



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2017년06월19일
(11) 등록번호 10-1748814
(24) 등록일자 2017년06월13일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04B 7/08 (2017.01) H04B 7/06 (2017.01)
(52) CPC특허분류
H04B 7/0868 (2013.01)
H04B 7/0617 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2015-0188346
(22) 출원일자 2015년12월29일
심사청구일자 2015년12월29일
(56) 선행기술조사문헌
KR101295131 B1*
(뒷면에 계속)

(73) 특허권자
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암
동5가)
(72) 발명자
고영채
서울특별시 강남구 일원로 127, 107동 301호 (일
원동, 가람아파트)
김명진
강원도 철원군 김화읍 청양로 365 (청양리)
(74) 대리인
특허법인엠에이피에스

전체 청구항 수 : 총 11 항

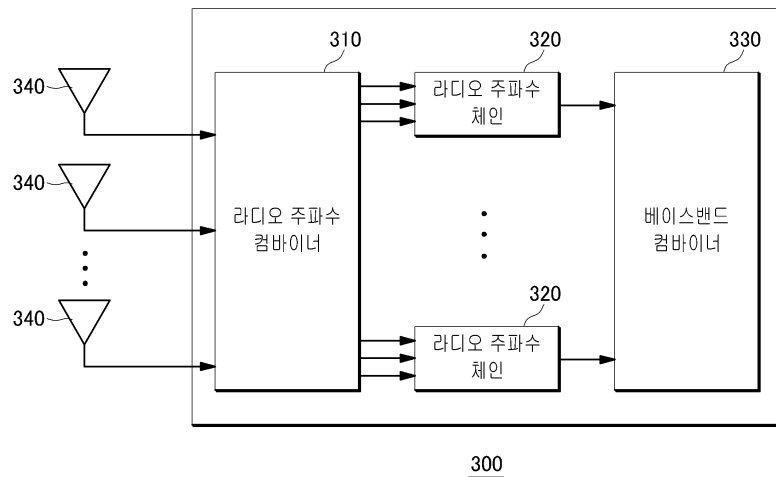
심사관 : 김성태

(54) 발명의 명칭 하이브리드 빔포밍을 위한 송신기, 수신기 및 신호 송수신 방법

(57) 요약

본 발명은 라디오 주파수 컴바이너 및 베이스밴드 컴바이너를 포함한다. 이때, 라디오 주파수 컴바이너는 복수의 송신기로부터 신호를 수신하고, 유효채널에 기초하여 수신한 신호 중 미리 정해진 송신기로부터 수신한 신호를 베이스밴드 컴바이너로 전달한다. 그리고 유효 채널은 미리 정해진 송신기로부터 수신된 신호에 대한 전송률이 최대가 되도록 설정된 것이고, 수신한 신호는 미리 정해진 송신기로부터 전송된 신호 및 상이한 송신기로부터 전송된 신호를 포함한다.

대표도 - 도3



(52) CPC특허분류
H04B 7/0686 (2013.01)

(56) 선행기술조사문헌
KR1020140133481 A*
W02011078571 A2*
W02014003256 A1*
KR1020150075545 A*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711026615

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 정보통신기술진흥센터

연구사업명 방송통신산업기술개발사업

연구과제명 고성능, 고효율의 차세대 무선랜 무선전송 원천기술 개발

기 여 율 1/1

주관기관 고려대학교산학협력단

연구기간 2015.03.01 ~ 2016.02.29

명세서

청구범위

청구항 1

하이브리드 빔포밍을 위한 수신기에 있어서,

라디오 주파수 컴바이너 및

베이스밴드 컴바이너를 포함하고,

상기 라디오 주파수 컴바이너는 복수의 송신기로부터 신호를 수신하고, 유효채널에 기초하여 상기 수신한 신호 중 미리 정해진 송신기로부터 수신한 신호를 상기 베이스밴드 컴바이너로 전달하되,

상기 유효 채널은 상기 미리 정해진 송신기로부터 수신된 신호에 대한 전송률이 최대가 되도록 설정된 것이고,

상기 수신한 신호는 정규화된 송신 전력에 기초하여 상기 복수의 송신기가 전달한 것이며, 상기 미리 정해진 송신기로부터 전송된 신호 및 상기 복수의 송신기 중 상기 미리 정해진 송신기를 제외한 타 송신기로부터 전송된 신호를 포함하는 것이고,

상기 정규화된 송신 전력은 상기 타 송신기의 간섭 신호량이 최소가 되도록 하는 상기 타 송신기의 베이스밴드 프리코더의 값 및 상기 베이스밴드 컴바이너의 값에 기초하여 설정된 것이고,

상기 타 송신기의 베이스밴드 프리코더의 값 및 상기 베이스밴드 컴바이너의 값은,

상기 타 송신기의 베이스밴드 프리코더의 값을 고정한 상태에서 최적화된 상기 베이스밴드 컴바이너 값을 산출하고, 상기 산출된 상기 베이스밴드 컴바이너 값에 기초하여 최적화된 상기 베이스밴드 프리코더의 값을 산출하는 과정을 반복하여 산출하거나,

상기 타 송신기의 베이스밴드 컴바이너의 값을 고정한 상태에서 최적화된 상기 베이스밴드 프리코더 값을 산출하고, 상기 산출된 상기 베이스밴드 프리코더 값에 기초하여 최적화된 상기 베이스밴드 컴바이너의 값을 산출하는 과정을 반복하여 산출한 것인, 하이브리드 빔포밍 수신기.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 유효 채널은 직교 매칭 추종(orthogonal matching pursuit) 알고리즘을 통하여 설정되는 것인, 하이브리드 빔포밍 수신기.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 미리 정해진 송신기로부터 수신된 신호는 상기 간섭 신호량이 최소가 되도록 상기 라디오 주파수 컴바이너 및 상기 미리 정해진 송신기에 각각 설정된 것인, 하이브리드 빔포밍 수신기.

청구항 4

제 3 항에 있어서,

상기 미리 정해진 송신기로부터 수신된 신호는 간섭 정렬 기법에 기초하여 설정된 것인, 하이브리드 빔포밍 수신기.

청구항 5

하이브리드 빔포밍을 위한 송신기에 있어서,

베이스밴드 프리코더 및

라디오 주파수 프리코더를 포함하고,

상기 라디오 주파수 프리코더는 상기 베이스밴드 프리코더로부터 신호를 수신하고, 유효 채널 및 정규화된 송신 전력에 기초하여, 상기 수신한 신호를 미리 정해진 수신기로 전달하되,

상기 유효 채널은 상기 미리 정해진 수신기로 전송하는 신호에 대한 전송률이 최대가 되도록 설정된 것이고,

상기 정규화된 송신 전력은 상기 미리 정해진 수신기로 신호를 전달하는 타 송신기의 간섭 신호량이 최소가 되도록 하는 상기 타 송신기의 베이스밴드 프리코더의 값 및 상기 미리 정해진 수신기의 베이스밴드 컴바이너의 값에 기초하여 설정된 것이고,

상기 타 송신기의 베이스밴드 프리코더의 값 및 상기 베이스밴드 컴바이너의 값은,

상기 타 송신기의 베이스밴드 프리코더의 값을 고정한 상태에서 최적화된 상기 베이스밴드 컴바이너 값을 산출하고, 상기 산출된 상기 베이스밴드 컴바이너 값에 기초하여 최적화된 상기 베이스밴드 프리코더의 값을 산출하는 과정을 반복하여 산출하거나,

상기 타 송신기의 베이스밴드 컴바이너의 값을 고정한 상태에서 최적화된 상기 베이스밴드 프리코더 값을 산출하고, 상기 산출된 상기 베이스밴드 프리코더 값에 기초하여 최적화된 상기 베이스밴드 컴바이너의 값을 산출하는 과정을 반복하여 산출한 것인, 하이브리드 빔포밍 송신기.

청구항 6

제 5 항에 있어서,

상기 유효 채널은 직교 매칭 추종(orthogonal matching pursuit) 알고리즘을 통하여 설정되는 것인, 하이브리드 빔포밍 송신기.

청구항 7

제 5 항에 있어서,

상기 미리 정해진 수신기로 전달하는 신호는 상기 간섭 신호량이 최소가 되도록 상기 라디오 주파수 프리코더 및 상기 미리 정해진 수신기에 각각 설정된 것인, 하이브리드 빔포밍 송신기.

