



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2022년07월14일
(11) 등록번호 10-2420999
(24) 등록일자 2022년07월11일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04B 7/06 (2017.01) H04B 7/0408 (2017.01)
H04B 7/0456 (2017.01) H04L 25/02 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H04B 7/0617 (2013.01)
H04B 7/0408 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2021-0174169
(22) 출원일자 2021년12월07일
심사청구일자 2021년12월07일
(56) 선행기술조사문헌
KR101676578 B1*
KR1020130017572 A*
KR1020180087563 A*
KR102301131 B1*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
세종대학교산학협력단
서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)
(72) 발명자
송형규
경기도 성남시 분당구 중앙공원로 17, 320-303(서현동, 한양아파트)
이원석
서울특별시 광진구 동일로42길 10 106호
(74) 대리인
이강민, 안준형, 남승희

전체 청구항 수 : 총 11 항

심사관 : 구영희

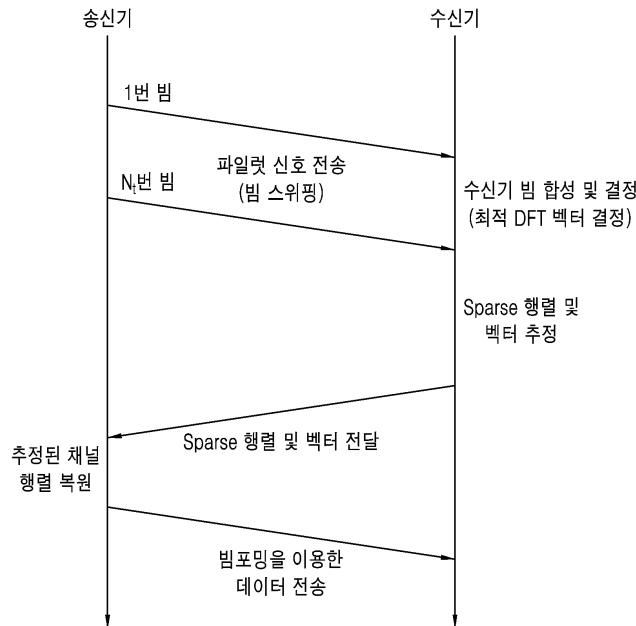
(54) 발명의 명칭 하이브리드 빔포밍 시스템을 위한 채널 추정 및 추정 정보 전달을 위한 장치 그 방법

(57) 요약

본 발명은 하이브리드 빔포밍 시스템에서 빔포밍을 수행하기 위한 채널 추정 및 추정 정보 전달 방법에 관한 것이다. 본 발명에 따르면, 하이브리드 빔포밍 시스템의 각 수신기가 채널을 추정하고 압축하여 전달하는 방법이 있어서, 송신기에서 DFT(Discrete Frequency Transform) 행렬 기반의 아날로그 빔들을 발생시켜 수신기로 전송

(뒷면에 계속)

대표도 - 도2



하는 단계와, 수신기에서 DFT 행렬 기반의 아날로그 합성기에서 적합한 벡터를 선택하는 단계, 수신기에서 수신한 송신기의 파일럿 신호들을 이용하여 희소 행렬(sparse matrix)을 찾는 단계, 희소 행렬(sparse matrix)을 이용하여 각 부반송파의 sparse 벡터를 추정하는 단계, 추정된 sparse 벡터들을 양자화하기 위해 비선형 코드북을 이용하는 단계, 희소 행렬(sparse matrix)과 양자화된 sparse 벡터들을 송신기에 전달하는 단계, 송신기에서 희소 행렬(sparse matrix)과 벡터를 이용하여 채널 행렬을 복원하는 단계, 및 최종적으로 송신기가 채널 행렬을 이용하여 하이브리드 빔포밍을 위한 신호처리 방법을 결정하는 단계를 포함하는 채널 추정 및 추정 정보의 전달 방법을 제공한다.

(52) CPC특허분류

- H04B 7/0478* (2013.01)
- H04B 7/0663* (2013.01)
- H04B 7/0682* (2013.01)
- H04B 7/0695* (2013.01)
- H04L 25/0224* (2013.01)
- H04L 25/0242* (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711139205
과제번호	2021-0-01816-001
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	정보통신기획평가원
연구사업명	정보통신방송혁신인재양성(R&D)
연구과제명	메타버스 자율트윈 핵심기술 연구
기여율	1/2
과제수행기관명	세종대학교 산학협력단
연구기간	2021.07.01 ~ 2021.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1345331679
과제번호	2020R1A6A1A03038540
부처명	교육부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	이공학학술연구기반구축(R&D)
연구과제명	자율지능무인비행체연구소
기여율	1/2
과제수행기관명	세종대학교
연구기간	2021.03.01 ~ 2022.02.28

공지예외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

하이브리드 빔포밍을 수행하기 위해 수신기에서 채널을 추정하고 송신기로 추정 정보를 전달하는 장치에 있어서,

적어도 둘 이상의 송신 안테나를 구비하며, 상기 구비된 송신 안테나 수와 동일한 수의 소정의 송신 파일럿 신호를 생성하여 수신기로 송신하고, 수신기에서 추정된 채널 정보를 전달 받아 채널 행렬을 복원하고, 상기 복원된 채널 행렬을 이용하여 하이브리드 빔포밍을 수행하는 송신기; 및

단일 수신 안테나를 구비하며, 송신기로부터 전송되는 송신 파일럿 신호들에 기반하여 빔포밍을 위한 채널을 추정하고, 추정된 채널 정보를 비선형 코드북을 이용하여 양자화 하고, 양자화 된 채널 정보를 송신기로 피드백하는 수신기;

를 포함하여 구성되며,

상기 수신기는,

송신기에서 송신한 부반송파를 수신하고, 수신기에서 추정된 채널 정보를 송신기로 전송하기 위한 N_r 개의 수신 안테나;

송신기에서 수신한 DFT 행렬 기반의 아날로그 빔의 열벡터들 중에서 가장 강하게 신호를 합성하는 벡터(수신 파일럿 신호)를 선택하는 수신기의 아날로그 빔포머;

상기 수신 파일럿 신호를 디지털 신호로 변경하기 위한 수신기의 RF 체인;

상기 선택된 합성 벡터들에 대해, 상기 모든 부반송파 채널에 대해 공통으로 추정되는 spares 행렬을 검출하는 sparse 행렬 검출모듈;

상기 공통의 sparse 행렬을 이용하여 각 부반송파의 채널마다 sparse 벡터를 검출하는 sparse 벡터 검출 모듈;

상기 sparse 벡터의 특징을 고려해서 비선형 코드북을 생성하고 이용하여 상기 추정된 spares 벡터들을 양자화 하는 양자화 모듈;

를 포함하여 구성되는 것을 특징으로 하는 하이브리드 빔포밍을 위한 채널 추정 장치.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 하이브리드 빔포밍을 수행하는 송신기는,

데이터를 무선 전송에 유리한 형태로 변조하는 N_s 개의 인코더;

상기 인코더에서 출력된 무선 전송 신호에 대해 디지털 빔포밍을 수행하기 위한 송신기의 디지털 빔포머;

상기 디지털 빔포머를 거쳐 빔포밍 된 신호에 대해 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 을 수행하여 부반송파(sub carrier)를 생성하기 위한 송신기의 OFDM 모듈;

상기 OFDM 모듈에서 생성된 부반송파인 디지털 신호를 아날로그 파형(DFT 행렬 기반의 아날로그 빔)으로 변환하기 위한 N_{RF} 개의 송신기의 RF 체인;

상기 아날로그 빔에 대해 빔 스위핑을 수행하기 위한 송신기의 아날로그 빔포머;

상기 빔 스위핑을 통해 수신기로 아날로그 빔(송신 파일럿 신호)를 전송하고, 수신기에서 추정된 채널 정보를

전달받는 N_t 개의 송신 안테나;

상기 수신기에서 전달받은 채널 정보를 통해 채널 행렬을 복원하는 채널 행렬 복원모듈;

을 포함하여 구성되는 것을 특징으로 하는 하이브리드 빔포밍을 위한 채널 추정 장치.

