



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년10월18일
(11) 등록번호 10-2313916
(24) 등록일자 2021년10월12일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04B 7/06 (2017.01) H04B 7/0456 (2017.01)
H04L 25/03 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
H04B 7/0691 (2013.01)
H04B 7/0456 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2020-0081329
- (22) 출원일자 2020년07월02일
심사청구일자 2020년07월02일
- (30) 우선권주장
1020200077883 2020년06월25일 대한민국(KR)
- (56) 선행기술조사문헌
Ming L, Zihuang W, Hongyu L, Qian L and Liang Z. A Hardware-efficient hybrid beamforming solution for mmWave MIMO systems. IEEE Wireless Communications.1.pp.137-43.(2019.01.14)*
Fjolla A 외 2명. 3GPP 3D MIMO channel model: A holistic implementation guideline for open source simulation tools. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking.(2016.02.19)*
KR1020160102488 A*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

- (73) 특허권자
세종대학교 산학협력단
서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)
- (72) 발명자
송형규
경기도 성남시 분당구 중앙공원로 17, 320동 303호(서현동, 시범단지한양아파트)
- 이슬기
서울특별시 강남구 삼성로 150, 208동 209호(대치동, 한보미도맨션)
- 이원석
경기도 부천시 은성로 35-1, 201호(소사본동, 라데팡스)
- (74) 대리인
특허법인태백

전체 청구항 수 : 총 7 항

심사관 : 이정구

(54) 발명의 명칭 에너지 효율 향상을 위한 하이브리드 빔포밍 시스템

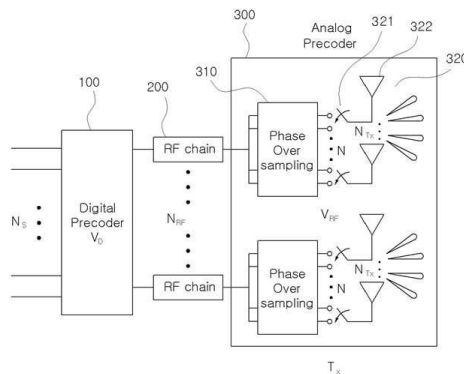
(57) 요약

본 발명은 에너지 효율 향상을 위한 하이브리드 빔포밍 시스템에 대한 것이다.

본 발명에 따른 에너지 효율 향상을 위한 하이브리드 빔포밍 시스템은 복수의 데이터 스트림 신호를 인가받아 신호간 간섭을 제거하는 디지털 프리코더와, 상기 데이터 스트림 신호의 개수에 대응하여 구비되고, 상기 간섭이

(뒷면에 계속)

대표도 - 도2



제거된 데이터 스트림 신호를 각각 분할하는 복수의 RF 체인 및 각 RF 체인마다 연결되어 복소평면에서의 위상값을 해상도에 따라 분할한 값으로 샘플링하고, 연결된 각각의 RF 체인으로부터 전달된 데이터 스트림 신호를 기설정된 채널 정보에 대응하는 방사각도로 빔의 방향을 스위칭하여 위상값이 조절된 신호를 수신단으로 송신하는 아날로그 프리코더를 포함한다.

이와 같이 본 발명에 따르면, 아날로그 프리코딩 진행시 위상 오버 샘플링과 스위치를 이용하여 전송하고자 하는 신호의 빔 방향을 양자화 된 값으로 제어하여 송신함으로써 전체 시스템의 부피와 복잡도를 개선하고 에너지 효율을 향상시킬 수 있다.

(52) CPC특허분류

- H04B 7/0617** (2013.01)
- H04B 7/0682** (2013.01)
- H04B 7/0695** (2013.01)
- H04L 25/03006** (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711116145
과제번호	2018-0-01423-003
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	정보통신기획평가원
연구사업명	정보통신방송혁신인재양성
연구과제명	지능형 비행로봇 융합기술 연구
기여율	1/1
과제수행기관명	세종대학교 산학협력단
연구기간	2020.01.01 ~ 2020.12.31

공지예외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

복수의 데이터 스트림 신호를 인가받아 신호간 간섭을 제거하는 디지털 프리코더;

상기 데이터 스트림 신호의 개수에 대응하여 구비되고, 상기 간섭이 제거된 데이터 스트림 신호를 각각 분할하는 복수의 RF 체인; 및

각 RF 체인마다 연결되어 복소평면에서의 위상값을 해상도에 따라 분할한 값으로 샘플링하고, 연결된 각각의 RF 체인으로부터 전달된 데이터 스트림 신호를 기 설정된 채널 정보에 대응하는 방사각도로 빔의 방향을 스위칭하여 위상값이 조절된 신호를 수신단으로 송신하는 아날로그 프리코더를 포함하며,

상기 아날로그 프리코더는,

기 설정된 채널 정보에 포함된 고도각과, 방위각 정보를 이용하여 초기 아날로그 프리코더 행렬을 설계하고, 상기 초기 아날로그 프리코더 행렬을 열 벡터로 변환하며, 상기 열 벡터를 이용하여 다음의 수학식에 의해 상기 초기 아날로그 프리코더 행렬의 최소값과 최대값을 추출하여 샘플링 값들에 대한 수열을 산출하는 하이브리드 빔포밍 시스템:

$$v_{i_n} = \min(\angle v_i) + \left(\frac{\max(\angle v_i) - \min(\angle v_i)}{2^N - 1} \right) (n - 1), \quad n = 1, 2, \dots, 2^N$$

