(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2019-0099946
(43) 공개일자 2019년08월28일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04B 7/06 (2017.01) *H04B 17/336* (2014.01)
H04B 17/345 (2014.01) *H04B 7/08* (2017.01)
(52) CPC특허분류
H04B 7/0617 (2013.01)
H04B 17/336 (2015.01)
(21) 출원번호 10-2018-0020046
(22) 출원일자 2018년02월20일
심사청구일자 2018년02월20일

(71) 출원인
부경대학교 산학협력단
부산광역시 남구 신선로 365 (용당동, 부경대학교)
한국전자통신연구원
대전광역시 유성구 가정로 218 (가정동)
(72) 발명자
박재현
부산광역시 남구 신선로 566, 307동 1101호 (용호동, GS하이츠자이)
홍준표
부산광역시 남구 수영로 345, 115동 508호 (대연동, 대연힐스테이트푸르지오)
백승권
대전광역시 유성구 지족로 343, 205동 903호 (지족동, 반석마을아파트2단지)
(74) 대리인
특허법인 무한

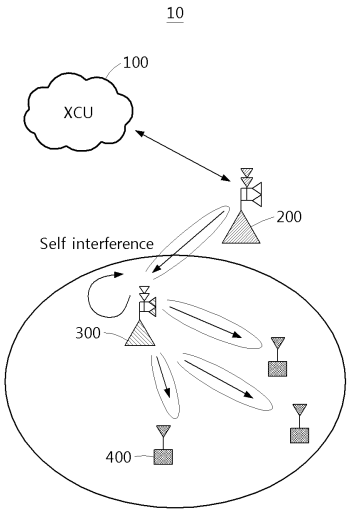
전체 청구항 수 : 총 22 항

(54) 발명의 명칭 **무선 네트워크에서 밀리미터파 기반 통신 방법 및 장치들**

(57) 요 약

무선 네트워크에서 밀리미터파 기반 통신 방법 및 장치들이 개시된다. 일 실시예에 따른 무선 링크들을 통해 데이터를 중계하는 무선 네트워크에서의 통신 방법은 자기 간섭에 기초하여 상기 무선 네트워크의 처리율을 최대화하기 위한 최적 송신 빔포밍 벡터와 최적 수신 빔포밍 벡터를 결정하는 단계와, 상기 최적 송신 빔포밍 벡터와 상기 최적 수신 빔포밍 벡터를 이용하여 송수신 빔포밍을 수행하는 단계를 포함하고, 상기 자기 간섭은 상기 무선 링크들 중에서 어느 하나를 통해 신호를 수신하는 과정에서 상기 무선 링크들 중에서 다른 하나를 통해 사용자에게 송신하는 신호에 의해 발생한다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
H04B 17/345 (2015.01)
H04B 7/086 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 2014-0-00282
부처명 과학기술정보통신부
연구관리전문기관 정보통신기술진흥센터
연구사업명 초연결 스마트 서비스를 위한 5G 이동통신 핵심기술개발
연구과제명 초연결 스마트 서비스를 위한 5G 이동통신 핵심기술개발
기 여 율 1/1
주관기관 한국전자통신연구원
연구기간 2017.03.01 ~ 2018.02.28

명 세 서

청구범위

청구항 1

무선 링크들을 통해 데이터를 중계하는 무선 네트워크에서의 통신 방법에 있어서,

자기 간섭에 기초하여 상기 무선 네트워크의 처리율을 최대화하기 위한 최적 송신 빔포밍 벡터와 최적 수신 빔포밍 벡터를 결정하는 단계; 및

상기 최적 송신 빔포밍 벡터와 상기 최적 수신 빔포밍 벡터를 이용하여 송수신 빔포밍을 수행하는 단계

를 포함하고,

상기 자기 간섭은 상기 무선 링크들 중에서 어느 하나를 통해 신호를 수신하는 과정에서 상기 무선 링크들 중에서 다른 하나를 통해 사용자에게 송신하는 신호에 의해 발생하는 통신 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 어느 하나는 엑스홀 링크(X-haul link) 또는 백홀 링크(Backhaul link)이고, 상기 다른 하나는 접속 링크(Access link)인 통신 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 무선 네트워크는 이동 엑스홀 네트워크(Mobile X-haul Network(MXN))을 포함하는 계층적 무선 네트워크인 통신 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 무선 링크들은 동일한 대역을 이용하는 독립적인 무선 링크들인 통신 방법.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 동일한 대역은 밀리미터파 대역인 통신 방법.

청구항 6

제2항에 있어서,

상기 결정하는 단계는,

상기 접속 링크에서 최대 SNR을 갖도록 초기 송신 빔포밍 벡터를 설정하는 단계;

상기 초기 송신 빔포밍 벡터를 이용하여 상기 최적 수신 빔포밍 벡터를 계산하는 단계; 및

상기 엑스홀 링크로의 간섭에 기초하여 상기 최적 송신 빔포밍 벡터를 계산하는 단계

를 포함하는 통신 방법.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 최적 수신 빔포밍 벡터를 계산하는 단계와 상기 최적 송신 빔포밍 벡터를 계산하는 단계는 상기 최적 송신 빔포밍 벡터를 상기 초기 송신 빔포밍 벡터로 업데이트하여 반복적으로 수행되는 통신 방법.

청구항 8

제6항에 있어서,

상기 최적 송신 빔포밍 벡터를 계산하는 단계는,

상기 엑스홀 링크의 SINR과 상기 접속 링크의 SNR을 비교하는 단계;

상기 SINR이 상기 SNR보다 크거나 같은 경우, 상기 초기 송신 빔포밍 벡터를 상기 최적 송신 빔포밍 벡터로 계산하는 단계; 및

상기 SINR이 상기 SNR보다 작은 경우, 상기 엑스홀 링크로의 허용 간섭 레벨에 기초하여 상기 최적 송신 빔포밍 벡터를 계산하는 단계

를 포함하는 통신 방법.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 허용 간섭 레벨에 기초하여 상기 최적 송신 빔포밍 벡터를 계산하는 단계는,

상기 자기 간섭의 자기 간섭 레벨이 상기 허용 간섭 레벨보다 작거나 같은 경우, 상기 최적 송신 빔포밍 벡터를 송신 조향 벡터로 결정하는 단계; 및

상기 자기 간섭 레벨이 상기 허용 간섭 레벨보다 큰 경우, 상기 허용 간섭 레벨을 자기 간섭 방향으로 허용치만큼 줄여서 상기 최적 송신 빔포밍 벡터를 계산하는 단계

를 포함하는 통신 방법.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 송신 조향 벡터는 $\mathbf{a}_t(\phi_{t,1})$ 이고, $\phi_{t,1}$ 은 1번째 경로의 AoA(Angle of arrival)인 통신 방법.

청구항 11

제9항에 있어서,

상기 허용치는 $\frac{\sqrt{C_{\max}}}{\left\|\mathbf{w}_r^H \mathbf{H}_s\right\|}$ 이고, $\mathbf{w}_r$ 은 상기 최적 수신 빔포밍 벡터이고, $C_{\max}$은 상기 허용 간섭 레벨이고, $\mathbf{H}_s$ 은 간섭 신호에 대한 채널 행렬인 통신 방법.

청구항 12

무선 링크들을 통해 데이터를 중계하는 무선 네트워크에서의 통신 방법을 수행하는 통신 장치에 있어서,

매시브 안테나;

자기 간섭에 기초하여 상기 무선 네트워크의 처리율을 최대화하기 위한 최적 송신 빔포밍 벡터와 최적 수신 빔포밍 벡터를 결정하는 컨트롤러; 및

상기 최적 송신 빔포밍 벡터와 상기 최적 수신 빔포밍 벡터를 이용하여 상기 매시브 안테나를 통해 송수신 빔포밍을 수행하는 빔포머

를 포함하고,

상기 자기 간섭은 상기 무선 링크들 중에서 어느 하나를 통해 신호를 수신하는 과정에서 상기 무선 링크들 중에서 다른 하나를 통해 사용자에게 송신하는 신호에 의해 발생하는 통신 장치.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 어느 하나는 엑스홀 링크(X-haul link) 또는 백홀 링크(Backhaul link)이고, 상기 다른 하나는 접속 링크(Access link)인 통신 장치.

청구항 14

제12항에 있어서,

상기 무선 네트워크는 이동 엑스홀 네트워크(Mobile X-haul Network(MXN))을 포함하는 계층적 무선 네트워크인 통신 장치.

청구항 15

제12항에 있어서,

상기 무선 링크들은 동일한 대역을 이용하는 독립적인 무선 링크들인 통신 장치.

청구항 16

제15항에 있어서,

상기 동일한 대역은 밀리미터파 대역인 통신 장치.

청구항 17

제13항에 있어서,

상기 컨트롤러는,

상기 접속 링크에서 최대 SNR을 갖도록 초기 송신 빔포밍 벡터를 설정하고, 상기 초기 송신 빔포밍 벡터를 이용하여 상기 최적 수신 빔포밍 벡터를 계산하고, 상기 엑스홀 링크로의 간섭에 기초하여 상기 최적 송신 빔포밍 벡터를 계산하는 통신 장치.

