



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년08월09일  
(11) 등록번호 10-2287792  
(24) 등록일자 2021년08월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
H04B 7/0456 (2017.01) H04B 7/0413 (2017.01)  
H04B 7/06 (2017.01) H04J 99/00 (2009.01)  
(52) CPC특허분류  
H04B 7/0456 (2013.01)  
H04B 7/0413 (2013.01)  
(21) 출원번호 10-2021-0056578  
(22) 출원일자 2021년04월30일  
심사청구일자 2021년04월30일  
(56) 선행기술조사문헌  
KR102169683 B1  
(뒷면에 계속)

(73) 특허권자  
세종대학교산학협력단  
서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)  
(72) 발명자  
송형규  
경기도 성남시 분당구 중앙공원로 17, 320-303(서현동, 한양아파트)  
이영룡  
서울특별시 광진구 면목로5길 30-8, 304호(군자동)  
(뒷면에 계속)  
(74) 대리인  
이강민, 안준형, 남승희

전체 청구항 수 : 총 16 항

심사관 : 전용해

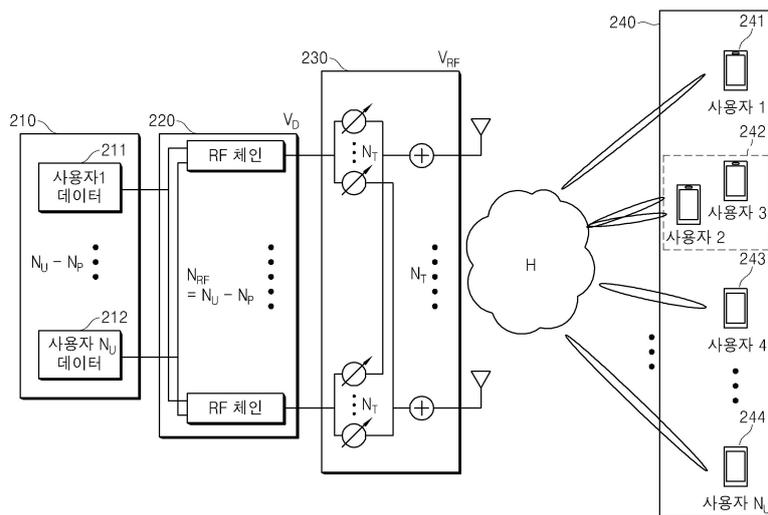
(54) 발명의 명칭 **대용량 MIMO-NOMA 시스템에서 낮은 복잡도 RF 프리코더를 기반으로 한 하이브리드 빔포밍**

(57) 요약

본 발명은 대용량 MIMO-NOMA 시스템에서 낮은 복잡도 RF 프리코더 기반의 효율적 프리코딩 장치 및 그 방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 하향링크 대용량 MIMO 시스템에서 NOMA (Non-Orthogonal Multiple Access) 기법을 통하여 RF chain을 줄임으로써 하드웨어 복잡도와 비용을 줄이고, 주파수 스펙트럼 효율을 증가시키는 방법에 관한 것이다.

본 발명에 따르면, 5G mmWave 환경에서 본 발명에서 정의한 기준과 알고리즘에 따라 NOMA를 적용할 유저를 찾고, 그에 적합한 RF 프리코딩 벡터를 만듦으로써 RF 체인의 수를 줄이고, OMA 기법에 비해 높은 주파수 스펙트럼 효율을 얻을 수 있다.

대표도



(52) CPC특허분류

*H04B 7/0617* (2013.01)  
*H04B 7/0686* (2013.01)  
*H04B 7/0697* (2013.01)  
*H04J 15/00* (2013.01)

(72) 발명자

**이원석**

서울특별시 광진구 동일로42길 10 106호

**정지성**

서울특별시 노원구 공릉로27길 110, 101-607(공릉동, 현대 성우아파트)

**임승우**

서울특별시 광진구 광나루로19길 52 201호

(56) 선행기술조사문헌

KR1020070083402 A  
 KR1020140017487 A  
 KR1020200001397 A  
 KR101806173 B1

이영룡, "Hybrid Beamforming Based on Low-Complexity RF Precoder in mmWave Massive MIMO-NOMA Systems", 2021.04.15.

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711075702
과제번호	2018-0-01423-001
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	정보통신기술진흥센터
연구사업명	대학ICT연구센터육성지원사업
연구과제명	지능형 비행로봇 융합기술 연구
기여율	1/2
과제수행기관명	세종대학교산학협력단
연구기간	2021.01.01 ~ 2021.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1345321135
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

하향링크 하이브리드 빔포밍 대용량 MIMO-NOMA 시스템에서 프리코딩 행렬 획득 방법에 있어서,

k번째 사용자(k=1, 2, ..., Nu) 채널과 다른 사용자 채널과의 상관관계를 구하고, 그 중에서 상관관계가 큰 채널을 가지는 사용자와 상기 k 번째 사용자를 쌍으로 묶어 그룹화하고 각 그룹의 사용자를 A<sub>i</sub>, B<sub>i</sub>라 할 때(i=1, 2, ..., Np), Np개의 사용자 그룹 (A<sub>i</sub>, B<sub>i</sub>)(i=1, 2, ..., Np)를 가지는 그룹화 리스트 G=[(A<sub>1</sub>, B<sub>1</sub>), (A<sub>2</sub>, B<sub>2</sub>), ..., (A<sub>Np</sub>, B<sub>Np</sub>)] 를 생성하는 사용자 그룹화 단계;

상기 사용자 그룹화 단계 이전의 기존 RF 프리코딩 행렬 V<sub>RF</sub>를 상기 사용자 그룹화 단계에 따라 그룹화한 사용자

에 대응하는 변형 RF 프리코딩 행렬  $\bar{V}_{RF}$  로 변형하는 변형 RF 프리코딩 행렬 생성 단계;

상기 변형 RF 프리코딩 행렬  $\bar{V}_{RF}$  를 기반으로 디지털 프리코딩 행렬을 생성하는 단계;  
 를 포함하여 구성되는 프리코딩 행렬 획득 방법.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 그룹화 단계는,

하기 수식 1을 통해서 N<sub>u</sub>개의 사용자 중 k번째 사용자에 대한  $\xi^{(k)}$ 를 구하는 과정을 포함하는 것을 특징으로 하는 프리코딩 행렬 획득 방법.

(수식 1)

$$\eta^{(k)} = \frac{|\hat{h}_k^H V_{RF}|}{N_T}$$

$$\xi^{(k)} = \frac{\eta(k, \widehat{m}^{(k)})}{1 + \sum_{i \neq k, \widehat{m}^{(k)}} \eta(k, i)}$$

(k는 사용자 k (k=1, ..., N<sub>u</sub>),  $\hat{h}_k^H$ 는 사용자 k 채널 벡터의 위상, V<sub>RF</sub>는 기존의 RF 프리코딩 행렬, N<sub>T</sub>는 안테나 수,  $\widehat{m}^{(k)}$ 는  $\arg \min_{m \in \{1, \dots, N_U\}, m \neq k} \eta^{(k)}$ ,  $\eta(k, \widehat{m}^{(k)})$ 는 k번째 성분을 제외한  $\eta^{(k)}$ 의 성분 중에서 가장 큰 값)

청구항 3

제 2항에 있어서,

상기 수식 1을 통해서 구한  $\xi^{(k)}$ 과 소정의 문턱값  $\zeta$ 을 비교하고,  $\xi^{(k)}$ 가 소정의 문턱값  $\zeta$ 보다 클 때의 k번째 사용자를 그룹화 리스트 G에 추가하는 것을 특징으로 하는 프리코딩 행렬 획득 방법.

**청구항 4**

제 1항에 있어서,

상기 변형 RF 프리코딩 행렬 생성 단계는,

그룹화한 리스트 G에서 총  $N_p$ 개의 사용자 그룹 중 u번째 그룹에서의 사용자 A,B에 대한 n번째 안테나에

서의 채널 벡터  $\check{h}_{n,Au}$ ,  $\check{h}_{n,Bu}$  를 하기 수식 2로 구하는 것을 특징으로 하는 프리코딩 행렬 획득 방법.