여기서, v_{i_n} 은 열 벡터에서의 n번째 샘플링 값들에 대한 수열, $\angle v_i$ 는 하나의 RF 체인에서의 안테나 배열의 위상값들로 이루어진 열 벡터, N은 해상도에 따른 샘플링 개수이다.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 아날로그 프리코더는,

상기 RF 체인마다 각각 연결되고, 신호를 송신하고자 하는 방향의 위상값을 해상도에 따라 등간격으로 분할하여 샘플링하는 복수의 위상 오버 샘플링부; 및

각 위상 오버 샘플링부마다 스위치가 연결된 송신 안테나가 복수개 구비되고, 상기 스위치에 의해 상기 방사각도에 대응하는 샘플링 값의 위치로 빔 방향이 스위칭되어 위상값이 조절된 신호를 해당 송신 안테나를 통해 수신단으로 송신하는 송신 안테나부를 포함하는 하이브리드 빔포밍 시스템.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 아날로그 프리코더는,

기 설정된 채널 정보에 포함된 고도각과, 방위각 정보를 이용하여 다음의 수학식에 의해 상기 초기 아날로그 프리코더 행렬을 설계하는 하이브리드 빔포밍 시스템:

$$r_{tx}, r_{rx} = \begin{pmatrix} x = \sin\theta \cos\phi \\ y = \sin\theta \sin\phi \\ z = \cos\theta \end{pmatrix}$$

$$d_{BS} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ dx & dy & dz \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ (N_x - 1)dx & (N_y - 1)dy & (N_z - 1)dz \end{pmatrix}$$

여기서, r_{tx} 는 송신 신호 벡터, r_{rx} 는 수신 신호 벡터, θ 는 고도각, ϕ 는 방위각, d_{BS} 는 기저 안테나 위치 벡터, N_x, N_y, N_z 는 각각 하나의 RF 체인에 연결된 안테나 배열의 각 축에 설계된 안테나 개수, d_x, d_y, d_z 는 각 축에 설계된 안테나 간의 간격이다.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 아날로그 프리코더는,

다음의 수학적식에 의해 상기 초기 아날로그 프리코더 행렬을 상기 열 벡터로 변환하는 하이브리드 빔포밍 시스템:

$$V_{RF} = \begin{bmatrix} v_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & v_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & v_{N_{RF}} \end{bmatrix}$$

$$v_i = e^{j(d_{BS} \times r_{tx})}, i = 1, 2, \dots, N_{RF}$$

여기서, V_{RF} 는 아날로그 프리코더 행렬, v_i 는 열 벡터, N_{RF} 는 RF 체인의 개수이다.

청구항 5

삭제

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 아날로그 프리코더는,

상기 산출된 샘플링 값들에 대한 수열을 이용하여 상기 방사각도에 가장 근접한 위상값으로 빔의 방향을 스위칭하여 신호를 송신하는 하이브리드 빔포밍 시스템.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 디지털 프리코더는,

ZF(Zero-Forcing) 기법을 이용하여 신호간 간섭을 제거하는 하이브리드 빔포밍 시스템.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 아날로그 프리코더는,

상기 위상값이 조절된 신호를 3차원 공간 채널 모델(3D SCM: 3-dimension spatial channel model)에 의해 다중 경로(multipath)를 거쳐 상기 수신단에 각각 송신하고,

상기 수신단은,

하나 이상의 사용자 단말을 포함하여 구성되는 하이브리드 빔포밍 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 에너지 효율 향상을 위한 하이브리드 빔포밍 시스템에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 아날로그 프리코딩(Analog Precoding) 진행시 위상 오버 샘플링(Phase over sampling)과 스위치를 이용하여 전송하고자 하는 신호의 빔 방향을 양자화 된 값으로 제어하여 송신하는 에너지 효율 향상을 위한 하이브리드 빔포밍 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 무선통신 시스템에서 높은 전송율을 위해 MU-MIMO(Multi-user multiple-input multiple output)에서는 무선통신을 가능하게 해주는 RF 체인(radio frequency chain)이 모든 송신 안테나와 연결된 전 디지털(Full Digital) 시스템을 사용한다. 이러한 전 디지털 시스템은 복잡도가 높기 때문에 5G 통신과 같이 높은 집적도를 요구하는 통신 환경에서는 RF 체인의 개수가 늘어남에 따라 부피 및 비용적인 측면에서 부담이 있다.

[0003] 이와 같은 전 디지털 시스템의 단점을 보완하고자 디지털 부분과 아날로그 부분을 무선통신에 모두 사용하는 하이브리드 빔포밍 시스템이 개발되었다. 하이브리드 빔포밍 시스템의 디지털 부분에서는 RF 체인으로 가기 위한 전 단계로서, 사용자 간의 간섭을 제거해 줄 수 있는 디지털 프리코딩(Digital Precoding)을 진행하게 된다. 그리고 아날로그 부분에서는 신호의 위상만 조절 가능하며 신호가 원하고자 하는 방향으로 맞추어 주는 아날로그 프리코딩(Analog Precoding)을 진행하게 된다. 일반적으로 아날로그 프리코딩 진행시 위상 천이기를 사용하여 빔 방향을 맞춰주는 기법을 사용하고 있다.

[0004] 도 1은 종래의 하이브리드 빔포밍 시스템에서 송신단의 구조를 나타낸 도면이다.

[0005] 도 1에 도시된 바와 같은 하이브리드 빔포밍 시스템에서 송신단(Tx)은 복수의 데이터 스트림 신호(Ns)가 디지털 프리코더(10)에 인가되어 신호의 진폭과 위상이 조절된 후, 진폭과 위상이 조절된 신호가 데이터 스트림 신호(Ns)의 개수에 대응하는 각각의 RF 체인(20)을 통해 분할되면, 아날로그 프리코더(30)의 위상 천이기(31)를 통해 분할된 신호의 위상을 조절하여 위상이 조절된 신호를 송신 안테나(32)를 통해 다중 경로를 통해 수신단(Rx)에 송신한다.

