



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2015년08월26일
(11) 등록번호 10-1547421
(24) 등록일자 2015년08월19일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H04B 7/02 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2014-0008007

(22) 출원일자 2014년01월22일

심사청구일자 2014년01월24일

(65) 공개번호 10-2015-0087741

(43) 공개일자 2015년07월30일

(56) 선행기술조사문헌

KR1020130097117 A*

US20120287981 A1*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

한국과학기술원

대전광역시 유성구 대학로 291(구성동)

(72) 발명자

길계태

대전광역시 유성구 배울2로 19 대덕테크노밸리9단지아파트 906동 1502호

이주용

대전광역시 유성구 배울1로 13 대우푸르지오 204동 1601호

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

특허법인 무한

전체 청구항 수 : 총 13 항

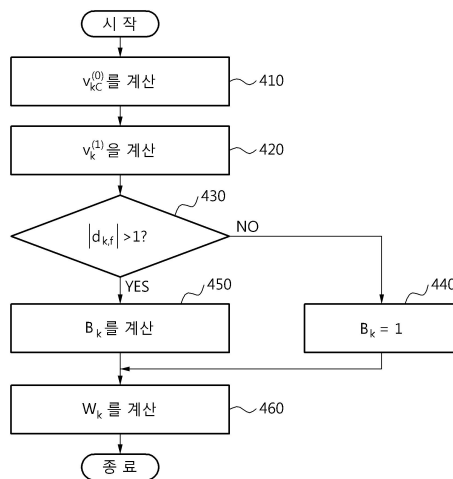
심사관 : 김상인

(54) 발명의 명칭 통계적 채널정보 기반의 혼합 빔포밍 방법, 및 이를 수행하는 장치들

(57) 요약

혼합 빔포밍 방법, 및 이를 수행하는 장치들이 개시된다. 일 실시예에 따른 통신 장치의 혼합 빔포밍 방법은 상기 통신 장치의 배열안테나와 각 단말장치 사이의 채널에 대한 통계적 채널 상관 행렬들을 획득하는 단계와, 상기 통계적 채널 상관 행렬들에 기초하여 상기 각 단말장치에 대응하는 RF 빔포밍 계수를 결정하는 단계와, 상기 RF 빔포밍 계수에 기초하여 상기 각 단말장치로 송신할 심볼 스트림들에 RF 빔포밍을 수행하는 단계를 포함할 수 있다.

대표도 - 도2



(72) 발명자

조동호

서울특별시 서초구 서초중앙로 15 현대슈퍼빌 A동 1502호

오상민

대전광역시 유성구 궁동로72번길 12 다성빌 306호

임한영

대전광역시 유성구 온천북로33번길 36-12, 301호

최일도

대전광역시 유성구 농대로21번길 12 104호

김태환

서울특별시 구로구 새말로 102 신도림포스빌 2119

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 11-911-04-001

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 한국방송통신전파진흥원

연구사업명 안테나 노드 그룹핑 기반 무간섭 적응빔 접속 기술 개발

연구과제명 안테나 노드 그룹핑 기반 무간섭 적응빔 접속 기술 개발

기여율 1/1

주관기관 한국과학기술원

연구기간 2013.03.01 ~ 2014.02.28

특허청구의 범위

청구항 1

통신 장치의 혼합 빔포밍 방법에 있어서,

상기 통신 장치의 배열안테나와 복수의 단말장치들 사이의 채널에 대한 통계적 채널 상관 행렬들에 기초하여 상기 복수의 단말장치들 각각에 대응하는 RF 빔포밍 계수를 결정하는 단계; 및

상기 RF 빔포밍 계수에 기초하여 상기 복수의 단말장치들로 송신할 심볼 스트림들에 RF 빔포밍을 수행하는 단계를 포함하고,

상기 RF 빔포밍 계수를 결정하는 단계는,

상기 통계적 채널 상관 행렬들 중에서 제1 채널 상관 행렬을 이용하여 상기 통신 장치와 상기 복수의 단말장치들의 부채널에 대한 유효 채널 응답의 평균치의 신호 준공간 특이 벡터들(signal subspace singular vectors)을 포함하는 제1 행렬을 계산하는 단계;

상기 통계적 채널 상관 행렬들 중에서 제2 채널 상관 행렬을 이용하여 상기 평균치의 잡음 준공간 특이 벡터들(noise subspace singular vectors)을 포함하는 제2 행렬을 계산하는 단계;

상기 제1 행렬, 상기 제2 행렬, 및 상기 통계적 채널 상관 행렬들 중에서 제3 채널 상관 행렬을 이용하여 제3 행렬을 계산하는 단계; 및

상기 제1 행렬, 상기 제2 행렬, 및 상기 제3 행렬에 기초하여 상기 RF 빔포밍 계수를 결정하는 단계를 포함하는 통신 장치의 혼합 빔포밍 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 심볼 스트림들에 기저대역 프리코딩을 수행하는 단계를 더 포함하는 통신 장치의 혼합 빔포밍 방법.

청구항 3

삭제

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 제3 행렬을 계산하는 단계는,

상기 RF 빔포밍 계수의 컬럼 수에 따라 상기 제1 행렬, 상기 제2 행렬, 및 상기 제3 채널 상관 행렬을 이용하여 상기 제3 행렬을 계산하는 단계

를 포함하는 통신 장치의 혼합 빔포밍 방법.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 컬럼 수가 1일 때 상기 제3 행렬은 고유 벡터이고,

상기 컬럼 수가 1보다 클 때 상기 제3 행렬은 상기 컬럼 수의 고유 벡터들을 컬럼 벡터로 포함하는 통신 장치의 혼합 빔포밍 방법.

청구항 6

제4항에 있어서,

상기 컬럼 수는 상기 부채널과 독립적인 통신 장치의 혼합 빔포밍 방법.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 제2 행렬은 상기 잡음 준공간 특이 벡터들을 컬럼 벡터로 포함하는 통신 장치의 혼합 빔포밍 방법.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 통계적 채널 상관 행렬들을 획득하는 단계를 더 포함하는 통신 장치의 혼합 빔포밍 방법.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 통계적 채널 상관 행렬들을 획득하는 단계는,

기대치 연산의 산술 평균 및 상기 각 단말장치로부터 수신되는 신호의 도달각(angle of arrival) 중에서 적어도 어느 하나를 이용하여 상기 통계적 채널 상관 행렬들을 계산하는 단계를

포함하는 통신 장치의 혼합 빔포밍 방법.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 통계적 채널 상관 행렬들을 획득하는 단계는,

상기 통계적 채널 상관 행렬에 고유값 분해(eigenvalue decomposition)를 수행하여 상기 통계적 채널 상관 행렬을 재구성하는 단계를

포함하는 통신 장치의 혼합 빔포밍 방법.

청구항 11

통신 장치에 있어서,

배열안테나;

상기 배열안테나와 상기 통신 장치와 통신하는 복수의 단말장치들 사이의 채널에 대한 통계적 채널 상관 행렬들에 기초하여 상기 복수의 단말장치들 각각에 대응하는 RF 빔포밍 계수를 결정하는 혼합 빔포밍 결정부; 및

상기 RF 빔포밍 계수에 기초하여 상기 복수의 단말장치들로 송신할 심볼 스트림들에 RF 빔포밍을 수행하는 RF

빔포밍부

를 포함하고,

상기 혼합 빔포밍 결정부는,

상기 통계적 채널 상관 행렬들 중에서 제1 채널 상관 행렬을 이용하여 상기 통신 장치와 상기 복수의 단말장치들의 부채널에 대한 유효 채널 응답의 평균치의 신호 준공간 특이 벡터들(signal subspace singular vectors)을 포함하는 제1 행렬을 계산하고,

상기 통계적 채널 상관 행렬들 중에서 제2 채널 상관 행렬을 이용하여 상기 평균치의 잡음 준공간 특이 벡터들(noise subspace singular vectors)을 포함하는 제2 행렬을 계산하고,

상기 제1 행렬, 상기 제2 행렬, 및 상기 통계적 채널 상관 행렬들 중에서 제3 채널 상관 행렬을 이용하여 제3 행렬을 계산하고,

상기 제1 행렬, 상기 제2 행렬, 및 상기 제3 행렬에 기초하여 상기 RF 빔포밍 계수를 결정하는 통신 장치.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 심볼 스트림들에 기저대역 프리코딩을 수행하는 기저대역 프리코더

를 더 포함하는 통신 장치.