(수식 2)

$$\check{h} = \left[ \frac{(|h_1|^2 - |h|_{min}^2)}{(|h|_{max}^2 - |h|_{min}^2)}, \dots, \frac{(|h_{N_T}|^2 - |h|_{min}^2)}{(|h|_{max}^2 - |h|_{min}^2)} \right]$$

$\check{h}$  는 채널 행렬 h의 정규화 벡터,  $h = [h_1, \dots, h_{N_T}]^T$

$$|h|_{min}^2 = \min (|h_1|^2, \dots, |h_{N_T}|^2)$$

$$|h|_{max}^2 = \max (|h_1|^2, \dots, |h_{N_T}|^2)$$

**청구항 5**

제 4항에 있어서,

상기 채널 벡터  $\hat{h}_{n,Au}$ ,  $\hat{h}_{n,Bu}$  를 서로 비교하여,

$\hat{h}_{n,Au}$ 가 더 크면, 그룹화 리스트 G의 u번째 그룹의 A 사용자가 가진 n번째 안테나 관한 본래의 RF 프리코딩 벡터  $V_{RF}$ 성분에서 성분  $v_{n,Au}$  선택하여  $\bar{v}_{n,u}$ 로 하고,

$\hat{h}_{n,Bu}$ 가 더 크거나 같으면, 그룹화 리스트 G의 u번째 그룹의 B 사용자가 가진 n번째 안테나 관한 본래의 RF 프리코딩 벡터  $V_{RF}$ 성분에서 성분  $v_{n,Bu}$  선택하여  $\bar{v}_{n,u}$ 로 하고 그룹화한 사용자의 새로운 RF 프리코딩 벡터를 생성하고,

그룹화 되지 않은 사용자의 RF 프리코딩 벡터와 그룹화한 사용자의 새로운 RF 프리코딩 벡터 성분을 서로 결합하여 변형 RF 프리코딩 행렬  $\overline{\mathbf{V}}_{RF}$ 를 생성하는 것을 특징으로 하는 프리코딩 행렬 획득 방법 ( $\mathbf{v}^{n,A_u}$ ,  $\mathbf{v}^{n,B_u}$ 는 리스트 G u번째 묶음의 사용자 A, B가 갖는 RF 프리코딩 행렬의 n번째 안테나의 성분,  $\overline{\mathbf{v}}^{n,u}$ 는 u번째 묶음의 사용자들이 공유하는 RF 프리코딩 행렬의 n번째 안테나 성분).

**청구항 6**

제 1항에 있어서,

디지털 프리코딩 행렬을 생성하는 단계는,

변형 RF 프리코딩 벡터  $\overline{\mathbf{V}}_{RF}$ 를 적용하여, 하기 수식 3과 같이 각 그룹의 사용자 A,B에 대한 채널 행렬 2개로 분리하여 생성하는 것을 특징으로 하는 프리코딩 행렬 획득 방법.

(수식 3)

$$\mathbf{H}_A = [ \mathbf{h}_{a_1}, \dots, \mathbf{h}_{a_i}, \dots, \mathbf{h}_{a_{N_U-N_p}} ]^H \quad \mathbf{H}_B = [ \mathbf{h}_{b_1}, \dots, \mathbf{h}_{b_i}, \dots, \mathbf{h}_{b_{N_U-N_p}} ]^H$$

$$( \{ a_i | a_i \in \{ 1, \dots, N_U \} \text{ and } a_i \notin \{ B_1, \dots, B_{N_p} \} \} \cup \{ b_i | b_i \in \{ 1, \dots, N_U \} \text{ and } b_i \notin \{ A_1, \dots, A_{N_p} \} \} )$$

**청구항 7**

제 6항에 있어서,

사용자 A,B에 대하여 생성한 각 채널 행렬과 변형 RF 프리코딩 행렬  $\overline{\mathbf{V}}_{RF}$ 로 등가 채널 행렬을 하기 수식 4를 통해서 구하는 것을 특징으로 하는 프리코딩 행렬 획득 방법.

(수식 4)

$$\mathbf{H}_{eq_A} = \mathbf{H}_A \overline{\mathbf{V}}_{RF}$$

$$\mathbf{H}_{eq_B} = \mathbf{H}_B \overline{\mathbf{V}}_{RF}$$

( $\mathbf{H}_A, \mathbf{H}_B$ 는 각각 그룹화 리스트 G에서 사용자 B또는 사용자 A를 제외한 채널행렬)

**청구항 8**

제 7항에 있어서,

상기 수식 4를 통해서 생성된 등가채널 행렬을 사용하여 디지털 프리코딩 벡터를 하기 수식 5와 같이 구하는 것을 특징으로 하는 프리코딩 행렬 획득 방법.

(수식 5)

$$\mathbf{V}_{D_A} = \mathbf{H}_{eq_A}^H ( \mathbf{H}_{eq_A} \mathbf{H}_{eq_A}^H )^{-1} \Lambda_A$$

$$\mathbf{V}_{D_B} = \mathbf{H}_{eq_B}^H ( \mathbf{H}_{eq_B} \mathbf{H}_{eq_B}^H )^{-1} \Lambda_B$$

$$\mathbf{V}_{D_F} = ( \mathbf{V}_{D_A} + \mathbf{V}_{D_B} ) \Lambda_F$$

( $\Lambda_A$ 는  $V_{D_A}$ 의 대각 행렬,  $\Lambda_B$ 는  $V_{D_B}$ 의 대각 행렬)

**청구항 9**

하향링크 하이브리드 빔포밍 대용량 MIMO-NOMA 시스템에 기지국에 있어서,

k번째 사용자(k=1, 2, ..., Nu) 채널과 다른 사용자 채널과의 상관관계를 구하고, 그 중에서 상관관계가 큰 채널을 가지는 사용자와 상기 k 번째 사용자를 쌍으로 묶어 그룹화하고 각 그룹의 사용자를  $A_i, B_i$ 라 할 때(i=1, 2, ..., Np), Np개의 사용자 그룹 ( $A_i, B_i$ )(i=1, 2, ..., Np)를 가지는 그룹화 리스트  $G=[(A_1, B_1), (A_2, B_2), \dots, (A_{Np}, B_{Np})]$  를 생성하는 연산부;

상기 사용자 그룹화 이전의 기존 RF 프리코딩 행렬  $V_{RF}$ 를 그룹화한 사용자에게 따른 변형 RF 프리코딩 행렬

$\bar{V}_{RF}$  로 변형하는 RF 프리코더;

상기 변형 RF 프리코딩 행렬  $\bar{V}_{RF}$  를 기반으로 디지털 프리코딩 행렬을 생성하는 디지털 프리코더; 를 포함하여 구성되는 빔포밍 장치.

**청구항 10**

제 9항에 있어서,  
상기 연산부는,

하기 수식 1을 통해서  $N_u$ 개의 사용자 중 k번째 사용자에게 대한  $\xi^{(k)}$ 를 구하는 것을 특징으로 하는 빔포밍 장치.

(수식 1)

$$\eta^{(k)} = \frac{|\widehat{h}_k^H V_{RF}|}{N_T}$$

$$\xi^{(k)} = \frac{\eta^{(k, \widehat{m}^{(k)})}}{1 + \sum_{i=k, \widehat{m}^{(k)}} \eta^{(k, i)}}$$

(k는 사용자 k (k=1, ...,  $N_u$ ),  $\widehat{h}_k^H$ 는 사용자 k 채널 벡터의 위상,  $V_{RF}$ 는 기존의 RF 프리코딩 행렬,  $N_T$ 는 안테나 수,  $\widehat{m}^{(k)}$ 는  $\arg \min_{m^{(k)} \in \{1, \dots, N_U\}, m^{(k)} \neq k} \eta^{(k)}$ ,  $\eta^{(k, \widehat{m}^{(k)})}$ 는 k번째 성분을 제외한  $\eta^{(k)}$ 의 성분 중에서 가장 큰 값)

**청구항 11**

제 10항에 있어서,

상기 수식 1을 통해서 구한  $\xi^{(k)}$ 과 소정의 문턱값  $\zeta$ 을 비교하고,  $\xi^{(k)}$ 가 소정의 문턱값  $\zeta$ 보다 클 때

의 k번째 사용자를 그룹화 리스트 G에 추가하는 것을 특징으로 하는 빔포밍 장치.

