수신 단말기(531, 532, 533)들에서의 수신 빔포밍 벡터 및 수신 단말기(531, 532, 533)로부터 기지국(510)까지의 무선 채널을 고려하여 산출된 유효 채널이다. 일측에 따르면, 다운링크 유효 채널 정보는 하기 수학식 4와 같이 산출될 수 있다.

[0110] [수학식 4]

$$\mathbf{f}_i^d \triangleq (\mathbf{u}_i^d)^H \mathbf{H}_i^d$$

[0112]

[0114] 도 4의 데이터 전송부(460)는 제2 데이터를 수신 단말기(480)로 전송할 수 있다. 제2 데이터는 수신 단말기(480)에서 수신 단말기(480)의 수신 빔포밍 벡터를 이용하여 수신 빔포밍되어 수신 될 수 있다.

[0115] 일측에 따르면, 데이터 전송부(460)는 다운링크 유효 채널 정보에 기반하여 기지국의 전송 빔포밍 벡터를 결정할 수 있다. 데이터 전송부(460)는 결정된 전송 빔포밍 벡터를 이용하여 전송 빔포밍을 수행하여 제2 데이터를 수신 단말기(480)로 전송할 수 있다.

[0116] 도 5에서, i번째 수신 단말기에서 수신한 신호 벡터는 하기 수학식 5와 같이 표현할 수 있다.

[0118] [수학식 5]

$$\mathbf{y}_i^d = \mathbf{H}_i^d \mathbf{V}_{BS}^d \mathbf{x}_{BS}^d + \sum_{j=1}^{N_u} \mathbf{H}_{i,j} \mathbf{v}_j^u x_j^u + \mathbf{z}_i^d$$

[0120]

[0122] 여기서, $\mathbf{y}_i^d$ 는 i번째 수신 단말기에서 수신한 수신 신호 벡터이고, $\mathbf{V}_{BS}^d$ 는 기지국의 전송 빔포밍 벡터로서,

$\mathbf{V}_{BS}^d \in \mathbb{C}^{M \times N_d}$ 이다. $\mathbf{x}_{BS}^d$ 는 기지국이 전송한 전송 데이터 벡터이다. x_j^u 는 j번째 전송 단말기가 전

송한 데이터이고, $\mathbf{z}_i^d$ 는 i번째 수신 단말기의 열잡음 벡터를 나타내며, $\mathbf{z}_i^d \in \mathbb{C}^{L_d \times 1}$ 이다. 수학식 5에서 두 번째 텀은 업링크-다운링크간 간섭을 나타낸다.

[0124] 일측에 따르면, 데이터 전송부(460)는 기지국(400)으로부터 수신 단말기(480)로 전송되는 복수의 데이터 스트림 간 간섭을 제거할 수 있도록 기지국(400)의 프리코딩 행렬을 하기 수학식 6과 같이 결정할 수 있다.

[0126] [수학식 6]

$$\mathbf{V}_{BS}^d = [\mathbf{v}_1^d, \mathbf{v}_2^d, \dots, \mathbf{v}_{N_d}^d] = \begin{bmatrix} (\mathbf{u}_1^d)^H \mathbf{H}_1^d \\ (\mathbf{u}_2^d)^H \mathbf{H}_2^d \\ \vdots \\ (\mathbf{u}_{N_d}^d)^H \mathbf{H}_{N_d}^d \end{bmatrix}^T \cdot \begin{bmatrix} \sqrt{\gamma_1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \sqrt{\gamma_2} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \sqrt{\gamma_{N_d}} \end{bmatrix}$$

[0128]

[0130] 기지국(400)의 프리코딩 행렬이 수학식 6과 같이 결정된 경우에, 수학식 5에서 표현된 수신 단말기(480)의 수신 신호 벡터를 수신 빔포밍을 이용하여 수신한 값은 하기 수학식 7과 같이 표현할 수 있다.