청구항 3

삭제

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 sparse 행렬 검출 모듈은,

수신 파일럿 신호로부터 아래의 (수학식 1)를 이용하여 sparse 행렬의 열벡터를 검출하고 검출된 열벡터를 통해 sparse 행렬을 구성하는 것;

을 특징으로 하는 하이브리드 빔포밍을 위한 채널 추정 장치.

(수학식 1)

$$i_{sel} = \underset{i}{\operatorname{argmax}} \left\{ \left[\left(P^T \Psi + \sigma^2 I_{N_c} \right)^H \right]_{:,i} \sum_{k=1}^K r[k] \right\}$$

(i_{sel} 은 sparse 행렬 구성을 위한 후보 벡터 집합 행렬의 열벡터를 가리키는 번호, Ψ 는 후보 벡터 집합 행렬, σ 는 잡음의 전력, i 는 열벡터의 순서, K 는 OFDM 부반송파의 수, k 는 부반송파의 번호, $r[k]$ 는 k 번째 부반송파에서 수신한 송신기의 파일럿 신호 벡터, P 는 DFT 행렬임)

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 sparse 벡터 검출 모듈은,

상기 sparse 행렬에서 각 부반송파 채널마다 (수학식 2) 을 이용하여 추정되는 sparse 벡터를 검출하는 것;

을 특징으로 하는 하이브리드 빔포밍을 위한 채널 추정 장치.

(수학식 2)

$$\hat{\mathbf{b}}[k] = \frac{1}{\Gamma} \{ P^T \hat{\Psi} \}^H \mathbf{r}[k]$$

($\hat{\Psi}$ 는 모든 부반송파에서 공통으로 이용하는 추정된 희소 행렬(sparse matrix)이며, $\hat{\mathbf{b}}[k]$ 는 각 부반송파 채널에서 추정한 sparse 벡터, Γ 는 sparse 벡터의 크기를 정규화하기 위한 상수, $r[k]$ 는 k 번째 부반송파에서 수신한 송신기의 파일럿 신호 벡터, P 는 DFT 행렬임)

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 양자화 모듈은 LBG 클러스터링 모듈을 사용하여 비선형 양자화 코드북 벡터를 생성하고, 상기 코드북을 이

용하여 상기 sparse 벡터를 양자화 하는 것;
 을 특징으로 하는 하이브리드 빔포밍을 위한 채널 추정 장치.

청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 sparse 벡터를 양자화 하는 과정은 아래의 (수학식 3) 및 (수학식 4) 를 통해 수행되는 것;
 을 특징으로 하는 하이브리드 빔포밍을 위한 채널 추정 장치.

(수학식 3)

$$[B]_{:,i} = \operatorname{argmin}_{[B]_{:,i}} \left\| \left\{ \frac{\hat{b}[k]}{\|\hat{b}[k]\|} \right\} - [B]_{:,i} \right\|$$

(B 는 본 발명의 비선형 양자화를 위한 코드북 행렬, $[B]_{:,i}$ 는 B 의 열벡터 중 양자화 오차가 가장 작은 열벡터,

$\|\hat{b}[k]\|$ 는 상기 $\hat{b}[k]$ 의 크기를 의미하며, 구체적으로 수학식 4를 통해 계산됨)

(수학식 4)

$$\|\hat{b}[k]\| = \sqrt{(\hat{b}[k])^H \hat{b}[k]}$$

청구항 8

하이브리드 빔포밍을 수행하기 위해 수신기에서 채널을 추정하고 송신기로 추정 정보를 전달하는 방법에 있어서,

송신기에서 DFT 행렬기반의 아날로그 빔들(부반송파)을 발생시켜, 빔 스위핑을 통해 수신기로 전송하는 단계;

상기 DFT 행렬의 열벡터들 중 가장 강하게 신호를 합성하는 벡터(파일럿 신호)를 수신기에서 선택하는 단계;

상기 선택된 합성 벡터들에 대해, 상기 모든 부반송파 채널에 대해 공통으로 추정되는 sparse 행렬을 검출하는 단계;

상기 공통의 sparse 행렬을 이용하여 각 부반송파의 채널마다 sparse 벡터를 검출하는 단계;

sparse 벡터의 특징을 고려해서 비선형 코드북을 생성하고 이용하여 상기 추정한 sparse 벡터들을 양자화 하는 단계;

상기 sparse 행렬과 상기 양자화된 sparse 벡터들을 송신기로 전달하는 단계;

송신기에서, 수신기로부터 전달받은 상기 sparse 행렬과 상기 sparse 벡터를 이용하여 채널행렬을 복원하는 단계;

송신기가 상기 복원된 채널 행렬을 이용하여 신호처리 하는 단계;

를 포함하는, 채널 추정 및 추정 정보 전달 방법.

청구항 9

제 8 항에 있어서,

상기 빔 스위핑을 통해 송신되는 송신기의 파일럿 신호는 DFT 행렬의 각 열벡터들을 차례로 아날로그 빔포머를 이용하여 전송되는 것;

을 특징으로 하는 채널 추정 및 추정 정보 전달 방법.

청구항 10

제 8 항에 있어서,

상기 선택된 합성 벡터들에 대해, 상기 모든 부반송파 채널에 대해 공통으로 추정되는 sparse 행렬을 검출하는 과정은 수신 파일럿 신호로부터 아래의 (수학식 1)을 이용하여 sparse 행렬의 열벡터를 검출하고 검출된 열벡터를 통해 sparse 행렬을 구성하는 것;

을 특징으로 하는 채널 추정 및 추정 정보 전달 방법.

(수학식 1)

$$i_{sel} = \underset{i}{\operatorname{argmax}} \left\{ \left[\left(P^T \Psi + \sigma^2 I_{N_c} \right)^H \right]_{:,i} \sum_{k=1}^K r[k] \right\}$$

(i_{sel} 은 sparse 행렬 구성을 위한 후보 벡터 집합 행렬의 열벡터를 가리키는 번호, Ψ 는 후보 벡터 집합 행렬, σ 는 잡음의 전력, i 는 열벡터의 순서, K 는 OFDM 부반송파의 수, k 는 부반송파의 번호, $r[k]$ 는 k 번째 부반송파에서 수신한 송신기의 파일럿 신호 벡터, P 는 DFT 행렬임)

청구항 11

제 8 항에 있어서,

상기 공통의 sparse 행렬을 이용하여 각 부반송파의 채널마다 sparse 벡터를 검출하는 과정은 아래의 (수학식 2)을 만족하는 것;

을 특징으로 하는 채널 추정 및 추정 정보 전달 방법.

(수학식 2)

$$\hat{b}[k] = \frac{1}{I} \{ P^T \hat{\Psi} \}^H r[k]$$

($\hat{\Psi}$ 는 모든 부반송파에서 공통으로 이용하는 추정된 희소 행렬(sparse matrix)이며, $\hat{b}[k]$ 는 각 부반송파 채널에서 추정한 sparse 벡터, I 는 sparse 벡터의 크기를 정규화하기 위한 상수, $r[k]$ 는 k 번째 부반송파에서 수신한 송신기의 파일럿 신호 벡터, P 는 DFT 행렬임)

청구항 12

제 8 항에 있어서,

상기 sparse 벡터의 특징을 고려해서 비선형 코드북을 생성하고 이용하여 상기 추정한 sparse 벡터들을 양자화하는 과정은 아래의 (수학식 3) 및 (수학식 4)을 이용하여 수행하는 것;

을 특징으로 하는 채널 추정 및 추정 정보 전달 방법.