**청구항 12**

제 9항에 있어서,

상기 RF 프리코더는,

그룹화한 리스트 G에서 총  $N_p$ 개의 사용자 그룹 중 u번째 그룹에서의 사용자 A,B에 대한 n번째 안테나에

서의 채널 벡터  $\hat{h}_{n,A_u}$ ,  $\hat{h}_{n,B_u}$  를 하기 수식 2로 구하는 것을 특징으로 하는 빔포밍 장치.

(수식 2)

$$\hat{\mathbf{h}} = \left[ \frac{(|h_1|^2 - |h_{\min}^2|)}{(|h_{\max}^2| - |h_{\min}^2|)}, \dots, \frac{(|h_{N_T}|^2 - |h_{\min}^2|)}{(|h_{\max}^2| - |h_{\min}^2|)} \right]$$

(  $\hat{\mathbf{h}}$  는 채널 행렬 h의 정규화 벡터

$$(\mathbf{h} = [h_1, \dots, h_{N_T}]^T, |h_{\min}^2 = \min(|h_1|^2, \dots, |h_{N_T}|^2), |h_{\max}^2 = \max(|h_1|^2, \dots, |h_{N_T}|^2)$$

**청구항 13**

제 12항에 있어서,

상기 채널 벡터  $\hat{h}_{n,A_u}$ ,  $\hat{h}_{n,B_u}$  를 서로 비교하여,

$\hat{h}_{n,A_u}$ 가 더 크면, 그룹화 리스트 G의 u번째 그룹의 A 사용자가 가진 n번째 안테나 관한 본래의 RF 프리코딩 벡터  $V_{RF}$  성분에서 성분  $\mathbf{v}_{n,A_u}$  선택하여  $\overline{\mathbf{v}}_{n,u}$  로 하고,

$\hat{h}_{n,B_u}$ 가 더 크거나 같으면, 그룹화 리스트 G의 u번째 그룹의 B 사용자가 가진 n번째 안테나 관한 본래의 RF 프리코딩 벡터  $V_{RF}$  성분에서 성분  $\mathbf{v}_{n,B_u}$  선택하여  $\overline{\mathbf{v}}_{n,u}$ 로 하고 그룹화한 사용자의 새로운 RF 프리코딩 벡터를 생성하고,

그룹화 되지 않은 사용자의 RF 프리코딩 벡터와 그룹화한 사용자의 새로운 RF 프리코딩 벡터 성분을 서로 결합하여 변형 RF 프리코딩 행렬  $\overline{V}_{RF}$ 를 생성하는 것을 특징으로 하는 빔포밍 장치( $\mathbf{v}_{n,A_u}$ ,  $\mathbf{v}_{n,B_u}$ 는 리스트 G u번째 묶음의 사용자 A, B가 갖는 RF 프리코딩 행렬의 n번째 안테나의 성분,  $\overline{\mathbf{v}}_{n,u}$ 는 u번째 묶음의 사용자들 이 공유하는 RF 프리코딩 행렬의 n번째 안테나 성분).

**청구항 14**

제 9항에 있어서,

상기 디지털 프리코더는,

$$\overline{\mathbf{V}}_{RF}$$

상기 변형 RF 프리코딩 벡터  $\overline{\mathbf{V}}_{RF}$  를 적용하여, 하기 수식 3과 같이 각 그룹의 사용자 A,B에 대한 채널 행렬 2개로 분리하여 생성하는 것을 특징으로 하는 빔포밍 장치.

(수식 3)

$$\mathbf{H}_A = [h_{a_1}, \dots, h_{a_i}, \dots, h_{a_{N_u - N_p}}]^H, \quad \mathbf{H}_B = [h_{b_1}, \dots, h_{b_i}, h_{b_{N_u - N_p}}]^H$$

$$\{a_i | a_i \in \{1, \dots, N_u\} \text{ and } a_i \notin \{B_1, \dots, B_{N_p}\}\},$$

$$\{b_i | b_i \in \{1, \dots, N_u\} \text{ and } b_i \notin \{A_1, \dots, A_{N_p}\}\}$$

( $H_A, H_B$ 는 각각 그룹화 리스트 G에서 사용자 B 또는 사용자 A를 제외한 채널행렬)

#### 청구항 15

제 14항에 있어서,

사용자 A,B에 대하여 생성한 각 채널 행렬과 새로운 RF 프리코딩 행렬  $\overline{\mathbf{V}}_{RF}$ 로 등가 채널 행렬을 하기 수식 4를 통해서 구하는 것을 특징으로 하는 빔포밍 장치.

(수식 4)

$$\mathbf{H}_{eq_A} = \mathbf{H}_A \overline{\mathbf{V}}_{RF}$$

$$\mathbf{H}_{eq_B} = \mathbf{H}_B \overline{\mathbf{V}}_{RF}$$

( $H_A, H_B$ 는 각각 그룹화 리스트 G에서 사용자 B 또는 사용자 A를 제외한 채널행렬)

#### 청구항 16

제 15항에 있어서,

상기 수식 4를 통해서 생성된 등가채널 행렬을 사용하여 디지털 프리코딩 벡터를 하기 수식 5와 같이 구하는 것을 특징으로 하는 빔포밍 장치.

(수식 5)

$$\mathbf{V}_{D_A} = \mathbf{H}_{eq_A}^H (\mathbf{H}_{eq_A} \mathbf{H}_{eq_A}^H)^{-1} \Lambda_A$$

$$\mathbf{V}_{D_B} = \mathbf{H}_{eq_B}^H (\mathbf{H}_{eq_B} \mathbf{H}_{eq_B}^H)^{-1} \Lambda_B$$

$$\mathbf{V}_{D_F} = (\mathbf{V}_{D_A} + \mathbf{V}_{D_B}) \Lambda_F$$

( $\Lambda_A$ 는  $\mathbf{V}_{D_A}$ 의 대각 행렬,  $\Lambda_B$ 는  $\mathbf{V}_{D_B}$ 의 대각 행렬)

#### 발명의 설명

**기술분야**

[0001] 본 발명은 대용량 MIMO-NOMA 시스템에서 낮은 복잡도 RF 프리코더 기반의 효율적 프리코딩 장치 및 그 방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 하향링크 대용량 MIMO 시스템에서 NOMA (Non-Orthogonal Multiple Access) 기법을 통하여 RF chain을 줄임으로써 하드웨어 복잡도와 비용을 줄이고, 주파수 스펙트럼 효율을 증가시키는 방법에 관한 것이다.

**배경기술**

[0003] 무선통신 시스템에서 기지국의 안테나 수를 무수히 많이 사용하는 대용량 MIMO 시스템은 높은 에너지 및 주파수 효율을 얻을 수 있어 중요한 기술로 여겨진다. 그러나 대용량 MIMO 시스템에서 디지털 프리코딩만 사용하는 경우 송신 안테나 수만큼의 증폭기 등의 소자가 필요하여, 시스템을 구성하는 비용과 소자가 사용하는 전력이 증가하게 된다. 이를 해결하기 위해 전력소모가 적고 가격이 낮은 위상조절기와 믹서를 이용한 RF 프리코더와 디지털 프리코더를 결합한 하이브리드 빔포밍이 등장하였다. 그러나 하이브리드 빔포밍의 한계는 높은 해상도의 RF 프리코더를 사용할 경우 시스템이 사용하는 전력이 디지털 프리코더만 사용하는 경우에 가깝게 증가한다는 점과, 디지털 프리코더와 RF 프리코더의 연결 고리인 RF 체인의 수를 지원하는 사용자의 수보다 적게 만들 수 없는 점이다. 만약 낮은 해상도의 RF 프리코더를 사용한다면 전력 소모량이 감소하는 대신 주파수 스펙트럼 효율도 감소한다는 점이다.

[0004] OMA(Orthogonal Multiple Access)는 사용자간에 서로 직교하는 자원을 할당하여 서로간의 간섭을 없애고 다중 접속을 할 수 있게 만드는 기법이다. 반면에 NOMA는 사용자 간에 같은 자원을 공유하고, 수신단에서 SIC(successive interference cancellation) 등을 이용해 신호를 분리하는 기법이다. NOMA 기법을 이용하면 사용자간 간섭이 생기지만, 이를 잘 분리해내면 OMA기법보다 주파수 스펙트럼 효율을 높일 수 있다.

