



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년07월08일
(11) 등록번호 10-2130285
(24) 등록일자 2020년06월30일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04B 7/02 (2018.01) H04L 1/06 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2013-0163598
(22) 출원일자 2013년12월26일
심사청구일자 2018년05월30일
(65) 공개번호 10-2015-0075545
(43) 공개일자 2015년07월06일
(56) 선행기술조사문헌
US20130028341 A1*
(뒷면에 계속)

(73) 특허권자
삼성전자주식회사
경기도 수원시 영통구 삼성로 129 (매탄동)
연세대학교 산학협력단
서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)
(72) 발명자
노지환
서울특별시 서대문구 연세로 50 연세대학교 2공학관 718호
김태영
경기 성남시 분당구 미금로 177, 308동 103호 (구미동, 까치마을신원아파트)
이충용
서울특별시 서대문구 연세로 50 연세대학교 2공학관 626호
(74) 대리인
윤동열

전체 청구항 수 : 총 20 항

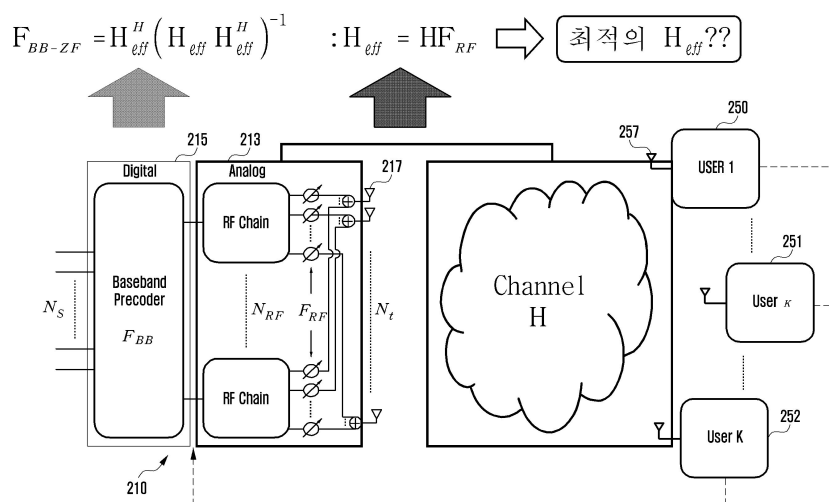
심사관 : 김성태

(54) 발명의 명칭 제로-포싱 기반의 하이브리드 빔포밍 방법 및 그 장치

(57) 요약

본 발명은, 밀리미터파 전송 시스템에서 하이브리드 빔포밍을 이용하여 다중 사용자를 지원하기 위한 송수신 방법 및 그 장치에 관한 것으로, 본 발명의 일 실시예에 따른 기지국의 통신 방법은, 단말로부터 경로 이득(ray gain) 정보를 포함한 피드백 정보를 수신하는 과정; 상기 기지국의 전체 송신 프리코더의 프로베니우스노름(frobenius norm)을 최소화하는 RF(Radio Frequency) 프리코더를 구성하는 과정; 및 제로-포싱(ZF: Zero-forcing) 기반의 베이스밴드(baseband) 프리코더를 구성하는 과정;을 포함할 수 있다. 본 발명에 따르면, RF 프리코더 구성 방식을 통하여 하이브리드 빔포밍을 다중 사용자 환경에서 적용할 수 있다.

대표도



(56) 선행기술조사문헌

US20130237261 A1*

Taeyoung Kim et al, "Tens of Gbps support with mmWave beamforming systems for next generation communications", 2013 IEEE GLOBECOM(2013.12.09.)

KR1020150045648 A

KR1020170044645 A

KR1020130110396 A

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

명세서

청구범위

청구항 1

멀티 유저 (multi-user) 멀티플 인풋 멀티플 아웃풋(multiple input multiple output, MU-MIMO) 통신에서, 기지국의 방법에 있어서,

멀티 유저의 복수의 단말들로 파일럿 신호를 전송하는 과정;

상기 멀티 유저의 상기 복수의 단말들 중에서 적어도 하나로부터, 상기 파일럿 신호에 기반하여 경로 이득(ray gain) 정보를 포함한 피드백 정보를 수신하는 과정;

상기 피드백 정보에 기반하여 채널을 예측하는 과정;

상기 채널 예측에 기반하여 상기 기지국의 RF(Radio Frequency) 프리코더를 구성하는 과정; 및

상기 채널 예측에 기반하여 상기 멀티 유저의 상기 복수의 단말들 간의 간섭을 캔슬하기 위해, 제로-포싱(ZF: Zero-forcing) 을 이용하여 상기 기지국의 베이스밴드(baseband) 프리코더를 구성하는 과정;을 포함하고,

상기 RF 프리코더는 적어도 제1 RF 체인에 대한 제1 RF 프리코더 및 제2 RF 체인에 대한 제2 RF 프리코더를 포함하고,

상기 RF 프리코더를 구성하는 과정은,

상기 제1 RF 체인에 대한 제1 어레이(array) 스티어링(steering) 벡터를 구성하는 과정; 및

상기 제1 어레이 스티어링 벡터에 기반하여, 상기 제2 RF 체인에 대한 제2 어레이 스티어링 벡터를 구성하는 과정;를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 2

제1 항에 있어서, 상기 RF 프리코더를 구성하는 과정은,

다음의 수학적식,

$$\mathbf{F}_{RF}^{opt} = \arg \min_{\mathbf{F}_{RF}} \|\mathbf{F}\|_F = \arg \min_{\mathbf{F}_{RF}} \left\| \mathbf{F}_{RF} \mathbf{F}_{RF}^H \mathbf{H}^H (\mathbf{H} \mathbf{F}_{RF} \mathbf{F}_{RF}^H \mathbf{H}^H)^{-1} \right\|_F$$

의 조건을 만족하는 최적의 RF 프리코더를 구성하는 과정을 포함하고,

상기 \mathbf{F}_{RF}^{opt} 는 최적의 RF 프리코더를, $\|\cdot\|_F$ 는 프로베니우스노름(frobenius norm)을, F는 전체 송신 프리코더를, \mathbf{F}_{RF} 는 상기 RF 프리코더를, H는 전체 사용자의 채널을 종합한 멀티 유저 채널을 의미하는 것을 특징으로 하는 기지국의 방법.

청구항 3

제1 항에 있어서, 상기 RF 프리코더를 구성하는 과정은,

전체 송신 프리코더의 프로베니우스노름(frobenius norm)을 최소화하는 어레이 조향 벡터(array steering vector)를 순차적으로 구성하는 과정;

을 포함하는 것을 특징으로 하는 기지국의 방법.

청구항 4

제1 항에 있어서, 상기 파일럿 신호를 전송하는 과정은,

상기 기지국과 상기 단말 간 미리 설정된 이산 AOD 세트(discrete Angle Of Departure set)에 따른 파일럿 신호를 전송하는 과정;

을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 기지국의 방법.

청구항 5

제4 항에 있어서,

상기 이산 AOD 세트는 LOS(Line-Of-Sight) 경로의 AOD를 기준으로 미리 설정된 범위 이내의 AOD 집합을 포함하는 것을 특징으로 하는 기지국의 방법.

청구항 6

제1 항에 있어서, 상기 피드백 정보를 수신하는 과정은,

상기 단말로부터 상기 단말의 채널의 경로 이득 벡터에 대응하는 코드북 인덱스를 피드백 받는 과정;

을 포함하는 것을 특징으로 하는 기지국의 방법.

청구항 7

멀티 유저 (multi-user) 멀티플 인풋 멀티플 아웃풋(multiple input multiple output, MU-MIMO) 통신에서, 단말의 방법에 있어서,

기지국으로부터 파일럿 신호를 수신하는 과정;

상기 수신한 파일럿 신호를 이용하여 상기 단말의 채널을 예측하는 과정;

상기 예측된 채널 정보를 이용하여 경로 이득 정보를 구성하는 과정; 및

상기 경로 이득 정보에 따른 코드북 인덱스를 상기 기지국에게 피드백하는 과정; 을 포함하고,

상기 코드북 인덱스는 채널 예측에 사용되고, 상기 기지국에 의해, 상기 채널 예측에 기반하여 RF(Radio Frequency) 프리코더가 구성되고, 상기 채널 예측에 기반하여 멀티 유저의 복수의 단말들 간의 간섭을 캔슬하기 위해, 제로-포싱(ZF: Zero-forcing)을 이용하여 상기 기지국의 베이스밴드(baseband) 프리코더가 구성되고,

상기 RF 프리코더는 적어도 제1 RF 체인에 대한 제1 RF 프리코더 및 제2 RF 체인에 대한 제2 RF 프리코더를 포함하며,

상기 RF 프리코더가 구성되는 것은, 상기 제1 RF 체인에 대한 제1 어레이(array) 스티어링(steering) 벡터가 구성되고, 상기 제1 어레이 스티어링 벡터에 기반하여, 상기 제2 RF 체인에 대한 제2 어레이 스티어링 벡터를 구성되는 것을 특징으로 하는 단말의 방법.

청구항 8

제7 항에 있어서, 상기 파일럿 신호를 수신하는 과정은,

상기 기지국과 상기 단말 간 미리 설정된 이산 AOD 세트(discrete Angle Of Departure set)에 따른 파일럿 신호를 수신하는 과정;

을 포함하는 것을 특징으로 하는 단말의 방법.

청구항 9

제8 항에 있어서, 상기 경로 이득 정보를 구성하는 과정은,

상기 단말의 채널 정보와 상기 이산 AOD 세트 정보를 이용하여 상기 경로 이득 정보를 구성하는 과정;

을 포함하는 것을 특징으로 하는 단말의 방법.

청구항 10

제8 항에 있어서, 상기 경로 이득 정보를 구성하는 과정은,
다음 수학적식,

$$\alpha_k = \mathbf{h}_k \cdot \text{pinv}(\mathbf{A}_k^H)$$

의 조건을 만족하는 경로 이득 정보를 구성하는 과정을 포함하고,

상기 α_k 는 경로 이득 벡터이고, \mathbf{h}_k 는 각 사용자의 채널 벡터이고, $\text{pinv}()$ 는 경로 매트릭 값(path metric value)이고, \mathbf{A}_k 는 AOD 세트로 구성된 어레이 매트릭스인 것을 특징으로 하는 단말의 방법.