청구항 18

제17항에 있어서,

상기 컨트롤러는,

상기 최적 송신 빔포밍 벡터를 상기 초기 송신 빔포밍 벡터로 업데이트하여 상기 최적 수신 빔포밍 벡터와 상기 최적 송신 빔포밍 벡터를 반복적으로 계산하는 통신 장치.

청구항 19

제17항에 있어서,

상기 컨트롤러는,

상기 엑스홀 링크의 SINR과 상기 접속 링크의 SNR을 비교하고,

상기 SINR이 상기 SNR보다 크거나 같은 경우, 상기 초기 송신 빔포밍 벡터를 상기 최적 송신 빔포밍 벡터로 계산하고,

상기 SINR이 상기 SNR보다 작은 경우, 상기 엑스홀 링크로의 허용 간섭 레벨에 기초하여 상기 최적 송신 빔포밍 벡터를 계산하는 통신 장치.

청구항 20

제19항에 있어서,

상기 컨트롤러는

상기 자기 간섭의 자기 간섭 레벨이 상기 허용 간섭 레벨보다 작거나 같은 경우, 상기 최적 송신 빔포밍 벡터를 송신 조향 벡터로 결정하고,

상기 자기 간섭 레벨이 상기 허용 간섭 레벨보다 큰 경우, 상기 허용 간섭 레벨을 자기 간섭 방향으로 허용치만큼 줄여서 상기 최적 송신 빔포밍 벡터를 계산하는 통신 장치.

청구항 21

제20항에 있어서,

상기 송신 조향 벡터는 $\mathbf{a}_t(\phi_{t,1})$ 이고, $\phi_{t,1}$ 은 1번째 경로의 AoA(Angle of arrival)인 통신 장치.

청구항 22

제20항에 있어서,

상기 허용치는 $\frac{\sqrt{C_{\max}}}{\left\|\mathbf{w}_r^H \mathbf{H}_s\right\|}$ 이고, $\mathbf{w}_r$ 은 상기 최적 수신 빔포밍 벡터이고, $C_{\max}$은 상기 허용 간섭 레벨이고, $\mathbf{H}_s$ 은 간섭 신호에 대한 채널 행렬인 통신 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 아래 실시예들은 이동 엑스홀 네트워크를 포함한 계층적 무선 네트워크에서 밀리미터파 기반 자기 간섭을 고려한 효과적인 통신 방법 및 장치들에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 5G에서는 다양한 형태의 핵심 성능 파라미터를 만족시키기 위해서 단일 네트워크가 아닌 이기종 네트워크(Heterogeneous Network(HetNet))의 도입을 개발하고 있으며, 특히 높은 이동 환경에서 높은 스루풋(throughput)을 내기 위해 스몰 셀(Small cell) 기반 HetNet 연구가 활발히 진행 중이다.

[0003] 최근에, 네트워크 가상화 및 통합 최적화를 위해 이동 엑스홀 네트워크(Mobile X-haul Network(MXN)) 개념이 5G 표준에서 논의되고 있다. MXN에서는 기본적으로 이종 네트워크들이 통합되고, 고집적 스몰 셀들이 높은 트래픽을 효율적으로 처리하는 것이 우선적으로 해결되어야 한다.

[0004] MXN의 구조는 Cloud RAN의 형태의 Core Network(예를 들어, Xhaul Central Unit(XCU))에 매크로 기지국 또는 XDU(Xhaul Distributed Unit)들이 연결되어 있으며, 이러한 XDU에 연결된 (Xhaul link) RRH(Remote Radio Head)를 통해 고집적 스몰 셀들이 형성되어 단말기들에 무선 접속 링크(Access Link)를 통해 서비스를 제공하게 된다. 이때, 엑스홀 링크(Xhaul link)를 유선으로 구현할 경우, 고집적의 스몰 셀을 형성하기 위해서는 높은 설치 비용 및 관리 비용이 야기된다.

[0005] 무선으로 엑스홀 링크(Xhaul link)를 설치하는 것이 바람직한데, 이로 인해 높은 데이터 전송 속도를 가지는 트래픽을 고집적 스몰 셀에서 XCU로 전달하기 위해서는 엑스홀 링크(Xhaul link)의 처리량이 네트워크의 Bottleneck이 된다.

[0006] 이에, MXN에서의 시스템 성능 최적화를 위해서 엑스홀 링크(Xhaul link)에서의 효과적인 전송 방식을 개발할 필요가 있다. 또한, 기존 무선 백홀(backhaul)과 달리 엑스홀(Xhaul)의 XDU들이 이동 환경을 고려하여야 하기 때문에 신뢰도가 높은 엑스홀 링크(Xhaul link)를 구성하여야 한다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 실시예들은 두 무선 링크가 동일한 스펙트럼을 쓰는 in-band 통신에서 두 무선 링크를 동시에 고려하여 빔포밍을 수행하는 기술을 제공할 수 있다.

[0008] 이에, 실시예들은 전체적인 시스템 용량 증대 효과를 얻을 수 있으며, 빔포밍을 통해 자기 간섭을 효과적으로 완화시킬 수 있다.

과제의 해결 수단

[0009] 일 실시예에 따른 무선 링크들을 통해 데이터를 중계하는 무선 네트워크에서의 통신 방법은 자기 간섭에 기초하여 상기 무선 네트워크의 처리율을 최대화하기 위한 최적 송신 빔포밍 벡터와 최적 수신 빔포밍 벡터를 결정하는 단계와, 상기 최적 송신 빔포밍 벡터와 상기 최적 수신 빔포밍 벡터를 이용하여 송수신 빔포밍을 수행하는 단계를 포함하고, 상기 자기 간섭은 상기 무선 링크들 중에서 어느 하나를 통해 신호를 수신하는 과정에서 상기 무선 링크들 중에서 다른 하나를 통해 사용자에게 송신하는 신호에 의해 발생한다.

[0010] 상기 어느 하나는 엑스홀 링크(X-haul link) 또는 백홀 링크(Backhaul link)이고, 상기 다른 하나는 접속 링크(Access link)일 수 있다.

[0011] 상기 무선 네트워크는 이동 엑스홀 네트워크(Mobile X-haul Network(MXN))을 포함하는 계층적 무선 네트워크일 수 있다.

[0012] 상기 무선 링크들은 동일한 대역을 이용하는 독립적인 무선 링크들일 수 있다.

[0013] 상기 동일한 대역은 밀리미터파 대역일 수 있다.

[0014] 상기 결정하는 단계는 상기 접속 링크에서 최대 SNR을 갖도록 초기 송신 빔포밍 벡터를 설정하는 단계와, 상기 초기 송신 빔포밍 벡터를 이용하여 상기 최적 수신 빔포밍 벡터를 계산하는 단계와, 상기 엑스홀 링크로의 간섭에 기초하여 상기 최적 송신 빔포밍 벡터를 계산하는 단계를 포함할 수 있다.

[0015] 상기 최적 수신 빔포밍 벡터를 계산하는 단계와 상기 최적 송신 빔포밍 벡터를 계산하는 단계는 상기 최적 송신 빔포밍 벡터를 상기 초기 송신 빔포밍 벡터로 업데이트하여 반복적으로 수행될 수 있다.

[0016] 상기 최적 송신 빔포밍 벡터를 계산하는 단계는 상기 엑스홀 링크의 SINR과 상기 접속 링크의 SNR을 비교하는 단계와, 상기 SINR이 상기 SNR보다 크거나 같은 경우, 상기 초기 송신 빔포밍 벡터를 상기 최적 송신 빔포밍 벡터로 계산하는 단계와, 상기 SINR이 상기 SNR보다 작은 경우, 상기 엑스홀 링크로의 허용 간섭 레벨에 기초하여 상기 최적 송신 빔포밍 벡터를 계산하는 단계를 포함할 수 있다.

[0017] 상기 허용 간섭 레벨에 기초하여 상기 최적 송신 빔포밍 벡터를 계산하는 단계는 상기 자기 간섭의 자기 간섭 레벨이 상기 허용 간섭 레벨보다 작거나 같은 경우, 상기 최적 송신 빔포밍 벡터를 송신 조향 벡터로 결정하는 단계와, 상기 자기 간섭 레벨이 상기 허용 간섭 레벨보다 큰 경우, 상기 허용 간섭 레벨을 자기 간섭 방향으로 허용치만큼 줄여서 상기 최적 송신 빔포밍 벡터를 계산하는 단계를 포함할 수 있다.

[0018] 상기 송신 조향 벡터는 $\mathbf{a}_t(\phi_{t,1})$ 이고, $\phi_{t,1}$ 은 1번째 경로의 AoA(Angle of arrival)일 수 있다.

[0019] 상기 허용치는 $\frac{\sqrt{C_{\max}}}{\left\|\mathbf{w}_r^H \mathbf{H}_s\right\|}$ 이고, $\mathbf{w}_r$ 은 상기 최적 수신 빔포밍 벡터이고, $C_{\max}$은 상기 허용 간섭 레벨이고, $\mathbf{H}_s$ 은 간섭 신호에 대한 채널 행렬일 수 있다.