(수학식 3)

$$[B]_{:,i} = \operatorname{argmin}_{[B]_{:,i}} \left\| \left\{ \frac{\hat{b}[k]}{\|\hat{b}[k]\|} \right\} - [B]_{:,i} \right\|$$

(B 는 본 발명의 비선형 양자화를 위한 코드북 행렬, $[B]_{:,i}$ 는 B 의 열벡터 중 양자화 오차가 가장 작은 열벡터, $\|\hat{b}[k]\|$ 는 상기 $\hat{b}[k]$ 의 크기를 의미하며, 구체적으로 수학식 4를 통해 계산됨)

(수학식 4)

$$\|\hat{b}[k]\| = \sqrt{(\hat{b}[k])^H \hat{b}[k]}$$

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 하이브리드 빔포밍 시스템에서 빔포밍을 수행하기 위한 채널 추정 및 추정 정보 전달 방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 수신기에서 송신기의 파일럿 신호를 이용하여 채널을 추정하는 방법 및 장치, 추정된 채널을 양자화하기 위한 코드북을 생성하는 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 3GPP에서 표준화가 진행되고 있는 최근 규격은 3GHz 이상의 고주파수 대역을 대상으로 하고 있다. 해당 주파수 대역은 기존의 1GHz 이하의 주파수 대역보다 거리에 따른 신호의 감쇄가 심하지만 기존의 안테나보다 더 가까운 거리에 안테나를 위치시킬 수 있는 장점이 있다. 안테나 간 거리가 가까워지면 기존과 같은 크기의 공간에 더 많은 안테나를 설치할 수 있고 다수의 안테나를 이용한 빔포밍 기술을 적용할 수 있다.

[0004] 빔포밍은 다수의 안테나로 송신 또는 수신하는 전파의 진폭과 위상을 조정하여 원하는 위치에 도달하는 신호들의 합을 증폭하거나 감쇄하는 기술이다.

[0005] 빔포밍 기술의 이점을 통해 20GHz 이상의 주파수 대역에서도 신호의 감쇄를 효과적으로 보상할 수 있다. 하지만 빔포밍 기술은 원하는 위치에서 전파가 어떤 형태로 왜곡되어 도달하는지를 알아야 적용이 가능하다. 3GHz 이상의 밀리미터 주파수 대역에서 운용되는 시스템들은 빔포밍을 구현하기 위한 다양한 채널정보 획득 방법들을 사용하고 있다.

[0006] 빔포밍을 위해 각 안테나로 송수신하는 신호에 대한 진폭과 위상의 조정은 전자회로를 이용한 아날로그 처리 방법과 계산 모듈을 이용한 디지털 처리 방법으로 수행될 수 있다. 아날로그 처리 방법의 경우 처리를 위해 사용되는 소자의 사양이 높아질수록 가격이 급격하게 올라간다는 문제가 있다. 그렇기 때문에 진폭을 조정하기 위한 증폭기보다 상대적으로 비용이 적게 들어가는 위상지연기만을 이용하는 것이 일반적이다. 디지털 처리 방법은 비트 단위의 연산으로 조정이 수행된다. 하지만 비트로 구성된 디지털 신호를 실제 전파로 변환하거나 반대의 과정을 수행하기 위한 RF 체인이 안테나마다 요구된다.

[0007] 빔포밍의 성능은 전파의 진폭과 위상을 자유롭게 조정할 수 있는 디지털 빔포밍이 아날로그 빔포밍보다 뛰어나다. 하지만 최근 표준화 방향은 송신기와 수신기에서 사용하는 안테나의 수를 늘리는 방향이기 때문에 안테나마다 아날로그와 디지털 신호 간 변환을 수행하는 디지털 빔포밍은 아날로그 빔포밍보다 더 큰 비용을 요구한다.

[0008] 디지털 빔포밍의 단점을 보완하면서 성능을 비슷하게 유지하기 위한 방법으로 하이브리드 빔포밍이 제안됐다. 하이브리드 빔포밍은 아날로그 빔포밍과 디지털 빔포밍을 함께 사용하는 방법이다. 디지털 빔포밍은 다른 수신기로 전송하는 신호 간 간섭을 제거하기 위해 사용되며, 아날로그 빔포밍은 간섭이 제거된 신호를 증폭하는데 사용한다. 디지털 빔포밍은 간섭 제거만을 위해 사용하기 때문에 안테나의 수보다 RF 체인의 수를 크게 줄일 수 있다. 또한 아날로그 빔포밍은 각 전파의 진폭 조정이 불가능하기 때문에 간섭 제거가 어렵지만 디지털 빔포밍

으로 인해 신호 증폭을 위한 역할만을 수행할 수 있다. 아날로그 빔포밍을 위해 사용하는 위상지연기는 각 안테나마다 설치되지만 증폭기나 RF 체인의 전자 소자들보다 낮은 비용으로 설치할 수 있다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0010] (특허문헌 0001) 한국 등록특허 제 10-1192041호
- (특허문헌 0002) 한국 등록특허 제10-2301131호

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0011] 본 발명은, 하이브리드 빔포밍 시스템에서 빔포밍을 수행하기 위한 채널 추정 방법, 추정된 채널 정보를 압축하여 송신기로 전달하기 위한 방법 및 그 장치를 제공하는데 목적이 있다.

과제의 해결 수단

- [0013] 본 발명의 채널 추정 방법은, 송신기에서 DFT(Discrete Frequency Transform) 행렬 기반의 아날로그 빔들을 발생시켜 파일럿 신호들을 수신기로 전송하는 단계; 수신기에서 상기 송신기에서 전송한 신호들을 수신하고, DFT 행렬 기반의 아날로그 합성기에서 적합한 벡터를 선택하는 단계; 수신기에서 수신한 송신기의 파일럿 신호들을 이용하여 희소 행렬(sparse matrix)을 찾는 단계; 희소 행렬(sparse matrix)을 이용하여 각 부반송파의 sparse 벡터를 추정하는 단계; 추정된 sparse 벡터들을 양자화하기 위해 비선형 코드북을 이용하는 단계; 희소 행렬(sparse matrix)과 양자화된 sparse 벡터들을 송신기에 전달하는 단계; 송신기에서 희소 행렬(sparse matrix)과 벡터를 이용하여 채널 행렬을 복원하는 단계; 송신기가 채널 행렬을 이용하여 하이브리드 빔포밍을 위한 신호처리 방법을 결정하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0014] 상기 송신기에서 DFT 행렬 기반의 아날로그 빔들을 발생시켜 수신기로 전송하는 단계는 빔 스위칭이라고 불리는 다수의 빔을 바꿔가며 연속하여 파일럿 신호를 전송하는 방법을 이용한다.
- [0015] 상기 DFT 행렬 기반의 아날로그 빔들은 DFT 연산을 위한 지수 항들로 구성되어 있고 각 지수 항은 위상만을 지연하여 구현하는 것이 가능하다.
- [0016] 상기 DFT 행렬 기반의 아날로그 빔들은 각 안테나의 위상지연기만을 이용하여 전송하는 것이 가능하다.
- [0017] 상기 수신기에서 DFT 행렬 기반의 아날로그 합성기에서 적합한 벡터를 선택하는 단계는 DFT 행렬의 열벡터들 중 가장 강하게 신호를 합성하는 벡터를 선택한다.
- [0018] 상기 수신기에서 수신한 송신기의 파일럿 신호들을 이용하여 희소 행렬(sparse matrix)을 찾는 단계는 다수의 부반송파에 대한 공통의 희소 행렬(sparse matrix)을 찾는 단계와 공통의 희소 행렬(sparse matrix)을 이용하여 각 부반송파의 sparse 벡터를 찾는 단계를 포함한다.
- [0019] 상기 다수의 부반송파에 대한 공통의 희소 행렬(sparse matrix)을 찾는 단계는 DFT 행렬의 열벡터들을 이용하며, 송신기에 채널 정보를 전달할 때 DFT 행렬에서 해당 열벡터의 번호를 전달하는 것으로 정보의 크기를 줄일 수 있다.
- [0020] 상기 공통의 희소 행렬(sparse matrix)을 이용하여 각 부반송파의 sparse 벡터를 찾는 단계는 상기 공통의 희소 행렬(sparse matrix)과 곱 연산을 수행했을 때 부반송파의 수신 신호와 차이가 가장 작은 sparse 벡터를 찾는다.
- [0021] 상기 추정된 sparse 벡터들을 양자화하기 위해 비선형 코드북을 이용하는 단계의 상기 비선형 코드북은 상기 추정된 sparse 벡터의 특징을 고려하여 생성된다.
- [0022] 상기 희소 행렬(sparse matrix)과 양자화된 sparse 벡터들을 송신기에 전달하는 단계는 상기 공통 희소 행렬(sparse matrix)과 각 부반송파의 양자화된 sparse 벡터들을 피드백 채널로 전송하는 방법을 이용한다.
- [0023] 상기 송신기에서 희소 행렬(sparse matrix)과 벡터를 이용하여 채널 행렬을 복원하는 단계는 상기 희소 행렬

(sparse matrix)과 벡터 추정의 역 과정을 통해 수행된다.