[0132] [수학식 7]

$$\begin{aligned} \hat{y}_i^d &= (\mathbf{u}_i^d)^H \cdot \mathbf{y}_i^d = \sqrt{\gamma_i} x_{BS,i}^d + (\mathbf{u}_i^d)^H \cdot \sum_{j=1}^{N_u} \mathbf{H}_{i,j} \mathbf{v}_j^u x_j^u + \tilde{z}_i^d \\ &= \sqrt{\gamma_i} x_{BS,i}^d + \sum_{j=1}^{N_u} (\mathbf{u}_i^d)^H \mathbf{H}_{i,j} \cdot \mathbf{v}_j^u x_j^u + \tilde{z}_i^d \\ &= \sqrt{\gamma_i} x_{BS,i}^d + \tilde{z}_i^d \end{aligned}$$

[0134]

[0136] 여기서, $\sqrt{\gamma_i}$ 는 기지국이 i번째 수신 단말기로 전송한 데이터의 전송 전력을 나타낸다. 또한, $\tilde{z}_i^d$ 는 수신 빔포밍 이후의 열잡음 성분을 나타내며, $\tilde{z}_i^d = (\mathbf{u}_i^d)^H \mathbf{z}_i^d$ 이다. $x_{BS,i}^d$ 는 기지국(400)이 수신 단말기(480)로 전송한 제2 데이터를 나타낸다.

[0138] 도 4에서, 전송 단말기(470)가 전송한 제1 데이터를 기지국(400)에서 수신한 수신 벡터는 하기 수학식 8과 같이 표현할 수 있다.

[0140] [수학식 8]

$$y_{BS}^u = \sum_{j=1}^M H_j^u v_j^u x_j^u + z_{BS}^u$$

[0142]

[0144] 여기서, y_{BS}^u 는 전송 단말기(470)가 전송한 제1 데이터를 기지국(400)에서 수신한 수신 벡터이고, x_j^u 는 전송 단말기(470)가 전송한 제1 데이터이다. 또한, z_{BS}^u 는 열잡음 성분이다.

[0146] 일측에 따르면, 기지국(400)은 전송 단말기들(470)로부터 전송된 복수의 공간 스트림들간 상관성을 감소시키도록 포스트 코딩을 수행할 수 있다. 일측에 따르면 기지국(400)은 하기 수학식 9에 따라 포스트 코딩 행렬을 결정할 수 있다.

[0148] [수학식 9]

$$U_{BS}^u = [f_1^u, \dots, f_M^u]^{-1} = [H_1^u v_1^u, H_2^u v_2^u, \dots, H_M^u v_M^u]^{-1}$$

[0150]

[0152] 수학식 9와 같이 결정된 포스트 코딩 행렬을 수학식 8에서 표현된 수신 신호 벡터에 적용하면 하기 수학식 10과 같이 정리할 수 있다.

[0154] [수학식 10]

$$\tilde{y}_{BS}^u = U_{BS}^u \cdot y_{BS}^u = [x_1^u, \dots, x_M^u]^T + \tilde{z}_{BS}^u$$

[0156]

[0158] 여기서, $\tilde{z}_{BS}^u$ 는 포스트 코딩 후의 열잡음 성분이다.

[0160] 2. 제2 송수신 모드

[0162] 레퍼런스 신호 전송부(430)는 전송 단말기(470) 및 수신 단말기(480)로 레퍼런스 신호를 전송한다. 전송 단말기(470)는 레퍼런스 신호를 이용하여 기지국(400)으로부터 전송 단말기(470)까지의 무선 채널을 추정한다. 또한, 수신 단말기(480)는 레퍼런스 신호를 이용하여 기지국(400)으로부터 수신 단말기(480)까지의 무선 채널을 추정한다.

