



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년12월16일
(11) 등록번호 10-2192054
(24) 등록일자 2020년12월10일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04B 7/06 (2017.01) H04B 7/04 (2017.01)
(52) CPC특허분류
H04B 7/0695 (2013.01)
H04B 7/0413 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2015-0150902
(22) 출원일자 2015년10월29일
심사청구일자 2019년04월18일
(65) 공개번호 10-2017-0049952
(43) 공개일자 2017년05월11일
(56) 선행기술조사문헌
KR1020130127376 A*
KR1020140145438 A*
KR1020140128658 A
US20110291891 A1
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
에스케이텔레콤 주식회사
서울특별시 중구 을지로 65 (을지로2가)
연세대학교 산학협력단
서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)
(72) 발명자
나민수
서울특별시 중구 을지로 65 (을지로2가, SKT 타워)
최창순
서울특별시 중구 을지로 65 (을지로2가, SKT 타워)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인 남앤남

전체 청구항 수 : 총 7 항

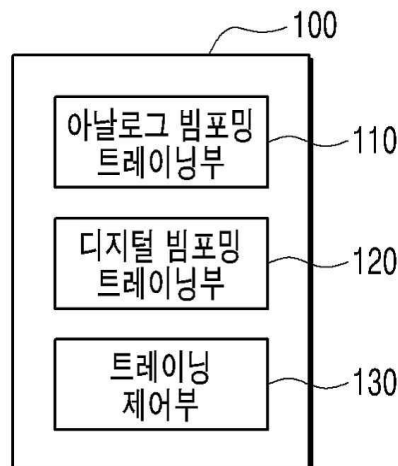
심사관 : 양찬호

(54) 발명의 명칭 하이브리드 빔 포밍 송신장치 및 하이브리드 빔 포밍 방법

(57) 요약

본 발명은, 하이브리드 빔 포밍 기술을 사용하는 MIMO 시스템에서, 아날로그 빔 포밍 시 사용되는 안테나 수에 따른 전송용량 이득 및 지연 문제 간의 트레이드 오프 관계를 고려하여 최적의 빔 포밍을 운영할 수 있는 하이브리드 빔 포밍 송신장치 및 하이브리드 빔 포밍 방법을 개시하고 있다.

대표도 - 도3



(52) CPC특허분류

H04B 7/0632 (2013.01)

H04B 7/0691 (2013.01)

(72) 발명자

박해성

서울특별시 중구 을지로 65 (을지로2가, SKT 타워)

홍대식

서울특별시 강서구 우장산로 8, 101동 1105호 (내
발산동, 우장산월드메르디앙아파트)

왕한호

경기도 성남시 분당구 중앙공원로 17, 315동 102호
(서현동, 시범단지한양아파트)

이권중

서울특별시 금천구 독산로78다길 52, 101동 902호
(독산동, 독산동동아아파트)

김준기

서울특별시 광진구 독섬로36길 75, 101동 304호 (자양동, 강변아이파크)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	R0101-15-244
부처명	미래창조과학부
과제관리(전문)기관명	정보통신기술진흥센터
연구사업명	방송통신산업기술개발
연구과제명	초연결 스마트 모바일 서비스를 위한 5G 이동통신 핵심기술 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	한국전자통신연구원
연구기간	2015.03.01 ~ 2016.02.29

명세서

청구범위

청구항 1

디지털 빔 포밍 및 아날로그 빔 포밍이 결합된 하이브리드 빔 포밍 송신장치에 있어서,

상기 송신장치 및 특정 수신장치 사이에 추정된 채널 변화에 따라 아날로그 안테나 개수를 상이하게 결정하여, 상기 특정 수신장치로의 아날로그 빔 포밍을 위한 아날로그 빔 포밍 트레이닝을 수행하는 아날로그빔포밍 트레이닝부;

상기 결정된 개수의 아날로그 안테나 기반 빔 포밍 신호를 통해, 상기 특정 수신장치로의 디지털 빔 포밍을 위한 디지털 빔 포밍 트레이닝을 수행하는 디지털빔포밍 트레이닝부; 및

상기 특정 수신장치에 대하여, 기 설정된 채널추정이벤트 발생 시, 상기 발생한 채널추정이벤트가 기 설정된 조건을 만족하는 경우 상기 아날로그 빔 포밍 트레이닝을 생략하고 상기 디지털 빔 포밍 트레이닝만을 재수행하도록 하며, 상기 발생한 채널추정이벤트가 상기 조건을 만족하지 않는 경우 상기 아날로그 빔 포밍 트레이닝 및 상기 디지털 빔 포밍 트레이닝을 재수행하도록 하는 트레이닝제어부를 포함하는 것을 특징으로 하는 송신장치.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 아날로그 안테나의 개수는,

상기 송신장치 및 상기 특정 수신장치 사이에 추정된 상기 채널 변화가 큰 경우, 상기 채널 변화가 작은 경우보다 작게 결정되는 것을 특징으로 하는 송신장치.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 아날로그 빔 포밍 트레이닝은,

상기 특정 수신장치에 대하여, 특정 개수의 아날로그 안테나를 기반으로 하는 아날로그 빔 포밍 방향을 결정하는 과정,

상기 송신장치 및 상기 특정 수신장치 사이에 추정되는 채널 변화를 고려하여, 상기 아날로그 빔 포밍 방향으로의 빔 포밍 시 사용할 아날로그 안테나의 개수를 결정하는 과정,

상기 결정된 개수의 아날로그 안테나 기반 빔 포밍 신호를 형성하기 위한 아날로그 빔 포밍 벡터를 결정하는 과정을 포함하는 것을 특징으로 하는 송신장치.

청구항 4

제 3 항에 있어서,

상기 특정 개수는,

디지털 빔 포밍의 단일 출력단에 연결된 아날로그 안테나의 최대 개수인 것을 특징으로 하는 송신장치.

청구항 5

제 3 항에 있어서,

상기 아날로그 안테나의 개수를 결정하는 과정은,

상기 특정 개수의 아날로그 안테나 사용 시 상기 특정 수신장치로부터 피드백되는 신호품질정보에 기초하여, 상기 특정 수신장치에 대한 전송용량을 계산하고,

상기 계산한 전송용량을 기반으로, 각 아날로그 안테나 개수 별로 상기 아날로그 빔 포밍 트레이닝 및 상기 디

디지털 빔 포밍 트레이닝을 재 수행함에 따른 오버헤드를 상기 채널 변화로서 반영한 예상전송용량을 계산하고, 상기 각 아날로그 안테나 개수 별로 계산한 예상전송용량 중에서 가장 큰 예상전송용량의 아날로그 안테나 개수를 결정하는 것을 특징으로 하는 송신장치.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 채널추정이벤트가 기 설정된 조건을 만족하는 경우는,

상기 채널추정이벤트의 발생 횟수가 특정 임계횟수 이하인 경우인 것을 특징으로 하는 송신장치.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 트레이닝제어부는,

상기 특정 수신장치에서 이용하는 통신서비스의 타입에 따라, 상기 아날로그 빔 포밍 트레이닝을 생략하고 상기 디지털 빔 포밍 트레이닝만을 재 수행하도록 하는 채널추정 간소화 적용 여부를 선택하는 것을 특징으로 하는 송신장치.

청구항 8

◆청구항 8은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.◆

디지털 빔 포밍 및 아날로그 빔 포밍이 결합된 하이브리드 빔 포밍 방법에 있어서,

하이브리드 빔 포밍 송신장치가, 상기 송신장치 및 특정 수신장치 사이에 추정된 채널 변화에 따라 아날로그 안테나 개수를 상이하게 결정하여, 상기 특정 수신장치로의 아날로그 빔 포밍을 위한 아날로그 빔 포밍 트레이닝을 수행하는 아날로그빔포밍 트레이닝단계;

상기 송신장치가, 상기 결정된 개수의 아날로그 안테나 기반 빔 포밍 신호를 통해, 상기 특정 수신장치로의 디지털 빔 포밍을 위한 디지털 빔 포밍 트레이닝을 수행하는 디지털빔포밍 트레이닝단계; 및

상기 송신장치가, 상기 특정 수신장치에 대하여, 기 설정된 채널추정이벤트 발생 시, 상기 발생한 채널추정이벤트가 기 설정된 조건을 만족하는 경우 상기 아날로그 빔 포밍 트레이닝을 생략하고 상기 디지털 빔 포밍 트레이닝만을 재 수행하도록 하며, 상기 발생한 채널추정이벤트가 상기 조건을 만족하지 않는 경우 상기 아날로그 빔 포밍 트레이닝 및 상기 디지털 빔 포밍 트레이닝을 재 수행하도록 하는 채널추정 간소화단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 하이브리드 빔 포밍 방법.

청구항 9

◆청구항 9은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.◆

제 8 항에 있어서,

상기 아날로그 안테나의 개수는,

상기 송신장치 및 상기 특정 수신장치 사이에 추정된 상기 채널 변화가 큰 경우, 상기 채널 변화가 작은 경우보다 작게 결정되는 것을 특징으로 하는 하이브리드 빔 포밍 방법.