청구항 13

제11항에 있어서,

상기 혼합 빔포밍 결정부는,

기대치 연산의 산술 평균 및 상기 복수의 단말장치들로부터 수신되는 신호의 도달각 중에서 적어도 어느 하나를 이용하여 상기 통계적 채널 상관 행렬들을 계산하고, 상기 통계적 채널 상관 행렬에 고유값 분해를 수행하여 상기 통계적 채널 상관 행렬을 재구성하는 통신 장치.

청구항 14

제11항에 있어서,

상기 통신 장치는 기지국인 통신 장치.

청구항 15

삭제

청구항 16

삭제

명세서

기술분야

[0001]

아래 실시예들은 통계적 채널 정보에 기초하여 RF 빔포밍 계수를 결정하는 혼합 빔포밍 방법, 및 이를 수행하는 장치들에 관한 것이다.

배경 기술

- [0002] 무선 통신 시스템에서 중요한 설계 고려사항들 중 하나는 기지국과 단말기 사이에 주어진 채널이 갖는 이론적 용량(Sahnnon Capacity)을 달성하는 것이다. 이를 위해서는 주어진 채널에 적합한 전송방식을 사용하는 것이 필요하다. MU-MIMO(multi-user Multiple Input Multiple Output) 전송방식은 서로 다른 위치에 있어 채널상관도(channel correlation)가 작은 단말기들을 동일한 무선 주파수 자원을 통해 동시에 수용함으로써 단일사용자(single user) 전송방식에 비해 높은 주파수효율을 얻을 수 있게 된다. 하지만, 단말기들의 채널상관도는 일반적으로 영(zero)보다 크기 때문에 다중사용자간섭(multi-user interference)이 발생하여 이상적인 주파수효율을 얻을 수 없게 된다.
- [0003] 이상적인 주파수효율을 얻기 위한 기존의 방법들에는 기저대역 프리코딩 방식으로 ZF-BD(Zero-Forcing Block Diagonalization) 방식과 CI(Channel Inversion) 방식이 포함되며, 규모가 큰 배열안테나를 사용하여 RF단과 기저대역(baseband, 또는 주파수대역)에서 복합적으로 다중사용자간섭을 방지하는 복합 빔포밍(Hybrid beamforming) 방식이 있다. ZF-BD 방식과 CI 방식은 RF chain들을 통해 송신되는 다중사용자 심볼 스트림 간의 간섭을 방지하기 위해 기저대역에서 전처리(preprocessing)하는 방법이다. CI 방식은 모든 스트림들 사이의 간섭을 방지하는 방식이고, ZF-BD 방식은 단말기들 간의 간섭을 방지하는 방법으로서 동일한 단말기로 송신되는 2 개 이상의 심볼 스트림 간의 간섭을 수신단말기에서 후처리(postprocessing)하도록 하는 방법이다.
- [0004] 한편, 기지국의 RF chain별로 2 개 이상의 안테나를 사용하여 RF단에서 빔포밍을 함으로써 높은 빔포밍 이득을 얻어 단말기의 수신 신호의 품질을 개선할 수 있다. 이런 기지국을 위해서, 복합 빔포밍 방식이 제시되었다. 이 복합 빔포밍 방식에서는 RF단에서 많은 수의 송신안테나로 RF chain별 빔포밍(이하 'RF 빔포밍'이라 함)을 수행하여 높은 빔포밍 이득을 얻고, 기저대역 프리코딩을 수행하여 다중사용자 간섭을 제거한다. RF빔포밍은 기지국에서 단말기들로 송신되는 신호를 공간적으로 분리되도록 하는 의미를 가진다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0005] 실시예들은 안테나수가 매우 큰 배열안테나를 사용하는 복합빔포밍 기지국에서 RF단 빔포밍 계수를 결정하기 위해 통계적 채널 상관 행렬을 획득함으로써 채널정보를 수집하는 데 수반되는 오버헤드를 감소하면서 동시에 다중사용자 간섭을 효과적으로 방지하는 기술을 제공할 수 있다.

과제의 해결 수단

- [0006] 일 실시예에 따른 통신 장치의 혼합 빔포밍 방법은 상기 통신 장치의 배열안테나와 복수의 단말장치들 사이의 채널에 대한 통계적 채널 상관 행렬들에 기초하여 상기 복수의 단말장치들 각각에 대응하는 RF 빔포밍 계수를 결정하는 단계와, 상기 RF 빔포밍 계수에 기초하여 상기 복수의 단말장치로 송신할 심볼 스트림들에 RF 빔포밍을 수행하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0007] 상기 방법은 상기 심볼 스트림들에 기저대역 프리코딩을 수행하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0008] 상기 RF 빔포밍 계수를 결정하는 단계는 상기 통계적 채널 상관 행렬들 중에서 제1 채널 상관 행렬을 이용하여 상기 통신 장치와 상기 복수의 단말장치들의 부채널에 대한 유효 채널 응답의 평균치의 신호 준공간 특이 벡터들(signal subspace singular vectors)을 포함하는 제1 행렬을 계산하는 단계와, 상기 통계적 채널 상관 행렬들 중에서 제2 채널 상관 행렬을 이용하여 상기 평균치의 잡음 준공간 특이 벡터들(noise subspace singular vectors)을 포함하는 제2 행렬을 계산하는 단계와, 상기 제1 행렬, 상기 제2 행렬, 및 상기 통계적 채널 상관 행렬들 중에서 제3 채널 상관 행렬을 이용하여 제3 행렬을 계산하는 단계와, 상기 제1 행렬, 상기 제2 행렬, 및 상기 제3 행렬에 기초하여 상기 RF 빔포밍 계수를 결정하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0009] 상기 제3 행렬을 계산하는 단계는 상기 RF 빔포밍 계수의 컬럼 수에 따라 상기 제1 행렬, 상기 제2 행렬, 및 상기 제3 채널 상관 행렬을 이용하여 상기 제3 행렬을 계산하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0010] 상기 컬럼 수가 1일 때 상기 제3 행렬은 고유 벡터이고, 상기 컬럼 수가 1보다 클 때 상기 제3 행렬은 상기 컬럼 수의 고유 벡터들을 컬럼 벡터로 포함할 수 있다.
- [0011] 상기 컬럼 수는 상기 부채널과 독립적일 수 있다.