**선행기술문헌**

**특허문헌**

[0006] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허 제10-2070938호(2020.01.21.)

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0007] 본 발명은 NOMA 기법을 이용하여 저해상도 RF 프리코더를 사용하는 하이브리드 빔포밍의 성능 저하를 완화하며, 동시에 RF 체인의 수를 줄이는 방법을 제공하는데 목적이 있다. 또한 고해상도 RF 프리코더를 사용한 경우에도 RF 체인의 수를 줄이고, 주파수 스펙트럼 효율을 유지할 수 있다.

**과제의 해결 수단**

[0009] 본 발명은, 하향링크 대용량 MIMO-NOMA 시스템을 기반으로 하는 하이브리드 빔포밍의 RF 체인의 수를 줄이고, 주파수 스펙트럼 효율은 증가시키기 위해 자원을 공유할 사용자를 선택하고, 공유되는 RF 프리코딩 벡터를 구성하고, 간섭을 줄이는 디지털 프리코딩 방법을 제시한다.

[0010] 공유할 사용자를 선택하기 위해 각 사용자 간 채널의 상관관계를 이용하고, RF 프리코딩 벡터를 공유하는 사용자간 채널 전력을 정규화하고 안테나별로 비교하여 더 높은 값을 갖는 사용자의 RF 프리코딩 벡터의 성분을 선택해 두 사용자가 공유하는 하나의 RF 프리코딩 벡터를 구성한다. 이후 후술할 방법에 따라 디지털 프리코더를 구하고 RF 프리코딩 벡터를 공유하는 사용자간 채널 전력을 이용해 전력 할당하여 송신한다.

**발명의 효과**

[0012] 5G mmWave 무선통신 환경을 바탕으로 만들어진 SV (Saleh-Valenzuela) 채널 모델에서, 본 발명에 따라 구축된 시스템은 기존의 방법에 비해 높은 주파수 스펙트럼 효율을 달성할 수 있으며, 적은 전력을 소모할 수 있다.

**도면의 간단한 설명**

- [0013] [도 1]은 하향링크 대용량 MIMO 시스템 송수신 모델을 나타낸다.
- [도 2]는 하향링크 대용량 MIMO-NOMA 시스템 송수신 모델을 나타낸다.
- [도 3]은 본 발명에서 NOMA를 적용할 사용자를 선택하는 알고리즘의 순서도를 나타낸다.
- [도 4]는 본 발명에서 두 사용자가 공유하는 RF 프리코딩 벡터 성분을 선택하는 방법을 나타낸다.
- [도 5]는 본 발명에서 두 사용자가 공유하는 RF 프리코딩 벡터 성분을 선택하는 알고리즘의 순서도를 나타낸다.
- [도 6] ~ [도 8]은 각각 다른 조건에서 기존의 OMA 하이브리드 빔포밍 기법과 본 발명에서 제시된 NOMA 하이브리드 빔포밍 기법의 SNR에 따른 주파수 스펙트럼 효율의 성능차이를 그래프로 나타낸 것이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

[0014] 아래에서는 첨부한 도면을 참조하여 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 본 발명의 실시 예를 상세히 설명한다. 그러나 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시 예에 한정되지 않는다. 그리고 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면부호를 붙였다.

[0015] 첨부한 도면을 참고로 하여 본 발명의 실시 예에 대하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다.

**1. 종래 기술**

[0017] 대용량 MIMO 시스템에서의 하이브리드 빔포밍 기술은, RF 프리코더와 디지털 프리코더를 결합한 빔포밍 기술로, 기존에 RF 프리코더만 사용하거나, 디지털 프리코더만 사용하던 종래 기술보다는 RF 체인 수가 적다. 또한, 하이브리드 빔포밍에 기존의 OFDM(Orthogonal frequency-division multiplexing, 직교 주파수 분할 다중 방식)에 융합하여 사용하였다. 도 1은  $N_T$  개의 안테나를 가진 기지국에서 단일 안테나를 가진  $N_U$ 명의 사용자와 동시에 송수신하는 하향링크 하이브리드 빔포밍 대용량 MIMO 시스템 송수신 모델을 나타낸다. ( $N_T \gg N_U$ )

[0018] 도 1에서와 같이 하이브리드 빔포밍은  $N_u$  명의 사용자에게 맞는  $N_u$  개의 사용자 데이터(110)를  $N_u$ 개의 RF 체인(120)을 통해서  $N_u$ 명의 사용자에게 송신된다.

[0019] 도 1의 수신 신호벡터  $\mathbf{y}=[y_1, y_2, \dots, y_{N_U}]^T$ 의 크기는  $N_U \times 1$ 이며, 다음의 수학적 식 1과 같이 표현된다.

**수학적 식 1**

[0020] 
$$\mathbf{y} = \mathbf{H} \mathbf{V}_{RF} \mathbf{V}_D \mathbf{s} + \mathbf{n}$$

[0021]  $\mathbf{H}$ 는 SV(Saleh-Valenzuela) model을 따르는 다운링크 채널 행렬이고,  $\mathbf{V}_{RF} \in \mathbb{C}^{N_T \times N_{RF}}$ 는 RF 프리코딩 행렬이며,  $\mathbf{V}_D \in \mathbb{C}^{N_{RF} \times N_U}$  디지털 프리코딩 행렬이다.  $\mathbf{s}$ 는 사용자들에게 전송하고자 하는 송신 신호 벡터를 의미하며,  $\mathbf{n}$ 은 평균이 0이고 분산이 1인 AWGN(Additive White Gaussian Noise) 벡터 또는 노이즈 벡터를 의미한다.  $v_{i,j}$ 는  $\mathbf{V}_{RF}$ (RF 프리코딩 행렬)의  $(i, j)$ 번째 성분이며 아래 수학적 식 2를 만족한다. 채널 행렬  $\mathbf{H}$ 은, 사용자의 채널 정보를 가지고 있는 채널 행렬이다.

**수학적 식 2**

[0022] 
$$v_{i,j} = \frac{1}{\sqrt{N_T}} e^{j\phi_{i,j}}$$

[0023] 만약 양자화 된 RF 프리코더인 경우,  $\phi$  대신, 양자화 된  $\hat{\phi}$  로 표현하며,  $\hat{\phi}$  는 아래 수학적 3을 만족한다.

**수학적 3**

[0025] 
$$\hat{\phi} = \frac{2\pi n}{2^B}$$

[0026] 수학적 3에서 B는 양자화 비트 수를 의미하며,  $\hat{n}$  은  $\arg \min_{n \in \{0, \dots, 2^B-1\}} \left| \phi - \frac{2\pi n}{2^B} \right|$  으로써, 유클리드 거리적으로 가장 가까운 양자화 된 위상을 의미한다.

[0028]  $V_D$ (디지털 프리코딩 행렬)는 등가 채널 행렬인  $\mathbf{H}_{eq} = \mathbf{H} \mathbf{V}_{RF}$  의 의사 역행렬을 사용하는 ZF(Zero Forcing)방법을 통해 수학적 4와 같이 구한다.

**수학적 4**

[0029] 
$$\mathbf{V}_D = \mathbf{H}_{eq}^H (\mathbf{H}_{eq} \mathbf{H}_{eq}^H)^{-1} \mathbf{\Lambda}$$

[0030] 수학적 4에  $V_D$ 는 디지털 프리코딩 행렬이고,  $H_{eq}$ 는 등가 채널 행렬이며,  $(*)^H$ 는 에르미트(Hermitian) 변환을 나타내는 것이다. 에르미트 변환행렬은, 기존의 행렬 H의 켤레 전치 행렬이다. 즉, 기존의 행렬 H의 각 원소에 대하여 켤레 값을 가지며, 본래의 행렬의 행과 열을 바꿔 전치한 것이다.  $\Lambda$ 는 전력 정규화를 위한 대각행렬이다. 상기 [수학적 2]~[수학적 5]는 하이브리드 빔포밍하는 종래 기술이다.