청구항 10

◆청구항 10은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.◆

제 8 항에 있어서,

상기 아날로그 빔 포밍 트레이닝은,

상기 특정 수신장치에 대하여, 특정 개수의 아날로그 안테나를 기반으로 하는 아날로그 빔 포밍 방향을 결정하는 과정,

상기 송신장치 및 상기 특정 수신장치 사이에 추정되는 채널 변화를 고려하여, 상기 아날로그 빔 포밍 방향으로의 빔 포밍 시 사용할 아날로그 안테나의 개수를 결정하는 과정,

상기 결정된 개수의 아날로그 안테나 기반 빔 포밍 신호를 형성하기 위한 아날로그 빔 포밍 벡터를 결정하는 과정을 포함하는 것을 특징으로 하는 하이브리드 빔 포밍 방법.

청구항 11

◆청구항 11은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.◆

제 10 항에 있어서,

상기 아날로그 안테나의 개수를 결정하는 과정은,

상기 특정 개수의 아날로그 안테나 사용 시 상기 특정 수신장치로부터 피드백되는 신호품질정보에 기초하여, 상기 특정 수신장치에 대한 전송용량을 계산하고,

상기 계산한 전송용량을 기반으로, 각 아날로그 안테나 개수 별로 상기 아날로그 빔 포밍 트레이닝 및 상기 디지털 빔 포밍 트레이닝을 재 수행함에 따른 오버헤드를 상기 채널 변화로서 반영한 예상전송용량을 계산하고,

상기 각 아날로그 안테나 개수 별로 계산한 예상전송용량 중에서 가장 큰 예상전송용량의 아날로그 안테나 개수를 결정하는 것을 특징으로 하는 하이브리드 빔 포밍 방법.

청구항 12

◆청구항 12은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.◆

제 8 항에 있어서,

상기 채널추정이벤트가 기 설정된 조건을 만족하는 경우는,

상기 채널추정이벤트의 발생 횟수가 특정 임계횟수 이하인 경우인 것을 특징으로 하는 하이브리드 빔 포밍 방법.

청구항 13

◆청구항 13은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.◆

제 8 항에 있어서,

상기 채널추정 간소화단계 이전에, 상기 특정 수신장치에서 이용하는 통신서비스의 타입에 따라, 상기 아날로그 빔 포밍 트레이닝을 생략하고 상기 디지털 빔 포밍 트레이닝 만을 재 수행하도록 하는 채널추정 간소화 적용 여부를 선택하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 하이브리드 빔 포밍 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은, 디지털 빔 포밍 및 아날로그 빔 포밍이 결합된 하이브리드 빔 포밍 기술에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 하이브리드 빔 포밍 기술을 사용하는 MIMO 시스템에서, 아날로그 빔 포밍 시 사용되는 안테나 수에 따른 전송용량 이득 및 지연 문제 간의 트레이드 오프 관계를 고려하여 최적의 빔 포밍을 운영할 수 있는 하이브리드 빔 포밍 송신장치 및 하이브리드 빔 포밍 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] MIMO(Multiple Input Multiple Output) 기술은, 무선통신의 주파수 효율을 향상시킬 수 있는 대표적인 기술로서, 주파수나 파워를 추가로 사용하지 않더라도 송신안테나 수 및 수신안테나 수와 비례하는 전송용량 이득을 기대할 수 있다.

[0003] MIMO 시스템에서 전송용량 이득을 얻는 가장 큰 부분은 빔 포밍을 통한 다이버시티(Diversity) 이득과 멀티플렉싱(Multiplexing) 이득이다.

[0004] 이를 위해 MIMO 시스템에서 사용하는 빔 포밍 기술은 아날로그 빔 포밍, 디지털 빔 포밍, 하이브리드 빔 포밍

등으로 나뉜다. MIMO 시스템 특히 수십-수백 개 이상의 안테나를 이용하는 Massive MIMO 시스템에서는, 안테나 개수만큼 RF 체인이 필요해 설치 비용이 증가하는 디지털 빔 포밍 기술과 성능 이득이 한정된 아날로그 빔 포밍 기술의 단점 때문에 이들 두 빔 포밍 기술을 결합한 형태의 하이브리드 빔 포밍 기술을 주로 사용한다.

[0005] 하이브리드 빔 포밍 기술에서는, 수신단과의 채널 환경에 적합한 빔을 형성하기 위해, 아날로그 빔 포밍 트레이닝을 수행한 후 디지털 빔 포밍 트레이닝을 수행하는 채널추정 과정을 거쳐야 한다.

[0006] 이러한 하이브리드 빔 포밍 기술은, 송신단 및 수신단 사이의 채널이 변하는 경우 전술의 채널추정 과정 전체 (아날로그 빔 포밍 트레이닝 및 디지털 빔 포밍 트레이닝)를 재 수행해야 하기 때문에, 데이터 전송을 위한 준비 단계의 오버헤드가 증가하게 되고 이로 인해 데이터 전송의 지연이 커지는 문제를 갖는다.

[0007] 한편, 아날로그 빔 포밍 시, 사용되는 안테나 수가 많아질수록 형성되는 빔의 폭이 좁아져 전송용량 이득이 커지는 반면 채널추정 재 수행 빈도가 높아져 전송한 지연 문제가 심화될 것이고, 사용되는 안테나 수가 감소할수록 형성되는 빔의 폭이 넓어져 전송용량 이득이 작아지는 반면 채널추정 재 수행 빈도가 낮아져 전송한 지연 문제가 약화될 것이다.

[0008] 결국, 아날로그 빔 포밍 시 사용되는 안테나 수에 따라서 전송용량 이득 및 지연 문제는 트레이드 오프(Trade off) 관계를 갖게 된다.

[0009] 이에, 본 발명에서는, 하이브리드 빔 포밍 기술을 사용하는 MIMO 시스템에서, 아날로그 빔 포밍 시 사용되는 안테나 수에 따른 전송용량 이득 및 지연 문제 간의 트레이드 오프 관계에 고려하여 최적의 빔 포밍을 운영할 수 있는 방안을 제안하고자 한다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0010] 본 발명은 상기한 사정을 감안하여 창출된 것으로서, 본 발명에서 도달하고자 하는 목적은, 하이브리드 빔 포밍 기술을 사용하는 MIMO 시스템에서, 아날로그 빔 포밍 시 사용되는 안테나 수에 따른 전송용량 이득 및 지연 문제 간의 트레이드 오프 관계를 고려하여 최적의 빔 포밍을 운영하는데 있다.

과제의 해결 수단

[0011] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 제 1 관점에 따른 디지털 빔 포밍 및 아날로그 빔 포밍이 결합된 하이브리드 빔 포밍 송신장치에 있어서, 상기 송신장치 및 특정 수신장치 사이에 추정된 채널 변화에 따라 아날로그 안테나 개수를 상이하게 결정하여, 상기 특정 수신장치로의 아날로그 빔 포밍을 위한 아날로그 빔 포밍 트레이닝을 수행하는 아날로그빔포밍 트레이닝부; 상기 결정된 개수의 아날로그 안테나 기반 빔 포밍 신호를 통해, 상기 특정 수신장치로의 디지털 빔 포밍을 위한 디지털 빔 포밍 트레이닝을 수행하는 디지털빔포밍 트레이닝부; 및 상기 특정 수신장치에 대하여, 기 설정된 조건의 채널추정이벤트가 확인되면, 상기 아날로그 빔 포밍 트레이닝을 생략하고 상기 디지털 빔 포밍 트레이닝 만을 재 수행하도록 하는 트레이닝제어부를 포함한다.

[0012] 바람직하게는, 상기 아날로그 안테나의 개수는, 상기 송신장치 및 상기 특정 수신장치 사이에 추정된 상기 채널 변화가 큰 경우, 상기 채널 변화가 작은 경우 보다 작게 결정될 수 있다.

[0013] 바람직하게는, 상기 아날로그 빔 포밍 트레이닝은, 상기 특정 수신장치에 대하여, 특정 개수의 아날로그 안테나를 기반으로 하는 아날로그 빔 포밍 방향을 결정하는 과정, 상기 송신장치 및 상기 특정 수신장치 사이에 추정되는 채널 변화를 고려하여, 상기 아날로그 빔 포밍 방향으로의 빔 포밍 시 사용할 아날로그 안테나의 개수를 결정하는 과정, 상기 결정된 개수의 아날로그 안테나 기반 빔 포밍 신호를 형성하기 위한 아날로그 빔 포밍 벡터를 결정하는 과정을 포함할 수 있다.

[0014] 바람직하게는, 상기 특정 개수는, 디지털 빔 포밍의 단일 출력단에 연결된 아날로그 안테나의 최대 개수일 수 있다.

[0015] 바람직하게는, 상기 아날로그 안테나의 개수를 결정하는 과정은, 상기 특정 개수의 아날로그 안테나 사용 시 상기 특정 수신장치로부터 피드백되는 신호품질정보에 기초하여, 상기 특정 수신장치에 대한 전송용량을 계산하고, 상기 계산한 전송용량을 기반으로, 각 아날로그 안테나 개수 별로 상기 아날로그 빔 포밍 트레이닝 및 상기 디지털 빔 포밍 트레이닝을 재 수행함에 따른 오버헤드를 상기 채널 변화로서 반영한 예상전송용량을 계산하고, 상기 각 아날로그 안테나 개수 별로 계산한 예상전송용량 중에서 가장 큰 예상전송용량의 아날로그

안테나 개수를 결정할 수 있다.