청구항 8

제 7 항에 있어서,

상기 미리 정해진 수신기로 전달하는 신호는 간섭 정렬 기법에 기초하여 설정된 것인, 하이브리드 빔포밍 송신기.

청구항 9

하이브리드 빔포밍 수신기의 신호 수신 방법에 있어서,

라디오 주파수 컴바이너가 복수의 송신기로부터 신호를 수신하는 단계; 및

상기 라디오 주파수 컴바이너가 상기 수신한 신호 중 미리 정해진 송신기로부터 수신한 신호를 유효 채널에 기초하여 베이스밴드 컴바이너로 전달하는 단계를 포함하되,

상기 유효 채널은 상기 미리 정해진 송신기로부터 수신된 신호에 대한 전송률이 최대가 되도록 설정된 것이고,

상기 수신한 신호는 정규화된 송신 전력에 기초하여 상기 복수의 송신기가 전달한 것이며, 상기 미리 정해진 송신기로부터 전송된 신호 및 상기 복수의 송신기 중 상기 미리 정해진 송신기를 제외한 타 송신기로부터 전송된 신호를 포함하는 것이고,

상기 정규화된 송신 전력은 상기 타 송신기의 간섭 신호량이 최소가 되도록 하는 상기 타 송신기의 베이스밴드 프리코더의 값 및 상기 베이스밴드 컴바이너의 값에 기초하여 설정된 것이고,

상기 타 송신기의 베이스밴드 프리코더의 값 및 상기 베이스밴드 컴바이너의 값은,

상기 타 송신기의 베이스밴드 프리코더의 값을 고정한 상태에서 최적화된 상기 베이스밴드 컴바이너 값을 산출

하고, 상기 산출된 상기 베이스밴드 컴바이너 값에 기초하여 최적화된 상기 베이스밴드 프리코더의 값을 산출하는 과정을 반복하여 산출하거나,

상기 타 송신기의 베이스밴드 컴바이너의 값을 고정한 상태에서 최적화된 상기 베이스밴드 프리코더 값을 산출하고, 상기 산출된 상기 베이스밴드 프리코더 값에 기초하여 최적화된 상기 베이스밴드 컴바이너의 값을 산출하는 과정을 반복하여 산출한 것인, 신호 수신 방법.

청구항 10

하이브리드 빔포밍 송신기의 신호 전송 방법에 있어서,

라디오 주파수 프리코더가 베이스밴드 프리코더로부터 신호를 수신하는 단계; 및

상기 라디오 주파수 프리코더가 유효 채널 및 정규화된 송신 전력에 기초하여 상기 수신한 신호를 미리 정해진 수신기로 전달하는 단계를 포함하되,

상기 유효 채널은 상기 미리 정해진 수신기로 전송하는 신호에 대한 전송률이 최대가 되도록 설정된 것이고,

상기 정규화된 송신 전력은 상기 미리 정해진 수신기로 신호를 전달하는 타 송신기의 간섭 신호량이 최소가 되도록 하는 상기 타 송신기의 베이스밴드 프리코더의 값 및 상기 미리 정해진 수신기의 베이스밴드 컴바이너의 값에 기초하여 설정된 것이고,

상기 타 송신기의 베이스밴드 프리코더의 값 및 상기 베이스밴드 컴바이너의 값은,

상기 타 송신기의 베이스밴드 프리코더의 값을 고정한 상태에서 최적화된 상기 베이스밴드 컴바이너 값을 산출하고, 상기 산출된 상기 베이스밴드 컴바이너 값에 기초하여 최적화된 상기 베이스밴드 프리코더의 값을 산출하는 과정을 반복하여 산출하거나,

상기 타 송신기의 베이스밴드 컴바이너의 값을 고정한 상태에서 최적화된 상기 베이스밴드 프리코더 값을 산출하고, 상기 산출된 상기 베이스밴드 프리코더 값에 기초하여 최적화된 상기 베이스밴드 컴바이너의 값을 산출하는 과정을 반복하여 산출한 것인 신호 전송 방법.

청구항 11

제 9 항 및 제 10항 중 어느 한 항에 기재된 방법을 컴퓨터 상에서 수행하기 위한 프로그램을 기록한 컴퓨터 판독 가능한 기록 매체.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 하이브리드 빔포밍을 위한 송신기, 수신기 및 신호 송수신 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 최근 무선 통신 시스템은 지속적으로 증가하는 무선 데이터 트래픽 수요를 충족시키기 위해보다 높은 데이터 전송률을 지원하기 위한 방향으로 발전하고 있다. 예를 들어, 무선 통신 시스템은 데이터 전송률 증가를 위해 직교 주파수 분할 다중 접속(orthogonal frequency division multiple access; OFDMA) 및 다중 입력 다중 출력(multiple input multiple output; MIMO) 등의 통신기술을 바탕으로 주파수 효율성(spectral efficiency)을 개선하는 방향으로 기술 개발이 진행되고 있다.

[0003] 무선 통신 시스템은 증가하는 전송률을 감당하기 위해서 밀리미터파(millimeter wave) 대역에서의 통신을 고려하고 있다. 그러나 무선 통신 시스템은 밀리미터파 대역에서 발생하는 심한 전파 감쇠로 인하여 성능이 감소할 수 있다.

[0004] 또한, 무선 통신 시스템은 무선 자원의 효율을 극대화하기 위하여 시간, 주파수 및 코드와 같은 동일한 무선 자원을 사용하여 각 송신기가 원하는 수신기에 동시에 신호를 보낼 수 있다. 그러나 송신기가 원하는 수신기에 동시에 신호를 보낼 수 있기 때문에, 무선 통신 시스템에서 수신기는 원하지 않는 간섭 신호를 수신할 수 있으므로 전체 네트워크 성능이 저하될 수 있다.

[0005] 무선 통신 시스템은 이러한 문제를 해결하여, 성능 감소를 극복하면서 높은 데이터 처리율을 얻기 위해서 하이

브리드 빔포밍(hybrid beam-forming) 구조를 이용할 수 있다. 하이브리드 빔포밍 구조는 아날로그 빔포밍(analog beam-forming) 구조와 디지털 빔포밍(digital beam-forming) 구조를 결합한 것이다. 하이브리드 빔포밍 구조는 효율적인 자원 이용이 가능하며, 신호 대 잡음비(signal-to-noise ratio; SNR) 감소 및 안정성(reliability)이 향상될 수 있다.

[0006] 그러나 최근 연구 중인 하이브리드 빔포밍 구조는 송신기와 수신기가 각각 하나만 존재하는 경우만 고려하고 있으며, 간섭 채널에 대한 연구가 미흡한 실정이다.

[0007] 이와 관련되어, 한국 공개특허공보 제10-2013-0127376호(발명의 명칭: "아날로그 및 디지털 하이브리드 빔포밍을 통한 통신 방법 및 장치")는 아날로그 및 디지털 하이브리드 빔포밍을 통한 통신 방법 및 장치를 개시하고 있다. 이러한 이 발명은 초고주파 대역에서의 큰 전파손실을 극복함과 동시에 시스템 효율/다이버시티 성능 등을 극대화할 수 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명은 전술한 종래 기술의 문제점을 해결하기 위한 것으로서, 유효 채널을 선정하고, 타 송신기의 간섭을 최소화할 수 있는 하이브리드 빔포밍 수신기와 하이브리드 빔포밍 수신기의 신호 수신 방법, 및 하이브리드 빔포밍 송신기와 하이브리드 빔포밍 송신기의 신호 전송 방법을 제공한다.

[0009] 다만, 본 실시예가 이루고자 하는 기술적 과제는 상기된 바와 같은 기술적 과제로 한정되지 않으며, 또 다른 기술적 과제들이 존재할 수 있다.

과제의 해결 수단

[0010] 상술한 기술적 과제를 달성하기 위한 기술적 수단으로서, 본 발명의 제 1 측면에 따른 하이브리드 빔포밍을 위한 수신기는 라디오 주파수 컴바이너 및 베이스밴드 컴바이너를 포함한다. 이때, 라디오 주파수 컴바이너는 복수의 송신기로부터 신호를 수신하고, 유효채널에 기초하여 수신한 신호 중 미리 정해진 송신기로부터 수신한 신호를 베이스밴드 컴바이너로 전달한다. 그리고 유효 채널은 미리 정해진 송신기로부터 수신된 신호에 대한 전송률이 최대가 되도록 설정된 것이고, 수신한 신호는 미리 정해진 송신기로부터 전송된 신호 및 상이한 송신기로부터 전송된 신호를 포함한다.