[0031] 2.본원 발명

[0032] 본 발명의 시스템인 도 2는 도 1의 모델에 NOMA(Non-Orthogonal Multiple Access)를 적용한 시스템으로써, 하향링크 하이브리드 빔포밍 대용량 MIMO-NOMA 시스템 송수신 모델을 나타낸다. NOMA(Non-Orthogonal Multiple Access)는 전력 영역의 다중화 기법으로, 전력 분배를 이용하여 신호를 전력 영역에서 다중화 시키는 것으로, 사용자가 동일한 시간에 동일한 주파수 영역을 사용하도록 한다.

[0033] 두 시스템의 차이는, 본 발명의 알고리즘을 통해 사용자를 묶은 수인  $N_p$ 만큼 RF 체인의 수가 감소하고, SC(Superposition Coding)으로 인하여 송신하는 데이터 벡터의 수도 감소한다. 도 2에서  $N_u$ 명의 사용자를 유사한 채널을 가지는  $N_p$ 개의 그룹으로 묶으면 RF 체인의 개수가  $N_u - N_p$ 개가 되어, RF 체인의 개수가 줄어 들게 된다.

[0034] 2.1. 연산부

[0035] 소정의 상관관계를 가지는 사용자끼리 그룹화하는 단계를 수행하는 장치이다.

[0036] 2.1.1. 사용자 그룹화

[0037] NOMA를 적용하기 위해서는 먼저 소정의 상관관계를 가지는 유사한 채널을 갖는 사용자 쌍을 골라 하나의 그룹으로 묶어야 한다. 이를 그룹화 단계라고 하며, 소정의 상관관계를 가지는 사용자끼리 그룹으로 묶고,  $N_p$ 개의 사용자 그룹에 대하여 그룹화 리스트 G를 생성한다.

[0038] 하기 수학적 5는 상기 사용자 간의 소정의 상관관계를 나타내는 수학적식이다.

수학식 5

$$\eta^{(k)} = \frac{|\widehat{\mathbf{h}}_k^H \mathbf{V}_{RF}|}{N_T}$$

$$\xi^{(k)} = \frac{\eta^{(k, \widehat{m}^{(k)})}}{1 + \sum_{i \neq k, \widehat{m}^{(k)}}^{N_U} \eta^{(k, i)}}$$

수학식 5는 본 발명에서 사용자를 그룹으로 묶기 위해 상관관계를 바탕으로 만든 기준이다.  $k$ 는 임의의 사용자  $k$ 를 의미하며, 사용자  $1, 2, \dots, N_U$ (141)이다.  $\widehat{\mathbf{h}}_k^H$ 는  $k$ 번째 사용자 채널 벡터의 위상을 의미하며,  $\mathbf{V}_{RF}$ 는 수학식 2

혹은 3에서 먼저 정해진 RF 프리코딩 행렬( $\mathbf{v}_{ij} = \frac{1}{\sqrt{N_T}} e^{j\phi_{ij}}, \hat{\phi} = \frac{2\pi n}{2^B}$ ),  $N_T$ 는 기지국 안테나 수이다.  $\eta^{(k)}$ 는

벡터로써,  $\widehat{\mathbf{h}}^{(k)}$ 와  $\mathbf{V}_{RF}$ 행렬 곱을 송신 안테나의 수로 나뉜 값으로 상관관계와 유사하다.  $\widehat{m}^{(k)}$ 는

$\arg \min_{m^{(k)} \in \{1, \dots, N_U\}, m^{(k)} \neq k} \eta^{(k)}$ 로써( $\widehat{m}^{(k)}$ 는 사용자 수  $N_U$  중  $k$ 를 제외한 사용자  $m^{(k)}$ ,  $\eta^{(k)}$ 의 성분 중에서  $k$ 번

째 성분을 제외하고 가장 큰 성분을 가지는 인덱스를 의미한다. 즉,  $\widehat{m}^{(k)}$ 는 사용자  $k$ 의 채널과 가장 유사한 채널을 가지는 사용자 인덱스이다.

$\xi^{(k)}$ 는  $k$ 번째 성분을 제외한  $\eta^{(k)}$ 의 성분 중에서 가장 큰 값을 나머지 값들과 1의 합으로 나눈 값으로써,  $k$ 번째 사용자와 상관관계가 크고 다른 사용자와는 상관관계가 작은 사용자 인덱스를 찾기 위해 정의한 것이다.

도 3은 수학식 5를 바탕으로 한 알고리즘을 순서도로 나타낸 것이다.  $\zeta$ 는 알고리즘이 적용되는 문턱값으로써 설정 값이다.  $\xi^{(k)}$ 가 문턱값  $\zeta$ 를 넘을 경우,  $k$ 번째 사용자는 상기 상관관계가 큰 사용자 인덱스로 찾아진 사용자와 함께 사용자 쌍으로 그룹화되어 그룹화 리스트  $G$ 에 추가되며, 최종적으로 나온 그룹화 리스트  $G = [(A_1, B_1), \dots, (A_{N_p}, B_{N_p})]$ 에서  $A, B$ 는 서로 묶이는 사용자의 인덱스를 의미한다.

이에 그룹화 리스트  $G$ 는 총  $N_p$ 개의 그룹으로 구성되며, 각 그룹에서의 사용자를  $A$ 와  $B$ 로 나타낸다.

2.2. RF 프리코더

사용자를 그룹화함에 따라서, RF 프리코딩 행렬을 새롭게 생성하여야 한다. 본 발명의 RF 프리코더는 사용자 그룹화 이전의 RF 프리코딩 행렬  $\mathbf{V}_{RF}$ 을 그룹화한 사용자에게 따른 RF 프리코딩 행렬  $\overline{\mathbf{V}}_{RF}$ 로 변형하여 변형 RF 프리코딩 행렬을 생성하는 단계를 수행하는 구성이다.

도 4는 그룹화함에 따라서 각 그룹의 사용자가 공유하는 하나의 RF 프리코딩 벡터를 나타낸 것이다. 다음으로 도 4처럼 서로 묶인 사용자들이 공유하는 하나의 RF 프리코딩 벡터를 구한다.

도 5는 본 발명에서 새로운 RF 프리코딩 행렬을 구하는 순서도이다.

하기 수학식 5를 통해서 그룹화 리스트  $G$ 에서  $u$  번째 그룹의 사용자  $A, B$ 에 대한 정규화 된 채널 벡터를 구할 수 있고, 그 정규화된 채널 벡터는 각각  $\widehat{\mathbf{h}}_{A_u}, \widehat{\mathbf{h}}_{B_u}$ 이다(520).

수학식 6

[0051] 
$$\widehat{\mathbf{h}} = \left[ \frac{(|h_1|^2 - |h|_{\min}^2)}{(|h|_{\max}^2 - |h|_{\min}^2)}, \dots, \frac{(|h_{N_T}|^2 - |h|_{\min}^2)}{(|h|_{\max}^2 - |h|_{\min}^2)} \right]$$

[0052] 먼저 수학식 6에 따라  $\widehat{\mathbf{h}}$ 를 정의한다.  $\widehat{\mathbf{h}}$ 는  $\mathbf{h}=[h_1, \dots, h_{N_T}]^T$ 인 채널 벡터를 정규화한 벡터를 의미하며, 수학식 6에서  $|h|_{\min}^2 = \min(|h_1|^2, \dots, |h_{N_T}|^2)$ ,  $|h|_{\max}^2 = \max(|h_1|^2, \dots, |h_{N_T}|^2)$ 를 의미한다.

[0053] 기지국의 안테나  $N_T$ 에서  $n$ 번째 안테나에 대하여, 상기 그룹화 리스트 G에  $u$ 번째 사용자 A,B의 상기 정규화된 채널 벡터 성분을 추출하고, 추출한 채널 벡터 성분  $\widehat{h}_{n,A_u}$ ,  $\widehat{h}_{n,B_u}$ 를 비교한다(540).