[0024] 상기 송신기가 채널 행렬을 이용하여 하이브리드 빔포밍을 위한 신호처리 방법을 결정하는 단계에서는 상기 복원된 채널 행렬을 이용한 어떤 신호처리 방법도 적용이 가능하다.

[0025] 본 발명에 따르는 송신기는, 데이터를 무선 전송에 유리한 형태로 변조하는 N_s 개의 인코더; 상기 인코더에서 출력된 무선 전송 신호에 대해 디지털 빔포밍을 수행하기 위한 송신기의 디지털 빔포머; 상기 디지털 빔포머를 거쳐 빔포밍 된 신호에 대해 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 을 수행하여 부반송파(sub carrier)를 생성하기 위한 송신기의 OFDM 모듈; 상기 OFDM 모듈에서 생성된 부반송파인 디지털 신호를 아날로그

파형(DFT 행렬 기반의 아날로그 빔)으로 변환하기 위한 N_{RF} 개의 송신기의 RF 체인; 상기 아날로그 빔에 대해 빔 스위핑을 수행하기 위한 송신기의 아날로그 빔포머; 상기 빔 스위핑을 통해 수신기로 아날로그 빔(송신 파일

릿 신호)를 전송하고, 수신기에서 추정된 채널 정보를 전달받는 N_t 개의 송신 안테나; 상기 수신기에서 전달받은 채널 정보를 통해 채널 행렬을 복원하는 채널 행렬 복원모듈;을 포함하여 구성될 수 있다.

[0026] 본 발명의 시스템을 구성하는 수신기는, 송신기에서 송신한 부반송파를 수신하고, 수신기에서 추정된 채널 정보

를 송신기로 전송하기 위한 N_r 개의 수신 안테나; 송신기에서 수신한 DFT 행렬 기반의 아날로그 빔의 열벡터들 중에서 가장 강하게 신호를 합성하는 벡터(수신 파일릿 신호)를 선택하는 수신기의 아날로그 빔포머; 상기 수신 파일릿 신호를 디지털 신호로 변경하기 위한 수신기의 RF 체인; 상기 선택된 합성 벡터들에 대해, 상기 모든 부반송파 채널에 대해 공통으로 추정되는 sparse 행렬을 검출하는 sparse 행렬 검출모듈; 상기 공통의 sparse 행렬을 이용하여 각 부반송파의 채널마다 sparse 벡터를 검출하는 sparse 벡터 검출 모듈; 상기 sparse 벡터의 특징을 고려해서 비선형 코드북을 생성하고 이용하여 상기 추정된 sparse 벡터들을 양자화 하는 양자화 모듈;을 포함하여 구성될 수 있다.

발명의 효과

[0028] 본 발명에 따르면 하이브리드 빔포밍 시스템에서 더 적은 자원을 이용하여 채널 행렬을 압축할 수 있으며, 송신기는 복원한 채널 행렬을 이용하여 효과적인 신호처리가 가능하다.

[0029] 본 발명에 따르면 송신기에서 채널 행렬의 복원이 가능할 경우 다수의 수신기로 전송하는 신호 간 간섭을 송신기에서 해결할 수 있고 같은 시간 및 주파수 자원을 이용하여 다수의 수신기로 동시에 신호를 전송하는 것이 가능하다.

도면의 간단한 설명

[0031] 도 1은 본 발명에서 제공하는 채널 추정 방법이 적용될 수 있는 송신기와 수신기의 구조 및 빔포밍 시스템을 나타낸 도면이다.

도 2는 본 발명의 빔포밍 시스템을 위한 채널 추정 및 추정 정보 전달 과정을 나타낸 도면이다.

도 3은 본 발명의 비선형 벡터 양자화를 위한 코드북 생성을 설명한 알고리즘을 나타낸 도면이다.

도 4는 본 발명의 비선형 벡터 양자화를 위해 생성된 코드북 벡터의 예를 나타낸 도면이다.

도 5는 본 발명에서 제공하는 비선형 벡터 양자화를 위한 코드북의 양자화 오차를 코드북의 크기에 따라 측정하여 나타낸 도면이다.

도 6은 본 발명에서 제공하는 방법을 통해 복원한 채널을 이용하여 빔포밍을 적용할 경우의 주파수 효율 성능을 신호 대 잡음 비에 따라 측정하여 나타낸 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0032] 첨부한 도면을 참고로 하여 본 발명의 실시 예에 대하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다.

- [0033] 본 발명은 하이브리드 빔포밍 시스템에서 채널 추정을 수행하고 송신기에 추정 정보를 전달하기 위한 장치 및 그 방법에 관한 것으로, 다중 안테나 신호처리를 위한 채널 행렬을 밀리미터 주파수 대역의 특징을 이용하여 효과적으로 압축하는 것이 가능하며, 소규모 자원을 이용하여 추정 행렬을 송신기에 전달하는 것이 가능한 방법을 제공한다.
- [0035] 이하, 도면을 참조하여 본 발명에 대하여 상세하게 설명한다.
- [0037] (1) 송신기에서 DFT(Discrete Frequency Transform) 행렬 기반의 아날로그 빔들을 발생시켜 파일럿 신호들을 수신기로 전송하는 단계
- [0039] 먼저, 송신기에서 빔스위핑 기법으로, DFT(Discrete Frequency Transform) 행렬 기반의 아날로그 빔들을 발생시켜 수신기로 파일럿 신호를 전송하는 단계를 진행한다.
- [0040] 도 1 및 도 2에서는 N_t 개의 송신빔들을 스위핑하여 전송하는 예를 도시하였다.
- [0041] N_t 개의 송신빔들은, 파일럿 신호를 포함하며, 미리 결정된 DFT 행렬 기반으로 아날로그 빔들을 생성하여 수신기로 전송하는 단계이다.
- [0042] 송신기의 빔 스위핑은 DFT 행렬의 각 열벡터들을 차례로 아날로그 빔포머를 이용하여 전송하는 빔스위핑 방식으로 부반송파에 파일럿 신호를 전송한다.
- [0043] 빔 스위핑을 위한 DFT 행렬은 아래의 수학적 식 1을 통해 계산될 수 있으며, 본 발명에서는, 미리 계산된 DFT 행렬이 송신기의 제어부와 수신기의 제어부 또는 그에 부속되는 메모리에 저장된 상태로 채널 추정 동작에 사용될 수 있다.