[0011] 또한, 본 발명의 제 2 측면에 따른 하이브리드 빔포밍을 위한 송신기는 베이스밴드 프리코더 및 라디오 주파수 프리코더를 포함한다. 이때, 라디오 주파수 프리코더는 베이스밴드 프리코더로부터 신호를 수신하고, 유효 채널에 기초하여, 수신한 신호를 미리 정해진 수신기로 전달한다. 그리고 유효 채널은 미리 정해진 수신기로 전송하는 신호에 대한 전송률이 최대가 되도록 설정된다.

[0012] 본 발명의 제 3 측면에 따른 컴바이너가 수신한 신호 중 미리 정해진 송신기로부터 수신한 신호를 유효 채널에 기초하여, 베이스밴드 컴바이너로 전달하는 단계를 포함한다. 이때, 유효 채널은 미리 정해진 송신기로부터 수신된 신호에 대한 전송률이 최대가 되도록 설정된 것이고, 수신한 신호는 미리 정해진 송신기로부터 전송된 신호 및 상이한 송신기로부터 전송된 신호를 포함한다.

[0013] 그리고 본 발명의 제 4 측면에 따른 하이브리드 빔포밍 송신기의 신호 전송 방법은 라디오 주파수 프리코더가 베이스밴드 프리코더로부터 신호를 수신하는 단계; 및 라디오 주파수 프리코더가 유효 채널에 기초하여 수신한 신호를 미리 정해진 수신기로 전달하는 단계를 포함한다. 이때, 유효 채널은 미리 정해진 수신기로 전송하는 신호에 대한 전송률이 최대가 되도록 설정된다.

발명의 효과

[0014] 본 발명은 높은 신호 대 간섭 잡음 비에서 타 송신기에 대한 간섭의 영향을 최소화하여, 성능 감쇠 현상을 감소시킬 수 있다. 그러므로 본 발명은 효율적인 신호 송수신 방법을 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0015] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 하이브리드 빔포밍 송신기 및 수신기의 블록도이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 직교 매칭 추종 알고리즘의 의사 코드이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 하이브리드 빔포밍 수신기의 블록도이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 하이브리드 빔포밍 송신기의 블록도이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 하이브리드 빔포밍 수신기의 신호 수신 방법에 대한 순서도이다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 하이브리드 빔포밍 송신기의 신호 전송 방법에 대한 순서도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0016] 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.
- [0017] 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.
- [0018] 다음은 도 1을 참조하여 본 발명의 일 실시예에 따른 하이브리드 빔포밍을 위한 송신기 및 수신기를 설명한다.
- [0019] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 하이브리드 빔포밍 네트워크의 블록도이다.
- [0020] 하이브리드 빔포밍 네트워크에 포함된 복수의 송신기(transmitter; 100, 110, 120) 및 복수의 수신기(receiver; 130, 140, 150)는 각각 하이브리드 빔포밍 구조로 되어 있다. 또한, 복수의 송신기(100, 110, 120) 및 복수의 수신기(130, 140, 150)는 각각 쌍으로 존재할 수 있다. 이때, 도 1 상의 복수의 송신기(100, 110, 120) 및 복수의 수신기(130, 140, 150)에 대한 연결 관계 및 순서는 예시일 뿐 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0021] 또한, 송신기(100, 110, 120) 및 수신기(130, 140, 150)는 각각 복수의 중계기를 포함할 수 있다. 예를 들어, 송신기(100, 110, 120)는 수신기(130, 140, 150)에 포함된 복수의 중계기와 신호를 교환할 수 있다. 또는, 수신기(130, 140, 150)는 송신기(100, 110, 120)에 포함된 복수의 중계기와 신호를 교환할 수 있다.
- [0022] 본 발명의 일 실시예에 따른 송신기(100, 110, 120)는 복수의 안테나를 포함한다. 송신기(100, 110, 120)는 복수의 안테나를 통하여, 복수의 데이터 스트림(data stream)을 수신기(130, 140, 150)로 전송한다. 이때, 송신기(100, 110, 120)가 전송하는 데이터 스트림을 수신하는 수신기(130, 140, 150)는 송신기(100, 110, 120)의 데이터 스트림을 수신하기로 미리 정해진 수신기일 수 있다.
- [0023] 수신기(130, 140, 150)는 송신기(100, 110, 120)와 유사하게 복수의 안테나를 포함한다. 수신기(130, 140, 150)는 복수의 안테나를 통하여, 복수의 송신기(100, 110, 120)로부터 신호를 수신한다. 이때, 수신기(130, 140, 150)는 신호를 전송하는 복수의 송신기(100, 110, 120) 중 데이터 스트림을 수신하기로 미리 정해진 송신기일 수 있다.
- [0024] 또한, 송신기(100, 110, 120) 및 수신기(130, 140, 150)는 다수의 데이터 스트림을 지원하기 위하여 복수의 라디오 주파수 체인(radio frequency chain)을 포함할 수 있다.
- [0025] 본 발명의 일 실시예에 따른 송신기(100, 110, 120) 및 수신기(130, 140, 150)의 신호 교환 과정을 도 1을 참조하여 설명하면, 제 1 송신기(100)는 미리 정해진 제 1 수신기(130)에 신호를 전송할 수 있다. 이때, 제 1 송신기(100)가 전송하는 신호는 미리 정해진 제 1 수신기(130)와 제 2 수신기(140) 및 제 3 수신기(150) 등과 같이 하이브리드 빔포밍 네트워크상에서 전송 범위(coverage) 내에 포함된 복수의 수신기에 전송될 수 있다. 즉, 미리 정해진 제 1 수신기(130) 외의 다른 수신기(140, 150)로 전송된 제 1 송신기(100)의 신호는 간섭 신호로 작용할 수 있다.
- [0026] 또한, 제 1 송신기(100)로부터 신호를 수신하기로 미리 정해진 제 1 수신기(130)는 제 1 송신기(100)의 신호를 수신할 수 있다. 이때, 제 1 수신기(130)는 제 1 송신기(100)의 신호와 함께, 제 2 송신기(110) 및 제 3 송신기(120)와 같이 하이브리드 빔포밍 네트워크상의 전송 범위 내에 포함된 복수의 송신기로부터 신호를 수신할 수 있다. 이때, 수신하는 미리 정해진 제 1 송신기(100)의 신호를 제외한 다른 송신기의 신호는 간섭 신호가 될 수 있다.

[0027] 구체적으로 제 1 송신기(100)는 N_t 개의 안테나를 포함하며, N_s 개의 데이터 스트림을 제 1 수신기(130)로 전달한다. 제 1 수신기(130)는 N_r 의 안테나를 포함하며, 제 1 송신기(100)로부터 데이터 스트림을 수신할 수 있다.

또한, 제 1 송신기(100) 및 제 1 수신기(130)는 다수의 데이터 스트림을 지원하기 위하여 각각 N_i^{RF} 및 N_r^{RF} 개의 라디오 주파수 체인을 포함하고 있다.

[0028] 제 1 수신기(130)는 제 1 송신기(100)의 데이터 스트림과 함께, 제 2 송신기(110) 및 제 3 송신기(120)와 같은 다른 송신기의 간섭 신호를 수신할 수 있다.

[0029] 그러므로 제 1 송신기(100) 및 제 1 수신기(130)는 이러한 제 2 송신기(110) 및 제 3 송신기(120)와 같은 다른 송신기로부터 간섭을 적절하게 제어할 필요가 있다.

[0030] 간섭을 제어하기 위하여, 송신기의 프리코더(F_i)는 베이스밴드(base band; BB) 프리코더(precoder)와 라디오 주파수(radio frequency; RF) 프리코더의 곱에 기초하여 [수학식 1]과 같이 산출될 수 있다. 이때, [수학식 1]에서 $F_{i,BB}$ 는 베이스밴드 프리코더이며, $F_{i,RF}$ 는 라디오 주파수 프리코더이다.