- [0012] 상기 제2 행렬은 상기 잡음 준공간 특이 벡터들을 컬럼 벡터로 포함할 수 있다.
- [0013] 상기 방법은 상기 통계적 채널 상관 행렬들을 획득하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0014] 상기 통계적 채널 상관 행렬들을 획득하는 단계는 기대치 연산의 산술 평균 및 상기 복수의 단말장치들로부터 수신되는 신호의 도달각(angle of arrival) 중에서 적어도 어느 하나를 이용하여 상기 통계적 채널 상관 행렬들을 계산하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0015] 상기 통계적 채널 상관 행렬들을 획득하는 단계는 상기 통계적 채널 상관 행렬에 고유값 분해(eigenvalue decomposition)를 수행하여 상기 통계적 채널 상관 행렬을 재구성하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0016] 일 실시예에 따른 통신 장치는 배열안테나와, 상기 배열안테나와 상기 통신 장치와 통신하는 복수의 단말장치들 사이의 채널에 대한 통계적 채널 상관 행렬들에 기초하여 상기 복수의 단말장치들 각각에 대응하는 RF 빔포밍 계수를 결정하는 혼합 빔포밍 결정부와, 상기 RF 빔포밍 계수에 기초하여 상기 복수의 단말장치들로 송신할 심볼 스트림들에 RF 빔포밍을 수행하는 RF 빔포밍부를 포함할 수 있다.
- [0017] 상기 장치는 상기 심볼 스트림들에 기저대역 프리코딩을 수행하는 기저대역 프리코더를 더 포함할 수 있다.
- [0018] 상기 혼합 빔포밍 결정부는 기대치 연산의 산술 평균 및 상기 복수의 단말장치들로부터 수신되는 신호의 도달각 중에서 적어도 어느 하나를 이용하여 상기 통계적 채널 상관 행렬들을 계산하고, 상기 통계적 채널 상관 행렬에 고유값 분해를 수행하여 상기 통계적 채널 상관 행렬을 재구성할 수 있다.
- [0019] 상기 장치는 기지국일 수 있다.
- [0020] 일 실시예에 따른 통신 시스템은 복수의 단말장치들과, 배열안테나를 포함하고, 상기 배열안테나와 상기 복수의 단말장치들 사이의 채널에 대한 통계적 채널 상관 행렬들을 이용하여 상기 복수의 단말장치들 각각에 대응하는 RF 빔포밍 계수를 결정하는 통신 장치를 포함할 수 있다.
- [0021] 상기 통신 장치는 상기 RF 빔포밍 계수에 기초하여 상기 복수의 단말장치들로 송신할 심볼 스트림들에 RF 빔포밍을 수행할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0022] 도 1은 일 실시예에 따른 통신 시스템을 나타낸다.
- 도 2는 제K 단말장치를 위한 RF 빔포밍 계수를 산출하는 방법을 설명하기 위한 순서도이다.
- 도 3은 Rayleigh fading 채널 환경에서 일 실시예에 따른 다중사용자 RF 빔포밍에 의한 빔 패턴과 정상도를 나타낸다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0023] 본 명세서에 개시되어 있는 본 발명의 개념에 따른 실시예들에 대해서 특정한 구조적 또는 기능적 설명들은 단지 본 발명의 개념에 따른 실시예들을 설명하기 위한 목적으로 예시된 것으로서, 본 발명의 개념에 따른 실시예들은 다양한 형태로 실시될 수 있으며 본 명세서에 설명된 실시예들에 한정되지 않는다.
- [0024] 본 발명의 개념에 따른 실시예들은 다양한 변경들을 가할 수 있고 여러 가지 형태들을 가질 수 있으므로 실시예들을 도면에 예시하고 본 명세서에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명의 개념에 따른 실시예들을 특정한 개시형태들에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물, 또는 대체물을 포함한다.
- [0025] 제1 또는 제2 등의 용어를 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만, 예를 들어 본 발명의 개념에 따른 권리 범위로부터 이탈되지 않은 채, 제1 구성요소는 제2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성요소는 제1 구성요소로도 명명될 수 있다.
- [0026] 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "연결되어" 있다거나 "접속되어" 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결되어 있거나 또는 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 반면에, 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "직접 연결되어" 있다거나 "직접 접속되어" 있다고 언급된 때에는, 중간에 다른 구성요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다. 구성요소들 간의

관계를 설명하는 표현들, 예를 들어 "사이에"와 "바로~사이에" 또는 "~에 이웃하는"과 "에 직접 이웃하는" 등도 마찬가지로 해석되어야 한다.

[0027] 본 명세서에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예들을 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 실시된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

[0028] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가진다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥상 가지는 의미와 일치하는 의미를 갖는 것으로 해석되어야 하며, 본 명세서에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.

[0029] 이하, 실시예들을 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다.

[0030] 도 1은 일 실시예에 따른 통신 시스템을 나타낸다.

[0031] 도 1을 참조하면, 통신 시스템(communication system; 10)은 통신 장치(100)와 복수의 단말 장치들(200-1~200-K, K는 1 이상의 자연수)을 포함할 수 있다. 예를 들어, 복수의 단말 장치들(200-1~200-K)은 K개일 수 있다.

[0032] 통신 시스템(10)은 무선 통신 환경에서 통신을 수행할 수 있다. 예를 들어, 통신 시스템(10)은 3GPP(3rd Generation Partnership Project), LTE(Long-Term Evolution), 및 WiMAX(World Interoperability for Microwave Access) 기반에서 통신을 수행할 수 있다.

[0033] 통신 장치(100)와 복수의 단말 장치들(200-1~200-K)은 서로 통신할 수 있다. 예를 들어, 통신 장치(100)와 복수의 단말 장치들(200-1~200-K)은 서로 신호(또는 데이터)를 주고 받을 수 있다. 통신 장치(100)는 기지국(base station)일 수 있다.

[0034] 통신 장치(100)는 통계적 채널 정보, 예를 들어 통계적 채널 상관 행렬들에 기초하여 복수의 단말 장치들(200-1~200-K) 각각에 대응하는 RF 빔포밍 계수($w_1 \sim w_k$)를 결정하고, 복수의 단말 장치들(200-1~200-K) 각각에 송신할 심볼 스트림들($s_1 \sim s_k$)에 RF 빔포밍을 수행할 수 있다. 예를 들어, 통신 장치(100)는 배열안테나, 예를 들어 복수의 안테나들(ANT-1~ANT-N)과 각 단말장치(200-1~200-K) 사이의 채널에 대한 통계적 채널 상관 행렬들을 획득할 수 있다.

[0035] 순시 채널 정보를 사용하는 대신 상대적으로 낮은 주기로 수집 가능한 통계적 채널 상관 행렬들을 획득함으로써, 통신 장치(100)는 RF 빔포밍을 위한 실시간 순시 채널 추정의 오버헤드를 완화할 수 있다. 또한, 통신 장치(100)는 채널 추정 오차에 대한 민감도를 개선할 수 있다.

[0036] 통신 장치(100) 통계적 채널 상관 행렬들에 기초한 RF 빔포밍 계수($w_1 \sim w_k$)를 사용하는 다중사용자 RF 빔포밍을 수행하여 다중사용자 간섭을 제거할 수 있다.

[0037] 통신 장치(100)는 복수의 단말 장치들(200-1~200-K) 각각에 송신할 심볼 스트림들($s_1 \sim s_k$)에 기저대역 프리코딩을 수행할 수 있다. 통신 장치(100)는 순시 채널 정보를 사용하는 기저대역 프리코딩을 수행하여 RF 빔포밍을 통해 제거하기 못한 여분의 다중사용자 간섭 성분을 제거할 수 있다.

[0038] 통신 장치(100)는 기저대역 프리코더(130), RF 체인들(미도시), RF 빔포밍부(150) 및 복수의 안테나들(ANT-1~ANT-N, N은 1 이상의 자연수)을 포함할 수 있다.

[0039] 기저대역 프리코더(130)는 심볼 스트림들($s_1 \sim s_k$)을 수신할 수 있다. 예를 들어, 심볼 스트림들($s_1 \sim s_k$) 각각은 $\{s_1, s_2, \dots, s_k\}$ 개일 수 있다.

[0040] 기저대역 프리코더(130)는 심볼 스트림들($s_1 \sim s_k$)을 기저대역 프리코딩하여 출력 신호들($d_1 \sim d_k$)을 생성할 수

있다. 예를 들어, 기저대역 프리코더(130)는 복수의 프리코더들, 예를 들어 K개의 프리코더들을 포함할 수 있다.