청구항 11

기지국에 있어서,

단말과 통신하는 통신부; 및

멀티 유저의 복수의 단말들로 파일럿 신호를 전송하고, 상기 멀티 유저의 상기 복수의 단말들 중에서 적어도 하나로부터, 상기 파일럿 신호에 기반하여 경로 이득(ray gain) 정보를 포함한 피드백 정보를 수신하도록 상기 통신부를 제어하고, 상기 피드백 정보에 기반하여 채널을 예측하며, 상기 채널 예측에 기반하여 상기 기지국의 RF(Radio Frequency) 프리코더를 구성하며, 상기 채널 예측에 기반하여 상기 멀티 유저의 상기 복수의 단말들 간의 간섭을 캔슬하기 위해, 제로-포싱(ZF: Zero-forcing)을 이용하여 상기 기지국의 베이스밴드(baseband) 프리코더를 구성하도록 제어하는 제어부; 를 포함하고,

상기 RF 프리코더는 적어도 제1 RF 체인에 대한 제1 RF 프리코더 및 제2 RF 체인에 대한 제2 RF 프리코더를 포함하고,

상기 제어부는,

상기 제1 RF 체인에 대한 제1 어레이(array) 스티어링(steering) 벡터를 구성하고, 상기 제1 어레이 스티어링 벡터에 기반하여, 상기 제2 RF 체인에 대한 제2 어레이 스티어링 벡터를 구성하도록 제어하는 것을 특징으로 하는 기지국.

청구항 12

제11 항에 있어서, 상기 제어부는,

다음의 수학적식,

$$\mathbf{F}_{RF}^{opt} = \arg \min_{\mathbf{F}_{RF}} \|\mathbf{F}\|_F = \arg \min_{\mathbf{F}_{RF}} \left\| \mathbf{F}_{RF} \mathbf{F}_{RF}^H \mathbf{H}^H (\mathbf{H} \mathbf{F}_{RF} \mathbf{F}_{RF}^H \mathbf{H}^H)^{-1} \right\|_F$$

의 조건을 만족하는 최적의 RF 프리코더를 구성하도록 제어하고,

상기 \mathbf{F}_{RF}^{opt} 는 최적의 RF 프리코더를, $\|\cdot\|_F$ 는 프로베니우스노름(frobenius norm)을, \mathbf{F} 는 전체 송신 프리코더를, \mathbf{F}_{RF} 는 상기 RF 프리코더를, \mathbf{H} 는 전체 사용자의 채널을 종합한 멀티 유저 채널을 의미하는 것을 특징으로 하는 기지국.

청구항 13

제11 항에 있어서, 상기 제어부는,

전체 송신 프리코더의 프로베니우스노름(frobenius norm)을 최소화하는 어레이 조향 벡터(array steering vector)를 순차적으로 구성하도록 제어하는 것을 특징으로 하는 기지국.

청구항 14

제11 항에 있어서, 상기 제어부는,

상기 기지국과 상기 단말 간 미리 설정된 이산 AOD 세트(discrete Angle Of Departure set)에 따른 파일럿 신호를 전송하도록 제어하는 것을 특징으로 하는 기지국.

청구항 15

제14 항에 있어서,

상기 이산 AOD 세트는 LOS(Line-Of-Sight) 경로의 AOD를 기준으로 미리 설정된 범위 이내의 AOD 집합을 포함하는 것을 특징으로 하는 기지국.

청구항 16

제11 항에 있어서, 상기 제어부는,

상기 단말로부터 상기 단말의 채널의 경로 이득 벡터에 대응하는 코드북 인덱스를 피드백 받도록 제어하는 것을 특징으로 하는 기지국.

청구항 17

단말에 있어서,

기지국과 통신하는 통신부; 및

기지국으로부터 파일럿 신호를 수신하고, 상기 수신한 파일럿 신호를 이용하여 상기 단말의 채널을 예측하고, 상기 예측된 채널 정보를 이용하여 경로 이득 정보를 구성하고, 상기 경로 이득 정보에 따른 코드북 인덱스를 상기 기지국에게 피드백하도록 제어하는 제어부;를 포함하고,

상기 코드북 인덱스는 채널 예측에 사용되고, 상기 기지국에 의해, 상기 채널 예측에 기반하여 RF(Radio Frequency) 프리코더가 구성되고, 상기 채널 예측에 기반하여 멀티 유저의 복수의 단말들 간의 간섭을 캔슬하기 위해, 제로-포싱(ZF: Zero-forcing)을 이용하여 상기 기지국의 베이스밴드(baseband) 프리코더가 구성되고,

상기 코드북 인덱스는 채널 예측에 사용되고, 상기 기지국에 의해, 상기 채널 예측에 기반하여 RF(Radio Frequency) 프리코더가 구성되고, 상기 채널 예측에 기반하여 멀티 유저의 복수의 단말들 간의 간섭을 캔슬하기 위해, 제로-포싱(ZF: Zero-forcing)을 이용하여 상기 기지국의 베이스밴드(baseband) 프리코더가 구성되고,

상기 RF 프리코더는 적어도 제1 RF 체인에 대한 제1 RF 프리코더 및 제2 RF 체인에 대한 제2 RF 프리코더를 포함하며,

상기 RF 프리코더가 구성되는 것은, 상기 제1 RF 체인에 대한 제1 어레이(array) 스티어링(steering) 벡터가 구성되고, 상기 제1 어레이 스티어링 벡터에 기반하여, 상기 제2 RF 체인에 대한 제2 어레이 스티어링 벡터를 구성되는 것을 특징으로 하는 단말.

청구항 18

제17 항에 있어서, 상기 제어부는,

상기 기지국과 상기 단말 간 미리 설정된 이산 AOD 세트(discrete Angle Of Departure set)에 따른 파일럿 신호를 수신하도록 제어하는 것을 특징으로 하는 단말.

청구항 19

제18 항에 있어서, 상기 제어부는,

상기 단말의 채널 정보와 상기 이산 AOD 세트 정보를 이용하여 상기 경로 이득 정보를 구성하도록 제어하는 것을 특징으로 하는 단말.

청구항 20

제17 항에 있어서, 상기 제어부는,

다음 수학적식,

$$\mathbf{a}_k = \mathbf{h}_k \cdot \text{pinv}(\mathbf{A}_k^H)$$

의 조건을 만족하는 경로 이득 정보를 구성하도록 제어하고,

상기 \mathbf{a}_k 는 경로 이득 벡터이고, \mathbf{h}_k 는 각 사용자의 채널 벡터이고, $\text{pinv}()$ 는 경로 매트릭 값(path metric value)이고, \mathbf{A}_k 는 AOD 세트에 구성된 어레이 매트릭스인 것을 특징으로 하는 단말.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 밀리미터파 전송 시스템에서 하이브리드 빔포밍을 이용하여 다중 사용자를 지원하기 위한 송수신 방법 및 그 장치에 관한 것이다. 보다 구체적으로, 제로-포싱(ZF: zero-forcing) 방식을 사용할 때 적합한 RF(Radio Frequency) 프리코더의 구성 방식과 기지국에서 채널 정보를 획득하기 위한 제한된 피드백(limited feedback) 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 밀리미터파 전송 방식은, 높은 주파수 대역을 활용하여 대용량 전송이 가능한 장점이 있다. 또한, 밀리미터파 전송 방식은 높은 주파수로 인하여 안테나 사이의 간격을 좁힐 수 있기 때문에, 기지국에서 기존에 비하여 많은 안테나의 사용이 가능한 특징이 있다.

[0003] 이때, 밀리미터파 채널의 신호 감쇠 문제를 보완하기 위하여 기지국에서의 빔포밍 기술은 필수적으로 요구된다. 하지만 안테나를 많이 사용하는 환경에서 디지털 빔포밍을 적용하기 위해서는, RF 체인(RF chain)의 수를 비롯한 하드웨어 측면에서 구현적인 한계가 있다.

[0004] 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 빔포밍을 디지털 파트와 아날로그 파트로 나누어서 수행하는 하이브리드 빔포밍 방식을 고려할 수 있다. RF(Radio Frequency) 프리코더는 기존의 아날로그 빔포밍과 같이 어레이 조향 벡터(array steering vector)를 이용하여 구성되는 방식이고, 베이스밴드(baseband) 프리코더에서는 디지털 빔포밍을 수행한다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 도 1은 종래의 다중 안테나 송수신 시스템에서의 빔포밍의 일 예에 대해 도시한 도면이다.

[0006] 도 1을 참고하면, 송신부, 예를 들면 기지국(110)이 베이스밴드(baseband) 프리코더(115)와 RF(Radio Frequency) 프리코더(113)로 나뉘어져 있어, 하이브리드 빔포밍 방식으로 빔포밍을 수행할 수 있다. 이때, 기지국(110)은 복수 개의 안테나(117)를 포함할 수 있다.

[0007] 이때, 단일 사용자(single user) 환경에서 송수신 안테나의 개수가 무한인 경우, 어레이 조향 벡터(array steering vector)를 이용하여 아래 [수학적식 1]에 따라 최적의 빔포밍을 수행할 수 있다.

수학적식 1

$$F_{RF} = [\mathbf{a}_t(\phi_1^t), \dots, \mathbf{a}_t(\phi_{N_s}^t)] \text{ for } |\alpha_i| \geq |\alpha_j|, \forall i < j, F_{BB}: \text{power allocation}$$

[0009] 그러나, 이 방법의 경우에는 단일 사용자 환경에서의 빔포밍 방식에 대해서만 제안될 뿐으로, 다중 사용자 환경에 적합한 하이브리드 빔포밍 기술이 존재하지 않는다. 또한, 상기의 종래 기술을 적용하면 사용자 간 간섭(interference)으로 인한 성능의 열화가 심하게 나타날 수 있다. 그리고, 상기 방식에서는 모든 과정이 풀 CSI(full CSI) 기반으로 진행되고, 채널 피드백(channel feedback)에 대한 방법은 제시되지 않고 있다.