수학식 1

$$F_i = F_{i,RF} F_{i,BB}$$

[0034] 그러므로 송신기가 전송하는 신호는 [수학식 2]와 같다. 이때, [수학식 2]에서 s_i 는 i 번째 송신기가 전송하는 데이터 심볼 벡터(data symbol vector)이다.

수학식 2

$$\mathbf{x}_i = F_{i,RF} F_{i,BB} \mathbf{s}_i$$

[0038] 각 송신기의 송신 전력이 P 라고 할 때, 송신기의 송신전력 P 는 $\|F_{i,RF} F_{i,BB}\|_F^2$ 를 만족할 수 있다. 그러므로 송신기로부터 신호를 수신하기로 결정된 수신기가 수신하는 신호는 [수학식 3]과 같이 송신기로부터 수신하는 신호와 송신기를 제외한 다른 송신기로부터 수신하는 신호의 합으로 표현될 수 있다. [수학식 3]에서 H_{ij} 는 j 번째 송신기와 i 번째 수신기 사이의 채널 행렬이며, n_i 는 i 번째 수신기에서 발생할 수 있는 잡음이다.

수학식 3

$$\mathbf{y}_i = \mathbf{H}_{ii} \mathbf{F}_{i,RF} \mathbf{F}_{i,BB} \mathbf{s}_i + \sum_{j=1, j \neq i}^K \mathbf{H}_{ij} \mathbf{F}_{j,RF} \mathbf{F}_{j,BB} \mathbf{s}_j + \mathbf{n}_i$$

[0042] 또한, 수신기는 베이스밴드 콤바이너(combiner) 및 라디오 주파수 콤바이너를 포함할 수 있다. 베이스밴드 콤바이너가 $\mathcal{W}_{i,BB}$ 이며, 라디오 주파수 콤바이너가 $\mathcal{W}_{i,RF}$ 일 때, 수신기의 수신 콤바이너 $\mathcal{W}_i = \mathcal{W}_{i,RF} \mathcal{W}_{i,BB}$ 를 통과한 신호는 [수학식 4]와 같다.

수학식 4

$$\begin{aligned}\bar{\mathbf{y}}_i &= \mathbf{W}_{i,\text{BB}}^H \mathbf{W}_{i,\text{RF}}^H \mathbf{H}_{ii} \mathbf{F}_{i,\text{RF}} \mathbf{F}_{i,\text{BB}} \mathbf{s}_i \\ &+ \mathbf{W}_{i,\text{BB}}^H \mathbf{W}_{i,\text{RF}}^H \sum_{j=1, j \neq i}^K \mathbf{H}_{ij} \mathbf{F}_{j,\text{RF}} \mathbf{F}_{j,\text{BB}} \mathbf{s}_j + \mathbf{W}_{i,\text{BB}}^H \mathbf{W}_{i,\text{RF}}^H \mathbf{n}_j\end{aligned}$$

[0044]

[0046]

이때, 송신기에 포함된 베이스밴드 프리코더와 베이스밴드 컴바이너는 진폭과 위상을 동시에 조절할 수 있다. 그러나 수신기에 포함된 라디오 주파수프리코더와 라디오 주파수 컴바이너는 위상 변환이 가능하지만, 진폭의 크기는 변경할 수 없다. 그러므로 각 행렬의 값들은 $e^{j\theta}$, $\theta \in [0, 2\pi]$ 의 형태를 취하게 된다.

[0047]

송신기 및 수신기는 밀리미터파 대역에서 송수신을 하기 위하여 하이브리드 빔포밍 시스템을 고려한다. 그러므로 이때, 밀리미터파 대역에서의 채널은 [수학식 5]와 같다.

수학식 5

$$\mathbf{H}_{ij} = \sqrt{\frac{N_t N_r}{L}} \sum_{m=1}^L \alpha_m^{ij} \mathbf{a}_r(\theta_m^{r(i)}) \mathbf{a}_t^H(\theta_m^{t(j)})$$

[0049]

[0051]

[수학식 5]에서 α_m^{ij} 는 j 번째 송신기 및 i 번째 수신기에 대한 m 번째 경로의 복소수 이득(gain)을 나타낸다. $\theta_m^{r(i)}$ 와 $\theta_m^{t(j)}$ 는 각각 m 번째 경로의 도래각과 발사각을 나타낸다. 그러므로 $\mathbf{a}_r(\theta_m^{r(i)})$ 와 $\mathbf{a}_t^H(\theta_m^{t(j)})$ 는 각각 j 번째 송신기와 i 번째 수신기에서 안테나 어레이 응답 벡터를 나타낸다. 즉, 균일한 선형 배열(uniform linear array) 안테나일 경우, $\mathbf{a}_r(\theta_m^{r(i)})$ 와 $\mathbf{a}_t^H(\theta_m^{t(j)})$ 는 각각 다음 [수학식 6] 및 [수학식 7]과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 6

$$\mathbf{a}_t(\theta_m^{t(i)}) = \frac{1}{\sqrt{N_t}} \begin{bmatrix} 1 & e^{j \frac{2\pi}{\lambda} d \sin(\theta_m^{t(i)})} & \dots & e^{j(N_t-1) \frac{2\pi}{\lambda} d \sin(\theta_m^{t(i)})} \end{bmatrix}^T$$

[0053]

수학식 7

$$\mathbf{a}_r(\theta_m^{r(i)}) = \frac{1}{\sqrt{N_r}} \begin{bmatrix} 1 & e^{j \frac{2\pi}{\lambda} d \sin(\theta_m^{r(i)})} & \dots & e^{j(N_r-1) \frac{2\pi}{\lambda} d \sin(\theta_m^{r(i)})} \end{bmatrix}^T$$

[0055]

[0057]

[수학식 6] 및 [수학식 7]에서 λ 는 파장의 길이이며 d 는 안테나 사이의 거리를 나타낸다. 그러므로 [수학식

5]와 같은 채널 모델은 [수학식 8]과 같은 형태로 다시 표현될 수 있다.

수학식 8

$$\mathbf{H}_{ij} = \mathbf{A}_r^i \text{diag}(\alpha^{ij}) \mathbf{A}_t^{jH}$$

이때, [수학식 8]은 $\text{diag}(\alpha^{ij}) = \sqrt{\frac{N_t N_r}{L}} [\alpha_1^{ij} \quad \alpha_2^{ij} \quad \dots \quad \alpha_L^{ij}]$ 을 만족할 수 있다. [수학식 8]에서 $\mathbf{A}_r^i$ 와 $\mathbf{A}_t^j$ 는 각각 j 번째 송신기의 송신 어레이 응답 벡터와 i 번째 수신기의 수신 어레이 응답 벡터가 될 수 있다. 예를 들어, 송신 어레이 응답 벡터와 수신 어레이 응답 벡터는 각각 다음 [수학식 9] 및 [수학식 10]와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 9

$$\mathbf{A}_t^i = [\mathbf{a}_t(\theta_1^{t(i)}) \quad \mathbf{a}_t(\theta_2^{t(i)}) \quad \dots \quad \mathbf{a}_t(\theta_L^{t(i)})]$$

수학식 10

$$\mathbf{A}_r^i = [\mathbf{a}_r(\theta_1^{r(i)}) \quad \mathbf{a}_r(\theta_2^{r(i)}) \quad \dots \quad \mathbf{a}_r(\theta_L^{r(i)})]$$

한편, 본 발명의 일 실시예에 따른 송신기의 베이스밴드 프리코더 및 수신기의 베이스밴드 컴바이너는 각각 2개의 배열로 분해될 수 있다. 예를 들어, 송신기의 베이스밴드 프리코더는 2개의 배열 $\mathbf{F}_{i, \text{BB}}^{\text{OMP}} \in \mathbb{C}^{N_t^{\text{RF}} \times N_t^{\text{IA}}}$ 와 $\mathbf{F}_{i, \text{BB}}^{\text{IA}} \in \mathbb{C}^{N_t^{\text{IA}} \times N_s}$ 의 곱인 $\mathbf{F}_{i, \text{BB}} = \mathbf{F}_{i, \text{BB}}^{\text{OMP}} \mathbf{F}_{i, \text{BB}}^{\text{IA}}$ 로 표현할 수 있다. 이때, 각 배열의 크기는 $N_s < N_t^{\text{IA}} \leq N_t^{\text{RF}}$ 가 될 수 있다. 또한, 수신기의 베이스밴드 컴바이너는 2개의 배열 $\mathbf{W}_{i, \text{BB}}^{\text{OMP}} \in \mathbb{C}^{N_r^{\text{RF}} \times N_r^{\text{IA}}}$ 와 $\mathbf{W}_{i, \text{BB}}^{\text{IA}} \in \mathbb{C}^{N_r^{\text{IA}} \times N_s}$ 의 곱인 $\mathbf{W}_{i, \text{BB}} = \mathbf{W}_{i, \text{BB}}^{\text{OMP}} \mathbf{W}_{i, \text{BB}}^{\text{IA}}$ 로 표현할 수 있다. 그러므로 [수학식 4]의 수신기에서 수신하는 신호는 [수학식 11]과 같이 다시 표현될 수 있다.