[0020] 일 실시예에 따른 무선 링크들을 통해 데이터를 중계하는 무선 네트워크에서의 통신 방법을 수행하는 통신 장치는 매시브 안테나와, 자기 간섭에 기초하여 상기 무선 네트워크의 처리율을 최대화하기 위한 최적 송신 빔포밍 벡터와 최적 수신 빔포밍 벡터를 결정하는 컨트롤러와, 상기 최적 송신 빔포밍 벡터와 상기 최적 수신 빔포밍 벡터를 이용하여 상기 매시브 안테나를 통해 송수신 빔포밍을 수행하는 빔포머를 포함하고, 상기 자기 간섭은 상기 무선 링크들 중에서 어느 하나를 통해 신호를 수신하는 과정에서 상기 무선 링크들 중에서 다른 하나를 통해 사용자에게 송신하는 신호에 의해 발생한다.

[0021] 상기 어느 하나는 엑스홀 링크(X-haul link) 또는 백홀 링크(Backhaul link)이고, 상기 다른 하나는 접속 링크(Access link)일 수 있다.

[0022] 상기 무선 네트워크는 이동 엑스홀 네트워크(Mobile X-haul Network(MXN))을 포함하는 계층적 무선 네트워크일 수 있다.

[0023] 상기 무선 링크들은 동일한 대역을 이용하는 독립적인 무선 링크들일 수 있다.

[0024] 상기 동일한 대역은 밀리미터파 대역일 수 있다.

[0025] 상기 컨트롤러는 상기 접속 링크에서 최대 SNR을 갖도록 초기 송신 빔포밍 벡터를 설정하고, 상기 초기 송신 빔포밍 벡터를 이용하여 상기 최적 수신 빔포밍 벡터를 계산하고, 상기 엑스홀 링크로의 간섭에 기초하여 상기 최적 송신 빔포밍 벡터를 계산할 수 있다.

[0026] 상기 컨트롤러는 상기 최적 송신 빔포밍 벡터를 상기 초기 송신 빔포밍 벡터로 업데이트하여 상기 최적 수신 빔포밍 벡터와 상기 최적 송신 빔포밍 벡터를 반복적으로 계산할 수 있다.

[0027] 상기 컨트롤러는 상기 엑스홀 링크의 SINR과 상기 접속 링크의 SNR을 비교하고, 상기 SINR이 상기 SNR보다 크거나 같은 경우, 상기 초기 송신 빔포밍 벡터를 상기 최적 송신 빔포밍 벡터로 계산하고, 상기 SINR이 상기 SNR보

다 작은 경우, 상기 엑스홀 링크로의 허용 간섭 레벨에 기초하여 상기 최적 송신 빔포밍 벡터를 계산할 수 있다.

[0028] 상기 컨트롤러는 상기 자기 간섭의 자기 간섭 레벨이 상기 허용 간섭 레벨보다 작거나 같은 경우, 상기 최적 송신 빔포밍 벡터를 송신 조향 벡터로 결정하고, 상기 자기 간섭 레벨이 상기 허용 간섭 레벨보다 큰 경우, 상기 허용 간섭 레벨을 자기 간섭 방향으로 허용치만큼 줄여서 상기 최적 송신 빔포밍 벡터를 계산할 수 있다.

[0029] 상기 송신 조향 벡터는 $\mathbf{a}_t(\phi_{t,1})$ 이고, $\phi_{t,1}$ 은 1번째 경로의 AoA(Angle of arrival)일 수 있다.

[0030] 상기 허용치는 $\frac{\sqrt{C_{\max}}}{\|\mathbf{w}_r^H \mathbf{H}_s\|}$ 이고, $\mathbf{w}_r$ 은 상기 최적 수신 빔포밍 벡터이고, $C_{\max}$은 상기 허용 간섭 레벨이고, $\mathbf{H}_s$ 은 간섭 신호에 대한 채널 행렬일 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0031] 도 1은 일 실시예에 따른 무선 네트워크 환경에서의 통신 시스템의 통신 방법을 설명하기 위한 개략적인 데이터 전송 환경을 나타낸다.

도 2는 도 1에 도시된 중계 통신 장치의 개략적인 블록도이다.

도 3은 자기 간섭을 고려한 빔포밍 방법의 기하학적 해석을 설명하기 위한 도면이다.

도 4는 자기 간섭을 고려한 최적 송신 빔포밍 벡터 및 최적 수신 빔포밍 벡터를 결정하는 알고리즘의 일 예를 나타낸다.

도 5는 도 2 내지 도 4에서 설명한 빔포밍 전송 전략을 확장하기 위한 채널 정보 피드백 방법의 일 예를 설명하기 위한 도면이다.

도 6 및 도 7은 실시예에 따른 빔포밍 방법에 대한 시뮬레이션을 통한 성능을 설명하기 위한 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0032] 이하에서, 첨부된 도면을 참조하여 실시예들을 상세하게 설명한다. 그러나, 실시예들에는 다양한 변경이 가해질 수 있어서 특허출원의 권리 범위가 이러한 실시예들에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다. 실시예들에 대한 모든 변경, 균등물 내지 대체물이 권리 범위에 포함되는 것으로 이해되어야 한다.

[0033] 실시예에서 사용한 용어는 단지 설명을 목적으로 사용된 것으로, 한정하려는 의도로 해석되어서는 안된다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서 상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

[0034] 제1 또는 제2 등의 용어를 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 구성요소들은 용어들에 의해서 한정되어서는 안 된다. 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만, 예를 들어 실시예의 개념에 따른 권리 범위로부터 이탈되지 않은 채, 제1 구성요소는 제2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성요소는 제1 구성요소로도 명명될 수 있다.

[0035] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 실시예가 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가지고 있다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥 상 가지는 의미와 일치하는 의미를 가지는 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.

[0036] 또한, 첨부 도면을 참조하여 설명함에 있어, 도면 부호에 관계없이 동일한 구성 요소는 동일한 참조부호를 부여하고 이에 대한 중복되는 설명은 생략하기로 한다. 실시예를 설명함에 있어서 관련된 공지 기술에 대한 구체적

인 설명이 실시예의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명을 생략한다.

[0038] 도 1은 일 실시예에 따른 무선 네트워크 환경에서의 통신 시스템의 통신 방법을 설명하기 위한 개략적인 데이터 전송 환경을 나타낸다.

[0039] 도 1 및 도 2를 참조하면, 통신 시스템(10)은 XCU(100), XDU(200), 중계 통신 장치(300), 및 하나 이상의 단말기(400)를 포함한다.

[0040] 통신 시스템(10)은 무선 링크들을 통해 데이터를 중계하는 무선 네트워크에서 통신을 수행한다. 예를 들어, 무선 네트워크는 이동 엑스홀 네트워크(Mobile X-haul Network(MXN))을 포함하는 계층적 무선 네트워크일 수 있다. MXN은 XDU(200) 사이의 링크들로 구성되고, XDU(200) 링크들의 연결로 이루어지는 MXN 토폴로지(topology)는 스타(star) 및 부분적 메쉬(partial mesh) 구조를 가질 수 있다.

[0041] XCU(100)는 MXN의 토폴로지 및 데이터 경로를 관리하고, 전송 노드인 XDU(200)들을 중앙 집중적으로 제어할 수 있다.

[0042] XDU(200)는 MXN의 멀티홉 무선 송수신을 수행할 수 있다. 예를 들어, XDU(200)는 MXN에서 프론트홀, 미드홀, 백홀 트래픽의 무선 송수신을 담당할 수 있다.

[0043] 중계 통신 장치(300)는 무선 링크들을 통해 XDU(200)와 단말기(400) 사이에 데이터를 중계할 수 있다. 예를 들어, 중계 통신 장치(300)는 커버리지 내 사용자를 서비스하는 모든 형태의 무선국을 통칭하는 것으로서, 소형 기지국, RRH, f-TRP 등으로 구현될 수 있다.

[0044] 무선 링크들은 동일한 대역을 이용하는 독립적인 무선 링크들일 수 있다. 예를 들어, 동일한 대역은 밀리미터파 대역일 수 있다.

[0045] 무선 링크들은 제1 무선 링크 및 제2 무선 링크를 포함할 수 있다. 예를 들어, 제1 무선 링크는 엑스홀 링크(X-haul link) 또는 백홀 링크(Backhaul link)이고, 제2 무선 링크는 접속 링크(Access link)일 수 있다.

[0046] 자기 간섭(Self-interference)은 중계 통신 장치(300)가 제1 무선 링크, 예를 들어 엑스홀 링크를 통해 XDU(200)로부터 신호를 수신하는 과정에서, 제2 무선 링크, 예를 들어 접속 링크를 통해 단말기(400, 예를 들어 사용자)에게 송신하는 신호에 의해 발생할 수 있다.