- [0010] 이에, 본 발명은 상술한 문제점들을 해결하기 위하여 제안된 것이다. 구체적으로, 본 발명은 사용자 간의 간섭을 제거하기 위하여 베이스밴드(baseband) 프리코더에 제로-포싱(ZF: Zero-Forcing) 기법을 적용하는 경우, 이 시스템에 적합한 RF(Radio Frequency) 프리코더를 구성하는 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.
- [0011] 또한, 전송 ZF 빔포밍 관점에서, 효율적인 채널을 RF 프리코더의 구성에 따라 변화시킬 수 있는 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.
- [0012] 또한, 기지국에서 각 사용자의 채널 정보를 획득하기 위하여 제한된 피드백(Limited Feedback)을 이용하는 하이브리드 빔포밍 방식을 제안하는 것을 목적으로 한다.
- [0013] 본 발명에서 이루고자 하는 기술적 과제들은 이상에서 언급한 기술적 과제들로 제한되지 않으며, 언급하지 않은 또 다른 기술적 과제들은 아래의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

- [0014] 본 발명은 각 사용자의 채널 추정을 위하여 이산 AOD(discrete Angle Of Departure) 기반의 파일럿 신호를 전송하는 단계; 추정된 채널로부터 경로 이득(ray gain)을 획득하는 단계; 경로 이득 정보를 피드백 하기 위한 코드북 적용 단계; ZF 기반 하이브리드 빔포밍 전송에 적합한 RF 프리코더 구성 단계를 통하여 다중 사용자 간섭을 효과적으로 제거하는 하이브리드 빔포밍 전송을 수행할 수 있도록 한다.
- [0015] 즉, 상기의 기술적 과제를 달성하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 기지국의 통신 방법은, 단말로부터 경로 이득(ray gain) 정보를 포함한 피드백 정보를 수신하는 과정; 상기 기지국의 전체 송신 프리코더의 프로베니우스노름(frobenius norm)을 최소화하는 RF(Radio Frequency) 프리코더를 구성하는 과정; 및 제로-포싱(ZF: Zero-forcing) 기반의 베이스밴드(baseband) 프리코더를 구성하는 과정;을 포함할 수 있다.
- [0016] 또한, 상기 RF 프리코더를 구성하는 과정은, 다음의 수학적,
- $$\mathbf{F}_{RF}^{opt} = \underset{\mathbf{F}_{RF}}{\operatorname{argmin}} \left\| \mathbf{F} \right\|_F = \underset{\mathbf{F}_{RF}}{\operatorname{argmin}} \left\| \mathbf{F}_{RF} \mathbf{F}_{RF}^H \mathbf{H}^H (\mathbf{H} \mathbf{F}_{RF} \mathbf{F}_{RF}^H \mathbf{H}^H)^{-1} \right\|_F$$
- 의 조건을 만족하는 최적의 RF 프리코더를 구성하는 과정을 포함하고, 상기 FRFopt 는 최적의 RF 프리코더를, F는 전체 송신 프리코더를, FRF는 RF 프리코더를, H는 전체 사용자의 채널을 종합한 다중 사용자 채널을 의미하는 것일 수 있다.
- [0017] 또한, 상기 RF 프리코더를 구성하는 과정은, 상기 전체 송신 프리코더의 프로베니우스노름(frobenius norm)을 최소화하는 어레이 조향 벡터(array steering vector)를 순차적으로 구성하는 과정;을 포함할 수 있다.
- [0018] 또한, 상기 피드백 정보를 수신하는 과정은, 상기 기지국과 상기 단말 간 미리 설정된 이산 AOD 세트(discrete Angle Of Departure set)에 따른 파일럿 신호를 전송하는 과정;을 더 포함할 수 있다.
- [0019] 또한, 상기 이산 AOD 세트는 LOS(Line-Of-Sight) 경로의 AOD를 기준으로 미리 설정된 범위 이내의 AOD 집합을 포함할 수 있다.
- [0020] 또한, 상기 피드백 정보를 수신하는 과정은, 상기 단말로부터 상기 단말의 채널의 경로 이득 벡터에 대응하는 코드북 인덱스를 피드백 받는 과정;을 포함할 수 있다.
- [0021] 또한, 상기의 기술적 과제를 달성하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 단말의 통신 방법은, 기지국으로부터 파일럿 신호를 수신하는 과정; 상기 수신한 파일럿 신호를 이용하여 상기 단말의 채널을 추정하는 과정; 상기 추정된 채널 정보를 이용하여 경로 이득 정보를 구성하는 과정; 및 상기 경로 이득 정보에 따른 코드북 인덱스를 상기 기지국에게 피드백하는 과정;을 포함할 수 있다.
- [0022] 또한, 상기 파일럿 신호를 수신하는 과정은, 상기 기지국과 상기 단말 간 미리 설정된 이산 AOD 세트(discrete Angle Of Departure set)에 따른 파일럿 신호를 수신하는 과정;을 포함할 수 있다.
- [0023] 또한, 상기 경로 이득 정보를 구성하는 과정은, 상기 단말의 채널 정보와 상기 이산 AOD 세트 정보를 이용하여 상기 경로 이득 정보를 구성하는 과정;을 포함할 수 있다.

- [0024] 또한, 상기 경로 이득 정보를 구성하는 과정은, 다음 수학적,
- $$\mathbf{a}_k = \mathbf{h}_k \cdot \operatorname{pinv}(\mathbf{A}_k^H)$$
- 의 조건을

만족하는 경로 이득 정보를 구성하는 과정을 포함하고, 상기 a_k 는 경로 이득 벡터이고, h_k 는 각 사용자의 채널 벡터이고, A_k 는 AOD 세트에 구성된 어레이 매트릭스인 것일 수 있다.

[0025] 또한, 상기의 기술적 과제를 달성하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 기지국은, 단말과 통신하는 통신부; 단말로부터 경로 이득(ray gain) 정보를 포함한 피드백 정보를 수신하고, 상기 기지국의 전체 송신 프리코더의 Frobenius norm을 최소화하는 RF(Radio Frequency) 프리코더를 구성하고, 제로-포싱(ZF: Zero-forcing) 기반의 베이스밴드(baseband) 프리코더를 구성하도록 제어하는 제어부;를 포함할 수 있다.

[0026] 또한, 상기의 기술적 과제를 달성하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 단말은, 기지국과 통신하는 통신부; 및 기지국으로부터 파일럿 신호를 수신하고, 상기 수신한 파일럿 신호를 이용하여 상기 단말의 채널을 추정하고, 상기 추정된 채널 정보를 이용하여 경로 이득 정보를 구성하고, 상기 경로 이득 정보에 따른 코드북 인덱스를 상기 기지국에게 피드백하도록 제어하는 제어부;를 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0027] 본 발명은 제로-포싱(ZF: Zero-Forcing) 하이브리드 빔포밍에 적합한 RF(Radio Frequency) 프리코더를 제공할 수 있다.

[0028] 또한, 밀리미터파 채널에 적합한 제한된 피드백(Limited Feedback) 방법을 제공할 수 있다.

[0029] 또한, RF 프리코더 구성 방식을 통하여 하이브리드 빔포밍을 다중 사용자 환경에서 적용할 수 있다.

[0030] 또한, 피드백 방식 제시를 통하여 적은 양의 정보만으로 사용자의 채널을 피드백 할 수 있는 효과를 얻을 수 있다.

[0031] 본 발명에서 얻을 수 있는 효과는 이상에서 언급한 효과들로 제한되지 않으며, 언급하지 않은 또 다른 효과들은 아래의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

[0032] 도 1은 종래의 다중 안테나 송수신 시스템에서의 빔포밍의 일 예에 대해 도시한 도면이다.

도 2 및 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 사용자 밀리미터파 전송 시스템에서의 하이브리드 전송 구조를 도시한 도면이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 RF 프리코더를 찾는 방법의 흐름도의 일 예를 도시한 도면이다.

도 5 및 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 제한된 피드백 방식에 대하여 설명한 도면이다.

도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 하이브리드 빔포밍 시스템의 동작 흐름도의 일 예를 도시한 도면이다.

도 8 내지 도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 하이브리드 빔포밍을 이용한 경우의 전송률 합의 일 예들을 도시한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0033] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시 예들을 상세히 설명한다. 이 때, 첨부된 도면에서 동일한 구성 요소는 가능한 동일한 부호로 나타내고 있음에 유의해야 한다. 또한 본 발명의 요지를 흐리게 할 수 있는 공지 기능 및 구성에 대한 상세한 설명은 생략할 것이다. 그리고 후술되는 용어들은 본 발명에서의 기능을 고려하여 정의된 용어들로서 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 관례 등에 따라 달라질 수 있다. 그러므로 그 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다.

[0034] 도 2 및 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 사용자 밀리미터파 전송 시스템에서의 하이브리드 전송 구조를 도시한 도면이다.

[0035] 도 2를 참고하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 기지국(210)은, 베이스밴드(baseband) 프리코더(215)와 RF(Radio Frequency) 프리코더(213)로 나뉘어져 있다.

[0036] 이때, 사용자 간의 간섭을 제거하기 위하여 베이스밴드 프리코더(215)에 제로-포싱(ZF: Zero-Forcing) 기법을 적용하는 경우, 이 시스템에 적합한 RF 프리코더(213)를 구성하는 방법을 제공하여야 한다. 또한, 기지국(210)

에서 각 사용자의 채널 정보를 획득하기 위하여 제한된 피드백(Limited Feedback)을 이용하는 하이브리드 빔포밍 방식을 제공하도록 할 필요가 있다.

[0037] 도 3을 참고하면, 기지국(310)에서는 다수의 안테나(317)를 사용하는 반면에, 각각의 사용자, 즉 각각의 사용자 단말(350, 351, 352)은 단일 안테나(357)를 사용한다고 가정한다. 설명의 편의를 위해, 사용자라는 용어와 사용자 단말이라는 용어는 혼용되어 사용될 수 있다.

[0038] 이러한 환경에서의 기지국(310)과 각 사용자 단말(350, 351, 352) 사이의 채널은 아래 [수학식 2]와 같을 수 있다.

수학식 2

[0039]
$$\mathbf{h}_k = \sqrt{\frac{N_t}{L}} \sum_{l=1}^L \alpha_l^k \mathbf{a}^k(\phi_l^k)^H$$

[0040] 상기 [수학식 2]에서 N_t 는 기지국 안테나의 수이고, L 은 채널을 구성하는 경로(ray)의 수이다. 그리고, α 는 경로 이득(gain)이고, ϕ 는 해당 경로의 AOD(Angle Of Departure)를 나타내고, \mathbf{a} 는 어레이 조향 벡터(array steering vector)를 나타낸다. 그리고, 각 사용자의 채널을 종합한 다중 사용자 채널은
$$\mathbf{H} = [\mathbf{h}_1^T, \dots, \mathbf{h}_K^T]^T$$
 이 된다.

[0041] 이때, 기지국에서 송신되는 송신 신호 \mathbf{x} 는 다음의 [수학식 3]과 같을 수 있다.