- [0016] 바람직하게는, 상기 기 설정된 조건의 채널추정이벤트는, 채널추정이벤트의 발생 횟수가 특정 임계횟수 이하인 경우 확인될 수 있다.
- [0017] 바람직하게는, 상기 트레이닝제어부는, 상기 특정 수신장치에서 이용하는 통신서비스의 타입에 따라, 상기 아날로그 빔 포밍 트레이닝을 생략하고 상기 디지털 빔 포밍 트레이닝만을 재 수행하도록 하는 채널추정 간소화 적용 여부를 선택할 수 있다.
- [0018] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 제 2 관점에 따른 디지털 빔 포밍 및 아날로그 빔 포밍이 결합된 하이브리드 빔 포밍 방법에 있어서, 하이브리드 빔 포밍 송신장치가, 상기 송신장치 및 특정 수신장치 사이에 추정된 채널 변화에 따라 아날로그 안테나 개수를 상이하게 결정하여, 상기 특정 수신장치로의 아날로그 빔 포밍을 위한 아날로그 빔 포밍 트레이닝을 수행하는 아날로그빔포밍 트레이닝단계; 상기 송신장치가, 상기 결정된 개수의 아날로그 안테나 기반 빔 포밍 신호를 통해, 상기 특정 수신장치로의 디지털 빔 포밍을 위한 디지털 빔 포밍 트레이닝을 수행하는 디지털빔포밍 트레이닝단계; 및 상기 송신장치가, 상기 특정 수신장치에 대하여, 기 설정된 조건의 채널추정이벤트가 확인되면, 상기 아날로그 빔 포밍 트레이닝을 생략하고 상기 디지털 빔 포밍 트레이닝만을 재 수행하는 채널추정 간소화단계를 포함한다.
- [0019] 바람직하게는, 상기 아날로그 안테나의 개수는, 상기 송신장치 및 상기 특정 수신장치 사이에 추정된 상기 채널 변화가 큰 경우, 상기 채널 변화가 작은 경우 보다 작게 결정될 수 있다.
- [0020] 바람직하게는, 상기 아날로그 빔 포밍 트레이닝은, 상기 특정 수신장치에 대하여, 특정 개수의 아날로그 안테나를 기반으로 하는 아날로그 빔 포밍 방향을 결정하는 과정, 상기 송신장치 및 상기 특정 수신장치 사이에 추정되는 채널 변화를 고려하여, 상기 아날로그 빔 포밍 방향으로의 빔 포밍 시 사용할 아날로그 안테나의 개수를 결정하는 과정, 상기 결정된 개수의 아날로그 안테나 기반 빔 포밍 신호를 형성하기 위한 아날로그 빔 포밍 벡터를 결정하는 과정을 포함할 수 있다.
- [0021] 바람직하게는, 상기 아날로그 안테나의 개수를 결정하는 과정은, 상기 특정 개수의 아날로그 안테나 사용 시 상기 특정 수신장치로부터 피드백되는 신호품질정보에 기초하여, 상기 특정 수신장치에 대한 전송용량을 계산하고, 상기 계산한 전송용량을 기반으로, 각 아날로그 안테나 개수 별로 상기 아날로그 빔 포밍 트레이닝 및 상기 디지털 빔 포밍 트레이닝을 재 수행함에 따른 오버헤드를 상기 채널 변화로서 반영한 예상전송용량을 계산하고, 상기 각 아날로그 안테나 개수 별로 계산한 예상전송용량 중에서 가장 큰 예상전송용량의 아날로그 안테나 개수를 결정할 수 있다.
- [0022] 바람직하게는, 상기 기 설정된 조건의 채널추정이벤트는, 채널추정이벤트의 발생 횟수가 특정 임계횟수 이하인 경우 확인될 수 있다.
- [0023] 바람직하게는, 상기 채널추정 간소화단계 이전에, 상기 특정 수신장치에서 이용하는 통신서비스의 타입에 따라, 상기 아날로그 빔 포밍 트레이닝을 생략하고 상기 디지털 빔 포밍 트레이닝만을 재 수행하도록 하는 채널추정 간소화 적용 여부를 선택하는 단계를 더 포함할 수 있다.

발명의 효과

- [0024] 이에, 본 발명의 하이브리드 빔 포밍 송신장치 및 하이브리드 빔 포밍 방법에 의하면, 하이브리드 빔 포밍 기술을 사용하는 MIMO 시스템에서, 아날로그 빔 포밍 시 사용되는 안테나 수에 따른 전송용량 이득 및 지연 문제 간의 트레이드 오프 관계를 고려하여 최적의 빔 포밍을 운영할 수 있는 효과를 도출한다.

도면의 간단한 설명

- [0025] 도 1은 본 발명이 적용되는 하이브리드 빔 포밍 기술을 사용하는 MIMO 시스템을 보여주는 예시도이다.
- 도 2는 하이브리드 빔 포밍 구조를 보여주는 예시도이다.
- 도 3은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 하이브리드 빔 포밍 송신장치의 구성을 나타내는 블록도이다.
- 도 4는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 하이브리드 빔 포밍 방법을 나타내는 제어 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0026] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예에 대하여 설명한다.
- [0027] 도 1은 본 발명이 적용되는 하이브리드 빔 포밍 기술을 사용하는 MIMO 시스템을 보여주는 예시도이다.
- [0028] MIMO(Multiple Input Multiple Output) 기술은, 주파수나 파워를 추가로 사용하지 않더라도 송신안테나 수 및 수신안테나 수와 비례하는 전송용량 이득을 기대할 수 있는 기술로서, 전송용량 이득을 얻는 가장 큰 부분은 빔 포밍을 통한 다이버시티(Diversity) 이득과 멀티플렉싱(Multiplexing) 이득이다.
- [0029] 이를 위해 MIMO 시스템에서 사용하는 빔 포밍 기술은 디지털 빔 포밍, 아날로그 빔 포밍, 하이브리드 빔 포밍 등으로 나뉜다.
- [0030] 디지털 빔 포밍의 경우 형성할 수 있는 빔의 개수가 RF 체인의 개수에 의해 결정되며, 디지털 빔 포밍에 의해 형성된 다수의 빔은, 수신단의 다이버시티를 향상시켜 신호품질(SINR: Signal to Interference Noise Ratio)를 높이는 수단으로 사용될 수 있고, 또한 다수 수신단을 다른 빔으로 분리시켜 각각 다른 신호를 수신하도록 하는 멀티플렉싱으로 사용될 수 있다.
- [0031] 반면, 아날로그 빔 포밍의 경우 아날로그 빔 포밍에 의해 형성된 다수의 빔은 수신단의 다이버시티를 향상시켜 신호품질(SINR)를 높이는 수단으로만 한정 사용될 수 있다.
- [0032] 결국, MIMO 시스템 특히 수십~수백 개 이상의 안테나를 이용하는 Massive MIMO 시스템에서는, 전술한 바와 같이 안테나 개수만큼 RF 체인이 필요해 설치 비용이 증가하는 디지털 빔 포밍 기술과 성능 이득이 한정된 아날로그 빔 포밍 기술의 단점 때문에, 이들 두 빔 포밍 기술을 결합한 형태의 하이브리드 빔 포밍 기술을 주로 사용한다. 이때, 기존의 하이브리드 빔 포밍 기술은, 디지털 빔 포밍의 단일 출력단에 연결된 아날로그 안테나를 모두 사용하고 있다.
- [0033] 이러한 하이브리드 빔 포밍 기술에서는, 수신단과의 채널 환경에 적합한 빔을 형성하기 위해, 아날로그 빔 포밍 트레이닝을 수행한 후 디지털 빔 포밍 트레이닝을 수행하는 채널추정 과정을 거쳐야 한다.
- [0034] 현재, 하이브리드 빔 포밍 기술은, 송신단 및 수신단 사이의 채널이 변하는 경우 아날로그 빔 포밍 트레이닝을 수행한 후 디지털 빔 포밍 트레이닝을 수행하는 전술의 채널추정 과정 전체를 재 수행해야 하기 때문에, 데이터 전송을 위한 준비 단계의 오버헤드가 증가하게 되고 이로 인해 데이터 전송의 지연이 커지는 문제를 갖는다.
- [0035] 또한, 전술의 채널추정 과정에서 발생하는 오버헤드는 송/수신단의 채널 변화가 빈번할수록 증가할 것이고, 이는 전송 지연 측면에서 채널추정 과정이 반복된다는 것은 그만큼 데이터 전송까지 걸리는 추가적인 지연 시간이 증가함을 의미한다.
- [0036] 한편, 아날로그 빔 포밍 시, 사용되는 안테나 수가 많아질수록 형성되는 빔의 폭이 좁아져 전송용량 이득이 커지는 반면 채널추정 재 수행 빈도가 높아져 전술한 지연 문제가 심화될 것이고, 사용되는 안테나 수가 감소할수록 형성되는 빔의 폭이 넓어져 전송용량 이득이 작아지는 반면 채널추정 재 수행 빈도가 낮아져 전술한 지연 문제가 약화될 것이다.
- [0037] 결국, 하이브리드 빔 포밍 기술에서, 아날로그 빔 포밍 시 사용되는 안테나 수에 따라서 전송용량 이득 및 지연 문제는 트레이드 오프(Trade off) 관계를 갖게 된다.
- [0038] 이에, 본 발명에서는, 하이브리드 빔 포밍 기술을 사용하는 MIMO 시스템에서, 디지털 빔 포밍의 단일 출력단에 연결된 아날로그 안테나를 모두 사용하는 기존과 달리, 아날로그 빔 포밍 시 사용되는 안테나 수에 따른 전송용량 이득 및 지연 문제 간의 트레이드 오프 관계에 고려하여 최적의 빔 포밍을 운영할 수 있는 하이브리드 빔 포밍 방법(방안)을 제안하고자 한다.
- [0039] 먼저, 도 1을 참조하여, 본 발명에서 제안하는 하이브리드 빔 포밍 방법이 실현된 MIMO 시스템을 설명하겠다.
- [0040] 구체적인 설명에 앞서, 본 발명에서는 하이브리드 빔 포밍 신호를 송신하는 송신단 즉 하이브리드 빔 포밍 송신 장치로서 기지국(100)을 언급하고, 기지국(100)로부터의 하이브리드 빔 포밍 신호를 수신하는 수신단(수신장치)으로 단말(10,20,30...)을 언급하여 설명하겠다.
- [0041] 따라서, 기지국(100)은 본 발명에서 제안하는 하이브리드 빔 포밍 방법이 실현된 Massive MIMO 시스템을 갖추고 있고, 각 단말(10,20,30...)은 비교적 적은 안테나를 가지고 있는 시스템을 갖추고 있다고 가정할 수 있다.
- [0042] 이하에서는, 설명의 편의를 위해 본 발명의 하이브리드 빔 포밍 송신장치를 기지국(100)으로 언급하여 설명하도록 하겠다.