수학적 식 1

[0044]
$$P = \left[p\left(-\frac{1}{2}\right) \ p\left(-\frac{1}{2} + \frac{1}{N_t}\right) \ \dots \ p\left(\frac{1}{2} - \frac{1}{N_t}\right) \right], \quad p(m) = \left[1 \ e^{-j2\pi m} \ \dots \ e^{-j2\pi m(N_t-1)} \right]^T$$

- [0045] (P 는 DFT 행렬이고, N_t 는 송신 안테나의 수, $p(m)$ 는 P 를 구성하는 각 열벡터이다)
- [0046] 상기 수학적 식 1에서, DFT 행렬 P는 안테나 수와 같은 수의 열벡터들로 구성된다. DFT 행렬에 있는 값들은 복소수이고, 신호의 위상값을 표현하는 복소성분이 각각 다르게 구성된다. 행렬의 각 엘리먼트들은 송신하는 아날로그 신호의 위상의 천이 정도를 결정한다.
- [0048] (2) 수신기에서 상기 송신기에서 전송한 신호들을 수신하고, DFT 행렬 기반의 아날로그 합성기에서 적합한 벡터를 선택하는 단계;
- [0050] 도 2는 본 발명의 빔포밍 시스템을 위한 채널 추정 및 추정 정보 전달 과정을 나타낸 도면인데, 도 2에 의하면 송신기와 수신기는 미리 결정한 DFT 행렬의 열벡터들을 이용하여 빔 스위핑 및 최적의 빔 합성을 위한 벡터를 탐색한다. 최적의 빔 합성 벡터를 검출하는 과정은 수신감도가 가장 좋은 신호를 검출하는 것이다.
- [0052] (3) 희소 행렬(sparse matrix) 및 벡터 추정 단계
- [0053] 수신기는 상기 송신기가 빔 스위핑 과정을 통해 전송한 신호들을 수신하고, 최적 빔 합성기를 통해 수신한 송신기의 파일럿 신호들을 이용하여 희소 행렬(sparse matrix) 및 벡터를 추정한다.
- [0054] 상기 희소행렬(sparse matrix)은 OFDM의 모든 부반송파 채널에 대해 공통으로 추정되며, 수학적 식 2는 희소 행렬(sparse matrix)의 열벡터를 하나씩 검출하기 위한 수학적 식을 나타낸다.

수학식 2

$$i_{sel} = \underset{i}{\operatorname{argmax}} \left\{ \left[\left(P^T \Psi + \sigma^2 I_{N_t} \right)^H \right]_{:,i} \sum_{k=1}^K r[k] \right\}$$

[0055]

[0056] i_{sel} 은 sparse 행렬 구성을 위한 후보 벡터 집합 행렬의 열벡터를 가리키는 번호를, Ψ 는 후보 벡터 집합

행렬을, σ 는 잡음의 전력을, $P^T \Psi + \sigma^2 I_{N_t} = A$ 라고 표현했을 때 $[A]_{:,i}$ 는 A 행렬의 i 번째 열벡터, K 는 OFDM 부반송파의 수, k는 부반송파의 번호를, $r[k]$ 는 k 번째 부반송파에서 수신한 송신기의 파일럿 신호 벡터를 의미한다.

[0057] 상기 수학식 2에서 Ψ 는 $(P^T)^H$ 로 계산되며, 수신 파일럿 신호로부터 희소 행렬(sparse matrix)의 열벡터를 검출하기 위한 행렬이다.

[0058] 상기 수학식 2에서 $[A]_{:,i}$ 는 A 행렬의 i 번째 열벡터를 의미하며, K는 OFDM 부반송파의 수를 의미한다.

[0059] 상기 수학식 2에서 $r[k]$ 는 k 번째 부반송파에서 수신한 송신기의 파일럿 신호 벡터를 나타낸다.

[0060] $r[k]$ 는 송신기에서 빔 스위핑을 통해 전송한 각 파일럿 신호들을 포함하는 벡터이다.

[0061] 상기 수학식 2는 희소 행렬(sparse matrix)을 구성하기 위한 충분한 수의 열벡터를 찾을 때까지 반복하며, 열벡터의 수는 수신기에서 관측되는 채널의 다중 경로 수와 같은 값으로 설정할 수 있다.

[0062] 무선 전파는 사물에 부딪히면 굴절, 반사와 산란 등의 현상으로 파편화된 전파들이 생성되며, 다중 경로를 통해 수신기로 들어온다.

[0063] 무선 채널의 다중경로의 수와 희소 행렬(sparse matrix)의 열벡터의 크기는 일반적으로 비례하는 현상을 보인다.

[0064] 최근 5G와 6G가 대상으로 하는 밀리미터 주파수 대역은 산란 현상이 상대적으로 잘 발생하지 않아 희소 행렬(sparse matrix)의 크기가 작다.

[0065] 본 발명은 모든 부반송파 채널에 대해 공통의 희소 행렬(sparse matrix)을 검출하고 송신기에 전달하는 방법으로 밀리미터 대역에서 효과적으로 자원을 절약할 수 있다.

[0066] 상기 희소 행렬(sparse matrix)의 검출이 완료된 후 각 부반송파 채널마다 sparse 벡터의 검출을 진행한다.

[0067] 상기 sparse 벡터의 검출은 수학식 3을 통해 수행된다.

수학식 3

$$\hat{\delta}[k] = \frac{1}{I} \{ P^T \Psi \}^H r[k]$$

[0068]

[0069] 상기 수학식 3에서 $\hat{\delta}$ 는 모든 부반송파에서 공통으로 이용하는 추정된 희소 행렬(sparse matrix)이며, $\hat{\delta}[k]$ 는 각 부반송파 채널에서 추정한 sparse 벡터이다.

[0070] 상기 수학식 3에서 I는 sparse 벡터의 크기를 정규화하기 위한 상수를 의미하며, $r[k]$ 는 k 번째 부반송파에서 수신한 송신기의 파일럿 신호 벡터를 의미한다.

- [0072] (3) 양자화 단계
- [0073] 수신기에서는 sparse 벡터의 특징을 고려해서 비선형 코드북을 생성하고 이용하여 상기 추정된 spares 벡터들을 양자화한다.
- [0075] 상기 수학식 3에서 검출한 $\hat{\mathbf{v}}$ 와 각 부반송파의 $\hat{\mathbf{d}}[k]$ 는 양자화 후 피드백 채널을 통해 송신기로 전달된다.
- [0076] 도 3은 본 발명의 비선형 벡터 양자화를 위한 코드북을 생성을 설명한 알고리즘을 나타낸 도면이다.
- [0077] 본 발명의 비선형 벡터 양자화 코드북은 특정한 벡터 공간에서 가장 작은 양자화 오차로 주어진 벡터들을 대표 할 수 있는 대표 벡터들을 찾는다.
- [0078] 상기 $\hat{\mathbf{d}}[k]$ 에 포함된 각 요소는 크기에 따라 내림차순으로 정렬되어 검출된다.
- [0079] 상기 코드북 생성을 위한 특정한 벡터 공간은 상기 $\hat{\mathbf{d}}[k]$ 의 특징을 고려하여 각 요소의 크기가 내림차순으로 정 렬된 벡터 공간을 설정할 수 있다.
- [0080] 도 3의 알고리즘은 상기 $\hat{\mathbf{d}}[k]$ 의 특징을 고려한 벡터 공간에서 임의의 벡터들을 발생 후 기존에 벡터 양자화를 위한 알고리즘으로 널리 사용된 LBG 클러스터링 알고리즘을 이용한다.
- [0081] 도 4는 본 발명의 비선형 벡터 양자화를 위해 생성된 코드북 벡터의 예를 나타낸 도면이다.
- [0082] 도 4의 코드북 생성을 위해 구체적인 벡터 공간은 보라색 벡터로부터 30도 이내의 공간으로 설정했다.
- [0083] 도 4의 초록 벡터들은 크기 1인 임의의 3차원 벡터를 나타내며, 파란 벡터들은 상기에 설정한 공간에 속하는 벡 터들을 나타낸다.
- [0084] 도 4의 빨간 벡터들은 파란 벡터들에 대해 LBG 알고리즘을 적용하여 생성한 코드북 벡터들을 나타낸다.
- [0085] 본 발명에서 제공하는 방법을 통해 생성한 코드북은 상기 $\hat{\mathbf{d}}[k]$ 의 위상만을 양자화한다.
- [0086] 상기 $\hat{\mathbf{d}}[k]$ 의 위상만을 양자화하기 위한 과정은 수학식 4를 통해 수행한다.