수학식 3

[0042]
$$\mathbf{x} = \tilde{\mathbf{F}}\mathbf{s} = \sum_{i=1}^K \frac{\sqrt{P}}{\|\mathbf{F}\|_F} \mathbf{F}_{RF} \mathbf{F}_{BB}^{(i)} s_i$$

[0043] 상기 [수학식 3]에서 s_i 는 i 번째 사용자에게 할당된 신호를 의미한다. 그리고, $\mathbf{F}_{BB}^{(i)}$ 는 베이스밴드 프리코더의 i 번째 열, \mathbf{F}_{RF} 는 RF 프리코더를 나타낸다. 또한, \mathbf{F} 는 전체 송신 프리코더 즉, 베이스밴드 프리코더 및 RF 프리코더 전체를 의미하며, $\tilde{\mathbf{F}}$ 는 정규화(normalization)된 전체 송신 프리코더를 의미한다. 그리고, P 는 기지국 송신 전력을 나타내고, K 는 전체 사용자의 수를 나타낸다.

[0044] 이때, 모든 사용자 채널(\mathbf{H})과 RF 프리코더를 하나의 유효 채널(effective channel)인 $\mathbf{H}_{eff} = \mathbf{H}\mathbf{F}_{RF}$ 로 간주하면, ZF 기반의 베이스밴드 프리코더 FBB는 아래의 [수학식 4]와 같을 수 있다.

수학식 4

$$\mathbf{F}_{BB} = \mathbf{H}_{eff}^H (\mathbf{H}_{eff} \mathbf{H}_{eff}^H)^{-1}$$

상기 [수학식 2] 내지 [수학식 4]를 이용하여, 사용자 i의 수신 신호 y_i 를 정리하면 다음의 [수학식 5]와 같을 수 있다.

수학식 5

$$y_i = \mathbf{h}_{(i)} \mathbf{x} + n_i = \frac{\sqrt{P}}{\|\mathbf{F}\|_F} \mathbf{h}_{(i)} \mathbf{F}_{RF} \mathbf{F}_{BB}^{(i)} s_i + \sum_{k \neq i} \frac{\sqrt{P}}{\|\mathbf{F}\|_F} \mathbf{h}_{(i)} \mathbf{F}_{RF} \mathbf{F}_{BB}^{(k)} s_k + n_i = \frac{\sqrt{P}}{\|\mathbf{F}\|_F} s_i + n_i$$

기지국에서 ZF를 적용했기 때문에, 상기 [수학식 5]에서 자신의 신호 이득, 즉 $\mathbf{h}_{(i)} \mathbf{F}_{RF} \mathbf{F}_{BB}^{(i)}$ 은 1이 되고, 간섭 신호의 이득, 즉 $\mathbf{h}_{(i)} \mathbf{F}_{RF} \mathbf{F}_{BB}^{(k)}$ 은 0이 된다.

이때, 모든 사용자의 수신 신호를 모두 고려한 전송률 합(sum-rate) R은 다음의 [수학식 6]과 같을 수 있다.

수학식 6

$$R = \sum_{i=1}^K \log_2 \left[1 + \frac{P}{\|\mathbf{F}\|_F^2 \sigma_n^2} \right]$$

한편, 본 발명에서 해결하고자 하는 문제는 RF 프리코더를 설계하는 것이다. 이때, 상기 [수학식 6]의 전송률 합에서 RF 프리코더에 의해서 변경되는 부분은 오직 $\|\mathbf{F}\|_F^2$ 이다. 따라서 RF프리코더의 입장에서 보았을 때, 전체 프리코더의 프로베니우스노름(frobenius norm)을 최소화 하는 것이 전송률 합을 최대화 하는 것과 동일하다.

이러한 특징을 활용하여 최적의 RF 프리코더를 찾기 위한 조건을 다음의 [수학식 7]과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 7

$$\mathbf{F}_{RF}^{opt} = \arg \min_{\mathbf{F}_{RF}} \|\mathbf{F}\|_F = \arg \min_{\mathbf{F}_{RF}} \left\| \mathbf{F}_{RF} \mathbf{F}_{RF}^H \mathbf{H}^H (\mathbf{H} \mathbf{F}_{RF} \mathbf{F}_{RF}^H \mathbf{H}^H)^{-1} \right\|_F$$

상기 [수학식 7]의 조건을 만족하는 RF 프리코더(313)를 찾는 것이 최적의 방식이다. 그러나 이 경우에, RF 체인(RF chain)의 수(N_{RF}) 만큼의 어레이 조향 벡터를 동시에 찾아야 한다. 이때, N_{RF} 에 따른 최적의 RF 프리코더를 구하기 위해 비교해야 하는 세트(set)의 수는 $KL P_{N_{RF}}$ 가 된다. 따라서 N_{RF} 의 증가에 따라 비교해야 하는 set의 수는 기하급수적으로 늘어날 수 있다.

이러한 연산량 문제를 해결하기 위하여, 실시예에 따라 연속적 RF 프리코더 방식을 이용할 수 있다.

[0056] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 RF 프리코더를 찾는 방법의 흐름도의 일 예를 도시한 도면이다.

[0057] 도 4에 도시된 실시예에 따른 연속적 RF 프리코더 방식의 개념은 $\|\mathbf{F}\|_F$ 를 최소화하는 N_{RF} 개의 어레이 벡터를 동시에 찾는 것이 아니라, 어레이 벡터를 하나씩 찾는 방식이다.

[0058] 즉, RF 체인이 N_{RF} 개 있는 경우에, 모든 RF 체인에 따른 어레이 조향 벡터를 동시에 찾는 방식이 아니라, 첫 번째 RF 체인에 따른 어레이 조향 벡터를 먼저 찾고, 그에 따라 다음 RF 체인에 따른 어레이 조향 벡터를 순차적으로 찾는 방식이다.

[0059] 예를 들면, 410 단계에서 i 를 1로 설정하고, 420 단계 및 430 단계에서 i 번째 RF 체인, 즉 첫 번째 RF 체인에 따른 첫 번째 어레이 조향 벡터를 찾을 수 있다.

[0060] 그리고 440 단계에서 i 를 1만큼 증가시킬 수 있다. 그리고, 450 단계에서 증가된 i 값이, 전체 RF 체인의 수 N_{RF} 보다 크지 않은지 여부를 판단할 수 있다. 즉 전체 RF 체인에 대응하는 어레이 조향 벡터를 찾았는지 여부를 판단한다. 판단 결과 전체 RF 체인에 대응하는 어레이 조향 벡터를 찾지 않은 경우, 420 단계로 복귀한다.

[0061] 그 후, 420 단계 내지 440 단계를 반복하여 두 번째 어레이 조향 벡터를 찾고, 다시 i 를 1만큼 증가시키고, 450 단계에서 i 를 N_{RF} 와 비교한다. i 가 N_{RF} 보다 크게 된 경우, 모든 RF 체인의 수 만큼 어레이 조향 벡터를 찾았으므로, 이제 RF 프리코더를 찾는 절차를 종료할 수 있다.

[0062] 이러한 연속적 RF 프리코더 설계 방식을 이용하여 RF 프리코더를 구성하면, 앞서 제시한 최적의 RF 프리코더 구성 방식과 전송률 합 측면에서는 크게 차이가 없으면서 간단하게 RF 프리코더를 구성할 수 있는 장점이 있다.

[0063] 즉, 연속적 RF 프리코더 설계 방식에서 비교해야 하는 set의 수는 $N_{RF}(2KL - N_{RF} + 1)/2$ 이고, 이는 N_{RF} 의 증가에 따라 선형적으로 증가한다. 반면에, 상

기 [수학식 7]에 따라 RF 체인(RF chain)의 수(N_{RF})만큼의 어레이 조향 벡터를 동시에 찾는 최적의 RF 프리코더 설계 방식의 경우에는 RF 체인의 수 N_{RF} 가 증가함에 따라 비교해야 하는 set의 수는 기하급수적으로 증가한다. 따라서 연속적 RF 프리코더 설계 방식은, 연산량이 기하급수적으로 증가하는 최적의 RF 프리코더의 방식에 비하여, 연산량 측면에서 많은 이점을 가질 수 있다.

[0064] 한편, 실시예에 따라, 상기 최적의 프리코더 설계 방식에 더하여, 사용자 스케줄링을 함께 고려할 수 있다.

[0065] 이 경우에, 최적의 RF 프리코더를 찾기 위한 조건은 다음의 [수학식 8]과 같을 수 있다.

수학식 8

$$(\mathbf{F}_{RF}^{opt}, \mathbf{H}_j^{sel}) = \arg \min_{\mathbf{F}_{RF}, \mathbf{H}_j} \left\| \mathbf{F}_{RF} \mathbf{F}_{RF}^H \mathbf{H}_j^H (\mathbf{H}_j \mathbf{F}_{RF} \mathbf{F}_{RF}^H \mathbf{H}_j^H)^{-1} \right\|_F$$

[0067] 이상에서는 사용자 간의 간섭을 제거하기 위하여 베이스밴드 프리코더에 ZF 기법을 적용하는 경우, 이 시스템에 적합한 RF 프리코더를 구성하는 방법에 대해 살펴보았다.

[0068] 이하에서는 기지국에서 각 사용자의 채널 정보를 획득하기 위하여 제한된 피드백(Limited Feedback)을 이용하는 하이브리드 빔포밍 방식에 대해 살펴보도록 한다.

[0069] 도 5 및 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 제한된 피드백 방식에 대하여 설명한 도면이다.

[0070] 본 발명의 일 실시예에서 가정하는 시스템 구조에서는 기지국이 각 사용자의 채널에 대한 정보뿐만 아니라 그 채널을 구성하는 AOD(Angle Of Departure)와 경로 이득(ray gain) 정보들을 알아야 한다. 즉, 기지국에서 파일럿(pilot) 신호를 송신단과 수신단 사이에 예정된 AOD 범위로 전송을 일정한 파일럿 심볼 전력(pilot symbol power)로 전송할 수 있다. 그리고, 사용자 단말은 수신 신호로부터 AOD와 경로 이득(ray gain)을 추정하여, 밀

$$\mathbf{h}_k = \sum_{i=1}^L \alpha_i \mathbf{a}_i(\theta_i^i)^{ii} = \mathbf{a}_k \mathbf{A}_k^{ii}$$
리미터와 채널을 . 와 같이 구성할 수 있다. 그리고, 사용자 단말은 기지국에게 모든 경로(ray)에 대한 정보, 즉 채널을 구성하는 AOD와 경로 이득 정보들을 기지국에게 피드백(feedback)할 수 있다.