[0041] 기저대역 프리코더(130)는 각 출력 신호($d_1 \sim d_k$)에 대응하는 각 RF(radio frequency) 체인을 통해 각 출력 신호($d_1 \sim d_k$)를 RF 빔포밍부(150)로 전송할 수 있다. 예를 들어, 각 RF 체인은 IFFT(inverse fast fourier transform), 병렬/직렬 변환기(parallel to serial converter), 및 DAC(digital-to-analog converter) 등을 포함할 수 있다.

[0042] RF 빔포밍부(150)는 RF 빔포밍 계수($W_1 \sim W_k$)에 기초하여 복수의 단말 장치들(200-1~200-K) 각각에 송신할 심볼 스트림들($s_1 \sim s_k$)에 RF 빔포밍을 수행할 수 있다. 예를 들어, RF 빔포밍부(150)는 RF 빔포밍 계수($W_1 \sim W_k$)에 기초하여 각 RF 체인을 통해 전송된 기저대역 프리코더(130)의 출력 신호들($d_1 \sim d_k$)에 대해 빔을 형성하고, 형성된 빔을 복수의 안테나들(ANT-1~ANT-N)을 통해 복수의 단말장치들(200-1~200-K)로 전송할 수 있다.

[0043] RF 빔포밍부(150)는 각 RF 체인에 대응하는 각 RF 빔포머(151-1~151-K), 및 신호 결합부(153)를 포함할 수 있다.

[0044] 각 RF 빔포머(151-1~151-K)는 각 RF 체인을 통해 전송된 신호들($d_1 \sim d_k$) 각각을 N개의 신호들로 분리하고, 분리된 N개의 신호들에 RF 빔포밍 계수($W_1 \sim W_k$)를 적용하여 신호들($x_1 \sim x_k$)을 생성할 수 있다. 예를 들어, 신호들($x_1 \sim x_k$) 각각은 N개의 신호들일 수 있다. 또한, 신호들($x_1 \sim x_k$) 각각은 RF 빔포밍 계수($W_1 \sim W_k$)에 따라 위상이 변경된 신호들일 수 있다. 각 RF 빔포머(151-1~151-K)는 주파수 변환기(frequency converter), 위상 변환기(phase shifter), 및 전력 증폭기(power amplifier) 등을 포함할 수 있다.

[0045] 예를 들어, 제1 RF 빔포머(151-1)는 대응 RF 체인을 통해 전송된 신호(d_1)를 N개의 신호들로 분리하고, 분리된 N개의 신호들에 RF 빔포밍 계수(W_1)를 적용하여 N개의 신호들(x_1)을 생성할 수 있다. 제K RF 빔포머(151-K)는 대응 RF 체인을 통해 전송된 신호(d_k)를 N개의 신호들로 분리하고, 분리된 N개의 신호들에 RF 빔포밍 계수(W_k)를 적용하여 N개의 신호들(x_k)을 생성할 수 있다.

[0046] 신호 결합부(153)는 신호들($x_1 \sim x_k$)을 결합하여 빔을 형성하고, 빔이 형성된 N개의 송신 신호(x)들을 복수의 안테나들(ANT-1~ANT-N)로 전송할 수 있다. 예를 들어, 신호 결합부(153)는 N개의 송신 신호(x)들을 해당 각 안테나(ANT-1~ANT-N)로 전송할 수 있다.

[0047] 복수의 안테나들(ANT-1~ANT-N)은 ULA(uniform linear array) 또는 UPA(uniform planar array) 등의 구조로 구현될 수 있다.

[0048] 혼합 빔포밍 결정부(170)는 배열안테나, 예를 들어 복수의 안테나들(ANT-1~ANT-N)과 각 단말장치(200-1~200-K) 사이의 채널에 대한 통계적 채널 상관 행렬들을 획득할 수 있다.

[0049] 혼합 빔포밍 결정부(170)는 통계적 채널 상관 행렬들에 기초하여 복수의 단말 장치들(200-1~200-K) 각각에 대응하는 RF 빔포밍 계수($W_1 \sim W_k$)를 결정할 수 있다.

[0050] 통신 장치(100)와 복수의 단말장치들(200-1~200-K) 간에는 유효 채널들($H_1 \sim H_k$)이 형성될 수 있다. 복수의 단말장치들(200-1~200-K)은 각각은 해당 유효 채널을 통해 해당 수신 신호($y_1 \sim y_k$)를 수신할 수 있다.

[0051] 각 수신 신호($y_1 \sim y_k$)는 각 단말장치(200-1~200-K)의 등화기(210-1~210-K)에 의해 채널의 영향이 상쇄될 수

있다. 예를 들어, 제1 단말장치(200-1)의 등화기(210-1)는 Z_1^H 로 표현되고, 제K 단말장치(200-K)의 등화기

(210-K)는 Z_K^H 로 표현될 수 있다. Θ^H 는 vector 또는 matrix의 Herimitan transposition을 나타낼 수 있다.

[0052] 각 단말 장치(200-1~200-K)의 심볼검파기(230-1~230-K)는 각 단말 장치(200-1~200-K)의 등화기(210-1~210-K)의 출력 신호($r_1 \sim r_k$)로부터 원하는 심볼을 검파할 수 있다.

[0053] 아래에서는 통신 장치(100)의 혼합 빔포밍 결정부(170)의 RF 빔포밍 계수($W_1 \sim W_K$)를 결정하는 방법에 대해서 자세
히 설명한다. 이때, 통신 장치(100)가 부채널 f를 통하여 심볼 스트림들 $s_{1,f}, s_{2,f}, \dots, s_{K,f}$ 을 동시에 K개의 단말
장치들(200-1~200-K)로 송신하는 경우를 가정한다.

[0054] 기저대역 프리코더(130)는 심볼 스트림들($s_1 \sim s_K$)을 기저대역 프리코딩하여 프리코딩된 신호들($d_1 \sim d_K$)을 생성할
수 있다. 예를 들어, 부채널 f에 대응하는 기저대역 프리코더(130)는 $\mathbf{P}_f = (\mathbf{P}_{1,f}, \mathbf{P}_{2,f}, \dots, \mathbf{P}_{K,f})$ 로 표현될 수
있다. 이때, 출력 신호들($d_1 \sim d_K$)은 수학식 1을 통해 표현될 수 있다.

수학식 1

$$\begin{pmatrix} d_{1,f} \\ d_{2,f} \\ \vdots \\ d_{K,f} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{P}_{1,f} & \mathbf{P}_{2,f} & \dots & \mathbf{P}_{K,f} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} s_{1,f} \\ s_{2,f} \\ \vdots \\ s_{K,f} \end{pmatrix}$$

[0055]

[0056] 이때, 통신 장치(100)의 송신 신호(x)는 수학식 2를 통해 표현될 수 있다.

수학식 2

$$\mathbf{x}_f = \mathbf{W}_1 \mathbf{d}_{1,f} + \mathbf{W}_2 \mathbf{d}_{2,f} + \dots + \mathbf{W}_K \mathbf{d}_{K,f}$$

[0057]

[0058] 제K 단말장치(200-K)에서 부채널 f를 통해 수신된 수신 신호(y_K)는 수학식 3을 통해 표현될 수 있다.