수학식 4

$$[\mathbf{B}]_{:,i} = \operatorname{argmin}_{[\mathbf{B}]_{:,i}} \left\| \left\{ \frac{\hat{\mathbf{d}}[k]}{\|\hat{\mathbf{d}}[k]\|} \right\} - [\mathbf{B}]_{:,i} \right\|$$

- [0087]
- [0088] 상기 수학식 4의 \mathbf{B} 는 본 발명의 비선형 양자화를 위한 코드북 행렬을 의미하며, $[\mathbf{B}]_{:,i}$ 는 \mathbf{B} 의 열벡터 중 양자 화 오차가 가장 작은 열벡터를 의미한다.
- [0089] 상기 수학식 4의 $\|\hat{\mathbf{d}}[k]\|$ 는 상기 $\hat{\mathbf{d}}[k]$ 의 크기를 의미하며, 구체적으로 수학식 5을 통해 계산한다.

수학식 5

$$\|\hat{\mathbf{d}}[k]\| = \sqrt{(\hat{\mathbf{d}}[k])^H \hat{\mathbf{d}}[k]}$$

- [0090]
- [0091] 복소벡터의 경우 위상이 크기보다 더 많은 정보를 포함하기 때문에 본 발명의 코드북은 효과적인 위상의 양자화 방법만을 고려한다.
- [0092] 상기 수학식 5로 계산되는 $\hat{\mathbf{d}}[k]$ 의 크기는 1차원 양자화 방법을 통해 위상 양자화보다 상대적으로 단순한 양자화

가 가능하다.

[0093] 도 5는 본 발명에서 제공하는 비선형 벡터 양자화를 위한 코드북의 양자화 오차를 코드북의 크기에 따라 측정하여 나타낸 도면이다.

[0094] 도 5의 세로축은 양자화 오차인 NMSE(Normalized Mean Squared Error)를 나타내며, 수학적 식 6를 통해 계산한다.

수학적 식 6

$$NMSE = 10 \log \left(\frac{\| \mathbf{h} \| - \| \hat{\mathbf{h}} \|}{\| \mathbf{h} \|} \right)$$

[0095]

[0096] 수학적 식 6에서 \mathbf{h} 는 송신기와 각 수신기 사이의 채널 벡터를 나타낸다.

[0097] 도 5의 가로축은 코드북의 크기를 의미하며, 위상만을 양자화하는 코드북의 크기를 bit 단위로 환산한 것이다.

[0098] 도 5에서 QCF(Quantized Channel Feedback)-L은 선형 양자화 코드북을 이용하여 채널 추정 및 복원을 한 경우이며, QCF-NL은 본 발명의 코드북을 이용하여 채널 추정 및 복원을 한 경우이다.

[0099] 두 방법 모두 수신기의 안테나 수를 1, 4개로 가정하여 실험을 진행한 결과를 나타낸 것이다.

[0100] 도 5의 측정 결과를 통해 모든 코드북 크기에서 본 발명의 결과가 더 낮은 오차를 달성하는 것을 확인할 수 있다.

[0101] 도 5에서 선형 코드북과 본 발명의 코드북 간 성능 차이는 수신기에서 더 많은 안테나를 사용한 것을 큰 것을 확인할 수 있다.

[0102] 도 6은 본 발명에서 제공하는 방법을 통해 복원한 채널을 이용하여 빔포밍을 적용할 경우의 주파수 효율 성능을 신호 대 잡음 비에 따라 측정하여 나타낸 도면이다.

[0103] 도 6의 세로축은 주파수 효율을 나타내며, 주파수 1Hz당 달성 가능한 최대 전송률을 bit/sec 단위로 계산한 것이다.

[0104] 도 6의 가로축은 신호 대 잡음 비인 SNR(Signal to Noise Ratio)이며, 수신기에 도달한 신호의 전력과 수신기에 발생하는 열잡음인 가우시안 잡음의 비율을 계산한 것이다.

[0105] 도 6의 Beam steering으로 표현한 그래프는 송신기에서 완벽한 채널 행렬을 안다고 가정한 상태에서 아날로그 빔포밍을 통해 정확한 각도를 조준하여 빔포밍을 하는 경우의 성능을 나타낸 것이다.

[0106] 도 6의 QCF-L과 QCF-NL은 선형과 비선형 코드북을 이용하여 채널 양자화 및 복원을 수행하고 빔포밍을 적용한 경우의 성능을 나타낸 것이다.

[0107] 도 6의 모든 실험에서 송신기는 64개의 안테나를 이용하여 빔포밍을 수행했으며, 동일한 디지털 빔포밍 방법을 적용했다.

[0108] 도 6의 QCF-L과 QCF-NL의 아날로그 빔포밍은 복원한 채널을 바탕으로 최적의 빔포밍 이득을 얻을 수 있는 방법을 적용했다.

[0109] 도 6의 결과를 통해 본 발명의 코드북을 이용한 경우 선형 코드북을 이용한 경우보다 더 높은 효율을 달성하는 것을 확인할 수 있다.

[0110] 도 6에서 본 발명의 코드북을 이용한 경우와 선형 코드북을 이용한 경우의 성능 차이는 수신기에서 더 많은 안테나를 사용한 경우에 더 큰 것을 확인할 수 있다.

[0111] 이와 같이, 수신기는 상기 spares 행렬과 상기 양자화된 spares 벡터들을 송신기로 전달하고, 송신기는 수신기에서 전달 받은 상기 spares 행렬과 상기 양자화된 spares 벡터들을 이용하여 채널 행렬을 복원한다.

[0115] 2. 본 발명에 따른 하이브리드 빔 포밍을 수행하기 위한 채널 추정장치

- [0117] 도 1은 본 발명에서 제공하는 채널 추정 방법이 적용될 수 있는 송신기와 수신기의 구조 및 하이브리드 빔포밍 시스템을 나타낸 도면이다.
- [0118] 본 발명에 따른 채널 추정 장치는 다중 안테나 신호처리를 위한 채널 행렬을 밀리미터 주파수 대역의 특징을 이용하여 효과적으로 압축하고, 소규모의 자원을 이용하여 채널 행렬을 송신기에 전달 하여 정확한 신호처리를 하기 위한 장치로서, 송신기와 수신기를 포함하여 구성된다.
- [0119] 도 1에 나타낸 것과 같이, 본 발명이 대상으로 하는 시스템의 송신기는 데이터를 무선 전송에 유리한 형태로 변조하는 N_s 개의 인코더, 디지털 빔포밍을 위한 디지털 빔포머, OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)을 위한 OFDM 모듈, 디지털 신호를 아날로그 파형으로 변환하기 위한 M_{RF} 개의 RF 체인과 아날로그 빔포밍을 위한 아날로그 빔포머를 포함한다.
- [0120] 본 발명이 대상으로 하는 시스템의 수신기는 단일 RF 체인 및 OFDM 모듈과 아날로그 빔을 합성하기 위한 빔 합성기를 포함한다.
- [0121] 상기 아날로그 빔 합성기는 송신기의 아날로그 빔포머와 유사한 역할을 수행하므로 수신기로 위한 빔포머로 볼 수 있다.
- [0122] 도 1에서는 송신기와 수신기가 채널을 추정하기 위해 빔 스위핑과 빔 합성을 수행하는 것을 보인다. 도면을 참조하여, 본 발명에 따른 채널 추정 장치에 대하여 설명한다.
- [0123] 1.1. 송신기(100)
- [0124] 1.1.1. 인코더(110)
- [0125] 송신기의 인코더는 N_s 개로 이루어져 있으며, 데이터를 무선 전송에 유리한 형태로 변조한다. 상기 송신기를 구성하는 인코더의 수인 N_s 는 다중 빔포밍을 통해 동시에 데이터를 전송할 수 있는 수신기의 수와 같다.
- [0126] 1.1.2. 디지털 빔포머(120)
- [0127] 송신기의 디지털 빔포머는 상기 인코더에서 출력된 무선 전송 신호에 대해 디지털 빔포밍을 수행한다.
- [0128] 1.1.3. OFDM 변조기(130: modulator)
- [0129] 송신기의 OFDM 변조기는 M_{RF} 개로 이루어져 있으며, 상기 디지털 빔포밍을 통해 빔포밍 된 신호에 대해 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 을 수행하여 부반송파(sub carrier)를 생성하고,파일럿 신호를 부반송파로 변조한다.
- [0130] 1.1.4. RF 체인(140)
- [0131] 수신기의 RF 체인은 M_{RF} 개로 이루어져 있으며, 상기 OFDM 변조기에서 생성된 부반송파인 디지털 신호를 아날로그 파형(DFT 행렬 기반의 아날로그 빔)으로 변환한다.
- [0132] 1.1.5. 아날로그 빔포머(150)
- [0133] 송신기의 빔 스위핑은 DFT 행렬의 각 열벡터들을 차례로 아날로그 빔포머를 이용하여 전송하는 빔스위핑 방식으로 부반송파에 파일럿 신호를 전송한다.
- [0134] 빔 스위핑을 위한 DFT 행렬은 위 수학적 식 1을 통해 계산될 수 있으며, 본 발명에서는, 미리 계산된 DFT 행렬이 송신기의 제어부와 수신기의 제어부에 저장된 상태로 채널 추정 동작에 사용될 수 있다.
- [0136] 1.1.6. 송신 안테나(160)
- [0137] 송신기의 송신 안테나는 상기 빔 스위핑을 통해 수신기로 아날로그 빔(송신 파일럿 신호)를 전송하고(Tx Beam Sweeping), 수신기에서 추정된 채널 정보를 CSI Feedback 채널을 통하여 전달받는다. 이후에 수신기에서 추정된 채널정보는 송신기의 디지털 빔포머(120)로 입력된다. 도 1은 N_t 개의 송신안테나를 포함하는 송신기를 보이며 송신 안테나는 M_t 개의 빔을 송신한다.
- [0138] 1.1.7. 송신기 제어부(미도시)