[0047] 자기 간섭을 효과적으로 완화시키기 위해, 중계 통신 장치(300)는 두 무선 링크가 동일한 스펙트럼을 쓰는 in-band 통신에서 엑스홀 링크(또는 백홀 링크) 및 접속 링크를 동시에 고려하여 빔포밍을 수행할 수 있다. 자원을 직교해서 나눠 쓰는 것보다 대역 점유 기간이 길어져 전체적인 시스템 용량 증대 효과를 얻을 수 있으며, 자기 간섭은 빔포밍을 통해 효과적으로 완화시킬 수 있다.

[0049] 이하에서는 도 2 내지 도 7을 참조하여 자기 간섭을 완화하기 위한 중계 통신 장치의 통신 방법에 대해서 상세히 설명한다.

[0051] 도 2는 도 1에 도시된 중계 통신 장치의 개략적인 블록도이고, 도 3은 자기 간섭을 고려한 빔포밍 방법의 기하학적 해석을 설명하기 위한 도면이고, 도 4는 자기 간섭을 고려한 최적 송신 빔포밍 벡터 및 최적 수신 빔포밍 벡터를 결정하는 알고리즘의 일 예를 나타낸다.

[0052] 도 2 내지 도 4를 참조하면, 중계 통신 장치(300)는 컨트롤러(310), 빔포머(330), 및 매시브 안테나(ANT)를 포함한다.

[0053] 컨트롤러(310)는 자기 간섭에 기초하여 무선 네트워크의 처리율을 최대화하기 위한 최적 송신 빔포밍 벡터와 최적 수신 빔포밍 벡터를 결정할 수 있다.

[0054] 빔포머(330)는 최적 송신 빔포밍 벡터와 최적 수신 빔포밍 벡터를 이용하여 매시브 안테나(ANT)를 통해 송수신 빔포밍을 수행할 수 있다.

[0055] 무선 네트워크의 처리율을 최대화하기, 최적 송신 빔포밍 벡터와 최적 수신 빔포밍 벡터는 통신 과정에서 발생하는 자기 간섭을 고려하여 결정될 수 있다.

[0056] 이를 설명하기 위해 밀리미터파 대역에서 다중안테나 기술 성능 검증을 위해 널리 이용되고 있는 다음과 같은 간단한 채널 모델을 고려할 수 있다.

수학식 1

$$\mathbf{H}=\sqrt{\frac{N_t N_r}{L}}\sum_{l=1}^{L}\alpha_l \mathbf{a}_r\left(\phi_{r,l}\right)\mathbf{a}_t^H\left(\phi_{t,l}\right)$$

[0058]

[0060] 여기서, N_t 와 N_r 은 송신단과 수신단에서의 안테나 개수를 뜻하며, L 은 다중 경로(path)의 개수를 의미한다. $\mathbf{a}_r\left(\phi_{r,l}\right)$ 은 수신단에서의 수신 조향 벡터(Rx steering vector)이며, $\phi_{r,l}$ 는 l 번째 경로의 도래각(Angle of arrival(AoA))을 뜻한다. $\mathbf{a}_r\left(\phi_{r,l}\right)$ 는 수식적으로 수학식 2와 같이 정의된다.

수학식 2

$$\mathbf{a}_r\left(\phi_{r,l}\right)=\frac{1}{\sqrt{N_r}}\left[1,\exp\left(j\frac{2\pi}{\lambda}d\sin\phi_{r,l}\right),\ldots,\exp\left(j\frac{2\pi}{\lambda}\left(N_r-1\right)d\sin\phi_{r,l}\right)\right]$$

[0062]

[0064] 여기서, d 와 λ 는 각각 안테나 간의 간격 및 반송파의 파장이다. $\mathbf{a}_t^H\left(\phi_{t,l}\right)$ 는 송신 조향 벡터(Tx steering vector)이며, $\mathbf{a}_r\left(\phi_{r,l}\right)$ 와 유사하게 정의할 수 있다.

[0065] 도 1에 도시된 바와 같이, in-band full-duplex 환경에서 다운링크 데이터 전송 환경이 고려된다. 이때, 중계 통신 장치(300)는 XDU(200)로부터 M_r 개 안테나를 이용하여 엑스홀 링크를 통해 다운링크 데이터를 수신하고, 동시에 M_t 개 안테나를 이용하여 단말기들(400)에게 접속 링크(Access link)를 통해 다운링크 데이터를 송신한다.

[0066] 실시예에 따른 빔포밍 방법의 설명의 편의를 위해, 접속 링크(Access link)의 단말기들(400)은 자원을 시간이나 주파수 관점에서 서로 직교하게 할당 받았다고 가정한다.

[0067] 단말기(400)는 하나의 안테나를 가지고 있다고 가정한다면, 특정 시간에 활성화된(Active) 단말기(400)가 수신한 신호는 수학식 3과 같이 표현할 수 있다.

수학식 3

[0069] $$y_a = \mathbf{H}_a \mathbf{x}_a + n_a$$

[0071] 여기서, 는 활성화된 단말기(400)에게 중계 통신 장치(300)가 접속 링크를 통해 송신하는 송신 신호이며, n_a 는 백색 가우시안 잡음(Additive White Gaussian Noise(AWGN))이 된다. $\mathbf{H}_a$는 접속 링크의 채널 행렬이며, 수학식 1과 유사하게 수학식 4와 같이 정의할 수 있다.

수학식 4

[0073] $$\mathbf{H}_a = L_a(d_1)\sqrt{\frac{M_t}{L_a}}\sum_{l=1}^{L_a}\alpha_l \mathbf{a}_t^H(\phi_{t,l})$$

[0075] 여기서, $L_a(d_1)$는 거리 d_1 에서 경로 손실(path loss)을 뜻하며, $L_a(d_1) = d_1^{\alpha_{PL,a}/2}$ 로 주어진다. 또한 수학식 4에서 α_l 은 l 번째 경로의 스몰-스케일 페이딩(small-scale fading)을 나타낸다. 참고로, 수학식 3에서 단말기들(400)간에 자원을 직교하도록 할당 받았기 때문에, 단말기들(400)간의 간섭없이 신호를 수신할 수 있으며, 또한 XDU(200)로부터 중계 통신 장치(300)로 송신되는 신호는 밀리미터파 빔포밍을 통해 높은 지향성을 가지고 중계 통신 장치(300)로 송신되며, 밀리미터파 대역의 신호가 가지는 높은 경로 손실로 무시할 수 있어, 수학식 3에 표현하지 않을 수 있다.

[0076] 중계 통신 장치(300)에서 수신되는 신호는 다음 수학식 5과 같이 표현할 수 있다.

수학식 5

[0078] $$y_x = \mathbf{H}_x \mathbf{x}_x + \mathbf{H}_s \mathbf{x}_a + \mathbf{n}_x$$

[0080] 는 XDU(200)가 중계 통신 장치(300)에게 엑스홀 링크(X-haul link)를 통해 전송하는 송신 신호이며, $\mathbf{n}_x$는

$\sigma_n^2\mathbf{I}_{M_r}$ 을 공분산 행렬로 가지는 AWGN이다. 일반적으로 엑스홀-링크의 경우 LoS(Line-of-Sight)를 확보한 상태의 채널을 가지게 되므로, XDU(200)에서 중계 통신 장치(300)까지의 채널 행렬 $\mathbf{H}_x$(즉, 엑스홀 링크의 채널 행렬)은 다음 수학식 6과 같이 모델링할 수 있다.

수학식 6

[0082] $$\mathbf{H}_x = L_x(d_0)\sqrt{M_{t,x}M_r}\alpha_0\mathbf{a}_r(\phi_{r,0})\mathbf{a}_t^H(\phi_{t,0})$$

[0084] 여기서, $L_x(d_0)$ 는 거리 d_0 에서 경로 손실을 뜻하며, $L_x(d_0)=d_0^{\alpha_{PL,x}/2}$ 로 주어진다. 또한, $\mathbf{H}_s$는 In-band Full duplex 송신에 의해 발생하는 간섭 신호에 대한 채널 행렬이다. 수학식 5를 참고하면, 엑스홀 링크 다운링크 신호를 가 수신하는데 있어서 중계 통신 장치(300)가 접속 링크를 통해 단말기(400)로 송신하는 신호가 간섭 신호로 작용한다. 즉, $\mathbf{H}_s$ 는 In-band Full duplex 송신을 통해 스펙트럼을 공유해서 동시에 송수신하기 때문에 생기는 간섭 신호에 대한 채널 행렬이다.