[0071] 하지만 본 발명의 일 실시예에서, 각 사용자는 1개의 안테나를 가지고 있다고 가정하였기 때문에, 사용자의 채널을 구성하는 모든 경로에 해당하는 다수의 AOD를 추정하는 것은 한계가 있다. 따라서, 밀리미터파 채널 환경에 적합한 AOD 및 경로 이득 추정과 그 정보를 공유하는 피드백 방식이 필요하다.

[0072] 도 5를 참고하면, 본 발명에서 제시하는 밀리미터파 채널 추정과 제한된 피드백 방식은 크게 3가지 과정으로 구성되어 있다. 먼저, 570 단계에서 기지국에서는 지원하고자 하는 사용자에게 사전에 약속된 이산 AOD 세트(discrete AOD set)에 따라 파일럿 신호를 전송한다.

[0073] 그리고 580 단계에서 각 사용자는 수신한 파일럿 신호를 이용하여 채널 추정을 하고 AOD set을 이용하여 어레이 매트릭스를 구성할 수 있다. 그 후, 각 사용자는 추정된 채널에 어레이 매트릭스의 의사역행렬(pseudo inverse)을 곱해서 경로 이득 벡터를 구하게 된다.

[0074] 그리고, 590 단계에서 이렇게 추정된 경로 이득 벡터에 대한 정보는 코드북을 이용하여 사용자에서 기지국으로 피드백 된다.

[0075] 앞에서 제시한 제한된 피드백 과정 중, discrete AOD 기반 파일럿 전송 방식에 대하여 좀 더 자세히 설명해본다.

[0076] 도 6을 참고하면, Line-of-sight(LOS) 성분이 강하고 감쇄가 심한 밀리미터파 채널의 특성상, 도 6에 도시된 바와 같이 LOS 경로의 AOD를 기준으로 모든 경로의 AOD들(670)이 좁은 범위 이내로 형성된다. 예를 들면, θ_{LOS} 를 중심으로 $\theta_{LOS}+40^\circ$ 내지 $\theta_{LOS}-40^\circ$ 의 범위를 갖는 L개의 AOD 집합이 형성될 수 있다. 그리고, 이 범위 안에서 AOD를 동일한 간격으로 discrete하게 분할하여 파일럿을 전송할 수 있다. 그리고, 실시예에 따라 AOD set의 정보를 기지국과 사용자 사이에 공유할 수 있다. 이때, discrete AOD 파일럿 전송 신호는 다음의 [수학식 9]와 같을 수 있다.

수학식 9

[0077]
$$\mathbf{x}_{pilot} = \mathbf{F}_{pilot} \mathbf{s}_{pilot}, \mathbf{F}_{pilot} = [\mathbf{a}(\theta_1^i), \dots, \mathbf{a}(\theta_L^i)]$$

[0078] 이러한 방식을 사용하면 AOD set에 대한 정보를 사전에 공유할 수 있기 때문에, 사용자가 추가적으로 AOD에 대한 피드백을 해줄 필요가 없는 장점이 있다.

[0079] 다음으로 경로 이득 정보를 피드백 하는 방법에 대하여 살펴보도록 한다.

[0080]
$$\mathbf{h}_k = \mathbf{a}_k \mathbf{A}_k^H$$
각 사용자의 채널을 벡터 형식으로 표현하면 . 이 된다. Discrete AOD 방식을 이용하여 추정

된 채널(\mathbf{h}_k)과 약속된 AOD set으로 구성된 어레이 매트릭스(\mathbf{A}_k)를 이용하여 다음의 [수학식 10]과 같이 경로 이득 벡터 \mathbf{a}_k 를 추정할 수 있다.

수학식 10

[0081]
$$\mathbf{a}_k = \mathbf{h}_k \cdot \text{pmv}(\mathbf{A}_k^H)$$

[0082] 이러한 방식으로 추정된 경로 이득 벡터에 대한 정보를 코드북을 통하여 기지국으로 피드백 하게 되는데, 본 발명에서는 랜덤 벡터 양자화(RVQ: random vector quantization)를 사용하기로 한다.

[0083] 먼저 기본적인 RVQ 기법에 대하여 알아보도록 한다. 피드백 비트수를 B라고 하면, 각 사용자의 코드북은 $N=2^B$ 개의 정규 벡터로 다음의 [수학식 11]와 같이 구성되어 있을 수 있다.

수학식 11

[0084]
$$\mathbf{C}_k = \{\mathbf{c}_{k1}, \dots, \mathbf{c}_{kN}\}$$

[0085] 이때, 각 사용자는 자신의 채널 방향($\hat{\mathbf{h}}_k = \mathbf{h}_k / \|\mathbf{h}_k\|$)을 코드북과 비교하여 가장 근접한 벡터($\hat{\mathbf{h}}_k$)를 다음의 [수학식 12]과 같이 선택할 수 있다.

수학식 12

[0086]
$$\hat{\mathbf{h}}_k = \mathbf{c}_{kn}, \text{ where } n = \arg \max_{1 \leq j \leq N} |\hat{\mathbf{h}}_k \mathbf{c}_{kj}^H|$$

[0087] 그 후, 사용자 단말은 선택된 벡터의 인덱스를 기지국에게 피드백 한다. 그리고, 기지국은 피드백 받은 정보를 이용하여 채널을 구성하게 된다.

[0088] 그러나, 이러한 기존의 RVQ 방식을 본 시스템 모델에 그대로 적용하게 되면, 송신 안테나의 수가 많은 환경에서 제한된 피드백 정보량으로는 성능 열화를 피할 수 없게 된다.

[0089] 따라서 본 발명에서는 RVQ를 사용자의 채널 벡터에 적용하는 것이 아니라, 경로 이득 벡터에 적용하는 방식을 사용할 수 있다. 밀리미터파 채널에서의 하이브리드 빔포밍 전송 방식에서는 기지국의 안테나가 수십에서 많게는 수백 개까지 고려되고 있는 반면, 채널의 경로 이득 벡터의 길이는 5개에서 많게는 20개가 고려되고 있다. 따라서 채널 벡터의 길이보다 경로 이득 벡터의 길이가 상대적으로 많이 짧기 때문에 동일한 사이즈의 RVQ 코드북을 적용하였을 시, 경로 이득 벡터에 RVQ를 적용하는 것이 성능 향상 측면에서 이득을 얻을 수 있게 된다.

[0090] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 하이브리드 빔포밍 시스템의 동작 흐름도의 일 예를 도시한 도면이다.

[0091] 도 7을 참고하면, 710 단계에서 기지국은 기지국과 사용자 간의 이산 AOD 세트 정보를 설정할 수 있다. 그 후, 720 단계에서 기지국은 각 사용자에게 이산 AOD 기반의 파일럿 신호들을 전송할 수 있다.

[0092] 이후, 730 단계에서 사용자 단말은 수신한 파일럿 신호를 이용하여 각 사용자의 채널을 추정할 수 있다. 그 후 740 단계에서 사용자 단말은 채널 정보와 AOD 세트로부터 경로 이득 정보를 획득할 수 있다. 사용자 단말은 750 단계에서 경로 이득 정보 피드백을 위한 코드북을 적용하고, 선택된 코드북 인덱스를 기지국에게 피드백할 수 있다.

[0093] 사용자 단말로부터 피드백 받은 경로 이득 벡터에 대한 코드북 인덱스와 AOD 세트 정보를 이용하여, 기지국은 760 단계에서 각 사용자의 채널을 구성할 수 있다. 그리고, 770 단계에서 기지국은 RF 프리코더를 구성할 수 있다. 그리고 780 단계에서 ZF 기반 베이스밴드 프리코더를 구성할 수 있다.

[0094] 상기 각 단계에 대한 구체적인 설명은 상기 도 2 내지 도 6과 관련된 부분에서 설명하였으므로, 구체적인 설명

은 생략하도록 한다.