- [0043] 즉, 도 1에 도시된 바와 같이, 본 발명의 하이브리드 빔 포밍 송신장치 즉 기지국(100)은, 셀 커버리지(C100) 내 위치한 각 단말(10,20,30...)에 대하여, 하이브리드 빔 포밍 신호를 통해 데이터를 전송하는데 있어서, 각 단말(10,20,30...) 별로 채널 변화에 따라 아날로그 빔 포밍 시 사용되는 안테나(엘리먼트) 수를 상이하게 결정함으로써, 각 단말을 향해 형성되는 빔의 폭을 달리한다.
- [0044] 그리고, 기지국(100)은, 전술과 같이 각 단말(10,20,30...) 별로 아날로그 빔 포밍 시 사용되는 안테나 수를 상이하게 결정하여 단말을 향해 형성되는 빔의 폭을 달리하는 것을 기반으로 채널추정 과정을 간소화함으로써, 전송용량 이득 및 지연 문제 간의 트레이드 오프 관계에 고려하여 최적의 빔 포밍을 운영할 수 있다.
- [0045] 이하에서는, 본 발명에 따른 하이브리드 빔 포밍 송신장치의 구체적인 구조를 설명하기에 앞서, 도 2를 참조하여 하이브리드 빔 포밍 구조에 대해 설명하겠다.
- [0046] 도 2에 도시된 바와 같이, 하이브리드 빔 포밍 구조에서는, 디지털 빔 포밍 신호가 출력되는 각각의 디지털 빔 포밍 출력단에 아날로그 빔 포밍 구조가 추가로 결합된 형태로 나타난다.
- [0047] 도 2에서는, 각 디지털 빔 포밍 출력단으로서, TXRU(Tranceiver Unit)를 가정하고 있다. 그리고 도 2에서는, 각각의 디지털 빔 포밍 출력단 즉 TXRU에, M개의 아날로그 안테나로 구성된 아날로그 빔 포밍 구조가 결합된 형태를 가정하고 있다.
- [0048] 이러한 하이브리드 빔 포밍 구조에서, 디지털 빔 포밍의 목적은 송신장치에서 각 신호를 수신장치에 독립적으로 보내기 위한 서로 다른 빔을 형성하는 것에 있고, 아날로그 빔 포밍의 목적은 디지털 빔 포밍 단에서 만들어진 빔의 폭을 보다 좁게 형성하여 수신장치가 높은 파워로 신호를 수신할 수 있게 하는 것에 있다.
- [0049] 이러한 하이브리드 빔 포밍 구조에서 수신장치 즉 단말이 수신하게 되는 신호는 다음의 수학식1과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 1

$$y_k = \mathbf{H}_k \begin{bmatrix} \mathbf{A}_0 & 0 \\ & \mathbf{A}_1 \\ & \cdot \\ 0 & \mathbf{A}_{N-1} \end{bmatrix} \mathbf{D}_k \mathbf{s}_k + n$$

- [0050]
- [0051] 수학식1에서, y_k 는 k번째 서브 캐리어(k번째 수신장치)에서 수신되는 신호를 나타내며, H는 송신장치 및 수신장치 사이의 채널 환경을 나타낸다. 이 때 H는 $L \times NM$ 의 행렬로 정의할 수 있고, L은 수신장치의 안테나 개수, N은 송신장치의 RF Chain 개수(=디지털 빔 포밍 출력단 개수), M은 디지털 빔 포밍 출력단에 연결된 아날로그 빔 포밍의 안테나 개수이다.
- [0052] D는 디지털 빔 포밍을 위한 디지털 빔 포밍 벡터이며, 복소수 값을 갖는 $N \times N$ 행렬이다. S는 서브 캐리어(수신장치)로 전송되는 신호를 나타내며, n은 노이즈 성분을 나타낸다.
- [0053] 그리고, A는 아날로그 빔 포밍 벡터를 나타내며 아래의 수학식2와 같은 값을 갖는다. A는 $M \times 1$ 벡터며, 다음과 같은 성분을 가진다.

수학식 2

$$\mathbf{A} = [e^{-j\theta_1}, e^{-j\theta_2}, \dots, e^{-j\theta_M}]^T / \sqrt{M}$$

- [0054]
- [0055] 수학식2에서, 아날로그 빔 포밍 벡터는 디지털 빔 포밍 출력단에 출력되는 신호를 주파수 축에서 다른 위상을 갖는 신호로 변환함으로써 아날로그 빔 포밍이 형성되는 것을 확인 할 수 있다.
- [0056] 이하에서는, 도 3을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 하이브리드 빔 포밍 송신장치의 구체적인 구조

를 설명하겠다. 그리고, 설명의 편의를 위해, 도 1을 참조하여, 송신장치로서 기지국(100)을 언급하고 수신장치로서 단말(10,20,30...)을 언급하여 설명하겠다.