[0163] 일측에 따르면, 전송 단말기(470)가 데이터를 기지국(400)으로 전송하기 위하여 사용하는 주파수 대역과 수신 단말기(480)가 데이터를 기지국(400)으로부터 수신하기 위하여 사용하는 주파수 대역은 동일할 수 있다. 즉, 기지국(400), 전송 단말기(470) 및 수신 단말기(480)를 포함하는 통신 시스템의 업링크 주파수 대역과 다운링크 주파수 대역은 동일할 수 있다.

[0164] 업링크 주파수 대역과 다운링크 주파수 대역이 동일하므로, 업링크 채널과 다운링크 채널은 대칭적(reciprocal)인 것으로 가정할 수 있다.

[0165] 도 5를 참고하면, 전송 단말기(521, 522, 523)의 안테나 개수는 L_u 개이고, 수신 단말기(531, 532, 533, 534)의 안테나 개수는 L_d 개이다. 제2 송수신 모드에서의 가정에 따라서, $L_d \leq L_u$ 이다. 또한, 수신 단말기(531, 532, 533, 534)의 개수 N_u 는 $N_u = M$ 이고, 전송 단말기(521, 522, 523)의 개수 N_d 는 $N_d = \min\{M, L_u - 1\}$ 와 같이 결정될 수 있다.

[0166] 도 5에서, i번째 수신 단말기는 다운링크 채널을 추정하고, 추정된 다운링크 채널을 이용하여 수신 빔포밍 벡터를 결정한다. 일측에 따르면, i번째 수신 단말기는 기지국으로부터 전송된 제1 데이터를 최대 수신 전력으로 수

신할 수 있도록 수신 빔포밍 벡터를 결정할 수 있다. 일측에 따르면, i 번째 수신 단말기는 전송된 레퍼런스 신호를 이용하여 다운링크 채널을 추정하고, 추정된 다운링크 채널을 이용하여 하기 수학식 11과 같이 수신 빔포밍 벡터를 결정할 수 있다.

[0168] [수학식 11]

$$\mathbf{u}_i^d = \arg \max_{\mathbf{u}} \|\mathbf{u}^H \cdot \mathbf{H}_i^d\|^2$$

[0170] 여기서, i 번째 전송 단말기의 수신 빔포밍 벡터 $\mathbf{u}_i^d$ 는 $\mathbf{u}_i^d(t) \in \mathbb{C}^{L_d \times 1}$ 이고, $\|\mathbf{u}_i^d(t)\|^2 = 1$ 이다.

[0172] 일측에 따르면, i 번째 수신 단말기의 수신 빔포밍 벡터 $\mathbf{u}_i^d$ 는 i 번째 수신 단말기와 기지국간의 무선 채널 $\mathbf{H}_i^u$ 의 최대 고유값에 대응되는 고유벡터일 수 있다.

[0174] 도 4의 유효 채널 정보 수신부(450)는 수신 단말기(480)로부터 다운링크 유효 채널 정보를 수신할 수 있다. 다운링크 유효 채널 정보는 도 5의 수신 단말기(531, 532, 533, 534)들에서의 수신 빔포밍 벡터 및 기지국(510)으로부터 수신 단말기(531, 532, 533, 534)까지의 무선 채널을 고려하여 산출된 유효 채널이다. 일측에 따르면, 다운링크 유효 채널 정보는 하기 수학식 12와 같이 산출될 수 있다.

[0176] [수학식 12]

$$\mathbf{f}_i^d \triangleq (\mathbf{u}_i^d)^H \mathbf{H}_i^d$$

[0178] 일측에 따르면, 전송 단말기(470)는 수신 단말기(480)로부터 기지국(400)으로 전송된 다운링크 유효 채널 정보를 엿들음(overhear) 수 있다. 다른 측면에 따르면, 기지국(400)은 수신된 다운링크 유효 채널 정보를 전송 단말기(470)로 포워딩할 수 있다.