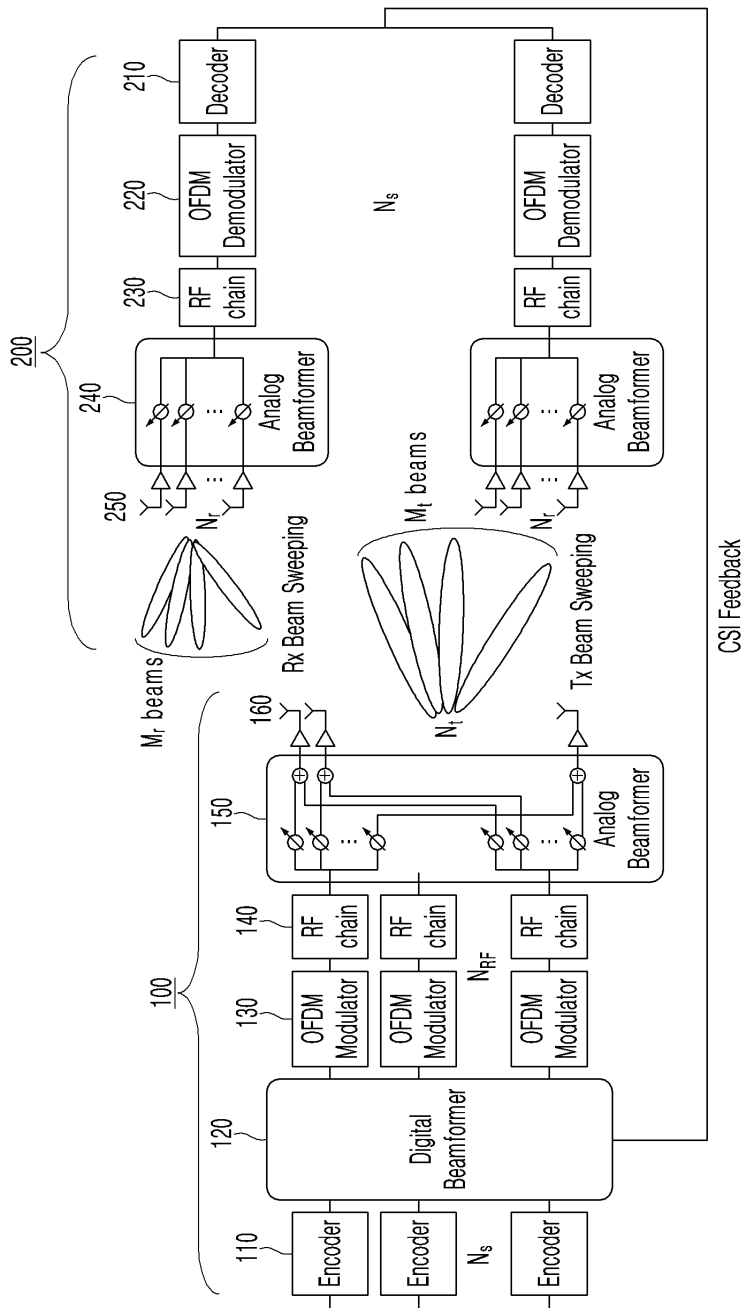
- [0139] 송신기의 동작을 제어하는 제어부를 구비할 수 있다. 제어부는 송신기에 포함되어 구성되거나, 별도의 컴퓨터 서버로 구성될 수 있다. 제어부는 상술한 인코더, OFDM 변조기, RF 체인, 빔포머 등의 구성의 동작을 제어한다.
- [0140] 1.2. 수신기(200)
- [0141] 수신기(200)는 N_r 개의 안테나(250), 아날로그 빔포머(240), RF 체인(230), OFDM 복조모듈(230), 디코더(210)를 포함하여 구성된다. 도 1은 송신 인코더(110)의 수 N_s 에 대응하는 N_s 개의 수신기의 구성을 도시한다.
- [0142] 1.2.1. 수신안테나(250)
- [0143] 송신기(100)로부터 전송된 빔 스위핑된 빔들을 수신한다. N_r 개의 송신 안테나는 M_r 개의 스위핑된 빔을 수신한다.
- [0144] 1.2.2. 수신 아날로그 빔포머(240)
- [0145] 수신기의 아날로그 빔포머(240)는 안테나(250)에서 수신한 빔들을 합성하는 빔 합성기이다. 수신기에서 빔을 합성할 때 사용하는 DFT 행렬도 상기 수학식 1을 이용하여 계산한 행렬을 사용한다. 상기 수신기의 빔 합성을 위한 DFT 행렬의 열벡터의 수는 수신기의 안테나 수와 동일하다.
- [0146] 상기 수신기의 빔 합성은 송신기의 하나의 빔을 전송하는 시간 동안 가용한 모든 빔 합성을 수행하여 각 빔에 대한 최적의 빔 합성 벡터를 결정한다. 수신기의 안테나가 하나인 경우 빔 합성을 수행하지 않고 송신기의 빔을 수신하기만 한다.
- [0147] 수신기의 아날로그 빔포머(240)는 수신한 송신기의 파일럿 신호들을 포함하는 모든 부반송파 채널에 대하여 공통으로
- [0148] 수신기는 최적 빔 합성기를 통해 수신한 송신기의 파일럿 신호들을 이용하여 희소 행렬(sparse matrix) 및 벡터를 추정한다.
- [0150] 수신기의 제어부(미도시)는 수신기의 아날로그 빔포머(240)에서 선택된 합성벡터들에 대해, 모든 부반송파 채널에 대하여 공통으로 추정되는 spares 행렬을 검출한다.
- [0151] 1.2.3. RF 체인(230), OFDM 복조기(220)
- [0152] 수신기의 RF 체인(230) 및 OFDM 복조기(220)는 합성된 빔을 복조한다. RF 체인(230)은 상기 수신된 신호중에서 수신감도가 가장 좋은 파일럿 신호를 포함하는 부반송파를 OFDM 복조기(220)는 송신기(100)에서 빔 스위핑을 통해 전송한 빔(신호)로부터 송신기(100)가 전송한 부반송파를 복조한다. 파일럿 신호들을 수집하여 채널 추정을 위한 희소 행렬(sparse matrix) 및 이를 구성하는 벡터를 검출한다.