수학식 11

$$\bar{\mathbf{y}}_i = \mathbf{W}_{i, \text{BB}}^{\text{IAH}} \mathbf{H}_{ii}^{\text{eff}} \mathbf{F}_{i, \text{BB}}^{\text{IA}} \mathbf{s}_i + \mathbf{W}_{i, \text{BB}}^{\text{IAH}} \sum_{j=1, j \neq i}^K \mathbf{H}_{ij}^{\text{eff}} \mathbf{F}_{j, \text{BB}}^{\text{IA}} \mathbf{s}_j + \bar{\mathbf{n}}_j$$

[수학식 11]에서 미리 정해진 j 번째 송신기를 제외한 타 송신기로부터 수신한 간섭 신호는 $\bar{\mathbf{n}}_j = \mathbf{W}_{i, \text{BB}}^{\text{H}} \mathbf{W}_{i, \text{RF}}^{\text{H}} \mathbf{n}_j$ 이다. 또한, j 번째 수신기와 j 번째 송신기 사이의 유효 채널은

$\mathbf{H}_{ij}^{\text{eff}} = \mathbf{W}_{i,\text{BB}}^{\text{OMP}^{\text{II}}} \mathbf{W}_{i,\text{RF}}^{\text{II}} \mathbf{H}_{ij} \mathbf{F}_{j,\text{RF}}^{\text{II}} \mathbf{F}_{j,\text{BB}}^{\text{OMP}}$ 와 같이 표현될 수 있다. 그러므로 송신기 및 수신기에서 신호 송수신에 대한 성능은 유효 채널 및 타 송신기로부터 수신한 간섭 신호에 의해 결정될 수 있다. 예를 들어, 송신기 및 수신기는 간섭 정렬을 만족시킬 수 있는 최소한의 정수로 배열의 크기 N_t^{IA} 와 N_r^{IA} 를 정할 수 있다.

[0071] 그러므로 송신기 및 수신기는 유효 채널의 전송률을 최대화하기 위해서, [수학식 12]의 목적 함수의 값을 최대
로 하는 $\mathbf{F}_{i,\text{RF}}$, $\mathbf{W}_{i,\text{RF}}$, $\mathbf{F}_{i,\text{BB}}^{\text{OMP}}$ 와 $\mathbf{W}_{i,\text{BB}}^{\text{OMP}}$ 를 산출할 수 있다.

수학식 12

$$\begin{aligned} & \max_{(\mathbf{F}_{i,\text{RF}}, \mathbf{F}_{i,\text{BB}}^{\text{OMP}}, \mathbf{W}_{i,\text{RF}}, \mathbf{W}_{i,\text{BB}}^{\text{OMP}})} \log_2 \left(\left| \mathbf{I} + \mathbf{H}_{ii}^{\text{eff}} \mathbf{H}_{ii}^{\text{eff}^H} \right| \right), \\ & \text{s.t. } \mathbf{F}_{i,\text{RF}} \in \mathcal{F}, \mathbf{W}_{i,\text{RF}} \in \mathcal{W}, \\ & \quad \|\mathbf{F}_{i,\text{RF}} \mathbf{F}_{i,\text{BB}}\|_F^2 = P_i, \end{aligned}$$

[0072]

[0074] [수학식 12]에서 $\mathcal{F}$ 는 라디오 주파수 프리코더의 집합이고 $\mathcal{W}$ 는 라디오 주파수 컴바이너의 집합이다. 이때, [수
학식 12]의 목적 함수를 최대화시키는 것은 $\|\mathbf{F}_{i,\text{opt}} - \mathbf{F}_{i,\text{RF}} \mathbf{F}_{i,\text{BB}}^{\text{OMP}}\|_F$ 와 $\|\mathbf{W}_{i,\text{opt}} - \mathbf{W}_{i,\text{RF}} \mathbf{W}_{i,\text{BB}}^{\text{OMP}}\|_F$
를 최소화시키는 것과 유사할 수 있다.

[0075] 따라서, $\mathbf{H}_{ii}$ 에 대하여 특이값 분해(singular value decomposition: SVD)를 수행할 수 있다. $\mathbf{H}_{ii}$ 가
 $\mathbf{H}_{ii} = \mathbf{U}_{ii} \mathbf{\Sigma}_{ii} \mathbf{V}_{ii}^H$ 로 특이값 분해될 때, $\mathbf{F}_{i,\text{opt}}$ 와 $\mathbf{W}_{i,\text{opt}}$ 는 각각 $\mathbf{V}_{ii}$ 와 $\mathbf{U}_{ii}$ 의 열벡터 중 최대의 기저 값에 해당하
는 N_t^{IA} 와 N_r^{IA} 개의 열벡터로 이루어진 행렬이 될 수 있다. 그러므로 $\|\mathbf{F}_{i,\text{opt}} - \mathbf{F}_{i,\text{RF}} \mathbf{F}_{i,\text{BB}}^{\text{OMP}}\|_F$ 와
 $\|\mathbf{W}_{i,\text{opt}} - \mathbf{W}_{i,\text{RF}} \mathbf{W}_{i,\text{BB}}^{\text{OMP}}\|_F$ 는 각각 독립적인 문제이다.

[0076] 그러므로 송신기는 $\|\mathbf{F}_{i,\text{opt}} - \mathbf{F}_{i,\text{RF}} \mathbf{F}_{i,\text{BB}}^{\text{OMP}}\|_F$ 의 값을 최소화하도록 $\mathbf{F}_{i,\text{RF}}$ 와 $\mathbf{F}_{i,\text{BB}}^{\text{OMP}}$ 결정할 수 있다. 또한, 수신
기는 $\|\mathbf{W}_{i,\text{opt}} - \mathbf{W}_{i,\text{RF}} \mathbf{W}_{i,\text{BB}}^{\text{OMP}}\|_F$ 의 값을 최소화하도록 $\mathbf{W}_{i,\text{RF}}$ 와 $\mathbf{W}_{i,\text{BB}}^{\text{OMP}}$ 를 결정할 수 있다. 그리고 최
적에 근접한 하이브리드 프리코더는 $\mathbf{F}$ 를 $\mathbf{a}_t(\theta_m^{(i)})$ 형태의 제한함으로써 구할 수 있다.

수학식 13

$$\begin{aligned} & \min_{(\mathbf{F}_{i,\text{RF}}, \mathbf{F}_{i,\text{BB}}^{\text{OMP}})} \|\mathbf{F}_{i,\text{opt}} - \mathbf{F}_{i,\text{RF}} \mathbf{F}_{i,\text{BB}}^{\text{OMP}}\|_F, \\ & \text{s.t. } [\mathbf{F}_{i,\text{RF}}]_{:,m} \in \left\{ \mathbf{a}_t(\theta_m^{(i)}), \forall m \right\}. \end{aligned}$$

[0078]

[0080] [수학식 13]을 만족하는 $\mathbf{F}_{i,RF}$ 와 $\mathbf{F}_{i,BB}^{OMP}$ 를 도출하기 위하여 직교 매칭 추종(orthogonal matching pursuit; OMP) 알고리즘을 사용할 수 있다. 예를 들어, 직교 매칭 추종 알고리즘은 도 2의 의사 코드(pseudo-code)와 같다.

[0081] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 직교 매칭 추종 알고리즘의 의사 코드이다.