- [0057] 본 발명에 따른 하이브리드 빔 포밍 송신장치 즉 기지국(100)은, 송신장치 즉 기지국(100) 및 특정 수신장치 사이에 추정된 채널 변화에 따라 아날로그 안테나 개수를 상이하게 결정하여, 상기 특정 수신장치로의 아날로그 빔 포밍을 위한 아날로그 빔 포밍 트레이닝을 수행하는 아날로그빔포밍 트레이닝부(110)와, 상기 결정된 개수의 아날로그 안테나 기반 빔 포밍 신호를 통해, 상기 특정 수신장치로의 디지털 빔 포밍을 위한 디지털 빔 포밍 트레이닝을 수행하는 디지털빔포밍 트레이닝부(120)와, 상기 특정 수신장치에 대하여, 기 설정된 조건의 채널추정 이벤트가 확인되면, 상기 아날로그 빔 포밍 트레이닝을 생략하고 상기 디지털 빔 포밍 트레이닝만을 재 수행하도록 하는 트레이닝제어부(130)를 포함한다.
- [0058] 이때, 특정 수신장치는, 하이브리드 빔 포밍 송신장치(100) 즉 기지국(100)에 의해 송신되는 하이브리드 빔 포밍 신호를 수신하는 수신장치 즉 단말(10,20,30...) 각각을 의미한다.
- [0059] 다시 말해, 본 발명에 따른 하이브리드 빔 포밍 송신장치 즉 기지국(100)은, 하이브리드 빔 포밍 신호를 통해 데이터를 전송하는데 있어서, 각 단말(10,20,30...) 별로 채널 변화에 따라 아날로그 빔 포밍 시 사용되는 안테나 수를 상이하게 결정함으로써, 각 단말을 향해 형성되는 빔의 폭을 달리한다.
- [0060] 이때, 본 발명에서 안테나 수를 상이하게 결정하는 것은, 디지털 빔 포밍 신호의 단일 출력단에 연결된 아날로그 안테나(엘리먼트) 모두가 아닌 일부만을 사용해서 아날로그 빔 포밍을 수행하기 위해, 사용할 일부의 아날로그 안테나(엘리먼트) 개수를 결정한다는 것을 의미한다.
- [0061] 이처럼 각 단말을 향해 형성되는 빔의 폭을 달리하기 위한 역할은, 하이브리드 빔 포밍 송신장치 즉 기지국(100) 내 아날로그빔포밍 트레이닝부(110)에 의해 실현된다.
- [0062] 아날로그빔포밍 트레이닝부(110)의 동작을 보다 구체적으로 설명하면 다음과 같다.
- [0063] 이하에서는, 설명의 편의를 위해 각 단말(10,20,30...) 중에서 특정 수신장치로서 하나의 단말 예컨대 단말(10)을 언급하여 설명하겠다.
- [0064] 아날로그빔포밍 트레이닝부(110)는, 기지국(100) 및 단말(10) 사이에 추정된 채널 변화에 따라 아날로그 안테나 개수를 상이하게 결정하여, 단말(10)로의 아날로그 빔 포밍을 위한 아날로그 빔 포밍 트레이닝을 수행한다.
- [0065] 즉, 아날로그빔포밍 트레이닝부(110)는, 단말(10)에 대한 채널추정 과정 수행 시, 다음과 같은 본 발명의 아날로그 빔 포밍 트레이닝을 수행함으로써 단말(10)로의 아날로그 빔 포밍 시 사용되는 안테나 수를 상이하게 결정한다.
- [0066] 먼저, 본 발명의 아날로그 빔 포밍 트레이닝은, 단말(10)에 대하여, 특정 개수의 아날로그 안테나를 기반으로 하는 아날로그 빔 포밍 방향을 결정하는 과정을 포함한다.
- [0067] 여기서, 특정 개수는, 디지털 빔 포밍 신호의 단일 출력단에 연결된 아날로그 안테나의 최대 개수인 것이 바람직하다.
- [0068] 예를 들면, 도 2에 도시된 단일의 디지털 빔 포밍 출력단(TXRU₀)의 경우, 디지털 빔 포밍 출력단(TXRU₀)에 연결되어 있는 아날로그 안테나(엘리먼트)는 총 M개 이다.
- [0069] 이 경우라면, 특정 개수(X)는, 디지털 빔 포밍 출력단(TXRU₀)에 연결된 아날로그 안테나의 최대 개수 M개로 설정될 수 있다. 이는, 아날로그 안테나의 개수가 많을수록 정확한 아날로그 빔 포밍 방향을 결정할 수 있음에 기인한다.
- [0070] 이에, 아날로그빔포밍 트레이닝부(110)는, 단말(10)에 대하여, 특정 개수(X = M)의 아날로그 안테나를 기반으로 하는 아날로그 빔 포밍 방향을 결정하는 과정을 수행한다.
- [0071] 보다 구체적으로 설명하면, 아날로그빔포밍 트레이닝부(110)는, 특정 개수(X = M)의 아날로그 안테나를 기반으로 하는 기 설정된 아날로그 후보군을 단말(10)에 전송하여, 아날로그 빔 탐색을 시작한다.
- [0072] 이에, 아날로그빔포밍 트레이닝부(110)는, 아날로그 후보군을 수신한 단말(10)로부터 아날로그 후보군에 기초로 하는 최적의 빔방향벡터를 피드백 수신하고, 더불어 신호품질정보(SINR)를 피드백 수신한다.
- [0073] 이에, 아날로그빔포밍 트레이닝부(110)는, 단말(10)로부터 피드백된 최적의 빔방향벡터에 따라서 단말(10)에 대

한 아날로그 빔 포밍 방향을 결정할 수 있다.

- [0074] 전술과 같은 방식으로 아날로그빔포밍 트레이닝부(110)는, 단말(10)에 대하여, 특정 개수($X = M$)의 아날로그 안테나를 기반으로 하는 아날로그 빔 포밍 방향을 결정하는 과정을 수행할 수 있다.
- [0075] 그리고, 본 발명의 아날로그 빔 포밍 트레이닝은, 기지국(100) 및 단말(10) 사이에 추정되는 채널 변화를 고려하여, 상기 아날로그 빔 포밍 방향으로의 빔 포밍 시 사용할 아날로그 안테나의 개수를 결정하는 과정을 포함한다.
- [0076] 이때, 결정되는 아날로그 안테나의 개수는, 기지국(100) 및 단말(10) 사이에 추정된 상기 채널 변화가 큰 경우, 상기 채널 변화가 작은 경우 보다 작게 결정될 수 있다.
- [0077] 보다 구체적으로 설명하면, 아날로그빔포밍 트레이닝부(110)는, 전술과 같이 특정 개수($X = M$)의 아날로그 안테나 사용 시 단말(10)로부터 피드백되는 신호품질정보(SINR)에 기초하여, 단말(10)에 대한 전송용량(Capacity, C_X)을 계산한다.
- [0078] 이때, 단말(10)에 대한 전송용량(C_X)는 다음과 같은 수학적식3에 따라 계산될 수 있다.

수학적식 3

[0079]
$$C_X = \log_2(1 + XSINR)$$

- [0080] 이때, 전송용량(C_X)는, 특정 개수($X = M$)의 아날로그 안테나 기반의 빔 포밍을 완벽히 수행하였을 경우 얻을 수 있는 최대 전송용량이다. 이는 아날로그 빔 포밍으로 인한 다이버시티 증가로 인해 X 배만큼의 수신 전력 이득을 얻을 수 있기 때문이다.
- [0081] 이에 아날로그빔포밍 트레이닝부(110)는, 전술과 같이 계산한 전송용량(C_X)을 기반으로, 각 아날로그 안테나 개수 별로 아날로그 빔 포밍 트레이닝 및 디지털 빔 포밍 트레이닝을 재 수행함에 따른 오버헤드를 채널 변화로서 반영한 예상전송용량(C_X')을 계산한다.
- [0082] 보다 구체적으로 설명하면, 아날로그빔포밍 트레이닝부(110)는, 전술과 같이 단말(10)에 대하여 전송용량(C_X)을 계산하면, 아날로그 빔 포밍 트레이닝 및 디지털 빔 포밍 트레이닝을 재 수행(= 채널추정 과정 재수행)함에 따른 오버헤드의 척도가 되는 함수 $f_t(X, SINR)$ 을 채널 변화로서 전송용량(C_X)에 반영하여, 다음의 수학적식4와 같이 아날로그 안테나 개수가 $X(=M)$ 개일 때 채널추정 과정 재수행에 의해 낮아진 예상전송용량(C_X')을 계산할 수 있다.

수학적식 4

[0083]
$$C_X' = f_t(X, SINR) \log_2(1 + XSINR)$$

- [0084] 이때, 함수 $f_t(X, SINR)$ 는, 아날로그 안테나 개수(X) 및 아날로그 안테나 개수(X) 사용 시 피드백된 신호품질정보(SINR)을 변수로 하는 채널 변화 즉 채널추정 과정 재수행에 의한 채널 변화를 의미하도록 기 정의된 함수이다. 물론, 함수 $f_t(X, SINR)$ 는, 아날로그 안테나 개수(X) 및 아날로그 안테나 개수(X) 사용 시 피드백된 신호품질정보(SINR) 외에도, 에러율(Error Rate), 채널추정 과정 재수행 소요시간, 빔 폭 등을 변수로 하는 것도 가능할 것이다.
- [0085] 이와 같은 방식으로, 아날로그빔포밍 트레이닝부(110)는, 전술과 같이 단말(10)에 대하여 계산한 전송용량(C_X)을 기반으로, 아날로그 안테나 개수(X)를 늘이거나 줄이는 경우(양수 a , 또는 음수 a)의 함수 $f_t(X+a, SINR)$ 를 채널 변화로서 전송용량(C_X)에 반영하여, 다음의 수학적식5와 같이 각 아날로그 안테나 개수 별로 채널추정 과정 재수행에 의해 낮아진 예상전송용량(C_{X+a}')을 계산할 수 있다.

수학식 5

$$C_{X+a}' = f_t(X+a, SINR) \log_2(1 + (X+a) SINR)$$

[0086]

[0087] 이때, a 는, $\dots, -2, -1, 0, +1, +2, \dots$ 의 양/음의 정수일 것이다.[0088] 이에, 아날로그빔포밍 트레이닝부(110)는, 각 아날로그 안테나 개수 별로 예상전송용량(C')을 계산하면, 각 아날로그 안테나 개수 별로 예상전송용량(C') 중에서 가장 큰 예상전송용량(C')의 아날로그 안테나 개수를 결정한다.

[0089] 이때, 결정되는 아날로그 안테나의 개수는, 기지국(100) 및 단말(10) 사이에 추정된 채널 변화가 큰 경우, 채널 변화가 작은 경우 보다 작게 결정될 수 있다.

[0090] 즉, 전술한 수학식들에 따르면, 단말(10)의 이동성이 커서 기지국(100) 및 단말(10) 사이에 추정된 채널 변화가 클수록 단말(10)로 빔 포밍할 빔의 폭을 넓히기 위해, 단말(10)의 채널 변화가 작은 경우와 비교할 때, 단말(10)의 채널 변화가 더 큰 경우에 더 적은 개수의 아날로그 안테나와 관련된 예상전송용량(C')이 더 큰 값을 갖게 될 것이다.

[0091] 전술과 같은 방식으로 아날로그빔포밍 트레이닝부(110)는, 단말(10)에 대하여, 기지국(100) 및 단말(10) 사이에 추정되는 채널 변화를 고려하여, 아날로그 빔 포밍 방향으로의 빔 포밍 시 사용할 아날로그 안테나의 개수를 결정하는 과정을 수행할 수 있다.