[0085] 이때, 엑스홀 링크에 대한 채널에서의 달성 가능한 레이트(Achievable rate)은 다음 수학식 7과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 7

[0087] $$R_x = \log\left(1+\frac{\left|\mathbf{w}_r^H\mathbf{H}_0\mathbf{w}_t\right|^2}{\sigma_n^2+\left|\mathbf{w}_r^H\mathbf{H}_s\mathbf{f}_t\right|^2}\right)$$
$$= \log\left(1+\frac{M_rL_x^2(d_0)\left|\alpha_0\mathbf{w}_r^H\mathbf{a}_r(\phi_{r,0})\right|^2}{\sigma_n^2+\left|\mathbf{w}_r^H\mathbf{H}_s\mathbf{f}_t\right|^2}\right)$$

[0089] 수학식 7에서, 두번째 등호는 XDU(200)에서의 최적 송신 빔포밍 벡터는 $\mathbf{w}_t=\mathbf{a}_t(\phi_{t,0})$ 으로 주어지므로 유도된다. 또한, 접속 링크에 대한 채널에서의 달성 가능한 레이트(Achievable rate)은 수학식 8과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 8

[0091]
$$R_a = \log\left(1 + \frac{\left|\mathbf{H}_a \mathbf{f}_t\right|^2}{\sigma_n^2}\right)$$

[0093] 여기서, $\mathbf{f}_t$ 은 중계 통신 장치(300)에서 단말기(400)로 전송하기 위한 신호를 만들 때 필요한 송신 빔포밍 벡터이고, $\mathbf{w}_r$ 은 엑스홀 링크를 통해 XDU(200)에서 송신한 신호를 중계 통신 장치(300)에서 수신할 때 필요한 수신 빔포밍 벡터이다.

[0094] 이때, 이동 엑스홀 네트워크의 처리율(또는 달성 가능한 레이트)은 엑스홀 링크와 접속 링크의 채널 용량 중에 최소값에 의해 결정되므로, 시스템 처리율을 최대화 하기 위한 최적화 문제는 다음과 같이 세울 수 있다.

수학식 9

[0096]
$$(P1)\ \underset{\mathbf{f}_t, \mathbf{w}_r}{\text{maximize}}\ \min\left(R_x, R_a\right)$$
$$\text{subject to}\ \left\|\mathbf{f}_t\right\| = 1,\ \left\|\mathbf{w}_r\right\| = 1$$

[0098] (P1)의 경우 비-컨벡스(Non-convex)이고, $\mathbf{f}_t$ 가 R_x 과 R_a 모두에 영향을 미치기 때문에, 닫힌 해가 존재하지 않는다.

[0099] 최적화된 $\mathbf{f}_t$ 와 $\mathbf{w}_r$ 에 대한 통찰력을 얻기 위해, 접속 링크에 해당하는 채널이 Rank-one이라 가정한다. 예를 들어, 접속 링크에 해당하는 채널이 LoS가 확보되어 하나의 경로를 가지는 것으로 모델링된 것일 수 있다.

[0100] 즉, $L_a = 1$ 이라 두면, 수학식 8은 다음 수학식 10과 같은 수식으로 표현할 수 있다.

수학식 10

[0102]
$$R_a = \log\left(1 + \frac{M_t L_a^2(d_1)\left|\alpha_1 \mathbf{a}_t^H\left(\phi_{t,1}\right)\mathbf{f}_t\right|^2}{\sigma_n^2}\right)$$

[0104] 따라서, 최적화 문제 (P1)은 다음 수학식 11과 같이 변환될 수 있다.

수학식 11

$$(P1-1)\ \underset{\mathbf{f}_t,\mathbf{w}_r}{\text{maximize}}\ \min\left(\frac{K_x\left|\mathbf{w}_r^H\mathbf{a}_r\left(\phi_{r,0}\right)\right|^2}{\sigma_n^2+\left|\mathbf{w}_r^H\mathbf{H}_s\mathbf{f}_t\right|^2},\frac{K_a\left|\mathbf{a}_t^H\left(\phi_{t,1}\right)\mathbf{f}_t\right|^2}{\sigma_n^2}\right)$$

$$\text{subject to}\ \left\|\mathbf{f}_t\right\|=1,\ \left\|\mathbf{w}_r\right\|=1$$

[0106]

[0108] 여기서, $K_x=M_rL_x^2\left(d_0\right)\left|a_0\right|^2,\ K_a=M_tL_a^2\left(d_1\right)\left|a_1\right|^2$ 로 주어진다. 참고로, $\frac{K_x\left|\mathbf{w}_r^H\mathbf{a}_r\left(\phi_{r,0}\right)\right|^2}{\sigma_n^2+\left|\mathbf{w}_r^H\mathbf{H}_s\mathbf{f}_t\right|^2}$ 은 엑스홀 링크의 SINR(Signal to Interference-plus-Noise Ratio)을 나타내며, $\frac{K_a\left|\mathbf{a}_t^H\left(\phi_{t,1}\right)\mathbf{f}_t\right|^2}{\sigma_n^2}$ 은 접속 링크의 SNR(Signal to Noise Ratio)이다. $\mathbf{f}_t$ 는 SINR과 SNR에 모두 영향을 미치므로 $(P1-1)$ 역시 닫힌 해가 존재하지 않는다.

[0109] 따라서 $(P1-1)$ 의 최적해를 구하기 위해 문제 $(P1-1)$ 을 두 가지 부문제로 나누어서 Iterative방식을 취할 수 있다.

[0110] $\mathbf{f}_t$ 가 주어졌을 때, 첫번째 부문제는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 12

$$(P1-1_a)\ \underset{\mathbf{w}_r}{\text{maximize}}\ \frac{K_x\left|\mathbf{w}_r^H\mathbf{a}_r\left(\phi_{r,0}\right)\right|^2}{\sigma_n^2+\left|\mathbf{w}_r^H\mathbf{H}_s\mathbf{f}_t\right|^2}$$

$$\text{subject to}\ \left\|\mathbf{w}_r\right\|=1$$

[0112]

[0114] $\mathbf{w}_r$ 가 주어졌을 때, 두번째 부문제는 다음과 같다.

수학식 13

[0116]
$$(P1-1_b)\ \underset{\mathbf{f}_t}{\text{maximize}}\ \frac{K_a\left|\mathbf{a}_t^H(\phi_{t,1})\mathbf{f}_t\right|^2}{\sigma_n^2}$$
$$\text{subject to}\ \|\mathbf{f}_t\|=1,\ \left|\mathbf{w}_r^H\mathbf{H}_s\mathbf{f}_t\right|^2\le C_{\max}$$

[0118] 이때 제약 조건의 부등식은 엑스홀 링크 방향으로 간섭량을 조절하기 위해 도입하였다.

[0119] 부문제 $(P1-1_a)$ 의 최적해는 다음과 같이 주어진다.

수학식 14

[0121]
$$\mathbf{w}_r=\frac{1}{C}\left(\sigma_n^2\mathbf{I}_{M_t}+\mathbf{H}_s\mathbf{f}_t\mathbf{f}_t^H\mathbf{H}_s^H\right)^{-1}\mathbf{a}_r(\phi_{r,0})$$

[0123] 여기서, $C=\left\|\left(\sigma_n^2\mathbf{I}_{M_t}+\mathbf{H}_s\mathbf{f}_t\mathbf{f}_t^H\mathbf{H}_s^H\right)^{-1}\mathbf{a}_r(\phi_{r,0})\right\|$ 로 주어지는 정규화 파라미터이다. C 는 $\mathbf{w}_r$ 의 크기가 1이 되도록 하기 위한 정규화 상수이다.

[0124] 또한, $(P1-1_b)$ 의 최적해는 다음 수학식 15과 같이 유도될 수 있다.

수학식 15

[0126]
$$\mathbf{f}_t=\alpha\mathbf{g}_s+\beta\mathbf{a}_t^{\perp}(\phi_{t,1})$$

[0128] 여기서, $\mathbf{g}_s=\frac{1}{\left\|\mathbf{H}_s^H\mathbf{w}_r\right\|}\mathbf{H}_s^H\mathbf{w}_r$ 이고 $\mathbf{a}_t^{\perp}(\phi_{t,1})=\frac{1}{\left\|(\mathbf{I}-\mathbf{g}_s\mathbf{g}_s^H)\mathbf{a}_t(\phi_{t,1})\right\|}(\mathbf{I}-\mathbf{g}_s\mathbf{g}_s^H)\mathbf{a}_t(\phi_{t,1})$ 이다. , $\mathbf{g}_s$ 는 중계 통신 장치(300)에서 XDU(200)로부터 신호를 수신하는데 자기 간섭을 발생시키는 방향을 가리키는 방향 벡터를 의미할 수 있다. $\mathbf{a}_t^{\perp}(\phi_{t,1})$ 는 $\mathbf{a}_t$ 를 $\mathbf{g}_s$ 방향에 직교한 성분으로 표현된 방향 벡터를 의미할 수 있다.

[0129] 즉, 수학식 15의 물리적인 의미를 살펴보면, $(P1-1_b)$ 를 위한 최적 빔포밍 벡터 $\mathbf{f}_t$ 는 $\mathbf{g}_s$ 와 $\mathbf{a}_t(\phi_{t,1})$ 를 $\mathbf{g}_s$ 의 Null space로 투영시킨 벡터로 이루어진 공간에 존재한다. 수학식 15을 수학식 13 $(P1-1_b)$ 에 대입하면, 문제 $(P1-1_b)$ 는 다음 수학식 16과 같이 변환할 수 있다.