[0180] 전송 단말기(470)는 수신된 다운링크 유효 채널 정보에 기반하여 전송 단말기(470)에서의 전송 빔포밍 벡터를 결정할 수 있다. 일측에 따르면, 전송 단말기(470)는 수신 단말기(480)로 전송되는 업링크-다운링크간 간섭(UDI: Uplink-Downlink Interference)의 영향 및 기지국(400)으로부터 수신 단말기(480)로 전송되는 간섭 신호의 영향을 모두 고려하여 전송 단말기(470)의 전송 빔포밍 벡터를 결정할 수 있다.

[0182] 일측에 따르면, 전송 단말기(470)는 전송 빔포밍 벡터를 전송 단말기(470)로부터 수신 단말기(480)까지의 채널 행렬의 널(NULL) 스페이스에 포함되는 벡터 중의 하나로 결정할 수 있다.

[0184] 일측에 따르면, 도 5에서 j 번째 전송 단말기는 하기 수학식 13에 따라서 j 번째 전송 단말기의 전송 빔포밍 벡터 $\mathbf{v}_j^u$ 를 결정할 수 있다.

[0186] [수학식 13]

$$\mathbf{v}_j^u = \mathbf{v} \in \text{Null}(\bar{\mathbf{H}}_j^{\text{UDI}})$$

[0188] 여기서, $\bar{\mathbf{H}}_j^{\text{UDI}} \triangleq [(\mathbf{u}_1^d \mathbf{H}_{1,j})^T, \dots, (\mathbf{u}_{N_d}^d \mathbf{H}_{N_d,j})^T]^T$ 이고, $\text{Null}(\mathbf{A})$ 는 행렬 $\mathbf{A}$ 의 널 스페이스를 나타낸다. 즉, 수신 단말기(480)로부터 수신된 다운링크 유효 채널 정보는 전송 단말기에서의 전송 빔포밍 벡터를 결정하기 위하여 사용된다.

[0190] 도 4의 데이터 수신부(440)는 j 번째 전송 단말기에서 결정된 전송 빔포밍 벡터를 이용하여 전송 빔포밍된 제1 데이터를 수신한다.

[0192] 또한, 유효 채널 정보 수신부(450)는 전송 단말기(470)로부터 업링크 유효 채널 정보를 수신할 수 있다. 업링크

유효 채널 정보는 도 5의 전송 단말기(521, 522, 523)들에서의 전송 빔포밍 벡터 및 전송 단말기(521, 522, 523)로부터 기지국(510)까지의 무선 채널을 고려하여 산출된 유효 채널이다. 일측에 따르면, 업링크 유효 채널 정보는 하기 수학식 14와 같이 산출될 수 있다.

[0194] [수학식 14]

$$\mathbf{f}_j^u \triangleq \mathbf{H}_j^u \mathbf{v}_j^u$$

[0196] 데이터 전송부(460)는 업링크 유효 채널 정보에 기반하여 수신 단말기(480)로 프리코딩을 수행하여 제2 데이터를 전송한다.

[0199] 일측에 따르면, 데이터 전송부(460)는 업링크 유효 채널 정보에 기반하여 기지국의 프리코딩 행렬을 결정할 수 있다. 데이터 전송부(460)는 결정된 프리코딩 행렬을 이용하여 프리코딩을 수행하여 제2 데이터를 수신 단말기(480)로 전송할 수 있다.

[0200] 도 5에서, i번째 수신 단말기에서 수신한 신호 벡터는 하기 수학식 15와 같이 표현할 수 있다.