[0092] 이하에서는, 설명의 편의를 위해, 단말(10)에 대하여, 디지털 빔 포밍 출력단(TXRU₀)에 연결된 아날로그 안테나 총 M 개 중 3개를 결정한 경우라고 가정하겠다.

[0093] 이후, 본 발명의 아날로그 빔 포밍 트레이닝은, 결정된 개수(예: 3개)의 아날로그 안테나 기반 빔 포밍 신호를 형성하기 위한 아날로그 빔 포밍 벡터를 결정하는 과정을 포함한다.

[0094] 보다 구체적으로 설명하면, 아날로그빔포밍 트레이닝부(110)는, 디지털 빔 포밍 출력단(TXRU₀)에 연결된 아날로그 안테나(엘리먼트) 총 M 개 중 결정한 3개의 아날로그 안테나(엘리먼트)만을 온(On)시키고 나머지는 오프(Off)시켜, 3개의 아날로그 안테나 기반 빔 포밍 신호를 형성하기 위한 아날로그 빔 포밍 벡터 A_0 를 결정할 수 있다.

[0095] 이때, 본 발명에서는, 온(On)시켜 사용하는 아날로그 안테나(엘리먼트) 개수가 작아지더라도, 총 송신 파워는 일정하게 유지될 것이다.

[0096] 이에, 아날로그빔포밍 트레이닝부(110)는, 단말(10)에 대하여, 기지국(100) 및 단말(10) 사이에 추정된 채널 변화에 따라 아날로그 안테나 개수를 상이하게 결정하여, 전술한 바와 같은 본 발명의 아날로그 빔 포밍 트레이닝을 수행할 수 있다.

[0097] 물론, 아날로그빔포밍 트레이닝부(110)는, 나머지 다른 각각의 단말(20, 30...)에 대해서도, 같은 방식으로 본 발명의 아날로그 빔 포밍 트레이닝을 수행할 것이다.

[0098] 디지털빔포밍 트레이닝부(120)는, 아날로그빔포밍 트레이닝부(110)에서 결정된 개수(예: 3개)의 아날로그 안테나 기반 빔 포밍 신호를 통해, 단말(10)로의 디지털 빔 포밍을 위한 디지털 빔 포밍 트레이닝을 수행한다.

[0099] 즉, 디지털빔포밍 트레이닝부(120)는, 아날로그빔포밍 트레이닝부(110)에서 결정된 개수(예: 3개)의 아날로그 안테나 기반 빔 포밍 신호를 통해, 디지털 빔 포밍을 위한 참조신호를 송신하고 이에 단말(10)로부터 피드백 수신되는 디지털 빔 포밍 벡터를 기반으로 디지털 빔 포밍 벡터 D_0 를 결정할 수 있다. 이러한 디지털 빔 포밍 트레이닝은 기존의 트레이닝과 동일할 수 있다.

[0100] 물론, 디지털빔포밍 트레이닝부(120)는, 나머지 다른 각각의 단말(20, 30...)에 대해서도, 디지털 빔 포밍 트레이닝을 수행할 것이다.

[0101] 전술과 같이, 단말(10)에 대하여 아날로그 빔 포밍 트레이닝 및 디지털 빔 포밍 트레이닝이 수행됨으로써 채널 추정 수행이 완료되면, 기지국(100)은 하이브리드 빔 포밍(디지털 빔 포밍+아날로그 빔 포밍) 신호를 통해 하향

데이터를 단말(10)에 전송하게 된다.

- [0102] 이때, 도 1에 도시된 바와 같이, 기지국(100) 및 단말(10) 간의 채널 변화가 큰 경우 비교적 적은 개수의 아날로그 안테나가 사용되어 빔 폭이 큰 하이브리드 빔(beam1)이 형성될 것이고, 기지국(100) 및 단말(10) 간의 채널 변화가 작은 경우 비교적 많은 개수의 아날로그 안테나가 사용되어 빔 폭이 작은 하이브리드 빔(beam2)이 형성될 것이다.
- [0103] 한편, 트레이닝제어부(130)는, 특정 수신장치 즉 단말(10)에 대하여, 기 설정된 조건의 채널추정이벤트가 확인되면, 전술의 아날로그 빔 포밍 트레이닝을 생략하고 디지털 빔 포밍 트레이닝만을 재수행하도록 한다.
- [0104] 이때, 기 설정된 조건의 채널추정이벤트는, 채널추정이벤트의 발생 횟수가 특정 임계횟수 이하인 경우 확인되는 것이 바람직하다.
- [0105] 그리고, 채널추정이벤트는, 다양하게 정의할 수 있으며, 일 실시예로서 단말(10)로부터 채널 Outage 발생이 보고되는 것을 언급하여 설명하겠다.
- [0106] 즉, 트레이닝제어부(130)는, 단말(10)로부터 채널 Outage 발생이 보고되면, 채널 Outage 발생이 보고된 횟수가 기 설정된 특정 임계횟수(B) 이하인지 판단한다.
- [0107] 트레이닝제어부(130)는, 단말(10)로부터 채널 Outage 발생이 보고된 횟수가 기 설정된 특정 임계횟수(B) 이하이면, 단말(10)에 대하여 전술의 아날로그 빔 포밍 트레이닝을 생략하고 디지털 빔 포밍 트레이닝만을 재수행하도록 아날로그빔포밍 트레이닝부(110)에 요청(연동)할 수 있다.
- [0108] 이에, 본 발명의 하이브리드 빔 포밍 송신장치 즉 기지국(100)은, 전술한 본 발명의 아날로그 빔 포밍 트레이닝을 거쳐 단말(10)의 이동성과 직결되는 채널 변화에 따라 아날로그 안테나의 개수를 상이하게 결정(빔 폭 가변)함을 전체로, 기 설정된 조건의 채널추정이벤트 하에서는, 채널추정 과정 전체(아날로그 빔 포밍 트레이닝 및 디지털 빔 포밍 트레이닝)를 재수행하는 것이 아니라, 디지털 빔 포밍 트레이닝만을 재수행함으로써 채널추정 과정을 간소화하는 것이다.
- [0109] 이렇게 되면, 본 발명에서는, 이동성과 직결되는 채널 변화가 큰 단말일수록 넓은 빔 폭의 하이브리드 빔 포밍 신호를 통해 데이터를 전송하고, 이를 기반으로 채널추정 과정 전체(아날로그 빔 포밍 트레이닝 및 디지털 빔 포밍 트레이닝)가 재수행되는 빈도를 더욱 줄일 수 있다.
- [0110] 이렇게 되면, 넓은 빔 폭의 하이브리드 빔 포밍 신호를 통해 데이터를 수신하는 단말일수록, 다이버시티 효과가 떨어져 전송용량 이득은 다소 하락할 수 있지만, 채널추정 과정 전체 재수행으로 인한 오버헤드를 효율적으로 줄일 수 있게 된다.
- [0111] 따라서, 본 발명에서는, 하이브리드 빔 포밍을 통한 전송용량 이득을 어느 정도 얻으면서도, 데이터 전송을 위한 준비 단계의 오버헤드를 줄여 지연 문제를 개선할 수 있다.
- [0112] 더 나아가, 트레이닝제어부(130)는, 특정 수신장치 즉 단말(10)에서 이용하는 통신서비스의 타입에 따라, 아날로그 빔 포밍 트레이닝을 생략하고 디지털 빔 포밍 트레이닝만을 재수행하도록 하는 채널추정 간소화 적용 여부를 선택할 수 있다.
- [0113] 예를 들면, 단말(10)은, 전송 지연 문제에 민감한 타입의 통신서비스인 VoLTE, MC-PTT signaling, Realtime Gaming 등을 이용할 수 있고, 비교적 전송 지연 문제에 민감하지 않은 타입의 통신서비스를 이용할 수 있다.
- [0114] 이에, 트레이닝제어부(130)는, 단말(10)의 QCI(QoS Class Identifier)를 기반으로 이용하는 통신서비스의 타입을 확인하여, 전송 지연 문제에 민감한 타입(예: QCI 69, QCI 3 등)의 통신서비스인 경우 본 발명에서 제안하는 아날로그 빔 포밍 트레이닝을 전제한 채널추정 간소화를 적용할 수 있다.
- [0115] 한편, 트레이닝제어부(130)는, 단말(10)의 QCI(QoS Class Identifier)를 기반으로 이용하는 통신서비스의 타입을 확인하여, 전송 지연 문제에 민감하지 않은 타입(예: QCI 6,8,9 등)의 통신서비스인 경우 본 발명에서 제안하는 아날로그 빔 포밍 트레이닝을 전제한 채널추정 간소화를 적용하지 않고 기존의 채널추정 과정을 그대로 적용할 수도 있다.
- [0116] 이상에서 설명한 바와 같이, 본 발명의 하이브리드 빔 포밍 송신장치는, 하이브리드 빔 포밍 기술을 사용하는 MIMO 시스템에서, 아날로그 빔 포밍 시 사용되는 안테나 수에 따른 전송용량 이득 및 지연 문제 간의 트레이드오프 관계에 고려하여, 양 측을 균형 있게 만족시킬 수 있는 최적의 빔 포밍을 운영할 수 있다.