[0082] 한편, 송신기 및 수신기는 간섭 정렬 기법에 기초하여, 간섭의 영향을 최소화할 수 있다. 예를 들어, 송신기 및 수신기는 간섭의 영향을 최소화 하기 위해서 $\mathbf{F}_{i,BB}^{IA}$ 와 $\mathbf{W}_{i,BB}^{IA}$ 를 설계할 수 있다.

[0083] 이때, $\mathbf{W}_{i,BB}^{IA\perp}$ 를 $\mathbf{W}_{i,BB}^{IA}$ 가 구성하는 부분공간의 직교 여공간이라고 하였을 때, i 번째 수신기에서 $\mathbf{W}_{i,BB}^{IA}$ 의 공간 밖으로 누출되는 j 번째 송신기에서 보낸 간섭 신호의 양인 간섭 추출은 다음 [수학식 14]와 같이, 표현될 수 있으며, 간섭을 최소화하기 위한 식은 [수학식 15]와 같이 표현될 수 있다.

수학식 14

$$\begin{aligned} I_{\text{leakage},ij} &= \left\| \mathbf{H}_{ij}^{\text{eff}} \mathbf{F}_{j,BB}^{IA} - \mathbf{W}_{i,BB}^{IA\perp} \mathbf{W}_{i,BB}^{IA\perp H} \mathbf{H}_{ij}^{\text{eff}} \mathbf{F}_{j,BB}^{IA} \right\|_F^2 \\ &= \text{tr} \left\{ \left(\mathbf{H}_{ij}^{\text{eff}} \mathbf{F}_{j,BB}^{IA} \right)^H \left(\mathbf{I} - \mathbf{W}_{i,BB}^{IA\perp} \mathbf{W}_{i,BB}^{IA\perp H} \right) \mathbf{H}_{ij}^{\text{eff}} \mathbf{F}_{j,BB}^{IA} \right\} \\ &= \text{tr} \left\{ \left(\mathbf{H}_{ij}^{\text{eff}} \mathbf{F}_{j,BB}^{IA} \right)^H \left(\mathbf{W}_{i,BB}^{IA} \mathbf{W}_{i,BB}^{IA H} \right) \mathbf{H}_{ij}^{\text{eff}} \mathbf{F}_{j,BB}^{IA} \right\} \end{aligned}$$

수학식 15

$$\min_{(\mathbf{F}_{j,BB}^{IA}, \mathbf{W}_{j,BB}^{IA})} \sum_{i=1}^K \sum_{j=1, j \neq i}^K I_{\text{leakage},ij}$$

[0089] 이때, [수학식 15]를 만족하는 최적화된 $\mathbf{F}_{i,BB}^{IA}$ 및 $\mathbf{W}_{i,BB}^{IA}$ 는 반복적인 방법에 의해서 구해질 수 있다. 예를 들어, 먼저 $\mathbf{F}_{i,BB}^{IA}$ 를 고정하고, 최적화된 $\mathbf{W}_{i,BB}^{IA}$ 값을 찾을 수 있다. 다음으로 최적화된 $\mathbf{W}_{i,BB}^{IA}$ 값을 찾은 후, 최적화된 $\mathbf{W}_{i,BB}^{IA}$ 값을 기준으로 최적화된 $\mathbf{F}_{i,BB}^{IA}$ 를 찾을 수 있다. 다시 최적화된 $\mathbf{F}_{i,BB}^{IA}$ 값을 찾은 후, 최적화된 $\mathbf{F}_{i,BB}^{IA}$ 값을 기준으로 최적화된 $\mathbf{W}_{i,BB}^{IA}$ 를 찾을 수 있다. 미리 정해진

조건을 만족할 때까지 이러한 과정을 반복하여 최적화된 $\mathbf{F}_{i.BB}^{IA}$ 와 $\mathbf{W}_{i.BB}^{IA}$ 를 구할 수 있다.

구체적으로 설명하면, 먼저 $\mathbf{F}_{i.BB}^{IA}$ 가 고정되어 있을 때 다음 [수학식 15]를 만족하는 최적화된 $\mathbf{W}_{i.BB}^{IA}$ 는 다음 [수학식 16]과 같이 구해질 수 있다.

수학식 16

$$\mathbf{W}_{i.BB}^{IA,opt} = \Phi_{\min}^d \left[\sum_{j=1, j \neq i}^K \mathbf{H}_{ij}^{eff} \mathbf{F}_{j.BB}^{IA} \mathbf{F}_{j.BB}^{IAH} \mathbf{H}_{ij}^{effH} \right]$$

여기는 $\Phi_{\min}^d [\mathbf{A}]$ 는 행렬 $\mathbf{A}$ 의 가장 영향력이 적은 d 개의 기저 벡터(base vector)들로 이루어진 행렬을 의미한다. 다음으로 $\mathbf{W}_{i.BB}^{IA}$ 가 고정되어 있을 때 최적화된 $\mathbf{F}_{i.BB}^{IA}$ 를 구하는 식은 [수학식 17]과 같다. 그러므로 송신기 및 수신기는 [수학식 16] 및 [수학식 17]을 미리 정해진 조건에 만족할 때까지 반복 산출하여, 간섭을 최소화할 수 있다.

수학식 17

$$\mathbf{F}_{j.BB}^{IA,opt} = \Phi_{\min}^d \left[\sum_{i=1, i \neq j}^K \mathbf{H}_{ij}^{eff} \mathbf{W}_{i.BB}^{IA} \mathbf{W}_{i.BB}^{IAH} \mathbf{H}_{ij}^{effH} \right]$$

[수학식 16] 및 [수학식 17]을 통하여, 간섭을 최소화할 모든 최적화된 프리코더와 최적화된 컴바이너가 산출되

면, 송신 전력을 맞추기 위해서 송신기의 송신전력은 $\sqrt{P} \frac{\mathbf{F}_{i.BB}}{\|\mathbf{F}_{i.RF} \mathbf{F}_{i.BB}\|_F}$ 로 정규화될 수 있다.

다음은 도 3을 참조하여, 본 발명의 일 실시예에 따른 하이브리드 빔포밍 수신기를 설명한다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 하이브리드 빔포밍 수신기(300)의 블록도이다.

하이브리드 빔포밍 수신기(300)는 라디오 주파수 컴바이너(310), 복수의 라디오 주파수 체인(320), 베이스밴드 컴바이너(330) 및 복수의 안테나(340)를 포함한다.

복수의 안테나(340)는 복수의 송신기로부터 신호를 수신하여 라디오 주파수 컴바이너(310)로 전송한다. 이때, 복수의 안테나(340)가 수신하는 신호는 아날로그(analog) 신호일 수 있다.

라디오 주파수 컴바이너(310)는 복수의 안테나(340)를 통해, 복수의 송신기로부터 수신한 신호를 라디오 주파수 체인(320)을 통하여, 베이스밴드 컴바이너(330)로 전송한다. 이때, 라디오 주파수 컴바이너(310)는 아날로그 컴바이너일 수 있다. 또한, 베이스밴드 컴바이너(330)는 디지털 컴바이너일 수 있다.

구체적으로, 라디오 주파수 컴바이너(310)는 복수의 송신기(400)로부터 신호를 수신한다. 이때, 라디오 주파수 컴바이너(310)는 수신한 복수의 신호 중 미리 정해진 송신기(400)로부터 수신한 신호를 선택할 수 있다. 그리고 라디오 주파수 컴바이너(310)는 선택한 신호를 베이스밴드 컴바이너(330)로 전달한다.