[0202] [수학식 15]

$$\mathbf{y}_i^d = \mathbf{H}_i^d \mathbf{V}_{BS}^d \mathbf{x}_{BS}^d + \sum_{j=1}^{N_u} \mathbf{H}_{i,j} \mathbf{v}_j^u x_j^u + \mathbf{z}_i^d$$

[0206] 여기서, $\mathbf{y}_i^d$ 는 i번째 수신 단말기에서 수신한 수신 신호 벡터이고, $\mathbf{V}_{BS}^d$ 는 기지국의 프리코딩 행렬로서, $\mathbf{V}_{BS}^d \in \mathbb{C}^{M \times N_d}$ 이다. $\mathbf{x}_{BS}^d$ 는 기지국이 전송한 전송 데이터 벡터이다. x_j^u 는 j번째 전송 단말기가 전송한 데이터이고, $\mathbf{z}_i^d$ 는 i번째 수신 단말기의 열잡음 벡터를 나타내며, $\mathbf{z}_i^d \in \mathbb{C}^{L_d \times 1}$ 이다. 수학식 5에서 두 번째 텀은 업링크-다운링크 간 간섭을 나타낸다.

[0208] 일측에 따르면, 데이터 전송부(460)는 기지국(400)으로부터 수신 단말기(480)로 전송되는 복수의 데이터 스트림 간 간섭을 제거할 수 있도록 기지국(400)의 프리코딩 행렬을 하기 수학식 16과 같이 결정할 수 있다.

[0210] [수학식 16]

$$\mathbf{V}_{BS}^d = [\mathbf{v}_1^d, \mathbf{v}_2^d, \dots, \mathbf{v}_{N_d}^d] = \begin{bmatrix} (\mathbf{u}_1^d)^H \mathbf{H}_1^d \\ (\mathbf{u}_2^d)^H \mathbf{H}_2^d \\ \vdots \\ (\mathbf{u}_{N_d}^d)^H \mathbf{H}_{N_d}^d \end{bmatrix}^T \cdot \begin{bmatrix} \sqrt{\gamma_1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \sqrt{\gamma_2} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \sqrt{\gamma_{N_d}} \end{bmatrix}$$

[0214] 기지국(400)의 프리코딩 행렬이 수학식 16과 같이 결정된 경우에, 수학식 15에서 표현된 수신 단말기(480)의 수신 신호 벡터를 수신 빔포밍을 이용하여 수신한 값은 하기 수학식 17과 같이 표현할 수 있다.

[0216] [수학식 17]

$$\begin{aligned}
 \tilde{y}_i^d &= (\mathbf{u}_i^d)^H \cdot \mathbf{y}_i^d = \sqrt{\gamma_i} x_{BS,i}^d + (\mathbf{u}_i^d)^H \cdot \sum_{j=1}^{N_u} \mathbf{H}_{i,j} \mathbf{v}_j^u x_j^u + \tilde{z}_i^d \\
 &= \sqrt{\gamma_i} x_{BS,i}^d + \sum_{j=1}^{N_u} (\mathbf{u}_i^d)^H \mathbf{H}_{i,j} \cdot \mathbf{v}_j^u x_j^u + \tilde{z}_i^d \\
 &= \sqrt{\gamma_i} x_{BS,i}^d + \tilde{z}_i^d.
 \end{aligned}$$

[0218]

[0220] 여기서, $\sqrt{\gamma_i}$ 는 기지국이 i번째 수신 단말기로 전송한 데이터의 전송 전력을 나타낸다. 또한, $\tilde{z}_i^d$ 는 수신 빔 포밍 이후의 열잡음 성분을 나타내며, $\tilde{z}_i^d = (\mathbf{u}_i^d)^H \mathbf{z}_i^d$ 이다. $x_{BS,i}^d$ 는 기지국(400)이 수신 단말기(480)로 전송한 제2 데이터를 나타낸다.

[0222] 도 4에서, 전송 단말기(470)가 전송한 제1 데이터를 기지국(400)에서 수신한 수신 벡터는 하기 수학식 18과 같이 표현할 수 있다.

[0224] [수학식 8]

$$\mathbf{y}_{BS}^u = \sum_{j=1}^M \mathbf{H}_j^u \mathbf{v}_j^u x_j^u + \mathbf{z}_{BS}^u$$

[0226]

[0228] 여기서, $\mathbf{y}_{BS}^u$ 는 전송 단말기(470)가 전송한 제1 데이터를 기지국(400)에서 수신한 수신 벡터이고, x_j^u 는 전송 단말기(470)가 전송한 제1 데이터이다. 또한, $\mathbf{z}_{BS}^u$ 는 열잡음 성분이다.