수학식 16

$$(P1-1_b') \quad \underset{\alpha,\beta}{\text{maximize}} \frac{K_a\left|\alpha a_{\mathbf{a}_t}+\beta b_{\mathbf{a}_t}\right|^2}{\sigma_n^2}$$
$$\text{subject to } |\alpha|^2+|\beta|^2=1,\ \left\|\mathbf{w}_r^H\mathbf{H}\right\||\alpha|^2 \le C_{\max}$$

[0131]

[0133] 여기서, $\mathbf{a}_t(\phi_{t,1})=a_{\mathbf{a}_t}\mathbf{g}_S+b_{\mathbf{a}_t}\mathbf{a}_t^{\perp}(\phi_{t,1})$ 로 표현된다. $a_{\mathbf{a}_t}$ 는 $\mathbf{a}_t$ 가 $\mathbf{g}_s$ 성분을 얼마나 가지고 있는지를 나타내는 값이며, $b_{\mathbf{a}_t}$ 는 $\mathbf{a}_t$ 가 $\mathbf{a}_t^{\perp}(\phi_{t,1})$ 성분을 얼마나 가지고 있는 나타내는 값이다.

[0134] 또한, $(P1-1_b')$ 의 최적해는 수학식 17과 같이 주어진다.

수학식 17

$$(\alpha,\beta)=\begin{cases}\left(\dfrac{a_{\mathbf{a}_t}}{\sqrt{|a_{\mathbf{a}_t}|^2+|b_{\mathbf{a}_t}|^2}},\dfrac{b_{\mathbf{a}_t}}{\sqrt{|a_{\mathbf{a}_t}|^2+|b_{\mathbf{a}_t}|^2}}\right), & \text{for } \dfrac{|a_{\mathbf{a}_t}|^2\left\|\mathbf{w}_r^H\mathbf{H}_s\right\|^2}{|a_{\mathbf{a}_t}|^2+|b_{\mathbf{a}_t}|^2}\le C_{\max}\\ \left(\dfrac{\sqrt{C_{\max}}}{\left\|\mathbf{w}_r^H\mathbf{H}_s\right\|}\dfrac{a_{\mathbf{a}_t}}{|a_{\mathbf{a}_t}|},\sqrt{1-\dfrac{C_{\max}}{\left\|\mathbf{w}_r^H\mathbf{H}_s\right\|^2}}\dfrac{b_{\mathbf{a}_t}}{|b_{\mathbf{a}_t}|}\right), & \text{otherwise}\end{cases}$$

[0136]

[0138] 위에서 $\dfrac{|a_{\mathbf{a}_t}|^2\left\|\mathbf{w}_r^H\mathbf{H}_s\right\|^2}{|a_{\mathbf{a}_t}|^2+|b_{\mathbf{a}_t}|^2}\le C_{\max}$ 인 경우, 최적 $\mathbf{f}_t$ 는 수학식 18과 같이 주어진다.

수학식 18

[0140]
$$\mathbf{f}_t = \frac{a_{\mathbf{a}_t}}{\sqrt{\left|a_{\mathbf{a}_t}\right|^2 + \left|b_{\mathbf{a}_t}\right|^2}}\mathbf{g}_S + \frac{b_{\mathbf{a}_t}}{\sqrt{\left|a_{\mathbf{a}_t}\right|^2 + \left|b_{\mathbf{a}_t}\right|^2}}\mathbf{a}_t^{\perp}\left(\phi_{t,1}\right) = \mathbf{a}_t\left(\phi_{t,1}\right)$$

[0142] 그렇지 않을 경우, 최적 $\mathbf{f}_t$ 는 수학식 19과 같다.

수학식 19

[0144]
$$\mathbf{f}_t = \frac{\sqrt{C_{\max}}}{\left\|\mathbf{w}_r^H\mathbf{H}_S\right\|}\frac{a_{\mathbf{a}_t}}{\left|a_{\mathbf{a}_t}\right|}\mathbf{g}_S + \sqrt{1-\frac{C_{\max}}{\left\|\mathbf{w}_r^H\mathbf{H}_S\right\|^2}}\frac{b_{\mathbf{a}_t}}{\left|b_{\mathbf{a}_t}\right|}\mathbf{a}_t^{\perp}\left(\phi_{t,1}\right)$$

[0146] 여기서, $C_{\max}$ 는 엑스홀 링크가 허용하는 간섭 레벨, 즉 허용 간섭 레벨을 의미하고, $\frac{\left|a_{\mathbf{a}_t}\right|^2\left\|\mathbf{w}_r^H\mathbf{H}_S\right\|^2}{\left|a_{\mathbf{a}_t}\right|^2+\left|b_{\mathbf{a}_t}\right|^2}$ 은 자기 간섭의 자기 간섭 레벨을 의미한다.

[0147] 도 3에 도시된 바와 같이, 자기 간섭 레벨이 허용 간섭 레벨보다 작을 경우(CASE 1), 최적의 빔포밍 전략은 $\mathbf{a}_t\left(\phi_{t,1}\right)$ 쪽으로 Maximal ratio transmission임을 확인할 수 있다. 또한, 자기 간섭이 허용 간섭 레벨보다 클 경우(CASE 2), 자기 간섭 방향으로의 간섭 레벨을 허용치($\frac{\sqrt{C_{\max}}}{\left\|\mathbf{w}_r^H\mathbf{H}_S\right\|}$) 만큼 줄여서 빔포밍하는 것이 최적의 전송 전략임을 확인할 수 있다.

[0148] 상술한 내용을 바탕으로 최적의 $\mathbf{w}_r$ 와 $\mathbf{f}_t$ 를 구하는 Iterative algorithm은 도 4에 도시된 알고리즘과 같이 정리할 수 있다.

[0149] 먼저, 컨트롤러(310)는 $\mathbf{f}_t$ 를 접속 링크에서 최대 SNR을 가질 수 있는 MRT기법을 취하도록 초기화한 뒤, Iterative algorithm을 시작할 수 있다. 즉, 컨트롤러(310)는 $\mathbf{f}_t$ 를 접속 링크에서 최대 SNR을 갖도록 초기 송신 빔포밍 벡터를 설정할 수 있다. 컨트롤러(310)는 초기 송신 빔포밍 벡터를 이용하여 $\mathbf{w}_r$ 을 계산할 수 있다.

[0150] 이후에, 컨트롤러(310)는 엑스홀 링크로의 간섭에 기초하여 $\mathbf{f}_t$ 을 계산할 수 있다. 예를 들어, 컨트롤러(310)는 엑스홀 링크의 SINR과 상기 접속 링크의 SNR을 비교하여 $\mathbf{f}_t$ 을 계산할 수 있다.

[0151] SINR이 SNR보다 크거나 같은 경우, 컨트롤러(310)는 초기 송신 빔포밍 벡터를 $\mathbf{f}_t$ 로 계산하고, 알고리즘을 종료할 수 있다.

[0152] SINR이 상기 SNR보다 작은 경우, 컨트롤러(310)는 알고리즘을 종료하지 않고 $\mathbf{f}_t$ 를 계산할 수 있다. 이때, 컨트롤러(310)는 $\mathbf{f}_t$ 을 계산하기 위해 엑스홀 링크로의 허용 간섭 레벨을 고려할 수 있다.

[0153] 자기 간섭의 자기 간섭 레벨이 허용 간섭 레벨보다 작거나 같은 경우, 컨트롤러(310)는 $\mathbf{f}_t$ 를 $\mathbf{a}_t(\phi_{t,1})$ (송신 조향 벡터)로 결정할 수 있다.

[0154] 자기 간섭 레벨이 허용 간섭 레벨보다 큰 경우, 컨트롤러(310)는 허용 간섭 레벨을 자기 간섭 방향으로 허용치 ($\frac{\sqrt{C_{\max}}}{\|\mathbf{w}_r^H \mathbf{H}_s\|}$)만큼 줄여서 $\mathbf{f}_t$ 를 계산할 수 있다.

[0155] 송신 빔포밍 벡터와 수신 빔포밍 벡터를 계산하는 과정에서 서로 영향을 주기 때문에, 컨트롤러(310)는 iteration 동작을 통해 반복적인 업데이트 과정을 수행하여 최적 송신 빔포밍 벡터와 최적 수신 빔포밍 벡터를 계산할 수 있다. 도 4에 도시된 알고리즘과 같이, 컨트롤러(310)는 step 4에서 계산된 최적 송신 빔포밍 벡터를 초기 송신 빔포밍 벡터로 업데이트하여 step 2 내지 step 4를 반복적으로 수행할 수 있다.

[0156] 즉, 컨트롤러(310)는 엑스홀 링크의 간섭을 허용하고도 엑스홀 링크의 채널 용량이 크다면, 최적의 해를 찾았다 판단하고 알고리즘을 종료하는 반면, 그렇지 않으면 최적의 해를 찾을 때까지 반복적으로 위 과정을 수행한다.

[0158] 도 5는 도 2 내지 도 4에서 설명한 빔포밍 전송 전략을 확장하기 위한 채널 정보 피드백 방법의 일 예를 설명하기 위한 도면이다.

[0159] 도 2 내지 도 4에서는 접속 링크에 해당하는 채널이 Rank-one ($L_a = 1$)이라 가정하고 중계 통신 장치(300)의 빔포밍 전송 전송 전략을 설명하였다.