[0006] 이때, k번째 사용자의 송신 신호 벡터 \mathbf{x} 와 수신 신호 벡터 \mathbf{y}_k 는 다음의 수학적 식 1과 같이 정의될 수 있다.

수학적 식 1

$$\mathbf{x} = \mathbf{V}_D \mathbf{V}_{RF} \mathbf{s} = \sum_{l=1}^K \mathbf{V}_D \mathbf{V}_{RF_l} \mathbf{s}_l$$

$$\mathbf{y}_k = \mathbf{H}_k \mathbf{V}_D \mathbf{V}_{RF_k} \mathbf{s}_k + \mathbf{H}_k \sum_{l \neq k}^K \mathbf{V}_D \mathbf{V}_{RF_l} \mathbf{s}_l + \mathbf{n}_k, \quad k=1,2,\dots,K$$

[0007]

[0008] 여기서, k는 사용자 인덱스, \mathbf{x} 는 $N_T \times 1$ 크기의 디지털 프리코딩과 아날로그 프리코딩된 송신 신호 벡터, \mathbf{V}_D 는 크기가 $N_T \times N_{RF}$ 인 디지털 프리코더 행렬, \mathbf{V}_{RF} 는 각 사용자에게 대한 아날로그 프리코더 행렬, \mathbf{y}_k 는 k번째

사용자 단말에 수신되는 수신 신호 벡터, \mathbf{s}_k 는 k 번째 사용자 단말에 수신될 데이터 스트림 벡터, \mathbf{s}_i 은 $N_r \times 1$ 크기의 송신 신호 벡터이다.

[0009] 그리고 사용자가 수신하는 최종 신호 $\tilde{\mathbf{y}}_k$ 와 k 번째 사용자의 채널 용량 R_k 는 C_k 를 사용하여 다음의 수학적 식 2와 같이 나타낼 수 있다.

수학적 식 2

$$\tilde{\mathbf{y}}_k = \mathbf{W}^H \mathbf{H}_k \mathbf{V}_D \mathbf{V}_{RF_k} \mathbf{s}_k + \mathbf{W}^H \mathbf{H}_k \sum_{l \neq k} \mathbf{V}_D \mathbf{V}_{RF_l} \mathbf{s}_l + \mathbf{W}^H \mathbf{n}_k$$

$$R_k = \log_2 \left\{ 1 + \mathbf{W} \mathbf{C}_k^{-1} \mathbf{W}^H \mathbf{H}_k (\mathbf{V}_D \mathbf{V}_{RF_k}) (\mathbf{V}_D \mathbf{V}_{RF_k})^H \mathbf{H}_k^H \right\},$$

$$\mathbf{C}_k = \mathbf{W}^H \mathbf{H}_k \left\{ \sum_{l \neq k} (\mathbf{V}_D \mathbf{V}_{RF_l}) (\mathbf{V}_D \mathbf{V}_{RF_l})^H \right\} \mathbf{H}_k \mathbf{W} + \sigma^2 \mathbf{W}^H \mathbf{W}$$

[0010]

[0011] 여기서, \mathbf{H} 는 수신단에서 신호 검출에 필요한 행렬, \mathbf{H}_k 는 기지국과 k 번째 사용자 사이의 $N_r \times N$ 크기의 채널 행렬, \mathbf{n}_k 는 k 번째 사용자에서 평균이 0, 분산이 σ^2 인 $N_r \times 1$ 크기의 가우시안 노이즈(Additive White Gaussian Noise, AWGN) 벡터이다.

[0012] 이와 같이 종래의 하이브리드 빔포밍 시스템에서는 송신단의 아날로그 프리코딩 시 빔 계수를 방향에 맞게 조절하기 위해 송신 안테나(32)의 개수와 동일한 개수의 고 해상도 위상천이기(31)가 사용되는데, 이에 따라 에너지의 소모가 크고, 부피 및 비용에 따른 문제점이 있다. 에너지 효율은 다음의 수학적 식 3을 이용하여 측정한다.

수학적 식 3

$$\eta_{N=\infty} = \frac{R_k}{P_t + N_{RF} P_{RF} + N_T P_{PS}} \text{ (bps/Hz/W)}$$

[0013]

[0014] 여기서, $\eta_{N=}$ 은 에너지 효율, R_k 는 채널 용량, P_t 는 전체 송신 전력, N_{RF} 는 RF 체인의 개수, P_{RF} 는 RF 체인에서 소모되는 전력, N_T 는 송신 안테나의 개수, P_{PS} 는 위상 천이기 1개가 소모하는 전력을 나타낸다.

[0015] 종래의 하이브리드 빔포밍 시스템에서는 여전히 사용되고 있는 높은 비용의 RF 체인(20)과 성능 저하가 일어나는 위상천이기(31)의 사용이 문제가 되므로 이를 개선할 수 있는 구조의 개발이 필요하다.

[0016] 본 발명의 배경이 되는 기술은 대한민국 공개특허공보 제10-2014-0098917호(2014. 08. 11. 공개)에 개시되어 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0017] 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 아날로그 프리코딩 진행시 위상 오버 샘플링과 스위치를 이용하여 전송하고자 하는 신호의 빔 방향을 양자화 된 값으로 제어하여 송신하는 에너지 효율 향상을 위한 하이브리드 빔포밍 시스템을 제공하기 위한 것이다.