- [0117] 한편, 전술의 채널 변화에 따라 아날로그 안테나 개수를 상이하게 결정하는 본 발명의 아날로그 빔 포밍 트레이닝의 구체적인 설명은, 일 실시예이다.
- [0118] 이러한 방식 외에도, 본 발명에서는, 아날로그 빔 포밍 트레이닝 수행 시, 기지국(100) 및 단말(10) 사이에 추정된 채널 변화에 따라 아날로그 안테나 개수를 상이하게 결정하는 다양한 방식을 제안할 수 있다.
- [0119] 예를 들면, 아날로그빔포밍 트레이닝부(110)는, 단말(10)에 대하여, 특정 개수($X = M$)의 아날로그 안테나를 기반으로 하는 아날로그 빔 포밍 방향을 결정한 후, 임의의 개수(1개~ M 개, 예: 1개) 아날로그 안테나를 사용해서 전송을 시작한다. 이 후 아날로그빔포밍 트레이닝부(110)는, 기 설정된 시간 동안 모니터링되는 단말(10)의 에러율(Error Rate)이 임계점을 넘지 않으면 아날로그 안테나 개수를 늘린다. 아날로그빔포밍 트레이닝부(110)는, 아날로그 안테나 개수를 늘린 후, 기 설정된 시간 동안 모니터링되는 단말(10)의 에러율이 임계점을 넘지 않으면 또 다시 아날로그 안테나 개수를 늘린다. 이러한 방식으로 아날로그 안테나 개수를 늘리다가
- [0120] 이러한 방식으로, 단말(10)의 에러율이 임계점을 넘고 그 상태가 일정 시간 유지되면, 아날로그빔포밍 트레이닝부(110)는, 아날로그 안테나 개수를 줄이고 단말(10)의 에러율이 임계점을 넘지 않은 상태로 일정 시간 유지되면, 해당하는 아날로그 안테나 개수를 아날로그 빔 포밍 시 사용할 아날로그 안테나 개수로서 결정할 수 있다.
- [0121] 이 경우, 수신장치인 단말(10) 단에서는, 자신이 겪고 있는 에러율에 따른 정보를 지속적으로 기지국(100)에 피드백 해주는 구조가 전체되어야 할 것이다.
- [0122] 이하에서는, 도 4를 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 하이브리드 빔 포밍 방법에 대해 구체적으로 설명하겠다.
- [0123] 설명의 편의를 위해, 하이브리드 빔 포밍 송신장치로서 앞선 설명과 일치되도록 기지국(100)을 언급하여 설명하겠다.
- [0124] 본 발명의 하이브리드 빔 포밍 송신장치 즉 기지국(100)은, 기지국(100) 및 단말(10) 사이에 추정된 채널 변화에 따라 아날로그 안테나 개수를 상이하게 결정하여, 단말(10)로의 아날로그 빔 포밍을 위한 아날로그 빔 포밍 트레이닝 수행한다(S100 ~ S150).
- [0125] 즉, 기지국(100)은, 단말(10)에 대한 채널추정 과정 수행 시, 다음과 같은 본 발명의 아날로그 빔 포밍 트레이닝을 수행함으로써 단말(10)로의 아날로그 빔 포밍 시 사용되는 안테나 수를 상이하게 결정한다.
- [0126] 보다 구체적으로 설명하면, 기지국(100)은, 먼저 특정 개수(X)를 설정한다(S100). 이때, 특정 개수(X)는, 디지털 빔 포밍 출력단(TXRU₀)에 연결된 아날로그 안테나의 최대 개수 M 개로 설정될 수 있다.
- [0127] 그리고, 기지국(100)은, 특정 개수($X = M$)의 아날로그 안테나를 기반으로 하는 기 설정된 아날로그 후보군을 단말(10)에 전송하여, 아날로그 빔 탐색을 시작한다(S110).
- [0128] 이에, 기지국(100)은, 아날로그 후보군을 수신한 단말(10)로부터 아날로그 후보군에 기초로 하는 최적의 빔방향 벡터를 피드백 수신하고, 더불어 신호품질정보(SINR)를 피드백 수신한다(S120).
- [0129] 이에, 기지국(100)은, 단말(10)로부터 피드백된 최적의 빔방향벡터에 따라서 단말(10)에 대한 아날로그 빔 포밍 방향을 결정할 수 있다(S120).
- [0130] 기지국(100)은, 전술과 같이 특정 개수($X = M$)의 아날로그 안테나 사용 시 단말(10)로부터 피드백되는 신호품질 정보(SINR)에 기초하여, 단말(10)에 대한 전송용량(G_x)을 전술의 수학식3에 따라 계산한다.
- [0131] 그리고, 기지국(100)은, 전술과 같이 단말(10)에 대하여 전송용량(C_x)을 계산하면, 아날로그 빔 포밍 트레이닝 및 디지털 빔 포밍 트레이닝을 재 수행(= 채널추정 과정 재수행)함에 따른 오버헤드의 척도가 되는 함수 $f_t(X, SINR)$ 을 채널 변화로서 전송용량(C_x)에 반영하여, 전술의 수학식4와 같이 아날로그 안테나 개수가 $X(=M)$ 개 일 때 채널추정 과정 재수행에 의해 낮아진 예상전송용량(C_x')을 계산할 수 있다.
- [0132] 이와 같은 방식으로, 기지국(100)은, 전술과 같이 단말(10)에 대하여 계산한 전송용량(C_x)을 기반으로, 아날로그 안테나 개수(X)를 늘이거나 줄이는 경우(양수 a , 또는 음수 a)의 함수 $f_t(X+a, SINR)$ 를 채널 변화로서 전송용량(C_x)에 반영하여, 다음의 수학식5와 같이 각 아날로그 안테나 개수 별로 채널추정 과정 재수행에 의해 낮아진 예상전송용량(C_{x+a})을 계산할 수 있다.

- [0133] 이후, 기지국(100)은, 각 아날로그 안테나 개수 별로 예상전송용량(C')을 계산하면, 각 아날로그 안테나 개수 별로 예상전송용량(C') 중에서 가장 큰 예상전송용량(C')의 아날로그 안테나 개수를 결정한다(S130).
- [0134] 이때, 결정되는 아날로그 안테나의 개수는, 기지국(100) 및 단말(10) 사이에 추정된 채널 변화가 큰 경우, 채널 변화가 작은 경우 보다 작게 결정될 수 있다.
- [0135] 즉, 전술한 수학적식들에 따르면, 단말(10)의 이동성이 커서 기지국(100) 및 단말(10) 사이에 추정된 채널 변화가 클수록 단말(10)로 빔 포밍할 빔의 폭을 넓히기 위해, 단말(10)의 채널 변화가 작은 경우와 비교할 때, 단말(10)의 채널 변화가 더 큰 경우에 더 적은 개수의 아날로그 안테나와 관련된 예상전송용량(C?)이 더 큰 값을 갖게 될 것이다.
- [0136] 이하에서는, 설명의 편의를 위해, 단말(10)에 대하여, 디지털 빔 포밍 출력단(TXRU₀)에 연결된 아날로그 안테나 총 M개 중 3개를 결정한 경우라고 가정하겠다.
- [0137] 이후, 기지국(100)은, 디지털 빔 포밍 출력단(TXRU₀)에 연결된 아날로그 안테나 총 M개 중 결정한 3개의 아날로그 안테나 만을 온(On)시키고 나머지는 오프(Off)시키며(S140), 3개의 아날로그 안테나 기반 빔 포밍 신호를 형성하기 위한 아날로그 빔 포밍 벡터 A₀를 결정할 수 있다(S150).
- [0138] 이에, 기지국(100)은, 단말(10)에 대하여, 기지국(100) 및 단말(10) 사이에 추정된 채널 변화에 따라 아날로그 안테나 개수를 상이하게 결정하여, 전술한 바와 같은 본 발명의 아날로그 빔 포밍 트레이닝을 수행할 수 있다.
- [0139] 이후, 기지국(100)은, 앞서 결정된 개수(예: 3개)의 아날로그 안테나 기반 빔 포밍 신호를 통해, 단말(10)로의 디지털 빔 포밍을 위한 디지털 빔 포밍 트레이닝을 수행한다(S160).
- [0140] 즉, 기지국(100)은, 본 발명의 아날로그 빔 포밍 트레이닝을 거쳐 결정된 개수(예: 3개)의 아날로그 안테나 기반 빔 포밍 신호를 통해, 디지털 빔 포밍을 위한 참조신호를 송신하고 이에 단말(10)로부터 피드백 수신되는 디지털 빔 포밍 벡터를 기반으로 디지털 빔 포밍 벡터 D₀를 결정할 수 있다. 이러한 디지털 빔 포밍 트레이닝은 기존의 트레이닝과 동일할 수 있다.
- [0141] 전술과 같이, 단말(10)에 대하여 아날로그 빔 포밍 트레이닝 및 디지털 빔 포밍 트레이닝이 수행됨으로써 채널 추정 수행이 완료되면, 기지국(100)은 하이브리드 빔 포밍(디지털 빔 포밍+아날로그 빔 포밍) 신호를 통해 하향 데이터를 단말(10)에 전송하게 된다(S170).
- [0142] 그리고, 기지국(100)은, 단말(10)에 대하여, 기 설정된 조건의 채널추정이벤트가 확인되면, 전술의 아날로그 빔 포밍 트레이닝을 생략하고 디지털 빔 포밍 트레이닝 만을 재 수행하도록 한다.
- [0143] 구체적으로 설명하면, 기지국(100)은, 단말(10)로부터 채널 Outage 발생이 보고되면(S180 Yes), 채널 Outage 발생이 보고된 횟수가 기 설정된 특정 임계횟수(B) 이하인지 판단한다(S185).
- [0144] 기지국(100)은, 단말(10)로부터 채널 Outage 발생이 보고된 횟수가 기 설정된 특정 임계횟수(B) 이하이면(S185 Yes), 단말(10)에 대하여 전술의 아날로그 빔 포밍 트레이닝을 생략하고 디지털 빔 포밍 트레이닝 만을 재 수행할 수 있다(S160 진입).
- [0145] 반면, 기지국(100)은, 단말(10)로부터 채널 Outage 발생이 보고된 횟수가 기 설정된 특정 임계횟수(B) 이하가 아니면(S185 No), 단말(10)에 대하여 전술의 아날로그 빔 포밍 트레이닝 및 디지털 빔 포밍 트레이닝을 모드 재 수행하도록 다시 말해 채널추정 과정 전체를 재 수행할 수 있다(S110 진입).
- [0146] 여기서, 기지국(100)은, 단말(10)로부터 채널 Outage 발생이 보고되지 않는 경우(S180 No), 기 설정되어 있는 채널추정 재 수행시간(예: Coherent Time)에 도달하면(S190 Yes) 전송할 하향 데이터가 존재한다면(S200 Yes) 채널추정 과정 전체를 재 수행할 수 있다(S110 진입).
- [0147] 이때, 본 발명에서는, 채널추정 재 수행시간(예: Coherent Time)이, 앞선 아날로그 빔 포밍 트레이닝 수행 시 결정한 아날로그 안테나의 개수에 반비례한 크기의 값으로 가변 설정되는 것도 가능하다. 결국, 아날로그 안테나의 개수가 작을수록 빔 폭이 넓어질 것이므로, 채널추정 재 수행시간(예: Coherent Time)은 빔 폭이 넓어질수록 짧게 설정될 것이다.
- [0148] 이렇게 되면, 넓은 빔 폭의 하이브리드 빔 포밍 신호를 통해 데이터를 수신하는 단말일수록, 채널추정 과정 전체가 재 수행되는 빈도 수가 더욱 줄어들 수 있다.