[0160] 실시예에 따른 빔포밍 전송 전략은 이에 한정되는 것은 아니며, 일반적인 Rank-deficient channel()에 대해서도 확장이 가능할 수 있다.

[0161] 이를 위해, 단말기(400)는 CDI($\overline{\phi}_{t,1}$) 및 CQI(K_a, 또는 K_a 의 추정치)를 중계 통신 장치(300)로 피드백할 수 있다.

[0162] 도 5에 도시된 바와 같이, 단말기(400)에서 CDI(Channel Direction Indicator) 정보를 추정하기 위해, 단말기(400)는 수학식 20와 같이 $\overline{\phi}_{t,1}$ (CDI)를 추정하여 feedback한다.

수학식 20

[0164] $$\bar{\phi}_{t,1} = \max_{\phi_{t,1}} \left\| \mathbf{H}_a \mathbf{a}\left(\phi_{t,1}\right) \right\|$$

[0166] 또한, CQI(Channel Quality Indicator)의 경우 Analog feedback방식 등으로 중계 통신 장치(400)에서 $K_a = \|\mathbf{H}_a\|^2$ 를 쉽게 추정할 수 있으며, 중계 통신 장치(400)에서는 $\mathbf{H}_a = K_a \mathbf{a}_t\left(\bar{\phi}_{t,1}\right)$ 이라 가정하고, 최적의 $\mathbf{w}_r$ 와 $\mathbf{f}_t$ 를 구하는 Iterative algorithm을 적용할 수 있다.

[0167] 도 5에서, 필요한 피드백 비트의 수는 송신 안테나 개수에 비례해서 수학식 21과 같이 설정한다.

수학식 21

[0169] $$N_b = \log_2 M_{t,A} - K_b$$

[0171] 즉, 안테나의 개수($M_{t,A}$)가 증가함에 따라 log $\log_2 M_{t,A}$ 에 비례해서 피드백 비트 수를 증가시키면 채널을 완벽하게 알 때에 비해 성능 저하가 없게 된다. 이때, K_b 는 채널 정보가 완벽할 때 대비 성능 간격(gap)에 따라 결정되는 상수이다.

[0173] 도 6 및 도 7은 실시예에 따른 빔포밍 방법에 대한 시뮬레이션을 통한 성능을 설명하기 위한 그래프이다.

[0174] 실시예에 따른 빔포밍 방법에 대한 성능을 검증하기 위해 Matlab을 통해 모의 실험을 수행하였다. XDU(200)의 Tx안테나 개수는 $M_{t,x} = 36$ 으로 가정하였고, 중계 통신 장치(300)의 송수신 안테나 개수는 각각 $M_t = M_r = 36$ 으로 정의하였다.

[0175] $P_{Tx} = 1$ 이며, 중계 통신 장치(300)에서의 수신 SNR은 $SNR = \frac{L_x(d_0) P_{Tx}}{\sigma_n^2}$ 로 정의된다. 그리고 X-haul link의 경우 LoS 채널 환경을 확보하였다는 가정을 하고 송수신기 간 거리를 350m로 정의하였다. 이에 따른 path loss는 $L_x(d_0 = 350) = 2.9 \times 10^{-3}$ 으로 주어진다. $L_a(d_1 = 50) = 2 \times 10^{-2}$ 이면서 Rank-deficient channel에서의 성능을 비교하였다.

[0176] 도 6은 실실예에 따른 빔포밍 방법과 기존의 Access link만 고려한 mmWave기반 beamspace MIMO기술의 Achievable rate 성능을 SNR에 따라 비교한 것이다.

[0177] 도 6에서에서 실시예에 따른 빔포밍 방법이 기존의 기술에 비해 1bps/Hz 정도 더 우수함을 확인할 수 있다. 즉, 접속 링크의 채널 상태가 엑스홀 링크에 비해 좋을 경우, 전체 시스템의 전송 속도에 엑스홀 링크에서 Bottleneck이 걸리기 때문에 접속 링크의 자기 간섭을 통제하여 엑스홀 링크의 성능을 개선 시키는 것이 전체

시스템 개선에 중요한 영향을 미치게 된다.

[0178] 도 7은 안테나 개수에 따른 달성 가능한 레이트 성능을 비교한 그래프이다. 참고로 중계 통신 장치(300)의 송신단에서 완벽하게 채널을 알 때와, 피드백 비트수를 수학식 20와 같이 $N_b = \log_2 M_{t,A} - K_b$ 로 두었을 때의 성능을 비교하였다. 여기서 $R_{loss} = 0.1$ 으로 설정하였으며 도 7에서 $K_b = \frac{1}{2}\log_2\left(\left(\frac{2}{\pi}\right)^2\left(\frac{3}{\pi}\right)^2\right) - \frac{1}{2}\log_2(R_{loss})$ 로 정의한다.

[0179] 또한 성능 비교를 위해 $N_b = \frac{1}{2}\log_2 M_{t,A} - K_b$ 로 설정하였을 때와 $N_b = 4$ 로 안테나 개수와 상관없이 설정하였을 때의 성능을 비교하였다. 도 7에서 확인할 수 있듯이 중계 통신 장치(300)가 채널을 완벽하게 알 때에는 안테나의 개수가 증가함에 따라 전송 속도가 증가함을 확인할 수 있다. 참고로 안테나 개수가 증가함에 따라 전송 속도 증가폭은 줄어들게 된다. 그리고 수학식 20와 같이 Feedback비트수를 결정할 때에는 채널을 완벽하게 알 때와 거의 비슷한 성능을 내는 것을 확인할 수 있다.

[0180] 반면, $N_b = \frac{1}{2}\log_2 M_{t,A} - K_b$ 로 설정하였을 때에는 안테나 개수가 증가함에 따라 어느 정도 성능은 개선되나 안테나 개수가 40개보다 많아질 때, 성능이 오히려 감소함을 알 수 있다. 이는 안테나 개수가 증가함에 따라 보다 Sharp한 형태의 빔을 형성할 수 있어 자기 간섭을 줄일 수 있으나, Sharpness가 증가할수록, 바라보는 각도가 일치하지 않게 되면 그만큼 큰 beamforming gain loss가 생기게 되므로 이에 비례해서 AoD의 quantization error를 줄여야 성능 loss가 줄어들게 된다. 따라서 $N_b = \frac{1}{2}\log_2 M_{t,A} - K_b$ 로 설정하였을 경우, 안테나의 개수가 증가함에 따라 Rate loss가 커지게 되어 도 7과 같은 그래프를 얻을 수 있게 된다.

[0182] 이 출원은 2017년도 정보(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구 결과이다(No.2014-0-00282, 초연결 스마트 서비스를 위한 5G 이동통신 핵심기술 개발).

[0184] 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.

[0185] 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 매

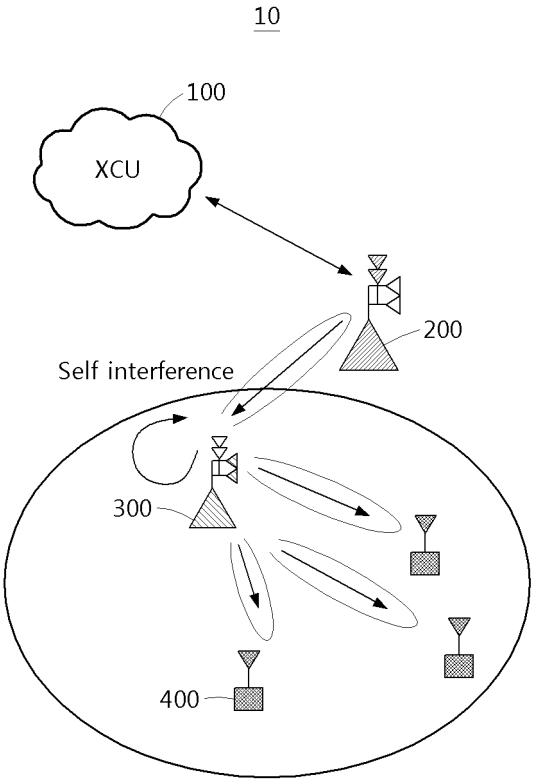
체에 저장될 수 있다.

[0186] 이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 도면에 의해 설명되었으나, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기를 기초로 다양한 기술적 수정 및 변형을 적용할 수 있다. 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.

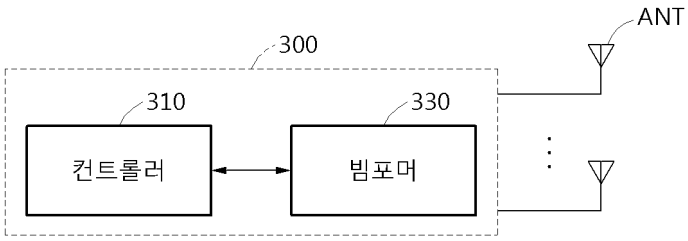
[0187] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 청구범위의 범위에 속한다.