- [0105] 이때, 라디오 주파수 컴바이너(310)가 수신하는 신호는 미리 정해진 송신기(400) 및 미리 정해진 송신기(400)와 상이한 타 송신기로부터 전송된 간섭 신호를 포함할 수 있다. 즉, 라디오 주파수 컴바이너(310)는 수신한 복수의 송신기에 대한 신호 중 미리 정해진 송신기(400)로부터 수신한 신호를 베이스밴드 컴바이너(330)로 전달할 수 있다.
- [0106] 그러므로 라디오 주파수 컴바이너(310)는 수신하는 신호 중 타 송신기로부터 수신하는 간섭 신호를 최소화해야 한다. 즉, 미리 정해진 송신기(400)는 다른 송신기로부터 라디오 주파수 컴바이너(310)가 수신하는 간섭 신호량이 최소화되도록 신호를 송신해야 한다.
- [0107] 예를 들어, 미리 정해진 송신기(400)는 간섭 정렬 기법에 기초하여 설정된 신호를 유효 채널에 따라 라디오 주파수 컴바이너(310)로 전송할 수 있다. 이때, 유효 채널은 미리 정해진 송신기(400)로부터 수신된 신호에 대한 전송률이 최대가 되도록 설정된 것이다.
- [0108] 미리 정해진 송신기(400)가 송신하는 신호 및 유효 채널은 앞에서 도 1 및 도 2를 참조하여, 설명한 바와 같이 간섭 정렬 기법 및 직교 매칭 추종 알고리즘에 기초하여 설정될 수 있다. 유효 채널은 앞에서 설명한 도 2와 같은 직교 매칭 추종 알고리즘에 기초하여 선정될 수 있다.
- [0109] 다음은 도 4를 참조하여, 본 발명의 일 실시예에 따른 하이브리드 빔포밍 송신기(400)를 설명한다.
- [0110] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 하이브리드 빔포밍 송신기(400)의 블록도이다.
- [0111] 하이브리드 빔포밍 송신기(400)는 베이스밴드 프리코더(410), 복수의 라디오 주파수 체인(420), 라디오 주파수 프리코더(430) 및 복수의 안테나(440)를 포함한다.
- [0112] 베이스밴드 프리코더(410)는 미리 정해진 수신기(300)로 전송할 신호를 라디오 주파수 체인(420)을 통하여 라디오 주파수 프리코더(430)로 전송한다. 이때, 베이스밴드 프리코더(410)는 디지털 프리코더일 수 있다.
- [0113] 또한, 라디오 주파수 프리코더(430)는 복수의 안테나(440)를 통하여, 미리 정해진 수신기(300)로 전송할 신호를 전송한다. 이때, 라디오 주파수 프리코더(430)는 아날로그 프리코더일 수 있다.
- [0114] 구체적으로 라디오 주파수 프리코더(430)는 베이스밴드 프리코더(410)로부터 신호를 수신한다. 그리고 라디오 주파수 프리코더(430)는 유효 채널에 기초하여, 수신한 신호를 미리 정해진 수신기(300)로 전달한다.
- [0115] 이때, 유효 채널은 미리 정해진 수신기(300)로 전송되는 신호에 대한 전송률이 최대가 되도록 설정된 것이다. 예를 들어, 유효 채널은 앞에서 도 1 및 도 2를 참조하여 설명한 바와 같이, 직교 매칭 추종 알고리즘을 통하여 설정될 수 있다.
- [0116] 또한, 라디오 주파수 프리코더(430)는 미리 정해진 수신기(300)에서 수신하는 타 송신기(400)의 간섭 신호량이 최소가 되도록 미리 정해진 수신기(300)로 신호를 전송할 수 있다. 예를 들어, 라디오 주파수 프리코더(430)는 도 1 및 도 2를 참조하여 설명한 바와 같이, 간섭 정렬 기법에 기초하여 전송하는 신호를 설정할 수 있다.
- [0117] 다음은 도 5를 참조하여, 하이브리드 빔포밍 수신기(300)의 신호 수신 방법을 설명한다.
- [0118] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 하이브리드 빔포밍 수신기(300)의 신호 수신 방법에 대한 순서도이다.
- [0119] 하이브리드 빔포밍 수신기(300)에 포함된 라디오 주파수 컴바이너(310)는 복수의 송신기(400)로부터 신호를 수신한다(S500).
- [0120] 이때, 복수의 송신기(400)는 하이브리드 빔포밍 수신기(300)가 신호를 수신하기로 미리 정해진 송신기(400) 및 미리 정해진 송신기(400) 외의 타 송신기(400)를 포함할 수 있다. 즉, 하이브리드 빔포밍 수신기(300)가 수신하는 신호는 미리 정해진 송신기(400)로부터 수신하는 신호와 미리 정해진 송신기(400) 외의 타 송신기(400)로부터 수신하는 간섭 신호를 포함할 수 있다.
- [0121] 그리고 하이브리드 빔포밍 수신기(300)에 포함된 라디오 주파수 컴바이너(310)는 수신한 신호 중 유효 채널에 기초하여, 미리 정해진 송신기(400)로부터 수신한 신호를 베이스밴드 컴바이너로 전달한다(S510). 이때, 유효 채널은 미리 정해진 송신기(400)로부터 수신된 신호에 대한 전송률이 최대가 되도록 설정된 것이다.
- [0122] 다음은 도 6을 참조하여, 하이브리드 빔포밍 송신기(400)의 신호 전송 방법을 설명한다.
- [0123] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 하이브리드 빔포밍 송신기(400)의 신호 전송 방법에 대한 순서도이다.
- [0124] 하이브리드 빔포밍 송신기(400)에 포함된 라디오 주파수 프리코더(430)는 베이스밴드 프리코더(410)로부터 미리

정해진 수신기(300)로 전송할 신호를 수신한다(S600).

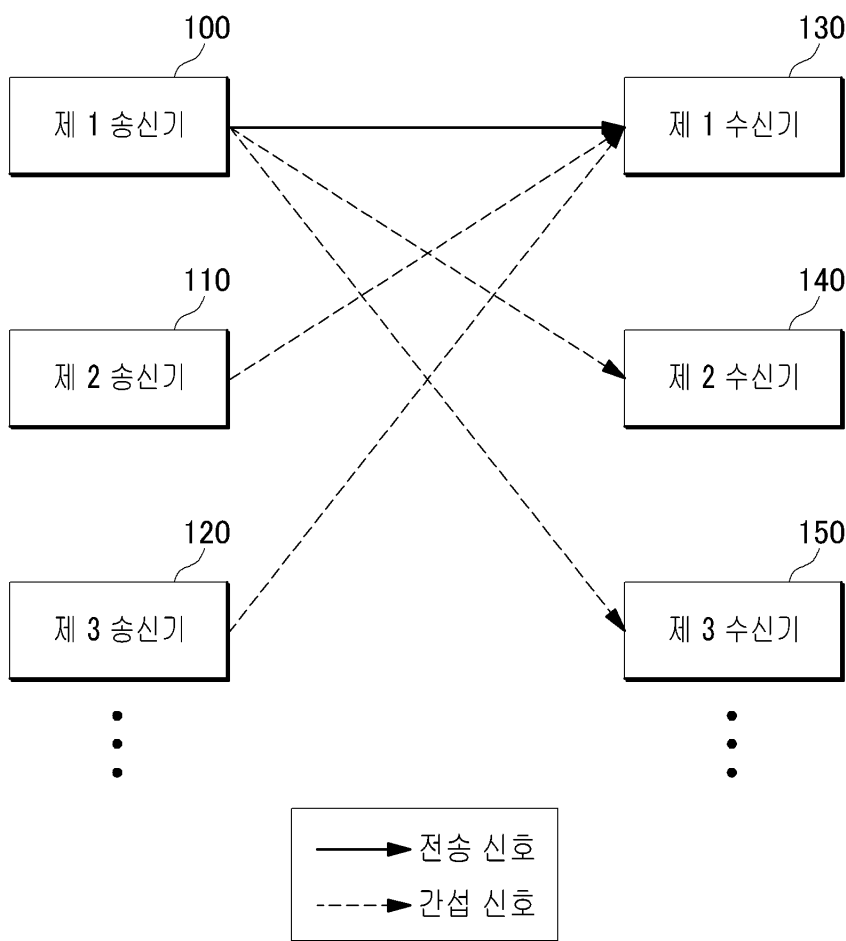
- [0125] 또한, 하이브리드 빔포밍 송신기(400)에 포함된 라디오 주파수 프리코더(430)는 유효 채널에 기초하여, 수신한 신호를 미리 정해진 수신기(300)로 전달한다(S610). 이때, 유효 채널은 하이브리드 빔포밍 송신기(400)가 미리 정해진 수신기(300)로 전송하는 신호에 대한 전송률이 최대가 되도록 설정된 것일 수 있다.
- [0126] 본 발명의 일 실시예에 따른 하이브리드 빔포밍을 위한 송신기(400), 수신기(300) 및 신호 송수신 방법은 높은 신호 대 간섭 잡음 비에서 타 송신기에 대한 간섭 신호의 영향을 최소화하여, 성능 감쇠 현상을 감소시킬 수 있다. 그러므로 하이브리드 빔포밍을 위한 송신기(400), 수신기(300) 및 신호 송수신 방법은 효율적인 신호 송수신 방법을 제공할 수 있다.
- [0127] 본 발명의 일 실시예는 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.
- [0128] 본 발명의 방법 및 시스템은 특정 실시예와 관련하여 설명되었지만, 그것들의 구성 요소 또는 동작의 일부 또는 전부는 범용 하드웨어 아키텍처를 갖는 컴퓨터 시스템을 사용하여 구현될 수 있다.
- [0129] 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.
- [0130] 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