[0230] 일측에 따르면, 기지국(400)은 전송 단말기들(470)로부터 전송된 복수의 공간 스트림들간 상관성을 감소시키도록 포스트 코딩을 수행할 수 있다. 일측에 따르면 기지국(400)은 하기 수학식 19에 따라 포스트 코딩 행렬을 결정할 수 있다.

[0232] [수학식 19]

$$\mathbf{U}_{BS}^u = [\mathbf{f}_1^u, \dots, \mathbf{f}_M^u]^{-1} = [\mathbf{H}_1^u \mathbf{v}_1^u, \mathbf{H}_2^u \mathbf{v}_2^u, \dots, \mathbf{H}_M^u \mathbf{v}_M^u]^{-1}$$

[0234]

[0236] 수학식 19와 같이 결정된 포스트 코딩 행렬을 수학식 8에서 표현된 수신 신호 벡터에 적용하면 하기 수학식 20과 같이 정리할 수 있다.

[0238] [수학식 20]

$$\tilde{\mathbf{y}}_{BS}^u = \mathbf{U}_{BS}^u \cdot \mathbf{y}_{BS}^u = [\mathbf{x}_1^u, \dots, \mathbf{x}_M^u]^T + \tilde{\mathbf{z}}_{BS}^u$$

[0240]

[0242] 여기서, $\tilde{\mathbf{z}}_{BS}^u$ 는 포스트 코딩 후의 열잡음 성분이다.

[0243] 수학식 20을 참고하면, $N_u (= M)$ 개의 전송 단말기로부터 전송된 제1 데이터는 수학식 20으로부터 간단히 얻어질 수 있다.

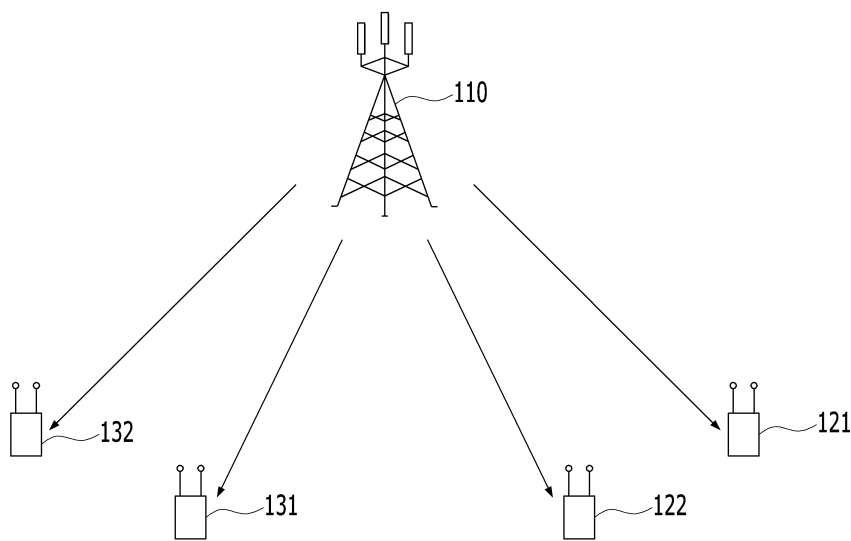
- [0245] 실시예에 따른 방법은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 상기 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체에 기록되는 프로그램 명령은 실시예를 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 기록 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(magnetic media), CD-ROM, DVD와 같은 광기록 매체(optical media), 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광 매체(magneto-optical media), 및 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다. 상기된 하드웨어 장치는 실시예의 동작을 수행하기 위해 하나 이상의 소프트웨어 모듈로서 작동하도록 구성될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다.
- [0247] 이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기의 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 시스템, 구조, 장치, 회로 등의 구성요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다.
- [0248] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