과제의 해결 수단

[0018] 이러한 기술적 과제를 이루기 위한 본 발명의 실시 예에 따른 에너지 효율 향상을 위한 하이브리드 빔포밍 시스템은, 복수의 데이터 스트림 신호를 인가받아 신호간 간섭을 제거하는 디지털 프리코더; 상기 데이터 스트림 신호의 개수에 대응하여 구비되고, 상기 간섭이 제거된 데이터 스트림 신호를 각각 분할하는 복수의 RF 체인; 및 각 RF 체인마다 연결되어 복소평면에서의 위상값을 해상도에 따라 분할한 값으로 샘플링하고, 연결된 각각의 RF 체인으로부터 전달된 데이터 스트림 신호를 기 설정된 채널 정보에 대응하는 방사각도로 빔의 방향을 스위칭하여 위상값이 조절된 신호를 수신단으로 송신하는 아날로그 프리코더를 포함한다.

[0019] 또한, 상기 아날로그 프리코더는 상기 RF 체인마다 각각 연결되고, 신호를 송신하고자 하는 방향의 위상값을 해상도에 따라 등간격으로 분할하여 샘플링하는 복수의 위상 오버 샘플링부; 각 위상 오버 샘플링부마다 스위치가 연결된 송신 안테나가 복수개 구비되고, 상기 스위치에 의해 상기 방사각도에 대응하는 샘플링 값의 위치로 빔 방향이 스위칭되어 위상값이 조절된 신호를 해당 송신 안테나를 통해 수신단으로 송신하는 송신 안테나부를 포함할 수 있다.

[0020] 또한, 상기 아날로그 프리코더는 기 설정된 채널 정보에 포함된 고도각과, 방위각 정보를 이용하여 다음의 수학식에 의해 초기 아날로그 프리코더 행렬을 설계할 수 있다.

$$r_{tx}, r_{rx} = \begin{pmatrix} x = \sin\theta \cos\phi \\ y = \sin\theta \sin\phi \\ z = \cos\theta \end{pmatrix}$$

$$d_{BS} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ dx & dy & dz \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ (N_x-1)dx & (N_y-1)dy & (N_z-1)dz \end{pmatrix}$$

[0021] 여기서, r_{tx} 는 송신 신호 벡터, r_{rx} 는 수신 신호 벡터, θ 는 고도각, ϕ 는 방위각, d_{BS} 는 기저 안테나 위치 벡터, N_x , N_y , N_z 는 각각 하나의 RF 체인에 연결된 안테나 배열의 각 축에 설계된 안테나 개수, d_x , d_y , d_z 는 각 축에 설계된 안테나 간의 간격이다.

[0023] 또한, 상기 아날로그 프리코더는 다음의 수학식에 의해 상기 초기 아날로그 프리코더 행렬을 열 벡터로 변환할 수 있다.

$$V_{RF} = \begin{bmatrix} v_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & v_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & v_{N_{RF}} \end{bmatrix}$$

$$v_i = e^{\angle_j(d_{BS} \times r_{rx})}, i = 1, 2, \dots, N_{RF}$$

[0024] 여기서, V_{RF} 는 아날로그 프리코더 행렬, v_i 는 열 벡터, N_{RF} 는 RF 체인의 개수이다.

[0026] 또한, 상기 아날로그 프리코더는 상기 열 벡터를 이용하여 다음의 수학식에 의해 상기 초기 아날로그 프리코더 행렬의 최소값과 최대값을 추출하여 샘플링 값들에 대한 수열을 산출할 수 있다.

$$v_{i_n} = \min(\angle v_i) + \left(\frac{\max(\angle v_i) - \min(\angle v_i)}{2^N - 1} \right) (n - 1), n = 1, 2, \dots, 2^N$$

[0027]

[0028] 여기서, u_{i_n} 은 열 벡터에서의 n번째 샘플링 값들에 대한 수열, $\angle v_i$ 는 하나의 RF 체인에서의 안테나 배열의 위상값들로 이루어진 열 벡터, N은 해상도에 따른 샘플링 개수이다.

[0029] 또한, 상기 아날로그 프리코더는 상기 산출된 샘플링 값들에 대한 수열을 이용하여 상기 방사각도에 가장 근접한 위상값으로 빔의 방향을 스위칭하여 상기 신호를 송신할 수 있다.

[0030] 또한, 상기 디지털 프리코더는 ZF(Zero-Forcing) 기법을 이용하여 상기 신호간 간섭을 제거할 수 있다.

[0031] 또한, 상기 아날로그 프리코더는 상기 위상값이 조절된 신호를 3차원 공간 채널 모델(3D SCM : 3-dimension spatial channel model)에 의해 다중 경로(multipath)를 거쳐 상기 수신단에 각각 송신하고, 상기 수신단은 하나 이상의 사용자 단말을 포함하여 구성될 수 있다.

발명의 효과

[0032] 이와 같이 본 발명에 따르면, 아날로그 프리코딩 진행시 위상 오버 샘플링과 스위치를 이용하여 전송하고자 하는 신호의 빔 방향을 양자화 된 값으로 제어하여 송신함으로써 전체 시스템의 부피와 복잡도를 개선하고 에너지 효율을 향상시킬 수 있다.

[0033] 또한 본 발명에 따르면, 빔 방향을 조절하기 위해 고 해상도의 위상 천이기의 사용이 불필요해짐에 따라 비용이 저감되는 반면, 제한된 해상도에서 종래의 위상 천이기를 사용하는 시스템에 준하는 채널 용량을 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0034] 도 1은 종래의 하이브리드 빔포밍 시스템에서 송신단의 구조를 나타낸 도면이다.