- [0095] 도 8 내지 도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 하이브리드 빔포밍을 이용한 경우의 전송률 합의 일 예들을 도시한 도면이다.
- [0096] 도 8의 (a)를 참고하면, 종래 기술 및 종래 기술에 ZF를 적용한 방식에 비해서, 본원 발명에 따라 RF 프리코더를 구성한 경우에 전송률 합의 더 높음을 알 수 있다. 이때, 상기 [수학식 7]에 따라 복수의 RF 체인의 수만큼의 어레이 조향 벡터를 동시에 구성하는 방식에 비해, 어레이 조향 벡터를 순차적으로 구성하는 방식을 사용한 경우에 전송률 합의 큰 차이가 발생하지 않음을 알 수 있다.
- [0097] 또한, 도 8의 (b)를 참고하면, RF 체인의 수가 증가하는 경우에, 어레이 조향 벡터를 동시에 찾는 방식의 경우, 비교하는 세트의 수가 기하급수적으로 증가함을 알 수 있다. 그러나, 어레이 조향 벡터를 하나씩 찾는 방식의 경우, RF 체인의 수가 증가하는 경우에 비교하는 세트의 수가 선형적으로 증가함을 알 수 있다.
- [0098] 때문에, RF 체인의 수가 상대적으로 많은 경우에는 어레이 조향 벡터를 순차적으로 찾는 방식이 효율면에서 더 유리할 수 있다.
- [0099] 도 8의 (a)와 도 9의 (a)를 참고하면, RF 체인의 개수 N_{RF} 가 커질수록 전송률 합의 더 커짐을 알 수 있다. 또한, 이때, 사용자 스케줄링까지 적용할 경우에 추가적인 성능의 이득을 확인할 수 있다.
- [0100] 한편, 도 9의 (b)를 참고하면, 사용자의 수(K)가 늘어남에 따라, 본 발명의 일 실시예에 따른 빔포밍 기법을 사용한 경우에 전송률 합의 더 좋음을 확인할 수 있다. 즉, 본 발명의 일 실시예에 따르면, 사용자의 수 K가 RF 체인의 N_{RF} 수 보다 작은 경우에 사용자의 수가 늘어나도 전송률 합의 감소가 두드러지지 않게 됨을 알 수 있다. 반면에 종래 기술에 따르는 경우에는 사용자의 수가 RF 체인의 수에 근접할수록 더 빨리 전송률 합의 감소함을 알 수 있다.
- [0101] 도 10의 (a)를 참고하면, 먼저 본 발명의 일 실시예에 따라 경로 이득 벡터에 RVQ를 적용한 경우(α -RVQ)가 일 반적인 RVQ 방식에 비해 많은 성능 이득을 얻을 수 있음을 알 수 있다. 이때, 채널 당 경로(ray)의 수가 적을수록 좋은 성능을 보임을 확인할 수 있다. 또한 도 10의 (b)를 참고하면, 피드백 정보량(B)이 많을수록 성능 이득이 커지는 것을 확인할 수 있다.
- [0102] 도 11은 본 발명의 일 실시예에 따라 사용자의 수에 따른 성능 이득을 나타낸 것이다. 도 11의 (a)를 참고하면, 도 10의 (a)와 유사하게, 채널 당 경로(ray)의 수가 적을수록 좋은 성능을 보일 수 있다. 또한, 도 11의 (b)를 참고하면, 피드백 정보량(B)이 많을수록 성능 이득이 커짐을 확인할 수 있다.
- [0103] 이상에서는 본 발명의 일 실시예에 따른 효과에 대해 살펴보았다.
- [0104] 이하에서는 본 발명의 일 실시예에 따른 기지국 및 사용자 단말의 구성에 대해서 살펴보도록 한다.
- [0105] 본 발명의 일 실시예에 따른 기지국은 통신부 및 제어부를 포함할 수 있다. 상기 제어부는 기지국의 전반적인 동작을 제어할 수 있다. 그리고 제어부는 상술한 실시예들 중 어느 하나의 동작을 수행하도록 기지국을 제어할 수 있다.
- [0106] 예를 들면, 제어부는 이산 AOD 세트 정보를 설정하고, 사용자에게 이산 AOD 기반 파일럿 신호를 전송하도록 제어할 수 있다. 또한, 사용자 단말로부터 경로 이득 벡터에 대한 코드북 인덱스를 수신하고, 피드백 정보와 AOD 세트를 이용하여 각 사용자의 채널을 구성하도록 제어할 수 있다. 또한, 제어부는 RF 프리코더를 구성하고, ZF 기반 베이스밴드 프리코더를 구성하도록 제어할 수 있다.
- [0107] 본 발명의 일 실시예에 따른 사용자 단말은 통신부 및 제어부를 포함할 수 있다. 제어부는 사용자 단말의 전반적인 동작을 제어할 수 있다. 그리고 제어부는 상술한 실시예들 중 어느 하나의 동작을 수행하도록 사용자 단말을 제어할 수 있다.
- [0108] 예를 들면, 제어부는 기지국으로부터 이산 AOD 기반 파일럿 신호를 수신하고, 수신한 파일럿 신호를 이용하여 채널을 추정하고, 채널 정보와 AOD 세트로부터 경로 이득 정보를 획득하도록 제어할 수 있다. 그리고, 경로 이득 정보 피드백을 위한 코드북을 적용하여, 선택된 코드북 인덱스를 기지국에게 피드백하도록 제어할 수 있다.
- [0109] 한편, 본 명세서와 도면에 개시된 본 발명의 실시예들은 본 발명의 기술 내용을 쉽게 설명하고 본 발명의 이해를 돕기 위해 특정 예를 제시한 것일 뿐이며, 본 발명의 범위를 한정하고자 하는 것은 아니다. 즉 본 발명의 기술적 사상에 바탕을 둔 다른 변형 예들이 실시 가능하다는 것은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을

가진 자에게 자명한 것이다.

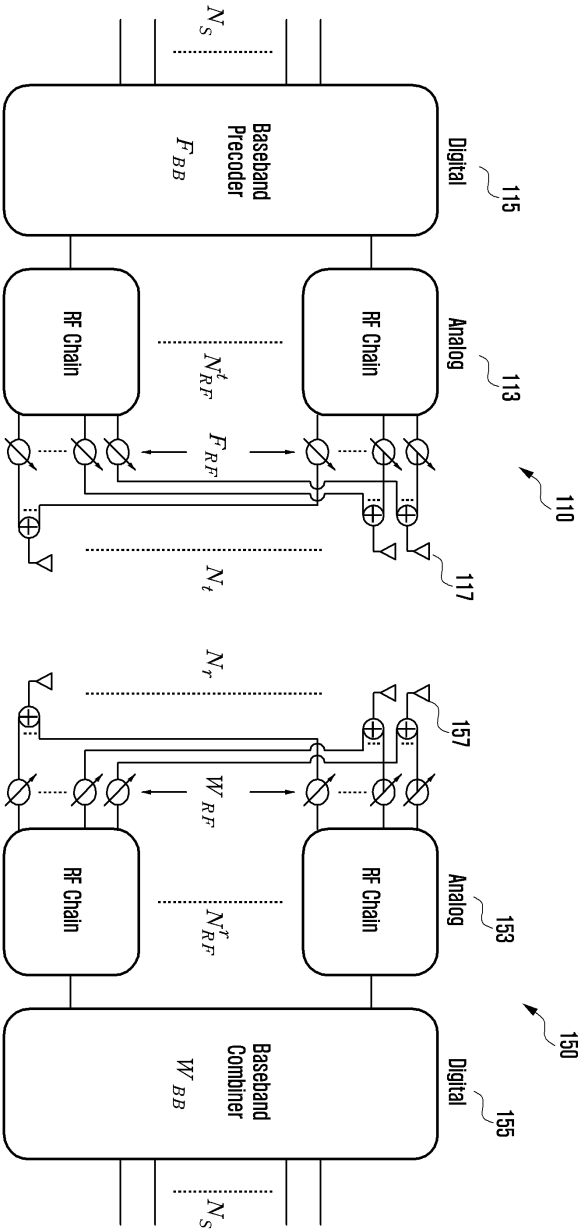
따라서, 상기의 상세한 설명은 모든 면에서 제한적으로 해석되어서는 아니되고 예시적인 것으로 고려되어야 한다. 본 발명의 범위는 첨부된 청구항의 합리적 해석에 의해 결정되어야 하고, 본 발명의 등가적 범위 내에서의 모든 변경은 본 발명의 범위에 포함된다.

부호의 설명

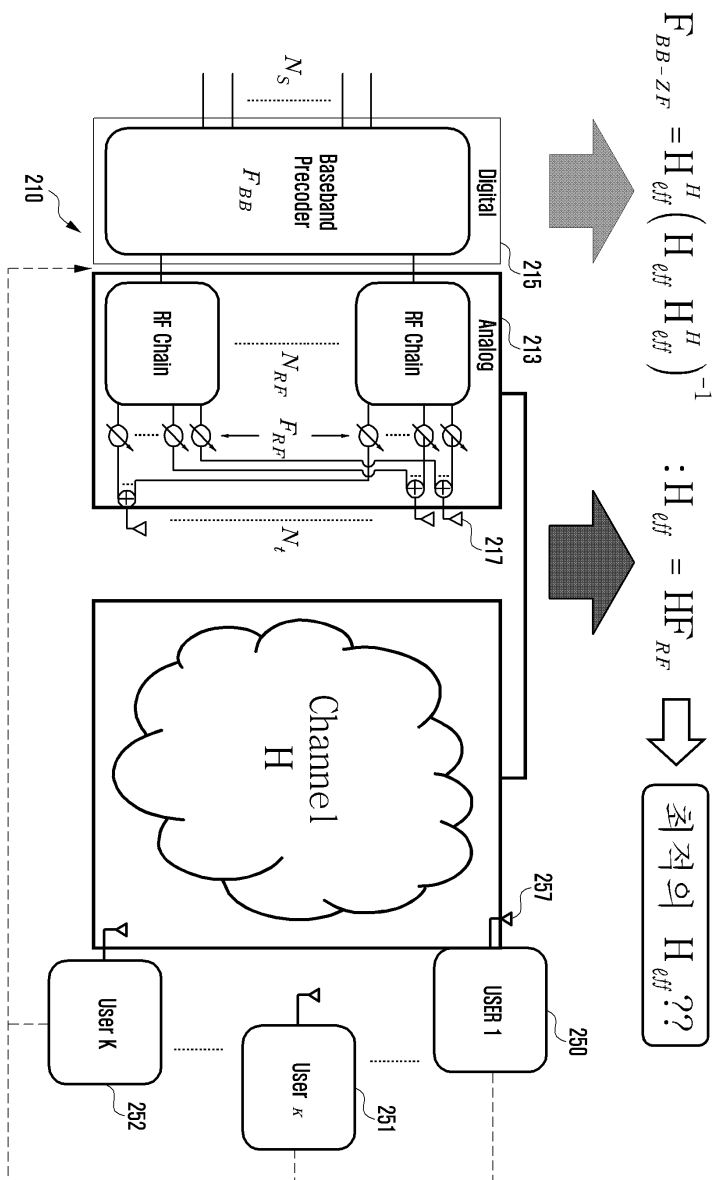
- 210: 기지국
- 213: RF 프리코더
- 215: 베이스밴드 프리코더
- 250: 사용자 단말