부호의 설명

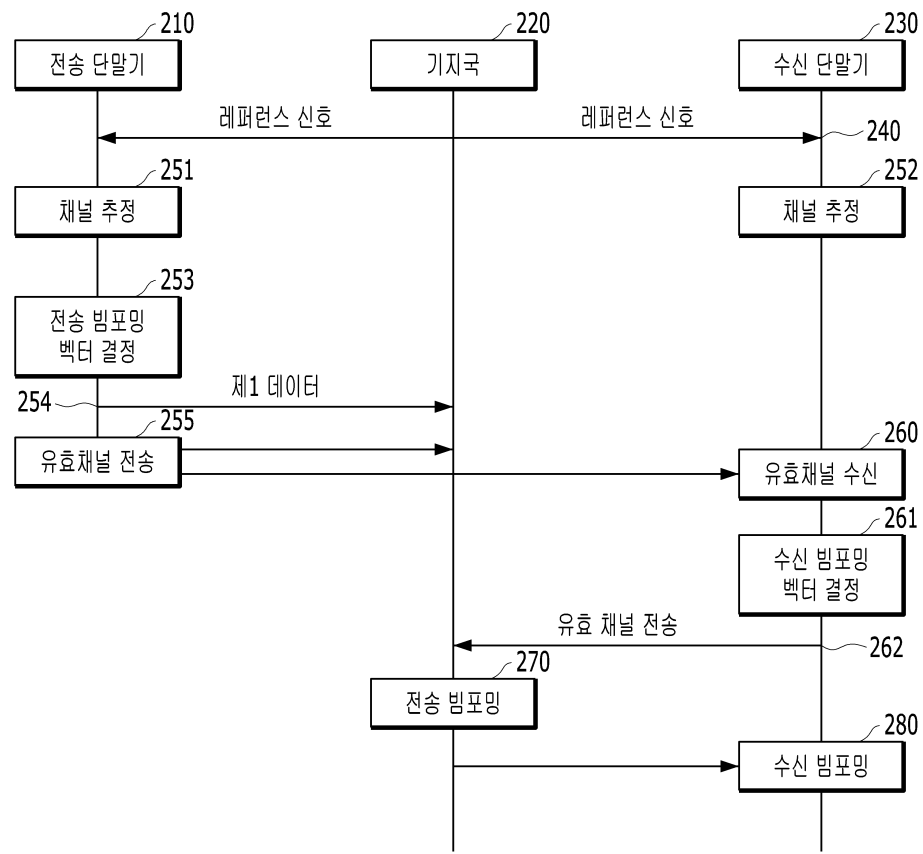
- [0249] 400: 기지국
410: 비교부
420: 송수신 모드 결정부
430: 레퍼런스 신호 전송부
440: 데이터 수신부
450: 유효 채널 정보 수신부
460: 데이터 전송부