- [0131] 300: 하이브리드 빔포밍 수신기
 310: 라디오 주파수 컴바이너
 320: 라디오 주파수 체인
 330: 베이스밴드 컴바이너
 340: 안테나
 400: 하이브리드 빔포밍 송신기
 410: 베이스밴드 프리코더
 420: 라디오 주파수 체인
 430: 라디오 주파수 프리코더
 440: 안테나

도면

도면1



도면2

$$\mathbf{F}_{i,\text{res}} = \mathbf{F}_{i,\text{opt}}$$

$$\mathbf{F}_{i,\text{RF}} = \text{Empty Matrix}$$

for $n \leq N_t^{\text{IA}}$

$$\mathbf{\Psi}_i = \mathbf{A}_t^{i\text{H}} \mathbf{F}_{i,\text{res}}$$

$$k = \arg \min_{l=m,\dots,L} (\mathbf{\Psi}_i \mathbf{\Psi}_i^{\text{H}})_{m,m}$$

$$\mathbf{F}_{i,\text{RF}} = \left[\mathbf{F}_{i,\text{RF}} \mid [\mathbf{A}_t^i]_{:,k} \right]$$

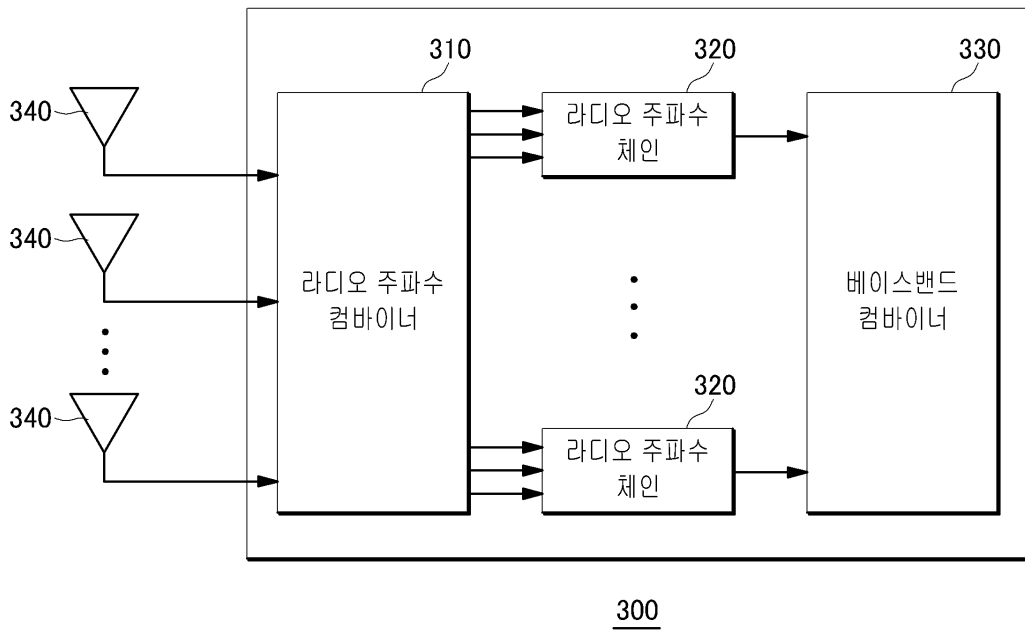
$$\mathbf{F}_{i,\text{BB}}^{\text{OMP}} = (\mathbf{F}_{i,\text{RF}}^{\text{H}} \mathbf{F}_{i,\text{RF}}) \mathbf{F}_{i,\text{RF}}^{\text{H}} \mathbf{F}_{i,\text{opt}}$$

$$\mathbf{F}_{i,\text{res}} = \frac{\mathbf{F}_{i,\text{opt}} - \mathbf{F}_{i,\text{RF}} \mathbf{F}_{i,\text{BB}}^{\text{OMP}}}{\|\mathbf{F}_{i,\text{opt}} - \mathbf{F}_{i,\text{RF}} \mathbf{F}_{i,\text{BB}}^{\text{OMP}}\|_F}$$

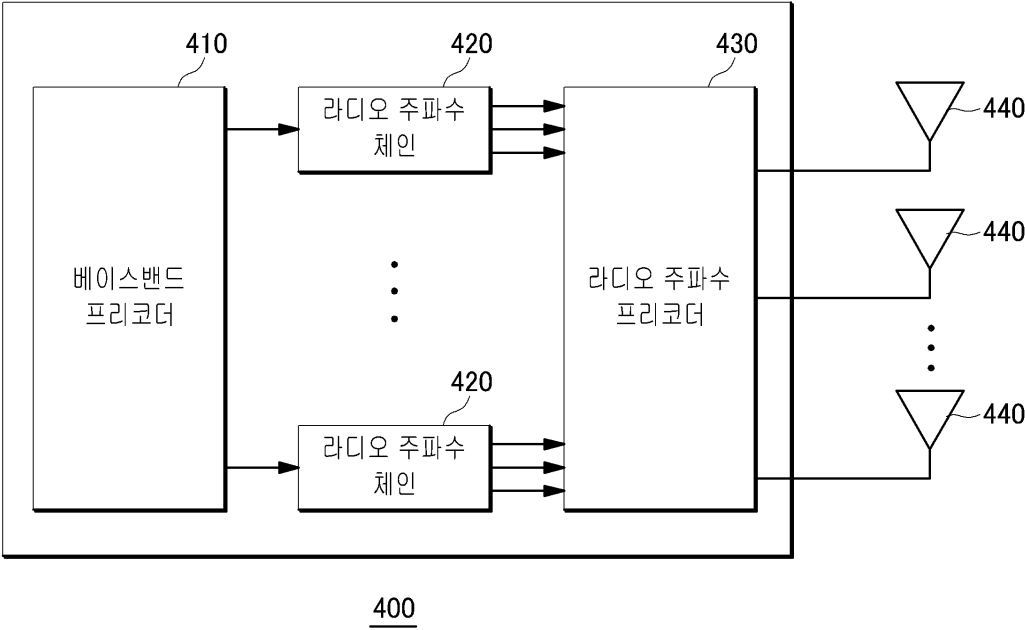
end for

return $\mathbf{F}_{i,\text{RF}}, \mathbf{F}_{i,\text{BB}}^{\text{OMP}}$

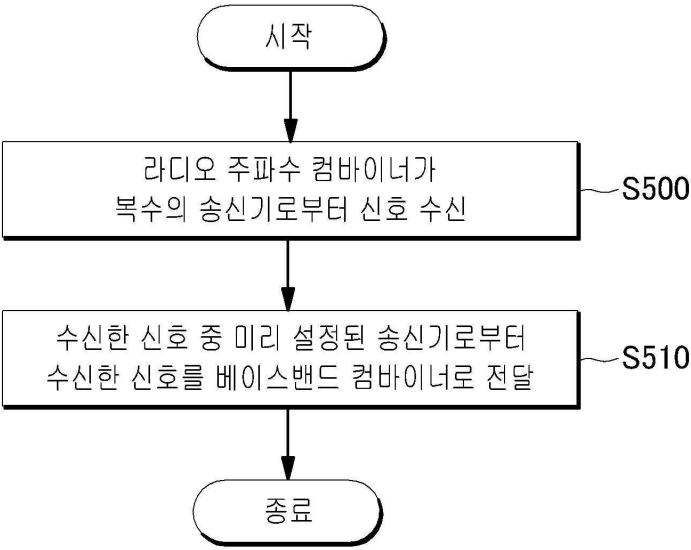
도면3



도면4



도면5



도면6