도면

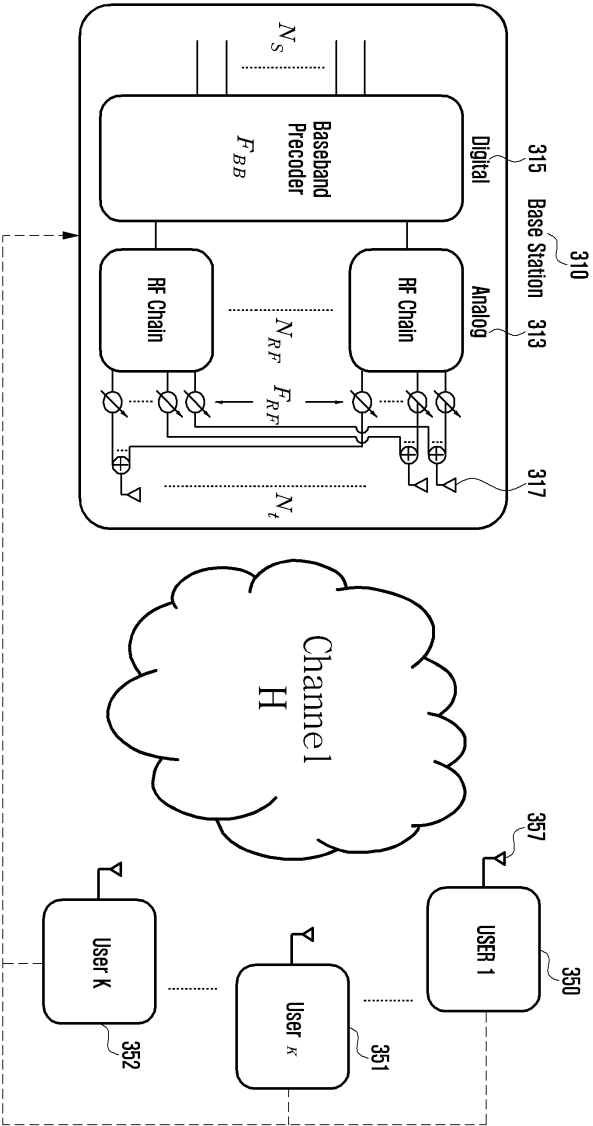
도면1



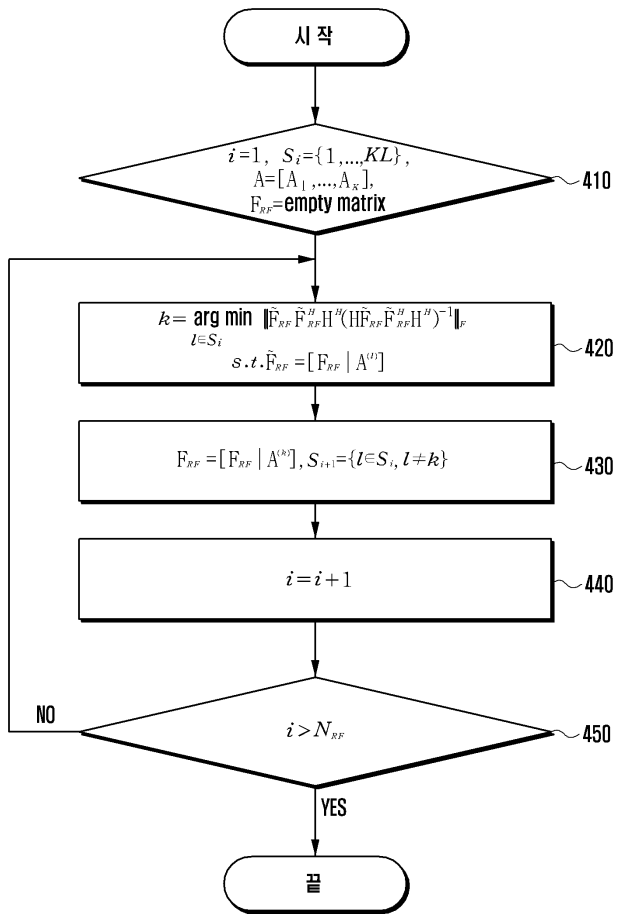
도면2



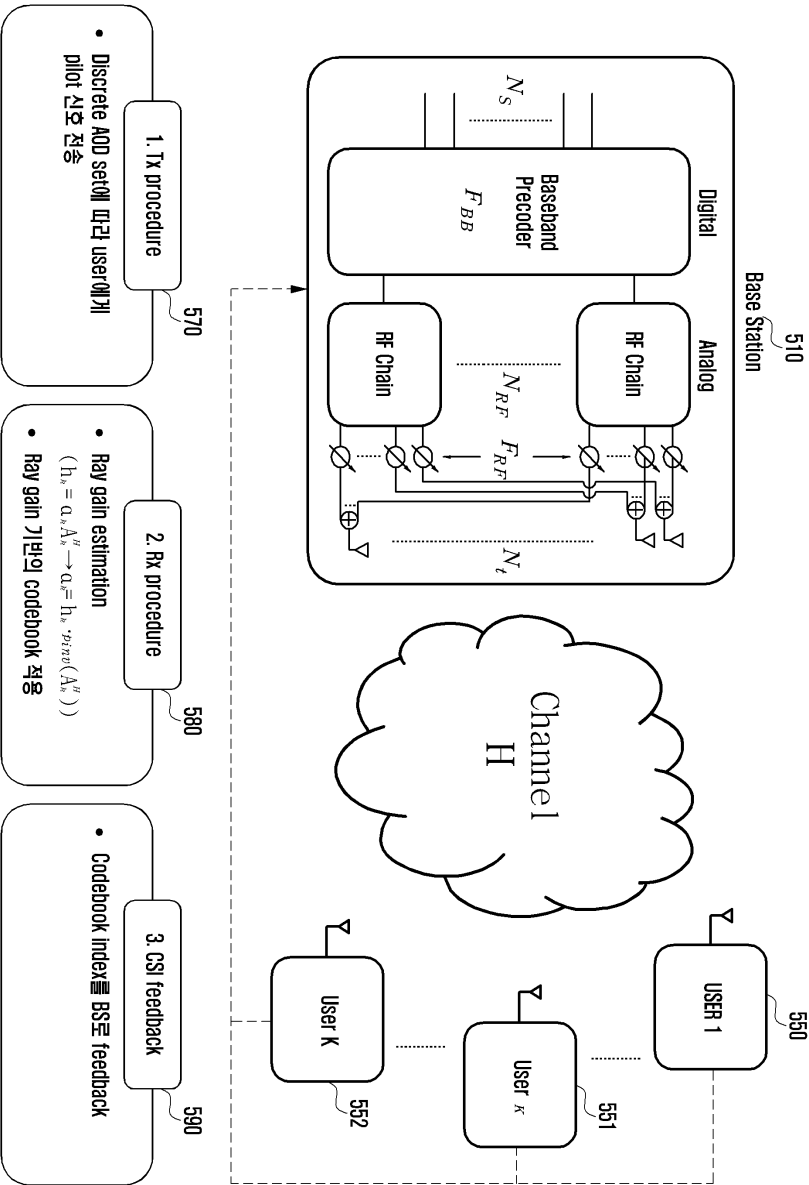
도면3



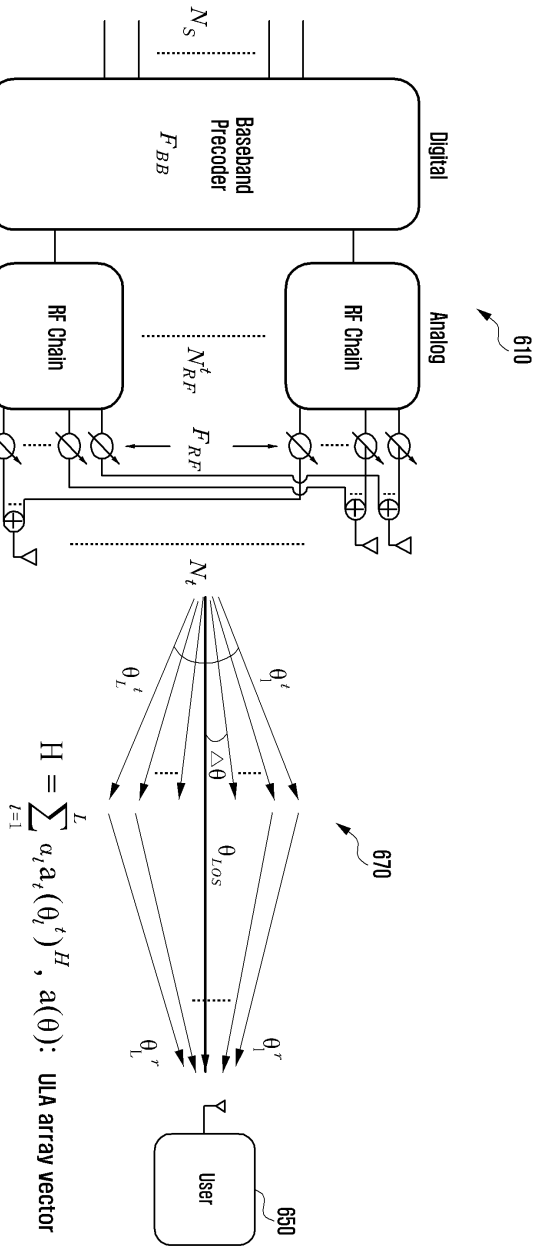
도면4



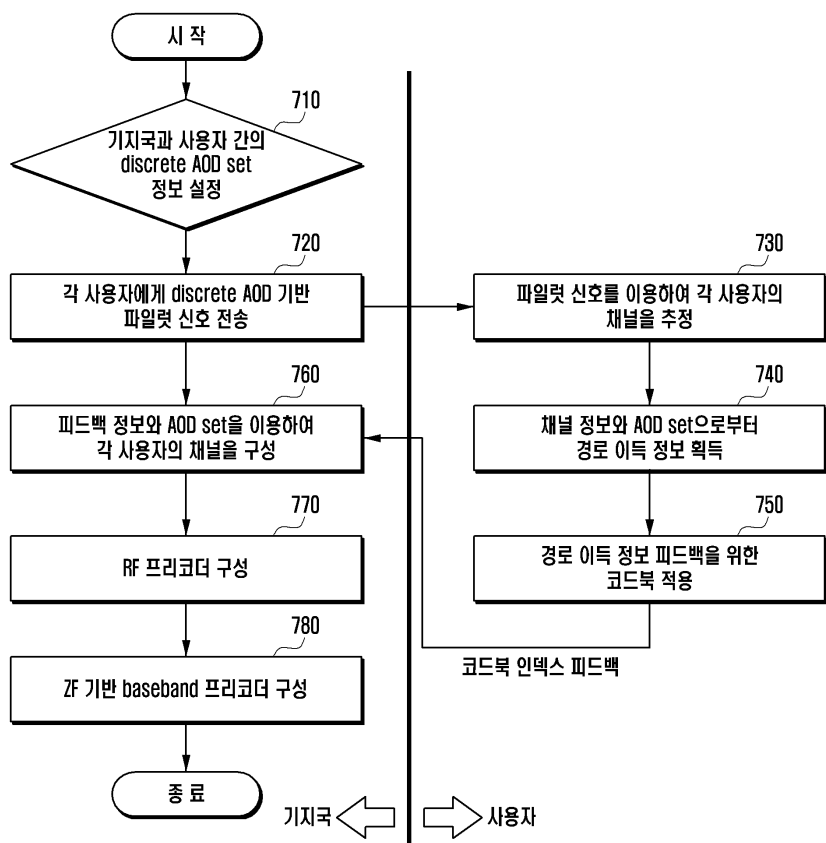
도면5



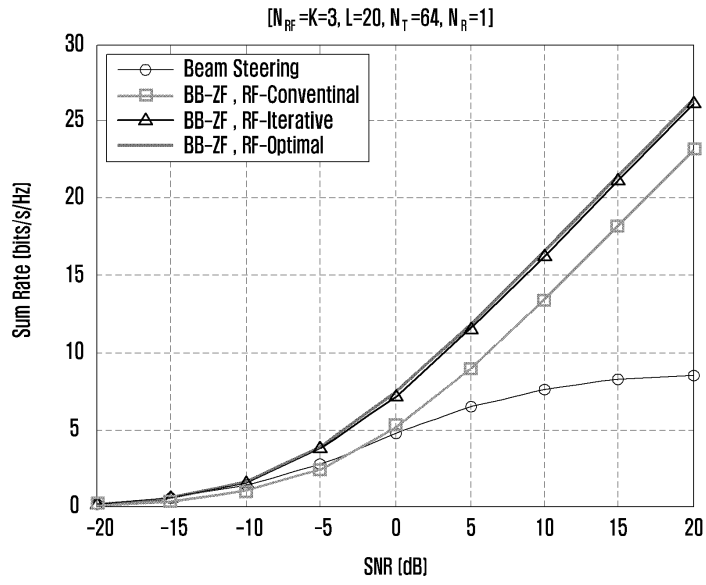
도면6



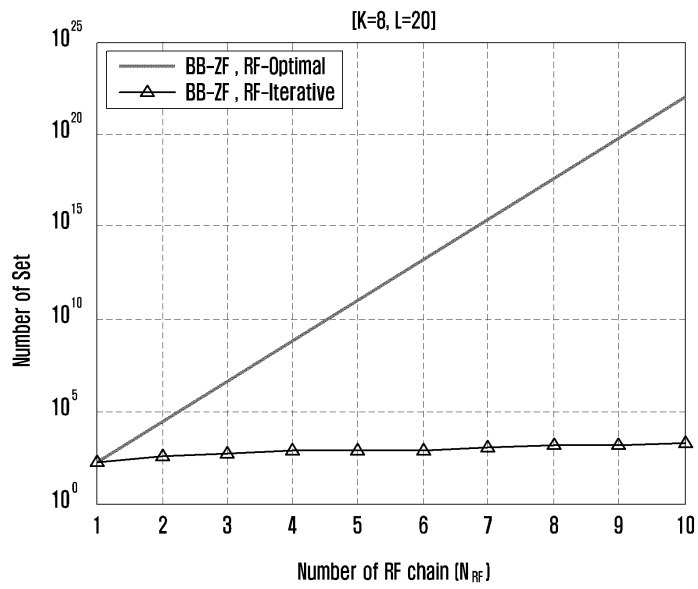