수학식 3

$$\mathbf{y}_{k,f} = \mathbf{H}_{k,f} \mathbf{x}_f + \mathbf{n}_{k,f} = \mathbf{H}_{k,f} \mathbf{W}_1 \mathbf{d}_{1,f} + \mathbf{H}_{k,f} \mathbf{W}_K \mathbf{d}_{K,f} + \mathbf{n}_{k,f}$$

[0059]

[0060] 여기서, $\mathbf{H}_{k,f}$ 는 제K 단말 장치(200-K)의 부채널 f에서의 유효 채널 응답을 의미할 수 있다. $\mathbf{n}_{k,f}$ 는 부가 잡
음(additive noise)을 의미할 수 있다. 또한, $\mathbf{n}_{k,f}$ 는 $\mathbf{W}_{K,f} \mathbf{d}_{K,f} = \mathbf{x}_f - \mathbf{W}_1 \mathbf{d}_{1,f}$ 로 정의될 수 있다. 이때, 모든
단말장치에서 수신된 신호들은 수학식 4와 같이 표현될 수 있다.

수학식 4

$$\begin{pmatrix} \vdots \\ \mathbf{y}_{k-1,f} \\ \mathbf{y}_{k+1,f} \\ \vdots \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \vdots \\ \mathbf{H}_{k-1,f} \\ \mathbf{H}_{k+1,f} \\ \vdots \end{pmatrix} (\mathbf{W}_1 \mathbf{d}_{1,f} + \mathbf{W}_2 \mathbf{d}_{2,f} + \dots + \mathbf{W}_K \mathbf{d}_{K,f}) + \begin{pmatrix} \vdots \\ \mathbf{n}_{k-1,f} \\ \mathbf{n}_{k+1,f} \\ \vdots \end{pmatrix}$$

[0061]

[0062]

수학식 4의 각 행렬은 수학식 5와 같이 정의될 수 있다.

수학식 5

$$\mathbf{y}_{k,f} = \begin{pmatrix} y_{k-1,f} \\ y_{k,f} \\ y_{k+1,f} \end{pmatrix}, \mathbf{H}_{k,f} = \begin{pmatrix} \mathbf{H}_{k-1,f} \\ \mathbf{H}_{k,f} \\ \mathbf{H}_{k+1,f} \end{pmatrix}, \mathbf{n}_{k,f} = \begin{pmatrix} \mathbf{n}_{k-1,f} \\ \mathbf{n}_{k,f} \\ \mathbf{n}_{k+1,f} \end{pmatrix}$$

[0063]

[0064]

수학식 4는 수학식 5를 통해 수학식 6과 같이 정리되어 표현될 수 있다.

수학식 6

$$\mathbf{y}_{k,f} = \mathbf{H}_{k,f} \mathbf{W}_k \mathbf{d}_{k,f} + \mathbf{H}_{k,f} \mathbf{W}_{ic} \mathbf{d}_{ic,f} + \mathbf{n}_{k,f}$$

[0065]

[0066]

설명의 편의를 위해, 통신 장치(100)의 혼합 빔포밍 결정부(170)가 제K 단말장치(200-K)를 위한 RF 빔포밍 행렬인 \mathbf{W}_k 을 결정하는 것에 한하여 설명한다.

[0067]

제K 단말장치(200-K)를 위한 RF 빔포밍 행렬인 \mathbf{W}_k 는 다음과 같은 3가지 조건을 만족해야 한다.

[0068]

1) RF 빔포밍 행렬 \mathbf{W}_k 는 제K 단말장치(200-K)를 목적지로 송신되는 신호(y_k), 즉 $\mathbf{W}_k \mathbf{d}_{k,f}$ 가 제K 단말장치(200-K)를 제외한 다른 단말장치들에 도달하지 않도록 해야 한다.

[0069]

2) RF 빔포밍 행렬 \mathbf{W}_k 는 제K 단말장치(200-K)를 목적지로 송신되는 신호 $\mathbf{W}_k \mathbf{d}_{k,f}$ 가 제K 단말장치(200-K)로 도달할 수 있도록 해야 한다.

[0070]

3) RF 빔포밍 행렬 \mathbf{W}_k 는 제K 단말장치(200-K)를 목적지로 송신되는 신호 $\mathbf{W}_k \mathbf{d}_{k,f}$ 가 제K 단말장치(200-K)로 도달하는 수신 전력이 최대가 되도록 해야 한다.

[0071]

상술한 3가지 조건을 만족하는 RF 빔포밍 행렬 \mathbf{W}_k 는 부채널 f와 독립적인 값일 수 있다. 부채널 f에 대한 유

효 채널 응답인 $\mathbf{H}_{ic,f}$ 대신에 모든 부채널 f에 대한 평균치에 기초하여 RF 빔포밍 행렬 \mathbf{W}_i 의 최적치를 계산하고, 부채널별 $\mathbf{H}_{ic,f}$ 의 분산으로 인한 여분의 다중사용자 간섭은 기저대역 프리코더(130)의 기저대역 프리코딩을 통해 제거될 수 있다. 이때, $\mathbf{H}_{ic,f}$ 의 모든 부채널 f에 대한 평균치를 \mathbf{H}_{ic} 로 정의할 수 있다.

[0072] 부채널 f에 대한 유효 채널 응답인 $\mathbf{H}_{ic,f}$ 은 수학식 7과 같이 표현될 수 있다.

수학식 7

[0073]
$$\mathbf{H}_{ic,f} = \mathbf{H}_{ic} + \Delta\mathbf{H}_{ic,f}$$

[0074] 부채널별 상관행렬에 대한 평균치는 수학식 8과 같이 표현될 수 있다.

수학식 8

[0075]
$$E[\mathbf{H}_{ic,f}^H \mathbf{H}_{ic,f}] = \mathbf{H}_{ic}^H \mathbf{H}_{ic} + E[\Delta\mathbf{H}_{ic,f}^H \Delta\mathbf{H}_{ic,f}]$$

[0076] 수학식 3과 수학식 6은 수학식 7로부터 수학식 9와 수학식 10으로 정리될 수 있다.

수학식 9

[0077]
$$\mathbf{y}_{i,f} = \mathbf{H}_i \mathbf{W}_i \mathbf{d}_{i,f} + \mathbf{H}_{i,f} \mathbf{W}_{ic} \mathbf{d}_{ic,f} + \mathbf{e}_{i,f}$$

수학식 10

[0078]
$$\mathbf{y}_{ic,f} = \mathbf{H}_{ic} \mathbf{W}_i \mathbf{d}_{i,f} + \mathbf{H}_{ic,f} \mathbf{W}_{ic} \mathbf{d}_{ic,f} + \mathbf{e}_{ic,f}$$

[0079] 수학식 9와 수학식 10에서, $\mathbf{e}_{i,f} = \mathbf{n}_{i,f} + \Delta\mathbf{H}_{i,f} \mathbf{W}_i \mathbf{d}_{i,f}$ 이고, $\mathbf{e}_{ic,f} = \mathbf{n}_{ic,f} + \Delta\mathbf{H}_{ic,f} \mathbf{W}_{ic} \mathbf{d}_{ic,f}$ 이다.

[0080] RF 빔포밍 행렬 \mathbf{W}_i 는 정리된 수신 신호 모델과 상술한 조건에 기초하여 구해질 수 있다.

[0081] 조건 1), 즉 제K 단말장치(200-K)를 목적지로 송신되는 신호 $\mathbf{W}_i \mathbf{d}_{i,f}$ 가 다른 단말장치들로 도달하지 않도록 하기 위해서는, 수학식 10으로부터 RF 빔포밍 행렬 \mathbf{W}_i 가 \mathbf{H}_{ic} 의 null space에 존재하는 column vector들로 구

성되어야 한다. \mathbf{H}_{ic} 는 수학식 11과 같이 Singular Value Decomposition으로 표현될 수 있다.