도 2는 본 발명의 실시 예에 따른 에너지 효율 향상을 위한 하이브리드 빔포밍 시스템에서 송신단의 구조를 나타낸 도면이다.

도 3은 본 발명의 실시 예에 따른 에너지 효율 향상을 위한 하이브리드 빔포밍 시스템을 3차원 공간 채널 모델에 적용시킨 실시예이다.

도 4는 본 발명의 실시 예에 따른 에너지 효율 향상을 위한 하이브리드 빔포밍 시스템에서 수학식 4를 좌표 평면에 나타낸 도면이다.

도 5는 종래의 하이브리드 빔포밍 시스템과 본 발명의 실시 예에 따른 하이브리드 빔포밍 시스템에 의한 채널 용량을 각각 나타낸 그래프이다.

도 6은 종래의 하이브리드 빔포밍 시스템과 본 발명의 실시 예에 따른 하이브리드 빔포밍 시스템에 의한 에너지 효율을 각각 나타낸 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0035] 이하 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 바람직한 실시 예를 상세히 설명하기로 한다. 이 과정에서 도면에 도시된 선들의 두께나 구성요소의 크기 등은 설명의 명료성과 편의상 과장되게 도시되어 있을 수 있다.

[0036] 또한 후술되는 용어들은 본 발명에서의 기능을 고려하여 정의된 용어들로서, 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 관례에 따라 달라질 수 있다. 그러므로 이러한 용어들에 대한 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다.

[0037] 도 2을 통해 본 발명의 실시 예에 따른 에너지 효율 향상을 위한 하이브리드 빔포밍 시스템에 대하여 설명한다.

[0038] 도 2는 본 발명의 실시 예에 따른 에너지 효율 향상을 위한 하이브리드 빔포밍 시스템에서 송신단의 구조를 나타낸 도면이다.

[0039] 도 2에서와 같이 본 발명의 실시 예에 따른 하이브리드 빔포밍 시스템의 송신단(Tx)은, 디지털 프리코더(100), 복수개의 RF 체인(200), 아날로그 프리코더(300)를 포함한다.

[0040] 먼저, 디지털 프리코더(100)는 복수의 데이터 스트림 신호(N_s)를 인가받아 신호간 간섭을 제거한다.

- [0041] 이때 디지털 프리코더(100)는 ZF(Zero-Forcing) 기법을 이용하여 신호간 간섭을 제거할 수 있다.
- [0042] 또한, RF 체인(200)은 데이터 스트림 신호(N_s)의 개수에 대응하여 복수개 구비되고, 디지털 프리코더(100)에 의해 간섭이 제거된 데이터 스트림 신호(N_s)를 각각 분할한다.
- [0043] 마지막으로 아날로그 프리코더(300)는 각 RF 체인(200)마다 연결되는 위상 오버 샘플링부(310)와, 각 오버 샘플링부(310)마다 스위치(321)가 연결된 송신 안테나(322)가 복수개 구비되는 송신 안테나부(320)를 포함한다.
- [0044] 자세히는, 위상 오버 샘플링부(310)는 RF 체인(200)마다 각각 연결되고, 신호를 송신하고자 하는 복소평면에서 위상에 대해 N 등분 한 값들로 샘플링 할 수 있다. 즉, 위상값을 해상도에 따라 등간격으로 분할하여 샘플링한다.
- [0045] 즉, 위상 오버 샘플링부(310)는 N 개의 $0, 2\pi/N, \dots, 2(N-1)\pi/N$ 과 같은 선형적으로 증가하는 서로 다른 값들로 이루어진다.
- [0046] 예를 들면, 2비트 데이터에서는 해상도 $N = 2^2 = 4$ 이므로 서로의 간격이 $2\pi/4$ 인 $0, \pi/2, 3\pi/2, \pi$ 의 값들로 샘플링 할 수 있다.
- [0047] 그리고 송신 안테나부(320)는 각 위상 오버 샘플링부(310)마다 복수개의 스위치(321)가 연결된 복수개의 송신 안테나(322)로 설계되며, 연결된 각각의 RF 체인(200)으로부터 전달된 데이터 스트림 신호(N_s)를 기 설정된 채널 정보에 대응하는 방사각도로 빔의 방향을 스위칭하여 위상값이 조절된 신호를 수신단(Rx)으로 송신한다.
- [0048] 이때, 수신단(Rx)은 하나 이상의 사용자 단말(UE)을 포함하여 구성된다.
- [0049] 자세히는, 송신 안테나(322)에 연결된 스위치(321)에 의해 기 설정된 채널 정보의 방사각도에 대응하는 샘플링 값의 위치로 빔 방향이 스위칭되어 위상값이 조절된 신호를 해당 송신 안테나(322)를 통해 수신단(Rx)으로 송신한다.
- [0050] 이때, 본 발명의 실시 예에 따른 아날로그 프리코더(300)는 위상값이 조절된 신호를 3차원 공간 채널 모델(3D SCM : 3-dimension spatial channel model)에 의해 다중 경로(multipath)를 거쳐 수신단(Rx)에 각각 송신한다.
- [0051] 이때, 3차원 공간 채널 모델은 송신단(Tx)과 수신단(Rx) 사이의 방위각과 고도각 차원에서 클러스터에 의해 산란되는 환경을 설명하는 3D 기하학적 확률 모델이다.
- [0052] 도 3은 본 발명의 실시 예에 따른 에너지 효율 향상을 위한 하이브리드 빔포밍 시스템을 3차원 공간 채널 모델에 적용시킨 실시예이다.
- [0053] 본 발명의 실시 예에 따른 하이브리드 빔포밍 시스템은, 도 3에서와 같이 3차원 공간 채널 모델을 적용하여 PCS 하이브리드 빔포밍 시스템의 낮은 하드웨어 복잡도를 유지하면서 최적의 성능을 나타내는 방위각(Φ)과 고도각(Θ)을 추정할 수 있고, 실제 3차원 공간에 존재하는 통신 환경에 대한 신뢰성을 높여줄 수 있다.
- [0054] 즉, 3차원 채널의 방위각(Φ)과 고도각(Θ)을 알고 있다는 가정하에서, 위상 오버 샘플링부(310)는 방위각(Φ)과 고도각(Θ) 정보를 이용하여 빔 계수를 설정한 뒤 양자화된 값으로 맞추는 역할을 한다.
- [0055] 따라서, 아날로그 프리코더(300)는 기 설정된 채널 정보에 포함된 고도각(Θ)과, 방위각(Φ) 정보를 이용하여 다음의 수학적 4에 의해 초기 아날로그 프리코더 행렬을 설계한다.