[0054]  $\widehat{h}_{n,A_u} > \widehat{h}_{n,B_u}$ 일 때는, 그룹화 리스트 G의  $u$ 번째 그룹의 A 사용자가 가진  $n$ 번째 안테나 관한 본래의 RF 프리코딩 행렬  $V_{RF}$ 에서 성분  $\mathbf{v}_{n,A_u}$  선택하여  $\overline{\mathbf{v}}_{n,u}$ 를 설정하고(551),

[0055] 반면,  $\widehat{h}_{n,A_u} \leq \widehat{h}_{n,B_u}$ 일 때는, 그룹화 리스트 G의  $u$ 번째 그룹의 B 사용자가 가진  $n$ 번째 안테나 관한 본래의 RF 프리코딩 행렬  $V_{RF}$ 에서 성분  $\mathbf{v}_{n,B_u}$  선택하여  $\overline{\mathbf{v}}_{n,u}$ 를 설정한다(552).

[0056]  $\mathbf{v}_{n,A_u}$ ,  $\mathbf{v}_{n,B_u}$ 는 각각 G에서  $u$ 번째 묶음의 사용자 A또는 B가 갖는 RF 프리코딩 행렬의  $n$ 번째 안테나의 성분을 의미한다.  $\overline{\mathbf{v}}_{n,u}$ 는  $u$ 번째 묶음의 사용자들이 공유하는 RF 프리코딩 행렬의  $n$ 번째 안테나 성분을 의미한다.

[0057] 도 4에서, 도면부호 410은 본래의 RF 프리코딩 벡터 성분, 도면부호 420은 새로운 RF 프리코딩 벡터 성분을 의미한다.

[0059] 예를 들어 상세히 설명하면, 그룹화 리스트 G의  $u$ 번째 사용자 A,B가 본래에  $c$ 번째 사용자  $c$ 와  $d$ 번째 사용자  $d$ 이라고 가정한다(도 2에서 140과 같은 사용자 번호). 이때, 상기 수학식 6을 통해서 사용자  $c,d$ 에 대한 정규화된 채널행렬  $\widehat{h}_c$ 와  $\widehat{h}_d$ 를 구한다. 상기 생성한 각 사용자  $c,d$ 에 대한 정규화된 채널 행렬은 안테나  $1-N_T$ 에 따른 채널 벡터 성분을 가지게 된다(410). 이후, 비교 결과에 따라서  $c$ 번째 사용자의 채널 벡터 성분이 더 클때는, 사용자  $c$  RF 프리코딩 행렬에서  $n$ 번째 안테나에 대한 성분을 추출하고,  $d$ 번째 사용자의 성분이 더 클때는, 사용자  $d$ 의 RF 프리코딩 행렬에서  $n$ 번째 안테나에 대한 성분을 추출하여 도 4와 같이 각 안테나 별로 더 큰 벡터 성분을 가지는 새로운 벡터 성분 리스트(420)를 생성해 준다.

[0060] 이후 도 5의 알고리즘에서 보이는 것처럼, 묶인 두 사용자가 공유하는 하나의 RF 프리코딩 벡터를 묶음별로 구한 후 묶이지 않은 사용자의 RF 프리코딩 벡터들과 결합하여 하나의 새로운 RF 프리코딩 행렬  $\overline{V}_{RF}$ 를 만든다.

[0062] 2.3. 디지털 프리코더

[0063] 상기 RF 프리코더에서 새롭게 생성된  $\overline{V}_{RF}$ 를 기반으로 새로운 디지털 프리코딩 행렬을 생성하는 단계를 수행하는 장치이다.

[0064] 위 과정에서 구한 새로운 RF 프리코딩 행렬  $\overline{V}_{RF}$ 을 바탕으로 디지털 프리코더를 수학식 4의 등가 채널 행렬의

의사 역행렬을 이용한 ZF 기법은 수학적으로 적용이 불가능하다.

[0065] 따라서 이를 해결하기 위해 수학식 7과 같이 채널행렬 2개를 만든다.

**수학식 7**

[0066] 
$$\mathbf{H}_A = [h_{a_1}, \dots, h_{a_i}, \dots, h_{a_{N_U}}]^H \quad \mathbf{H}_B = [h_{b_1}, \dots, h_{b_i}, \dots, h_{b_{N_U}}]^H$$

[0067] 수학식 7에서  $a_i, b_i$ 는 각각

$\{a_i | a_i \in \{1, \dots, N_U\} \text{ and } a_i \notin \{B_1, \dots, B_{N_p}\}\}$   $\{b_i | b_i \in \{1, \dots, N_U\} \text{ and } b_i \notin \{A_1, \dots, A_{N_p}\}\}$  를 만족하며

$H_A, H_B$ 는 각각 그룹화 리스트 G에서 사용자 B 또는 사용자 A를 제외한 채널행렬을 의미한다. 이후 수학식 8처럼  $H_A, H_B$  별로 각각의 등가채널행렬을 구한다. 즉,  $N_p$ 개의 그룹 각각에서 사용자 A에 대한 채널 행렬  $H_A$ , 사용자 B에 대한 채널 행렬  $H_B$ 을 따로 생성한 것이다.

**수학식 8**

[0068] 
$$\mathbf{H}_{eq_A} = \mathbf{H}_A \overline{\mathbf{V}_{RF}}$$

[0069] 
$$\mathbf{H}_{eq_B} = \mathbf{H}_B \overline{\mathbf{V}_{RF}}$$

[0070] 수학식 9에서는 등가 채널행렬을 바탕으로 수학식 4의 ZF와 같은 방식으로 각각의 디지털 프리코더를 구하고 합쳐준다.

**수학식 9**

[0071] 
$$\mathbf{V}_{D_A} = \mathbf{H}_{eq_A}^H (\mathbf{H}_{eq_A} \mathbf{H}_{eq_A}^H)^{-1} \Lambda_A$$
  

$$\mathbf{V}_{D_B} = \mathbf{H}_{eq_B}^H (\mathbf{H}_{eq_B} \mathbf{H}_{eq_B}^H)^{-1} \Lambda_B$$
  

$$\mathbf{V}_{D_F} = (\mathbf{V}_{D_A} + \mathbf{V}_{D_B}) \Lambda_F$$

[0072]

[0073]  $\mathbf{V}_{D_A}, \mathbf{V}_{D_B}$ 는 각각  $\mathbf{H}_{eq_A}, \mathbf{H}_{eq_B}$ 와  $\mathbf{V}_{D_F}$ 를 이용하여 만든 디지털 프리코더이며,  $\mathbf{V}_D$ 는 앞서

구한  $\mathbf{V}_{D_A}, \mathbf{V}_{D_B}$ 를 하나로 합친 디지털 프리코더이다.

[0074] 마지막으로 묶인 사용자들 간의 QoS(Quality of Service)를 유지하기 위하여 묶인 사용자의 채널 전력을 이용하여 수학식 10처럼 전력을 할당한다.

수학식 10

$$p_{A_u} = \frac{\mathbf{h}_{B_u}^H \mathbf{h}_{B_u}}{\mathbf{h}_{A_u}^H \mathbf{h}_{A_u} + \mathbf{h}_{B_u}^H \mathbf{h}_{B_u}}$$

$$p_{B_u} = 1 - p_{A_u}$$

[0076]

[0077]  $p_{A_u}, p_{B_u}$ 는 각각  $A_u, B_u$  사용자에게 할당하는 전력의 크기이며  $u = 1, \dots, N_P$ 이다.

[0079] <실시 예>

[0080] 도 6, 도 7은 본 발명을 이용해 시뮬레이션 한 결과이다. 이는 사용자에서 확인한 신호 간섭에 대한 주파수 스펙트럼 효율이다.

[0081] 도 6은 모두 문턱값  $\zeta$ 가 0.25로 동일한 조건이고, 도 7은 문턱값  $\zeta$ 를 양자화 비트별로 다르게 책정한 결과이다. 도 7에서처럼 양자화 비트수에 맞게 적절한  $\zeta$ 를 정한 경우 본 발명은 기존 기법에 비해 높은 주파수 스펙트럼 효율을 달성할 수 있다. 도 8은 본 발명에서  $\zeta$ 에 따라 주파수 스펙트럼 효율이 어떻게 변하는지를 보여주는 그래프이다. 문턱값인  $\zeta$ 가 너무 작을 경우, 사용자 간의 채널 상관관계를 고려하지 않고 하나의 쌍으로 묶이므로 간섭이 증가하여 오히려 주파수 스펙트럼 효율이 감소하고,  $\zeta$ 가 너무 큰 경우 기준을 만족하는 사용자 쌍이 존재하지 않아 OMA 기법에 수렴하게 된다.