[0149] 이상에서 설명한 바와 같이, 본 발명의 하이브리드 빔 포밍 방법은, 하이브리드 빔 포밍 기술을 사용하는 MIMO 시스템에서, 아날로그 빔 포밍 시 사용되는 안테나 수에 따른 전송용량 이득 및 지연 문제 간의 트레이드 오프 관계에 고려하여, 양 측을 균형 있게 만족시킬 수 있는 최적의 빔 포밍을 운영할 수 있다.

[0150] 본 발명의 일 실시예에 따른 하이브리드 빔 포밍 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 본 발명을 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 본 발명의 동작을 수행하기 위해 하나 이상의 소프트웨어 모듈로서 작동하도록 구성될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다.

[0151] 지금까지 본 발명을 바람직한 실시 예를 참조하여 상세히 설명하였지만, 본 발명이 상기한 실시 예에 한정되는 것은 아니며, 이하의 특허청구범위에서 청구하는 본 발명의 요지를 벗어남이 없이 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 누구든지 다양한 변형 또는 수정이 가능한 범위까지 본 발명의 기술적 사상이 미친다 할 것이다.

산업상 이용가능성

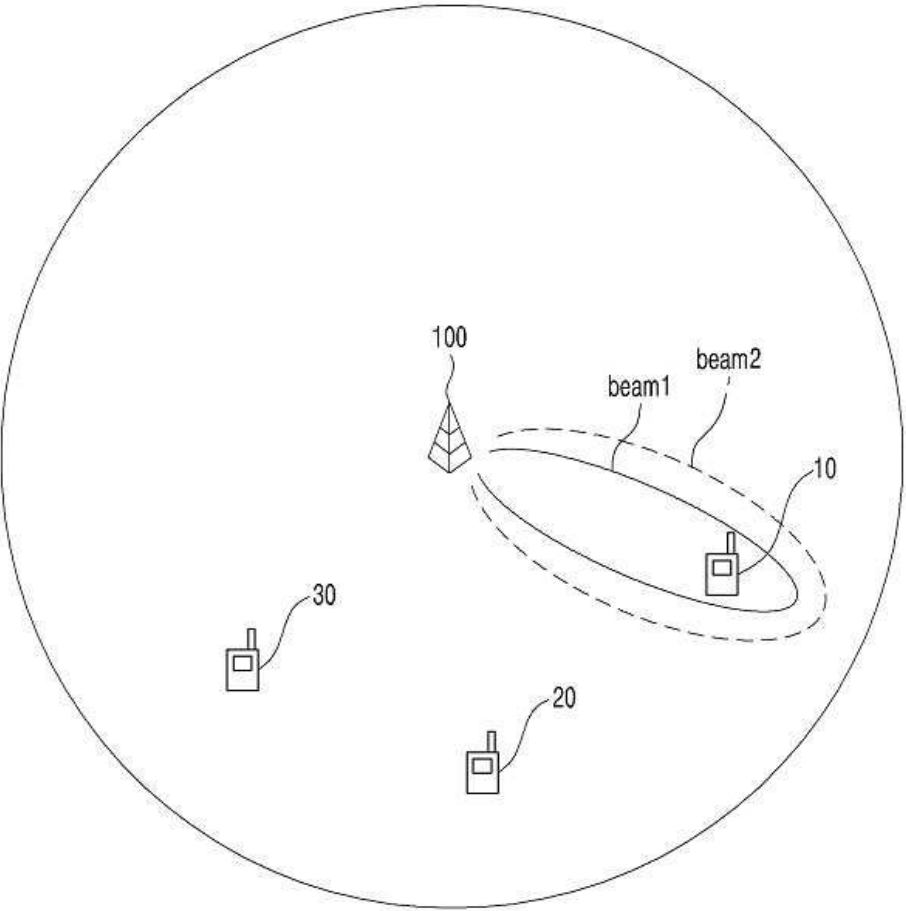
[0152] 본 발명에 따른 하이브리드 빔 포밍 송신장치 및 하이브리드 빔 포밍 방법에 따르면, 하이브리드 빔 포밍 기술을 사용하는 MIMO 시스템에서, 아날로그 빔 포밍 시 사용되는 안테나 수에 따른 전송용량 이득 및 지연 문제 간의 트레이드 오프 관계를 고려하여 최적의 빔 포밍을 운영한다는 점에서, 기존 기술의 한계를 뛰어 넘음에 따라 관련 기술에 대한 이용만이 아닌 적용되는 장치의 시판 또는 영업의 가능성이 충분할 뿐만 아니라 현실적으로 명백하게 실시할 수 있는 정도이므로 산업상 이용가능성이 있는 발명이다.

부호의 설명

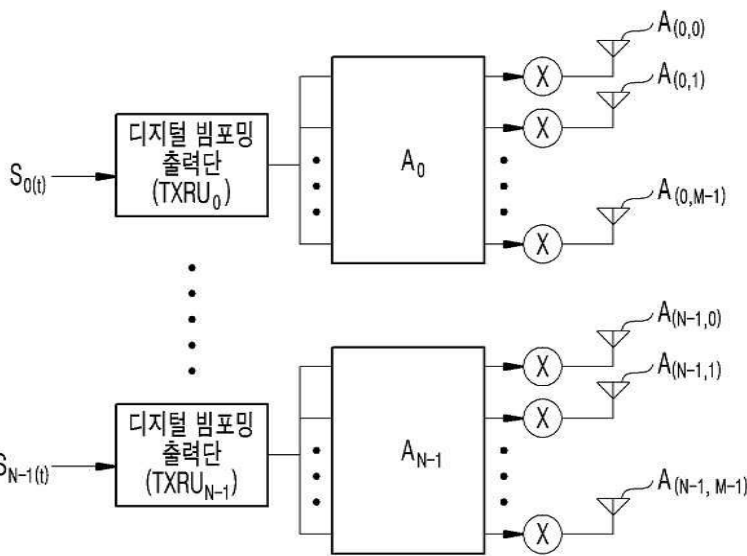
[0153] 10, 20, 30 : 단말
100 : 기지국(하이브리드 빔 포밍 송신장치)
110 : 아날로그빔포밍 트레이닝부 120 : 디지털빔포밍 트레이닝부
130 : 트레이닝제어부

도면

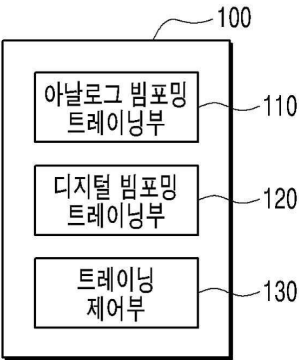
도면1



도면2



도면3



도면4