수학적 4

$$r_{tx}, r_{rx} = \begin{pmatrix} x = \sin\theta \cos\phi \\ y = \sin\theta \sin\phi \\ z = \cos\theta \end{pmatrix}$$

$$d_{BS} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ dx & dy & dz \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ (N_x - 1)dx & (N_y - 1)dy & (N_z - 1)dz \end{pmatrix}$$

[0056]

[0057] 여기서, r_{tx} 는 송신 신호 벡터, r_{rx} 는 수신 신호 벡터, θ 는 고도각, ϕ 는 방위각, d_{BS} 는 기저 안테나 위치 벡터, N_x, N_y, N_z 는 각각 하나의 RF 체인에 연결된 안테나 배열의 각 축에 설계된 안테나 개수, d_x, d_y, d_z 는 각 축에 설계된 안테나 간의 간격이다.

[0058] 도 4는 본 발명의 실시 예에 따른 에너지 효율 향상을 위한 하이브리드 빔포밍 시스템에서 수학적 4를 좌표 평면에 나타낸 도면이다.

[0059] 도 4는 송신 안테나(322)의 배열을 X, Y, Z축으로 나타낸 것이며, 기 설정된 채널 정보에 포함된 고도각(θ)과, 방위각(ϕ) 정보를 이용하여 수학적 4에 의해 초기 아날로그 프리코더 행렬을 설계할 수 있다.

[0060] 이때, 설계된 초기의 아날로그 프리코더 행렬은 수학적 5와 같이 열벡터로 나타낼 수 있다.

수학적 5

$$V_{RF} = \begin{bmatrix} v_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & v_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & v_{N_{RF}} \end{bmatrix}$$

$$v_i = e^{\angle j(d_{BS} \times r_{tx})}, i = 1, 2, \dots, N_{RF}$$

[0061]

[0062] 여기서, V_{RF} 는 아날로그 프리코더 행렬, v_i 는 열 벡터, N_{RF} 는 RF 체인의 개수이다.

[0063] 이때, 아날로그 프리코더(300)는 수학적 5에서 나타낸 열 벡터를 이용하여 다음의 수학적 6에 의해 초기 아날로그 프리코더 행렬의 최소값과 최대값을 추출하여 샘플링 값들에 대한 수열을 산출한다.

수학적 6

$$v_{i_n} = \min(\angle v_i) + \left(\frac{\max(\angle v_i) - \min(\angle v_i)}{2^N - 1} \right) (n - 1), n = 1, 2, \dots, 2^N$$

[0064]

[0065] 여기서, v_{i_n} 은 열 벡터에서의 n번째 샘플링 값들에 대한 수열, $\angle v_i$ 는 하나의 RF 체인에서의 안테나 배열의 위상값들로 이루어진 열 벡터, N은 해상도에 따른 샘플링 개수이다.

[0066] 즉, 아날로그 프리코더(300)는, 수학적 6에 의해 산출된 샘플링 값들에 대한 수열(2등분, 4등분)을 이용하여 방사각도에 가장 근접한 위상값으로 빔의 방향을 스위칭하여 신호를 송신한다. 즉, 행렬의 원소 중에서 최소값과 최대값을 찾아서 해상도인 2^N 의 개수 만큼 선형적으로 나눈 값들로 샘플링을 할 수 있다.

[0067] 따라서, 본 발명의 실시예에 따른 하이브리드 빔포밍 시스템은 다음의 수학적 7을 이용하여 에너지 효율을 산출할 수 있다.

수학식 7

$$\eta_N = \frac{R_k}{P_t + N_{RF}P_{RF} + N_T P_{SW}} \text{ (bps/Hz/W)}$$

[0068]

[0069] 여기서, η_N 은 에너지 효율, R_k 는 채널 용량, P_t 는 전체 송신 전력, N_{RF} 는 RF 체인의 개수, P_{RF} 는 RF 체인에서 소모되는 전력, N_T 는 송신 안테나의 개수, P_{SW} 는 각각의 송신 안테나(322)에 연결되는 스위치(321)에서 사용되는 전력이다.

[0070] 도 5는 종래의 하이브리드 빔포밍 시스템과 본 발명의 실시 예에 따른 하이브리드 빔포밍 시스템에 의한 채널 용량을 각각 나타낸 그래프이다.