수학식 11

$$\mathbf{H}_{ic} = \mathbf{U}_{ic} \begin{pmatrix} \Sigma_{ic} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} \end{pmatrix} (\mathbf{V}_{ic}^{(s)} \ \mathbf{V}_{ic}^{(n)})^H$$

여기서, $\mathbf{V}_{ic}^{(s)}$ 는 \mathbf{H}_{ic} 의 signal subspace singular vector들을 의미할 수 있다. $\mathbf{V}_{ic}^{(n)}$ 는 \mathbf{H}_{ic} 의 noise subspace singular vector들을 column vector로 가지는 행렬을 의미할 수 있다. 따라서, 조건 1)을 만족하기 위한 RF 빔포밍 행렬 \mathbf{W}_i 는 수학식 12와 같이 표현될 수 있다.

수학식 12

$$\mathbf{W}_i = \mathbf{V}_{ic}^{(n)} \mathbf{A}_i$$

또한, $\mathbf{V}_{ic}^{(n)}$ 는 $\mathbf{H}_{ic}^H \mathbf{H}_{ic}$ 의 noise subspace eigenvector들을 column vector로 가지는 행렬을 의미할 수 있고, 수학식 11로부터 수학식 13과 같이 표현될 수 있다.

수학식 13

$$\begin{aligned} \mathbf{H}_{ic}^H \mathbf{H}_{ic} &= E[\mathbf{H}_{ic,f}^H \mathbf{H}_{ic,f}] - E[\Delta \mathbf{H}_{ic,f}^H \Delta \mathbf{H}_{ic,f}] \\ &= \sum_{j=1, j \neq k}^K E[\mathbf{H}_{j,f}^H \mathbf{H}_{j,f}] - \sum_{j=1, j \neq k}^K E[\Delta \mathbf{H}_{j,f}^H \Delta \mathbf{H}_{j,f}] \\ &= \sum_{j=1, j \neq k}^K \mathbf{R}_j \end{aligned}$$

여기서, 제1 채널 상관 행렬인 $\mathbf{R}_j = E[\mathbf{H}_{j,f}^H \mathbf{H}_{j,f}] - E[\Delta \mathbf{H}_{j,f}^H \Delta \mathbf{H}_{j,f}]$ 는 모든 부채널에 대한 $\mathbf{H}_{j,f}^H \mathbf{H}_{j,f} - \Delta \mathbf{H}_{j,f}^H \Delta \mathbf{H}_{j,f}$ 를 평균한 값을 나타낼 수 있다.

다음으로, 수학식 12의 \mathbf{A}_i 에 대한 해를 결정하기 위해 조건 2)를 이용할 수 있다. 수학식 12를 수학식 9에 대입하면, 제K 단말장치(200-K)가 수신하는 신호는 수학식 14와 같이 다시 표현될 수 있다.

수학식 14

$$y_{i,f} = H_i V_{ic}^{(0)} A_i d_{i,f} + H_{i,f} W_{ic} d_{ic,f} + e_{i,f}$$

[0089]

[0090] 이 수학식 14로부터 조건 2), 즉 제K 단말장치(200-K)를 목적지로 송신되는 신호 $W_i d_{i,f}$ 가 제K 단말장치(200-K)로 도달할 수 있도록 하기 위해서는 A_i 가 $H_i V_{ic}^{(0)}$ 의 signal subspace에 존재하는 column vector들로 구성되어야 한다. $H_i V_{ic}^{(0)}$ 는 수학식 15와 같이 Singular Value Decomposition으로 표현될 수 있다.

수학식 15

$$H_i V_{ic}^{(0)} = U_i \begin{pmatrix} \Sigma_i & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} (V_i^{(0)} \quad V_i^{(0)H})^H$$

[0091]

[0092] 여기서, $V_i^{(0)}$ 는 $H_i V_{ic}^{(0)}$ 의 signal subspace singular vector들을 column vector로 가지는 행렬을 의미할 수 있다. 따라서, 조건 2)를 만족하기 위한 A_i 는 $A_i = V_i^{(0)} B_i$ 일 수 있다. 즉, 수학식 12는 수학식 16과 같이 다시 표현될 수 있다.

수학식 16

$$W_i = V_{ic}^{(0)} V_i^{(0)} B_i$$

[0093]

[0094] 여기서, $V_i^{(0)}$ 는 $V_{ic}^{(0)H} H_i^H H_i V_{ic}^{(0)}$ 의 signal subspace eigenvector들을 column vector로 가지는 행렬을 의미하고, 수학식 17과 같이 표현될 수 있다.

수학식 17

$$\begin{aligned} V_{ic}^{(0)H} H_i^H H_i V_{ic}^{(0)} &= V_{ic}^{(0)H} (E[H_{i,f}^H H_{i,f}] - E[\Delta H_{i,f}^H \Delta H_{i,f}]) V_{ic}^{(0)} \\ &= V_{ic}^{(0)H} R_i V_{ic}^{(0)} \end{aligned}$$

[0095]

[0096] 여기서, 제2 채널 상관 행렬인 $R_i = E[H_{i,f}^H H_{i,f}] - E[\Delta H_{i,f}^H \Delta H_{i,f}]$ 는 모든 부채널에 대한 $H_{i,f}^H H_{i,f} - \Delta H_{i,f}^H \Delta H_{i,f}$ 를 평균한 값을 나타낸다.

[0097]

마지막으로, 수학식 16의 \mathbf{B}_i 에 대한 해를 결정하기 위해 조건 3)을 이용할 수 있다. 수학식 16을 수학식 9에 대입하면, 제K 단말장치(200-K)가 수신하는 신호는 수학식 18과 같이 다시 표현될 수 있다.

수학식 18

[0098]

$$\mathbf{y}_{i,f} = \mathbf{H}_i \mathbf{V}_{ic}^{(0)} \mathbf{V}_i^{(0)} \mathbf{B}_i \mathbf{d}_{i,f} + \mathbf{H}_{i,f} \mathbf{W}_{ic} \mathbf{d}_{ic,f} + \mathbf{e}_{i,f}$$

[0099]

여기서, 원하는 신호의 전력 $E[\|\mathbf{H}_i \mathbf{V}_{ic}^{(0)} \mathbf{V}_i^{(0)} \mathbf{B}_i \mathbf{d}_{i,f}\|^2]$ 은 수학식 19와 같이 표현될 수 있다.

수학식 19

[0100]

$$\begin{aligned} E[\|\mathbf{H}_i \mathbf{V}_{ic}^{(0)} \mathbf{V}_i^{(0)} \mathbf{B}_i \mathbf{d}_{i,f}\|^2] &= \sigma_d^2 E[\|\mathbf{H}_i \mathbf{V}_{ic}^{(0)} \mathbf{V}_i^{(0)} \mathbf{B}_i\|_F^2] \\ &= \sigma_d^2 \sum_{i=1}^{|\mathbf{d}_{i,f}|} E[\|\mathbf{H}_i \mathbf{V}_{ic}^{(0)} \mathbf{V}_i^{(0)} \mathbf{B}_{i,i}\|_F^2] \end{aligned}$$

[0101]

여기서, $\mathbf{B}_{i,i}$ 는 \mathbf{B}_i 의 i번째 column vector를 의미할 수 있다. $E[\|\mathbf{d}_{i,f}\|_F^2] = \sigma_d^2 \mathbf{I}$ 로 가정할 때, $\mathbf{B}_{i,i}$ 의 최적치는 수학식 20과 같이 표현될 수 있다.