[0082] 한편, 본 발명의 기술적 사상은 상기 실시 예에 따라 구체적으로 기술되었으나, 상기 실시 예는 그 설명을 위한 것이며, 그 제한을 위한 것이 아님을 주의해야 한다. 또한, 본 발명의 기술분야에서 당업자는 본 발명의 기술 사상의 범위 내에서 다양한 실시 예가 가능함을 이해할 수 있을 것이다.

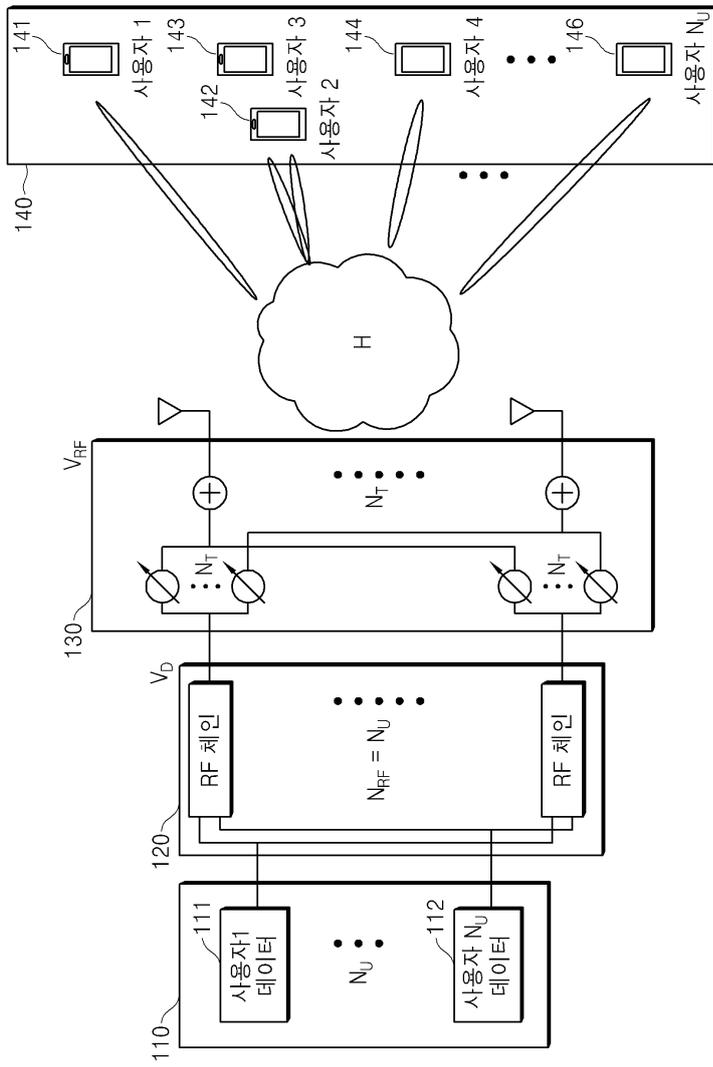
부호의 설명

- [0084] 110 데이터 스트림
- 111 사용자 1의 데이터
- 112 사용자  $N_u$ 의 데이터
- 120 디지털 프리코더  $V_D$
- 130 아날로그 프리코더  $V_{-RF}$
- 140 사용자
- 141 사용자 1
- 142 사용자 2,3
- 143 사용자 3
- 144 사용자 4
- 145 사용자  $N_u$
- 210 데이터 스트림
- 211 사용자 1의 데이터
- 212 사용자  $N_u$ 의 데이터

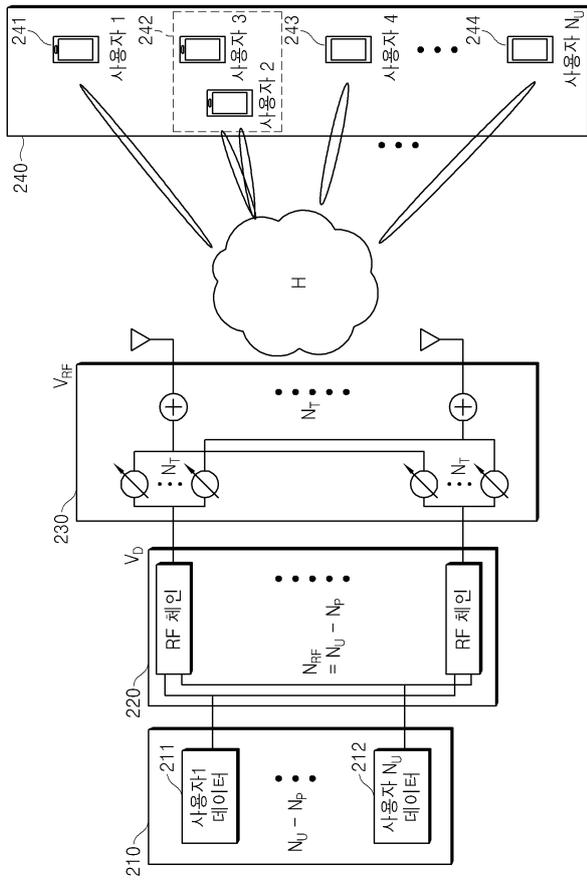
- 220 디지털 프리코더  $V_D$
- 230 아날로그 프리코더  $V_{RF}$
- 240 사용자
- 241 사용자 1
- 242 사용자 2,3
- 243 사용자 4
- 244 사용자  $N_u$
- 310 그룹화 수행
- 320  $\xi^{(k)}$  구하는 단계
- 330 문턱값  $\zeta$ 와  $\xi^{(k)}$ 를 비교하는 단계
- 341 그룹화 리스트 G에 추가하는 단계
- 342 그룹화 리스트 G에 사용자 추가하지 않고 반복 수행하는 단계
- 350 사용자  $N_u$ 까지 반복 수행하는 단계
- 360 리스트 G의  $\zeta$ 를 내림차순으로 정렬하는 단계
- 370 리스트 G에 중복 값 제거 단계
- 380 리스트 G에서  $\xi^{(k)}$  제거하는 단계
- 410 본래의 RF 프리코딩 벡터 성분
- 420 새로운 RF 프리코딩 벡터 성분
- 510 새로운 RF 프리코딩 행렬 생성 단계
- 520  $\hat{h}_{n,A_u}$ ,  $\hat{h}_{n,B_u}$ 를 구하는 단계
- 530 n번째 안테나에 대하여 확인하는 단계
- 540  $\hat{h}_{n,A_u}$ ,  $\hat{h}_{n,B_u}$ 를 비교하는 단계
- 551 사용자 A에 대한  $V_{RF}$  벡터 성분을 추출하는 단계
- 552 사용자 B에 대한  $V_{RF}$  벡터 성분을 추출하는 단계
- 560 n+1번째 안테나에 대하여 반복 수행하는 단계
- 570 안테나  $N_T$ 번째 까지 반복 확인하는 단계
- 590 그룹  $N_p$ 까지 반복 수행하는 단계