도면

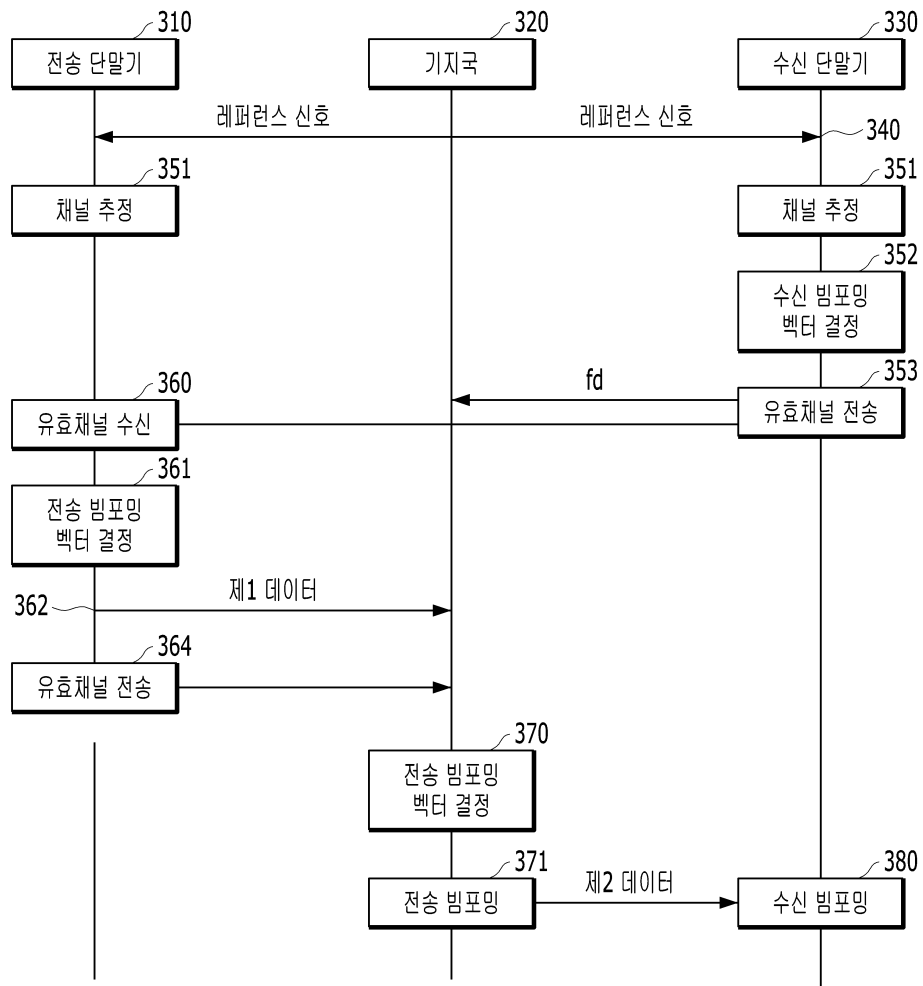
도면1



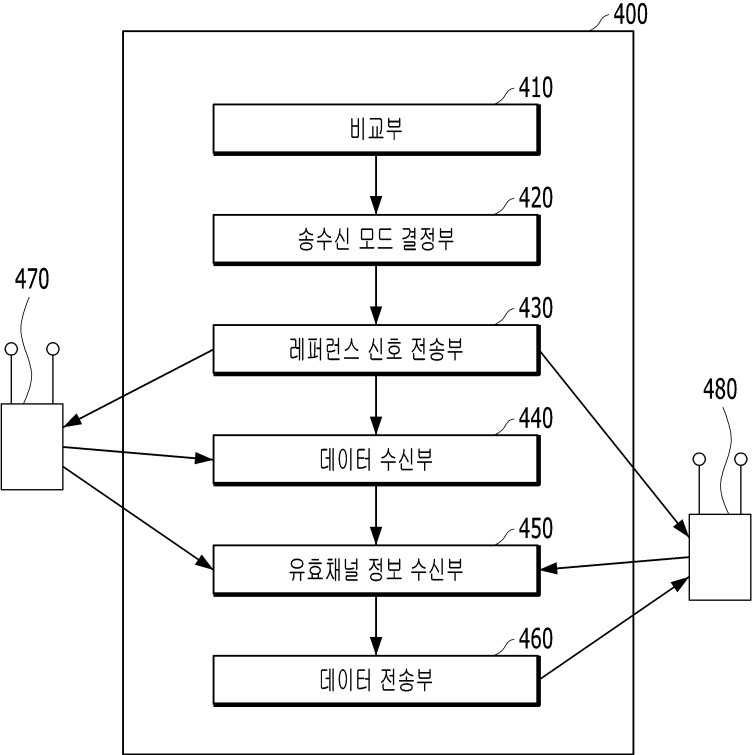
도면2



도면3



도면4



도면5