수학식 20

[0102]

$$\hat{\mathbf{B}}_{i,i} = \arg \max_{\|\mathbf{B}_{i,i}\|_F \leq 1} \|\mathbf{H}_i \mathbf{V}_{ic}^{(0)} \mathbf{V}_i^{(0)} \mathbf{B}_{i,i}\|_F^2 = \arg \max_{\|\mathbf{B}_{i,i}\|_F \leq 1} \|\mathbf{H}_i \mathbf{V}_{ic}^{(0)} \mathbf{V}_i^{(0)} \mathbf{B}_{i,i}\|_F^2$$

[0103]

$\mathbf{B}_{i,i}$ 의 최적치는 $(\mathbf{V}_{ic}^{(0)} \mathbf{V}_i^{(0)})^H \mathbf{H}_i^H \mathbf{H}_i \mathbf{V}_{ic}^{(0)} \mathbf{V}_i^{(0)}$ 의 가장 큰 eigenvalue를 갖는 eigenvector일 수 있다. 따라서, \mathbf{B}_i 의 최적치는 $(\mathbf{V}_{ic}^{(0)} \mathbf{V}_i^{(0)})^H \mathbf{H}_i^H \mathbf{H}_i \mathbf{V}_{ic}^{(0)} \mathbf{V}_i^{(0)}$ 의 가장 큰 $|\mathbf{d}_{i,f}|$ 개의 eigenvalue를 갖는 $|\mathbf{d}_{i,f}|$ 개의 eigenvector들을 column vector로 가질 수 있다. 여기서, $|\mathbf{d}_{i,f}|$ 는 부채널 f와 독립적인 값으로서 RF 빔포밍 행렬 \mathbf{W}_i 의 column 수에 해당하고, $\mathbf{H}_i^H \mathbf{H}_i$ 는 수학식 21과 같이 표현될 수 있다.

수학식 21

$$\mathbf{H}_i^H \mathbf{H}_i = \mathbf{R}_i$$

[0104]

[0105] 여기서, \mathbf{R}_i 는 제3 채널 상관 행렬일 수 있다.

[0106]

통신 장치(100), 예를 들어 혼합 빔포밍 결정부(170)는 수학식 13, 수학식 17 및 수학식 21에서 필요한 단말장치별 통계적 채널 상관 행렬들, 즉 $\{\mathbf{R}_j | j=1, 2, \dots, K\}$ 를 각 단말장치(200-1~200-K)로부터 미리 수집할 수 있다.

[0107]

이때, $\mathbf{R}_i = E[\mathbf{H}_{i,f}^H \mathbf{H}_{i,f}] - E[\Delta \mathbf{H}_{i,f}^H \Delta \mathbf{H}_{i,f}]$ 대신에 $\mathbf{R}_i = E[\mathbf{H}_{i,f}^H \mathbf{H}_{i,f}]$ 를 적용하거나 다른 방법으로 \mathbf{R}_i 와 유사한 속성을 갖는 값을 적용할 수 있다.

[0108]

일 실시예에 따라, 혼합 빔포밍 결정부(170)는 각 단말장치(200-1~200-K)에 대한 채널 상관 행렬 \mathbf{R}_j 을 계산함에 있어, 기대치(expectation) 연산에 산술 평균을 적용하거나 또는 각 단말장치(200-1~200-K)에서 통신 장치(100)로 수신되는 신호의 도달각(angle of arrival)을 사용하는 다양한 방법으로 계산할 수 있다.

[0109]

다른 실시예에 따라, 혼합 빔포밍 결정부(170)는 각 단말장치(200-1~200-K)에 대한 채널 상관 행렬 \mathbf{R}_j 을 계산하고, eigenvalue decomposition을 수행한 다음, eigenvalue가 큰 dominant component만으로 채널 상관 행렬 \mathbf{R}_j 을 재구성할 수 있다. 채널 상관 행렬 \mathbf{R}_j 의 eigenvalue decomposition이 $\mathbf{R}_j = \sum_{i=1}^N \lambda_i \mathbf{e}_i \mathbf{e}_i^H$ 과 같이 표현되고, eigenvalue들 중 처음 L개가 dominant component 일 때, 수학식 22과 같이 채널 상관 행렬을 재구성할 수 있다.

수학식 22

$$\mathbf{R}_j = \sum_{i=1}^L \lambda_i \mathbf{e}_i \mathbf{e}_i^H$$

[0110]

[0111] 재구성된 채널 상관 행렬 \mathbf{R}_j 이 수학식 13에 대입될 경우, $\mathbf{H}_{ic}^H \mathbf{H}_{ic}$ 이 Full Rank를 갖거나 Rank가 매우 크게 되거나 그 null space의 dimension이 영(zero) 또는 매우 작게 되는 것을 방지할 수 있다.

[0112]

수학식 22를 수학식 13에 대입하여 \mathbf{V}_{ic}^0 , \mathbf{V}_i^0 , 및 행렬 \mathbf{B}_i 등을 산출하는 과정에 적용될 수 있다. 산출하는 과정은 상술한 바와 실질적으로 같을 수 있다.

[0113]

도 2는 제K 단말장치를 위한 RF 빔포밍 계수를 산출하는 방법을 설명하기 위한 순서도이다.

[0114]

도 1 및 도 2를 참조하면, 우선, 혼합 빔포밍 결정부(170)는 제K 단말장치(200-K)를 위한 RF 빔포밍 계수 \mathbf{w}_i 를 산출하기 위하여 수집된 채널 상관 행렬들에 기초하여 $\sum_{j=1}^K \mathbf{R}_j$ 의 null space eigenvector들을 column

vector로 가지는 $\mathbf{V}_{i,c}^{(0)}$ 을 계산할 수 있다(410). 이는, 수학식 12와 수학식 13에서 상술한 바와 같을 수 있다.

[0115] 다음으로, 혼합 빔포밍 결정부(170)는 $\mathbf{V}_{i,c}^{(0)H} \mathbf{R}_i \mathbf{V}_{i,c}^{(0)}$ 의 signal subspace eigenvector들을 column vector로 가지는 행렬 $\mathbf{V}_i^{(0)}$ 을 계산할 수 있다(420). 이는, 수학식 15와 수학식 18에서 상술한 바와 같을 수 있다.

[0116] 혼합 빔포밍 결정부(170)는 $|\mathbf{d}_{i,f}|$, 즉 \mathbf{W}_i 의 column 수를 설정값과 비교할 수 있다(430).

[0117] $|\mathbf{d}_{i,f}|$ 가 1인 경우, 즉 \mathbf{W}_i 의 column 수가 하나인 경우, 행렬 \mathbf{B}_i 는 I일 수 있다(440). 이때, 제K 단말장치(200-K)를 위한 RF 빔포밍 계수 \mathbf{W}_i 는 $\mathbf{W}_i = \mathbf{V}_{i,c}^{(0)} \mathbf{V}_i^{(0)}$ 와 같을 수 있다(460).

[0118] $|\mathbf{d}_{i,f}|$ 가 보다 큰 경우, $(\mathbf{V}_{i,c}^{(0)} \mathbf{V}_i^{(0)})^H \mathbf{H}_i^H \mathbf{H}_i \mathbf{V}_{i,c}^{(0)} \mathbf{V}_i^{(0)}$ 의 가장 큰 $|\mathbf{d}_{i,f}|$ 개의 eigenvalue를 갖는 $|\mathbf{d}_{i,f}|$ 개의 eigenvector들을 column vector로 갖는 행렬 \mathbf{B}_i 를 산출할 수 있다(450). 이때, 제K 단말장치(200-K)를 위한 RF 빔포밍 계수 \mathbf{W}_i 는 $\mathbf{W}_i = \mathbf{V}_{i,c}^{(0)} \mathbf{V}_i^{(0)} \mathbf{B}_i$ 와 같을 수 있다(460).

[0119] 상술한 과정은 모든 $k=1, 2, \dots, K$ 에 대하여 수행될 수 있다.

[0120] 도 3은 Rayleigh fading 채널 환경에서 일 실시예에 따른 다중사용자 RF 빔포밍에 의한 빔 패턴과 성상도를 나타낸다.