도면7



도면8

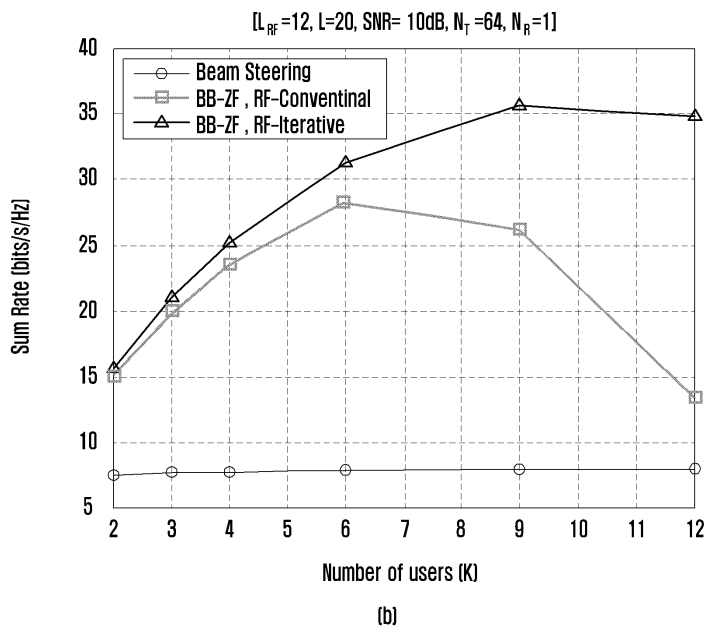
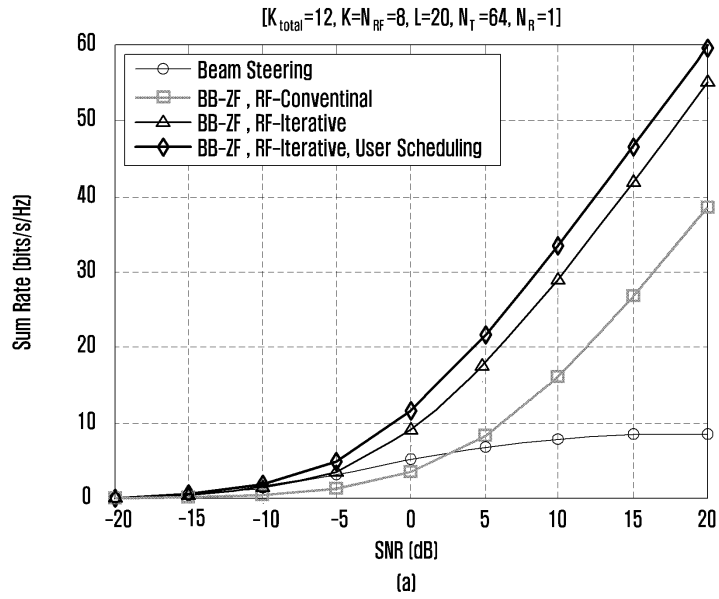


(a)

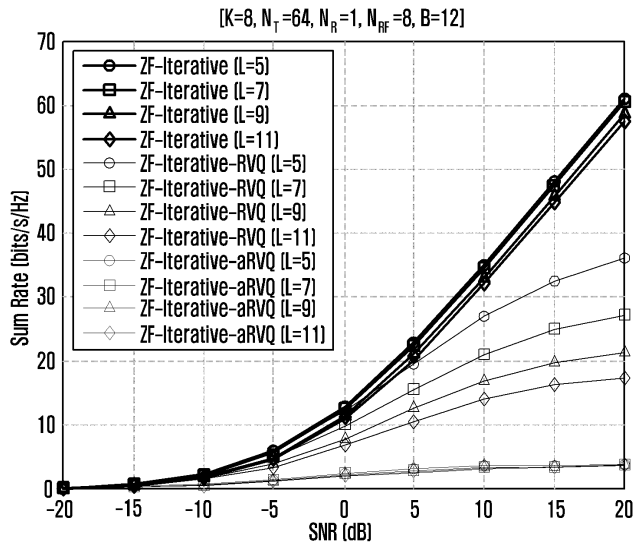


(b)

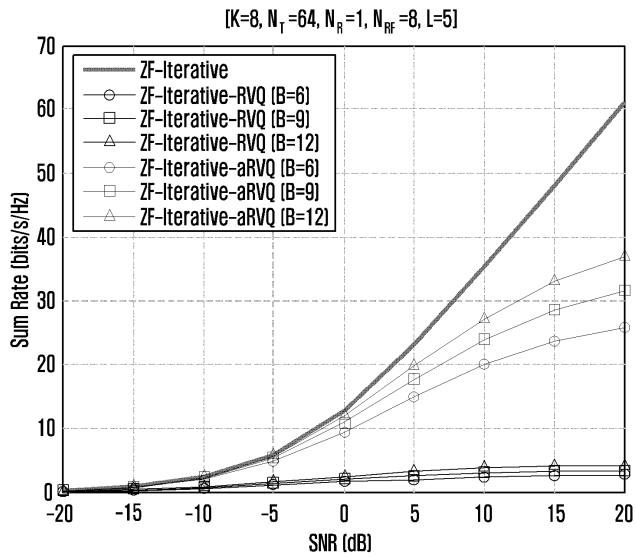
도면9



도면10

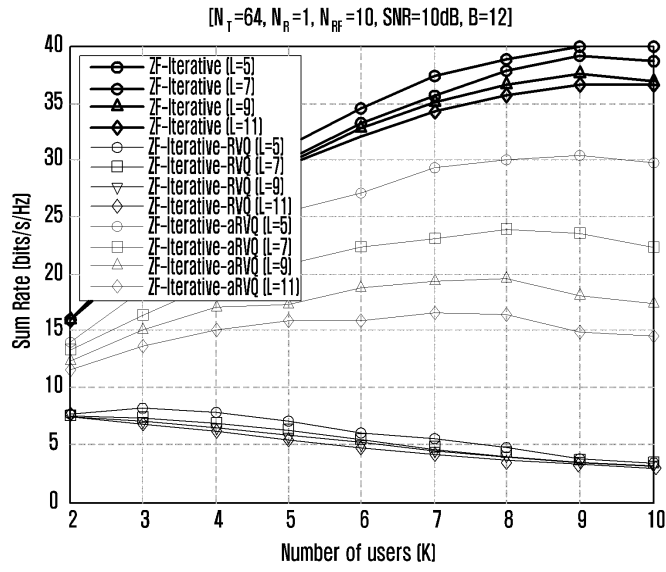


(a)

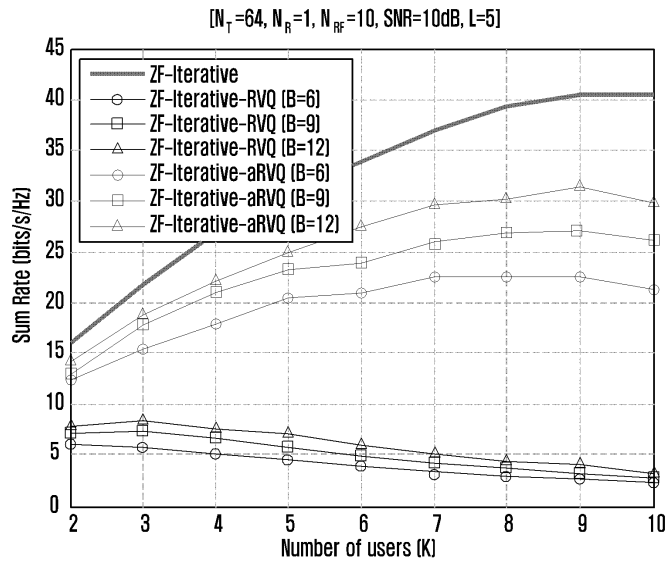


(b)

도면11



(a)



(b)