[0071] 도 5는 종래의 하이브리드 빔포밍 시스템(Conventional system)인 무한대의 해상도($N=\infty$)를 가지는 채널 용량과 본 발명의 실시 예에 따른 하이브리드 빔포밍 시스템(POS-SW system)에서 해상도가 2비트($N=2$), 3비트($N=3$), 4비트($N=4$)인 위상 오버 샘플링부(310)를 사용할 때의 채널 용량을 비교한 그래프이다.

[0072] 도 5에서 데이터 스트림 신호(N_s)는 4개이고, RF 체인(200)은 4개를 사용하였다. 그리고 각 RF 체인(200)에 연결된 송신 안테나(322)의 개수는 4개이고, 수신 사용자 단말(UE)은 총 2개로 설정하였다.

[0073] 종래의 하이브리드 빔포밍 시스템(Conventional system)에서는 모든 각도로 방사가 가능하므로 채널 용량이 최대가 된다. 따라서 이를 기준으로 비교해봤을 때, 본 발명의 실시 예에 따른 하이브리드 빔포밍 시스템(POS-SW system)에서는 해상도가 4비트($N=4$)인 경우가 종래의 하이브리드 빔포밍 시스템(Conventional system)의 경우와 근접한 채널 용량을 가지는 것을 확인할 수 있다. 즉, 해상도가 2비트($N=2$)인 경우가 비용이나 부피면에서 유리하지만, 해상도가 4비트($N=4$)인 경우와 같이 설계되는 것이 종래의 시스템과 가장 유사하게 동작하는 것을 확인할 수 있다.

[0074] 도 6은 종래의 하이브리드 빔포밍 시스템과 본 발명의 실시 예에 따른 하이브리드 빔포밍 시스템에 의한 에너지 효율을 각각 나타낸 그래프이다.

[0075] 도 6은 종래의 하이브리드 빔포밍 시스템(Conventional system)인 무한대의 해상도($N=\infty$)를 가지는 경우의 에너지 효율과 본 발명의 실시 예에 따른 하이브리드 빔포밍 시스템(POS-SW system)에서 해상도가 2비트($N=2$), 3비트($N=3$), 4비트($N=4$)인 경우의 에너지 효율을 각각 비교한 그래프이다.

[0076] 도 6을 통해 본 발명의 실시 예에 따른 하이브리드 빔포밍 시스템(POS-SW system) 구조가 종래의 하이브리드 빔포밍 시스템(Conventional system) 구조 대비 적은 에너지를 사용하여 에너지 효율이 좋은 것을 확인할 수 있다.

[0077] 상술한 바와 같이, 본 발명의 실시 예에 따른 에너지 효율 향상을 위한 하이브리드 빔포밍 시스템은 아날로그 프리코딩 진행시 위상 오버 샘플링과 스위치를 이용하여 전송하고자 하는 신호의 빔 방향을 양자화 된 값으로 제어하여 송신함으로써 전체 시스템의 부피와 복잡도를 개선하고 에너지 효율을 향상시킬 수 있다.

[0078] 또한 본 발명의 실시 예에 따르면, 빔 방향을 조절하기 위해 고 해상도의 위상 천이기의 사용이 불필요해짐에 따라 비용이 저감되는 반면, 제한된 해상도에서 종래의 위상 천이기를 사용하는 시스템에 준하는 채널 용량을 제공할 수 있다.

[0079] 본 발명은 도면에 도시된 실시 예를 참고로 하여 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 당해 기술이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시 예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서 본 발명의 진정한 기술적 보호범위는 아래의 특허청구범위의 기술적 사상에 의하여 정해져야 할 것이다.