[0121] 도 3을 참조하면, LTE 표준에 따른 OFDM신호를 사용하여 Rayleigh채널에서 일 실시예에 따른 RF빔포밍 방식에 대해 시뮬레이션 결과이다. 통신 장치(100)의 송신안테나 수는 32개를 가지고 있고, 4개의 단말장치를 각각이 1개의 수신안테나를 가지고 있는 다중사용자 MIMO채널을 가정한다. 다중사용자 간섭방지성능을 검증하기 위한 실험이므로 수신단에서의 SNR(signal-to-noise ratio)이 30 dB로 가정한다.

[0122] OFDM심볼은 1024개의 부채널을 가지며, 통신 장치(100)는 16-QAM으로 encoding한 단말장치별 OFDM심볼들을 각각 D/A변환하고 upconversion한 다음 각 단말장치별 RF 빔포머를 통과시키고 합하여 송신한다.

[0123] 도 3에 도시된 바와 같이, 일 실시예에 따른 다중사용자 RF 빔포머의 BER(bit error rate)는 기존 방식보다 우수한 0.0246일 수 있다.

[0124] 이상에서 설명된 장치는 하드웨어 구성요소, 소프트웨어 구성요소, 및/또는 하드웨어 구성요소 및 소프트웨어 구성요소의 조합으로 구현될 수 있다. 예를 들어, 실시예들에서 설명된 장치 및 구성요소는, 예를 들어, 프로세서, 콘트롤러, ALU(arithmetic logic unit), 디지털 신호 프로세서(digital signal processor), 마이크로컴퓨터, FPGA(field programmable gate array), PLU(programmable logic unit), 마이크로프로세서, 또는 명령(instruction)을 실행하고 응답할 수 있는 다른 어떠한 장치와 같이, 하나 이상의 범용 컴퓨터 또는 특수 목적 컴퓨터를 이용하여 구현될 수 있다. 처리 장치는 운영 체제(OS) 및 상기 운영 체제 상에서 수행되는 하나 이상의 소프트웨어 애플리케이션을 수행할 수 있다. 또한, 처리 장치는 소프트웨어의 실행에 응답하여, 데이터를 접근, 저장, 조작, 처리 및 생성할 수도 있다. 이해의 편의를 위하여, 처리 장치는 하나가 사용되는 것으로 설명된 경우도 있지만, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는, 처리 장치가 복수 개의 처리 요소(processing element) 및/또는 복수 유형의 처리 요소를 포함할 수 있음을 알 수 있다. 예를 들어, 처리 장치는 복수 개의 프로세서 또는 하나의 프로세서 및 하나의 콘트롤러를 포함할 수 있다. 또한, 병렬 프로세서(parallel processor)와 같은, 다른 처리 구성(processing configuration)도 가능하다.

[0125] 소프트웨어는 컴퓨터 프로그램(computer program), 코드(code), 명령(instruction), 또는 이들 중 하나 이상의 조합을 포함할 수 있으며, 원하는 대로 동작하도록 처리 장치를 구성하거나 독립적으로 또는 결합적으로

(collectively) 처리 장치를 명령할 수 있다. 소프트웨어 및/또는 데이터는, 처리 장치에 의하여 해석되거나 처리 장치에 명령 또는 데이터를 제공하기 위하여, 어떤 유형의 기계, 구성요소(component), 물리적 장치, 가상 장치(virtual equipment), 컴퓨터 저장 매체 또는 장치, 또는 전송되는 신호 파(signal wave)에 영구적으로, 또는 일시적으로 구체화(embody)될 수 있다. 소프트웨어는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템 상에 분산되어서, 분산된 방법으로 저장되거나 실행될 수도 있다. 소프트웨어 및 데이터는 하나 이상의 컴퓨터 판독 가능 기록 매체에 저장될 수 있다.

[0126]

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.

[0127]

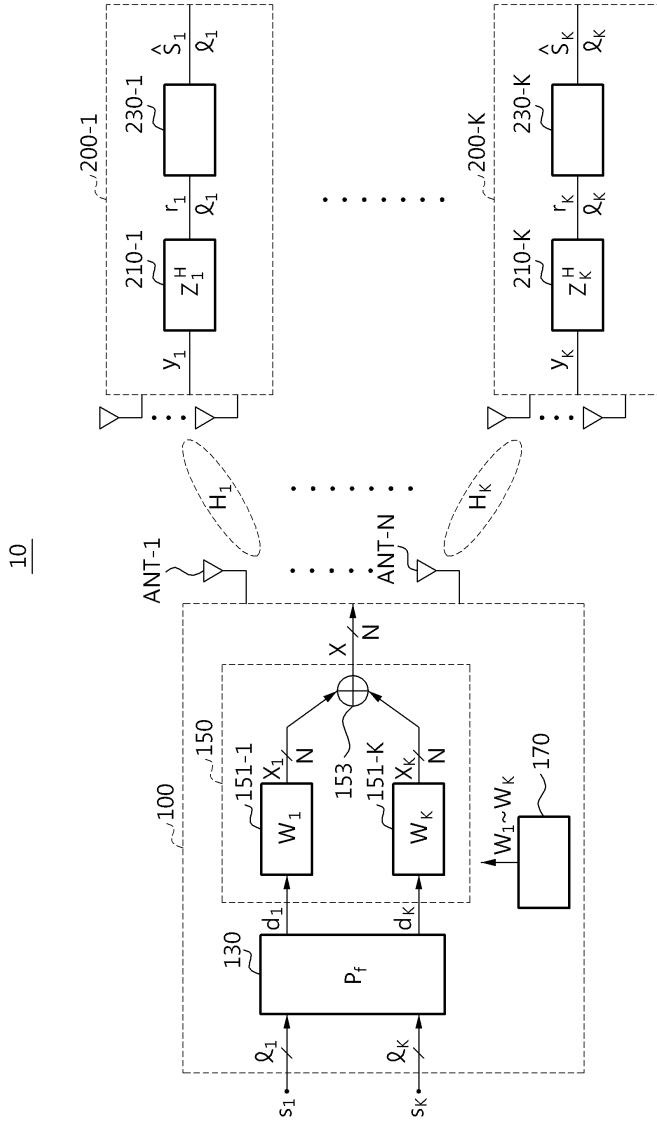
이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기의 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 시스템, 구조, 장치, 회로 등의 구성요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다.

[0128]

그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

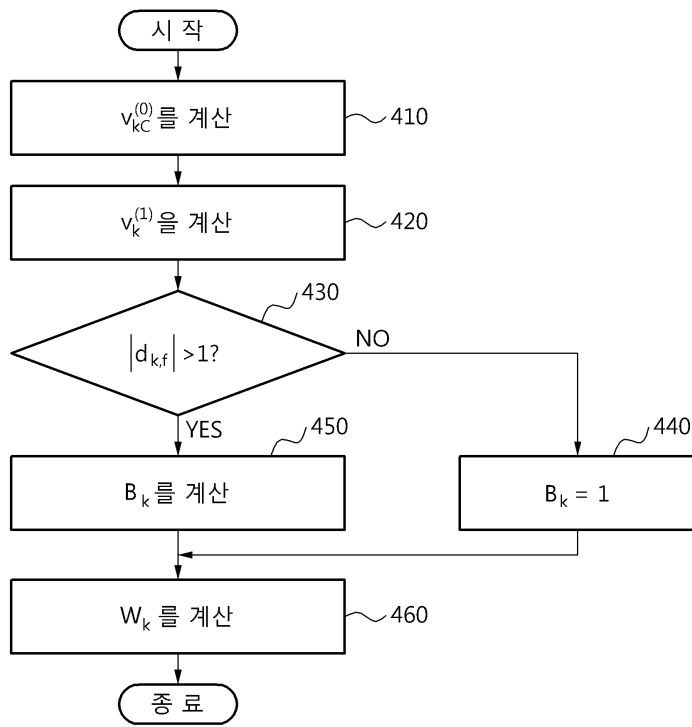
도면

도면1



10

도면2



도면3