부호의 설명

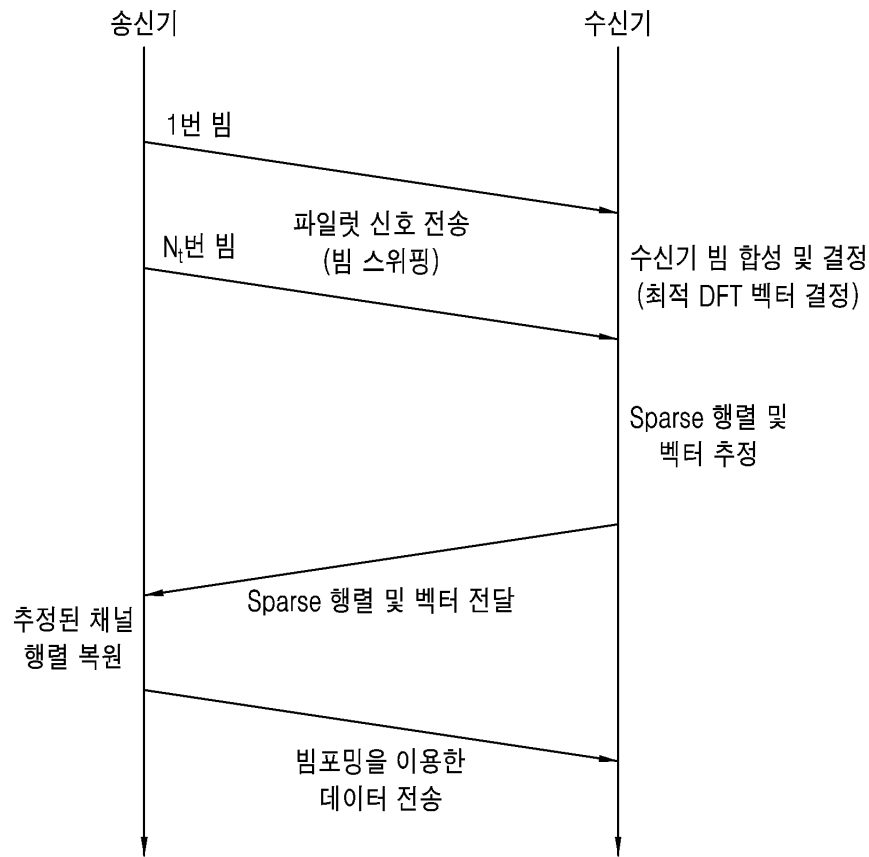
- [0154] 100 송신기 200 수신기
- 110 인코더 210 디코더
- 120 디지털 빔포머
- 130 OFDM 변조기 220 OFDM
- 140, 230 RF 모듈
- 150, 240 아날로그 빔포머
- 160, 250 안테나

도면

도면1



도면2

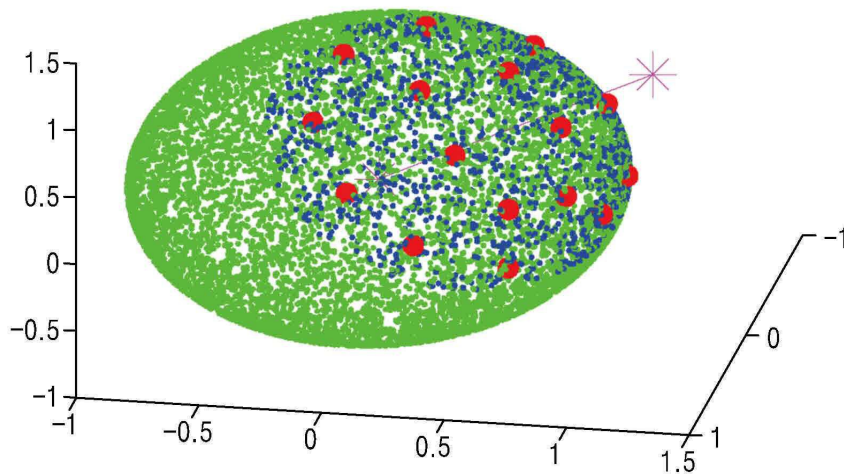


도면3

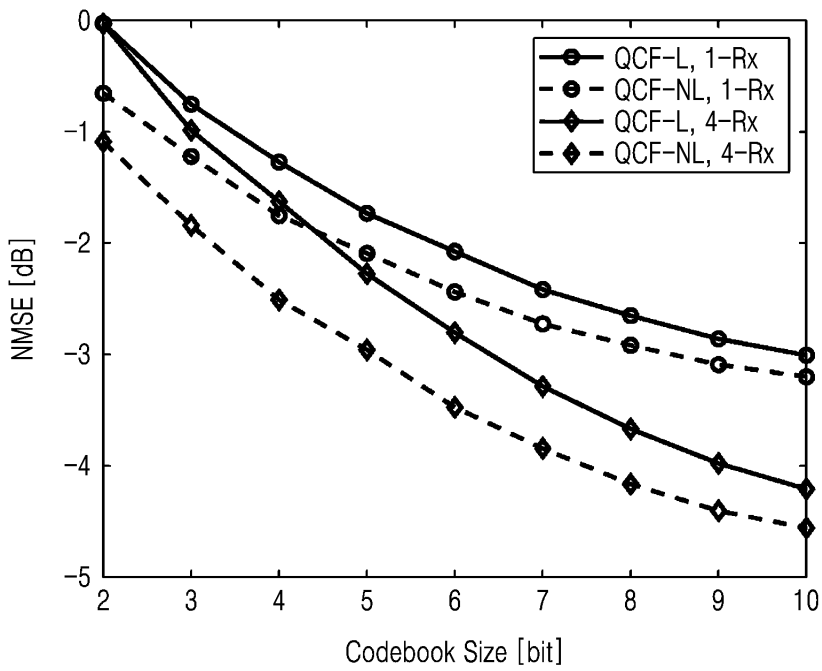
Algorithm 2 Codebook Generation for Conditional RVQ

Input : L, B, T
Require : $G_1, G_2, \dots, G_{2^B} \leftarrow [], \Delta \in \mathbb{C}^{2^B} \leftarrow 0,$
 $T \in \mathbb{C}^{L \times T} \sim \mathcal{CN}(0, I_L), B_n \in \mathbb{C}^{L \times 2^B} \leftarrow 0, n \in \mathbb{N}$
Step1 : Normalize magnitude of column vectors of T
Step2 : Select column vectors of T
for $i = 1 \rightarrow T$ **do**
 if not $\left\{ \left| [T]_{1,i} \right| > \left| [T]_{2,i} \right| > \dots > \left| [T]_{L,i} \right| \right\}$ **then**
 $[T]_{1,i} \leftarrow []$
 end if
end for
Step3 : Group column vectors of T
 $n \leftarrow 1$
while $\text{diff} < \eta$ **do**
 $n \leftarrow i + 1$
 for $i = 1 \rightarrow T$ **do**
 for $j = 1 \rightarrow 2^B$ **do**
 $[\Delta]_j \leftarrow \left\| [B_{n-1}]_{:,j} - [T]_{:,j} \right\|^2$
 end for
 $j_{sel} \leftarrow \underset{j}{\text{arg min}} \left| [\Delta]_j \right|$
 $G_{j_{sel}} \leftarrow [G_{j_{sel}} \quad [T]_{:,j}]$
 end for
 for $i = 1 \rightarrow 2^B$ **do**
 $[B_n]_{:,i} \leftarrow \text{mean}(G_i)$
 $[B]_{:,i} \leftarrow [B]_{:,i} / \left\| [B]_{:,i} \right\|$
 end for
 $\text{diff} \leftarrow \left\| B_n - B_{n-1} \right\|^2$
 $G_1, G_2, \dots, G_{2^B} \leftarrow []$
end while
 $B \leftarrow B_n$
Output : B

도면4



도면5



도면6