도면

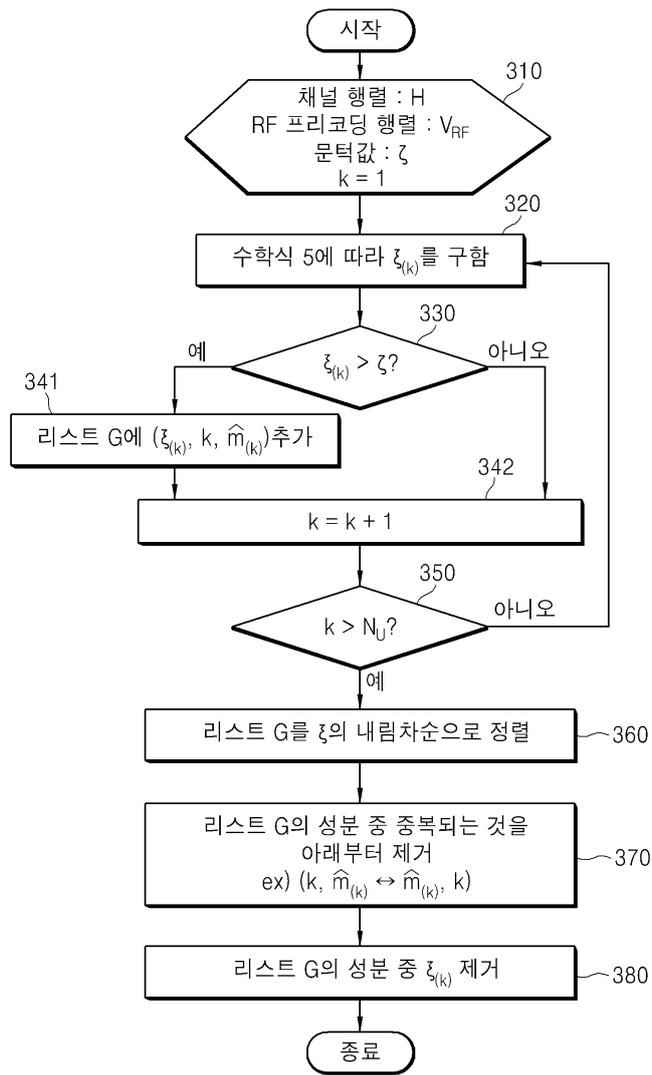
도면1



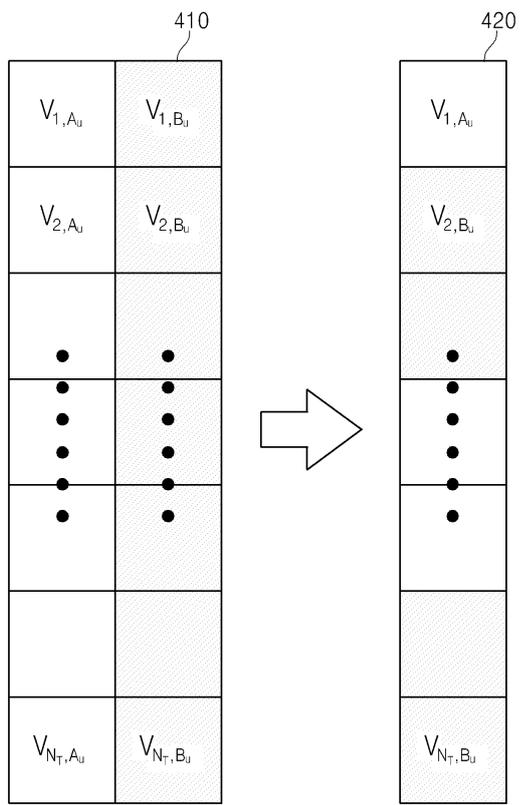
도면2



도면3

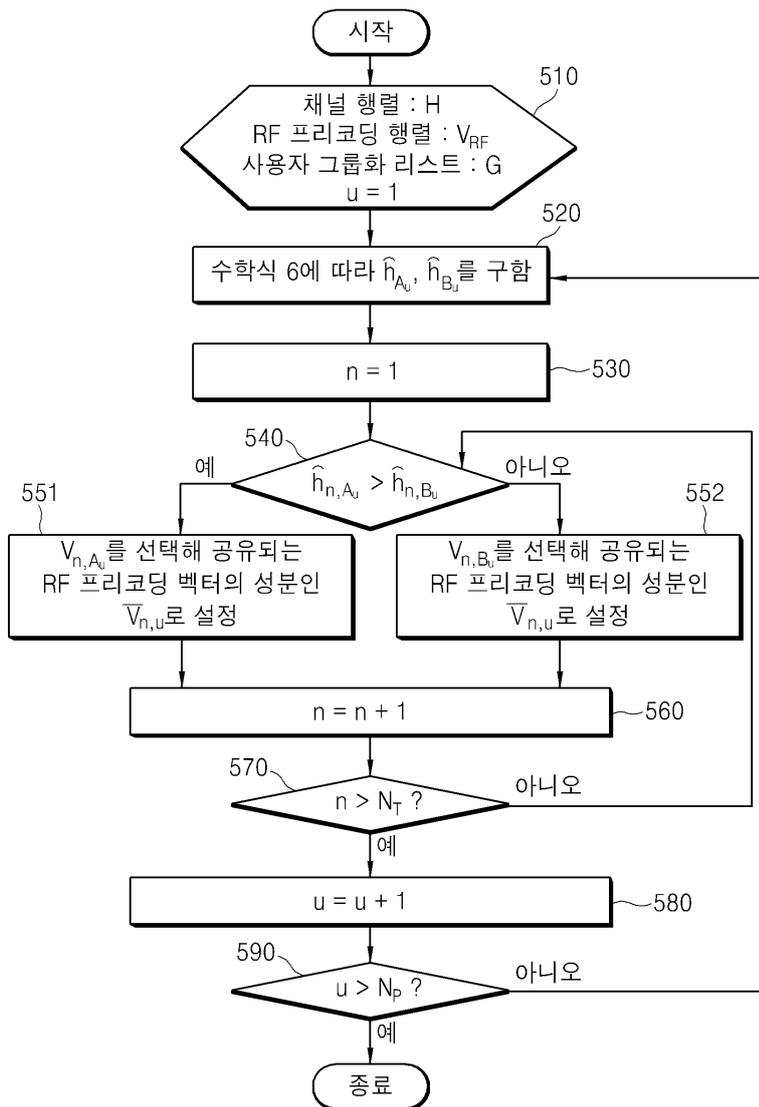


도면4

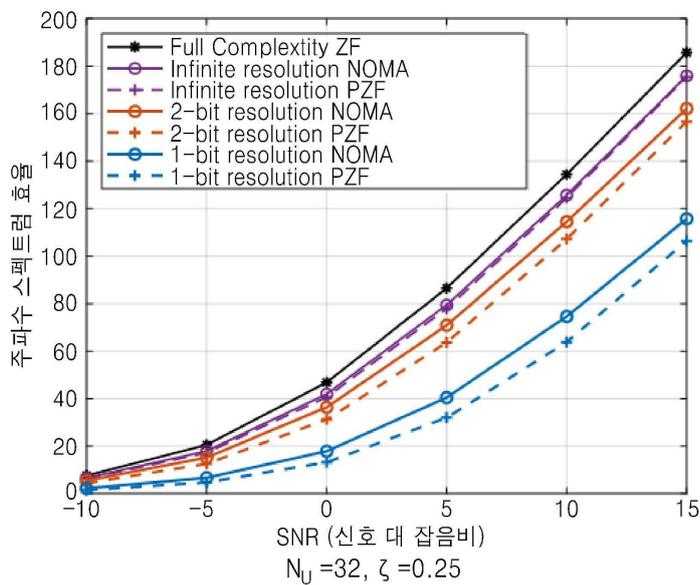


RF 프리코딩 벡터를 선택하는 예시

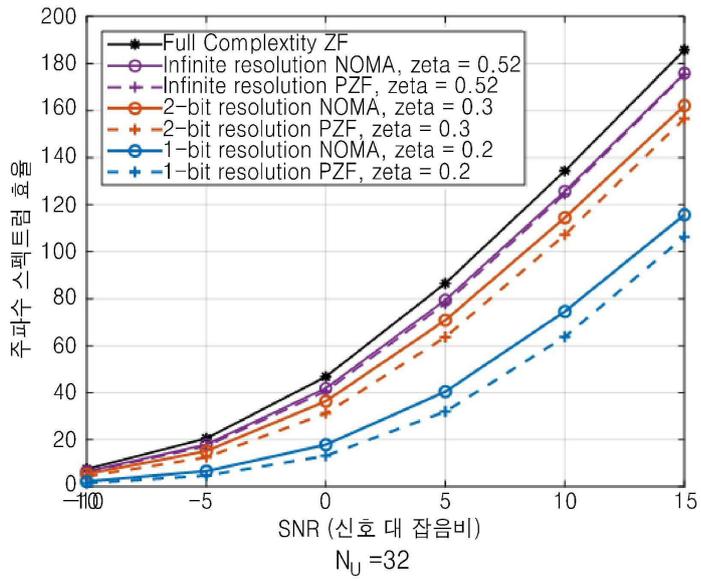
도면5



도면6



도면7



도면8