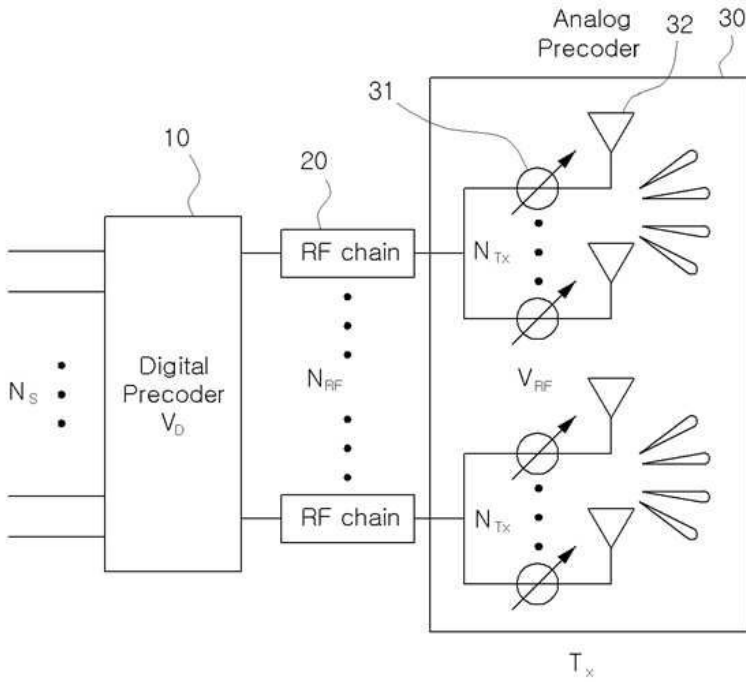
부호의 설명

[0080] 100 : 디지털 프리코더 200 : RF 체인

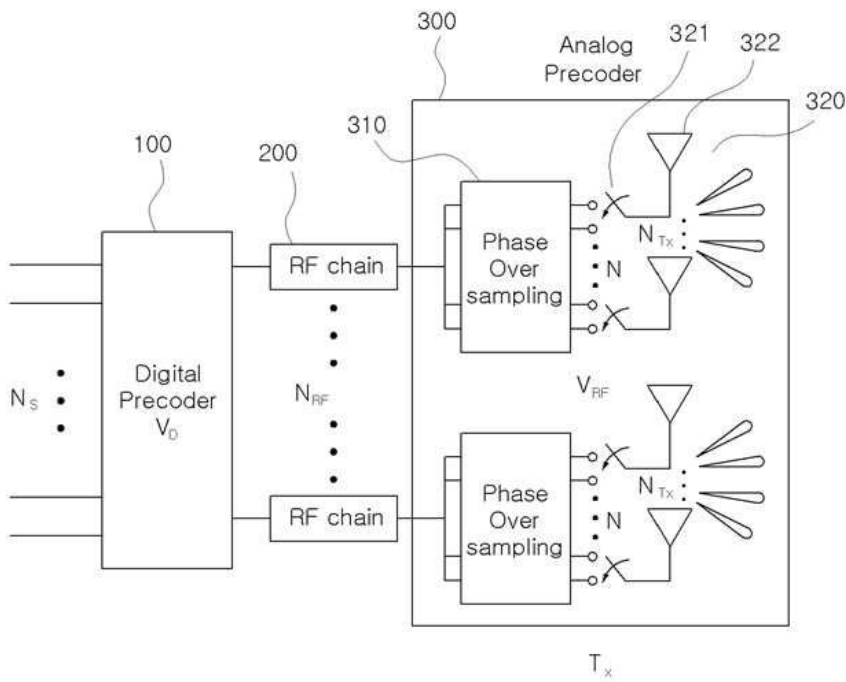
- 300 : 아날로그 프리코더
- 310 : 위상 오버 샘플링부
- 320 : 송신 안테나부
- 321 : 스위치
- 322 : 송신 안테나

도면

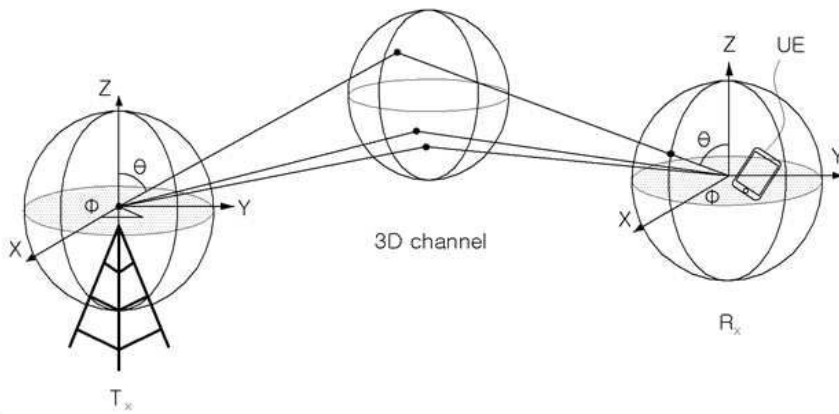
도면1



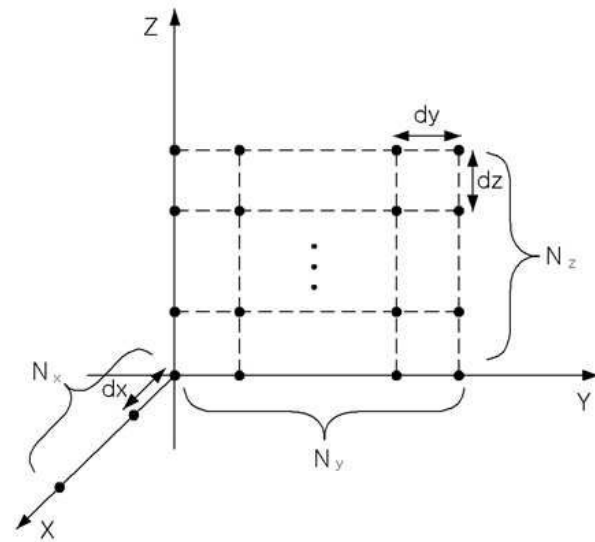
도면2



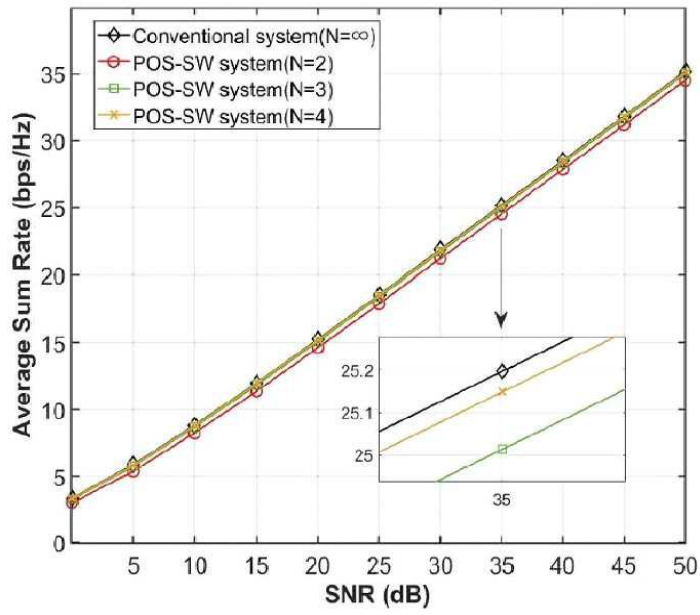
도면3



도면4



도면5



도면6