도면

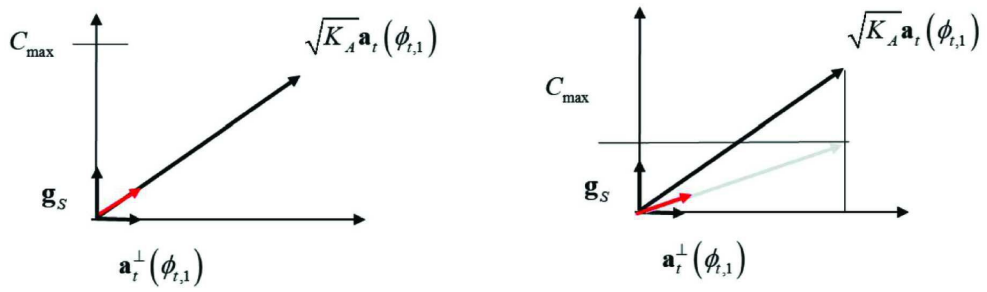
도면1



도면2



도면3



< CASE 1 > < CASE 2 >

도면4

Algo. 1. Iterative algorithm for $\mathbf{f}_t$ and $\mathbf{w}_r$:

1) Set $C_{\max} = \|\mathbf{H}_s\|^2$ and $\bar{\mathbf{f}}_1 = \mathbf{a}_t(\phi_{t,1})$.

2) For a given $\bar{\mathbf{f}}_1$, the optimal $\bar{\mathbf{w}}_r$ is computed as

$$\bar{\mathbf{w}}_r = \frac{1}{C}\left(\sigma_n^2\mathbf{I}_{M_t} + \mathbf{H}_S\bar{\mathbf{f}}_1\bar{\mathbf{f}}_1^H\mathbf{H}_S^H\right)^{-1}\mathbf{a}_r(\phi_{r,0}).$$

3) If $\dfrac{K_x\left|\bar{\mathbf{w}}_r^H\mathbf{a}_r(\phi_{r,0})\right|^2}{\sigma_n^2 + \left\|\bar{\mathbf{w}}_r^H\mathbf{H}_S\mathbf{f}_1\right\|^2} \geq \dfrac{K_a\left|\mathbf{a}_t^H(\phi_{t,1})\mathbf{f}_1\right|^2}{\sigma_n^2}$ or $C_{\max} < 0$,

the optimal solution set is $(\bar{\mathbf{f}}_1, \bar{\mathbf{w}}_r)$ and terminate the algorithm.

4) Otherwise,

a) set $C_{\max} = C_{\max} - \Delta C$ with a pre-determined step size ΔC

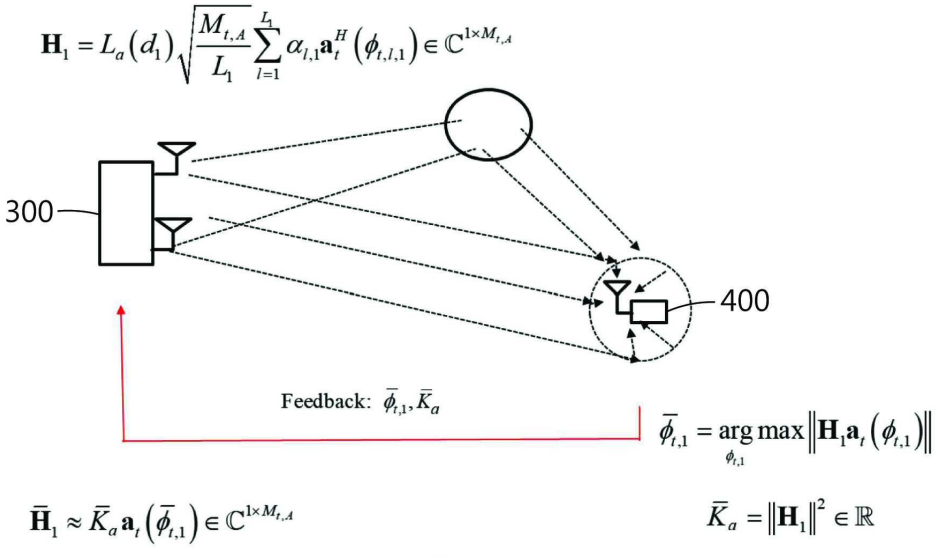
b) If $\dfrac{\left|a_{\mathbf{a}_t}\right|^2\left\|\mathbf{w}_r^H\mathbf{H}_s\right\|^2}{\left|a_{\mathbf{a}_t}\right|^2 + \left|b_{\mathbf{a}_t}\right|^2} \leq C_{\max}$, set $\bar{\mathbf{f}}_1 = \mathbf{a}_t(\phi_{t,1})$.

c) Else, set $\bar{\mathbf{f}}_t$ as:

$$\bar{\mathbf{f}}_t = \frac{\sqrt{C_{\max}}}{\left\|\mathbf{w}_r^H\mathbf{H}_s\right\|}\frac{a_{\mathbf{a}_t}}{\left|a_{\mathbf{a}_t}\right|}\mathbf{g}_s + \sqrt{1 - \frac{C_{\max}}{\left\|\mathbf{w}_r^H\mathbf{H}_s\right\|^2}}\frac{b_{\mathbf{a}_t}}{\left|b_{\mathbf{a}_t}\right|}\mathbf{a}_t^{\perp}(\phi_{t,1})$$

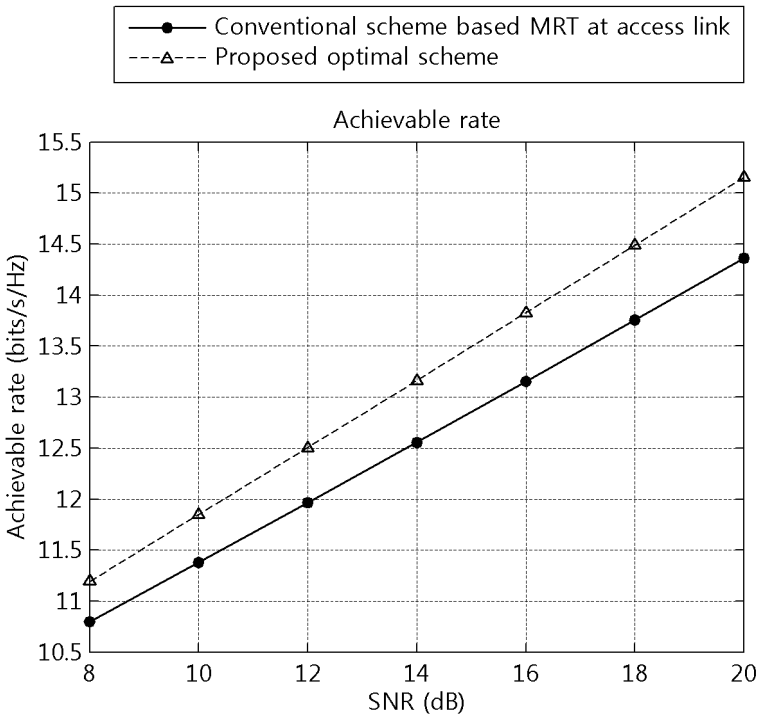
d) Then, go to Step 2).

도면5



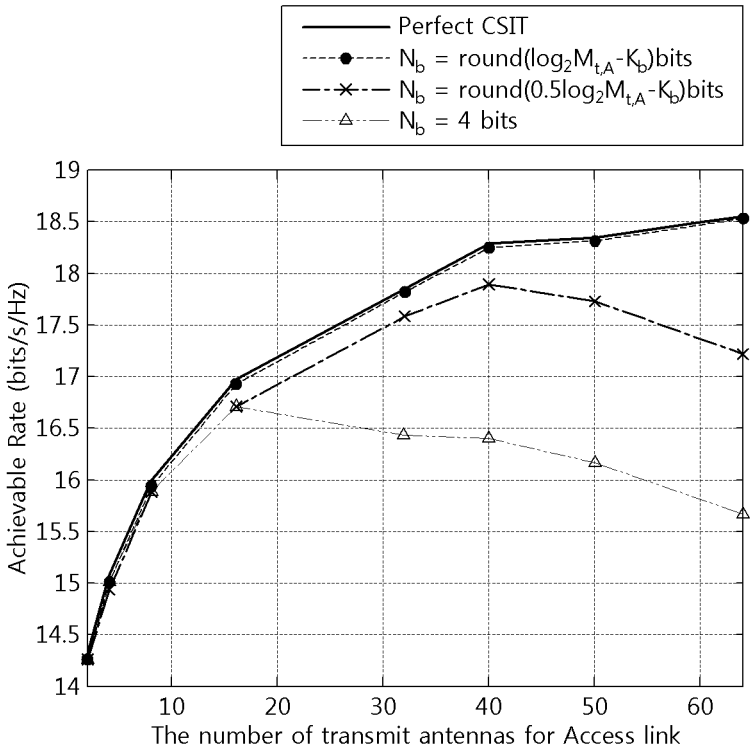
< Feedback 구조 >

도면6



$L_a(d_1=50)=2\times10^{-2}$ 환경에서의 Achievable rate 비교
(Rank-one channel)

도면7



$L_a(d_1=50)=2\times10^{-2}$ 환경에서 안테나 개수에 따른 Achievable rate 비교