



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년10월23일
(11) 등록번호 10-2169683
(24) 등록일자 2020년10월19일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04B 7/0456 (2017.01) H04B 7/0452 (2017.01)
(52) CPC특허분류
H04B 7/0456 (2013.01)
H04B 7/0452 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2019-0101825
(22) 출원일자 2019년08월20일
심사청구일자 2019년08월20일
(56) 선행기술조사문헌
KR1020080070151 A
KR1020100022202 A
KR1020100109511 A

(73) 특허권자
세종대학교 산학협력단
서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)
(72) 발명자
송형규
경기도 성남시 분당구 중앙공원로 17, 한양아파트 320동 303호
노재현
서울특별시 송파구 동남로13길 44-22, 제301호
이운상
경기도 김포시 김포한강11로 287, 207동 902호
(74) 대리인
특허법인태백

전체 청구항 수 : 총 20 항

심사관 : 전용해

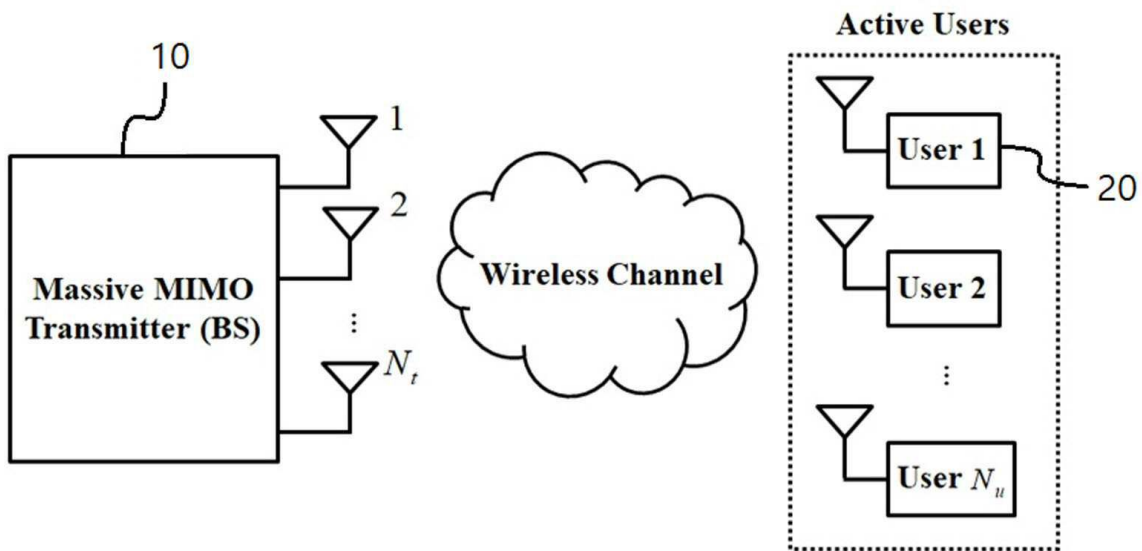
(54) 발명의 명칭 하향링크 대용량 MIMO 시스템을 위한 효율적 프리코딩 장치 및 그 방법

(57) 요약

본 발명은 하향링크 대용량 MIMO 시스템을 위한 효율적 프리코딩 장치 및 그 방법에 관한 것이다. 본 발명에 따르면, 대용량 MIMO 시스템에서 기지국에 적용되는 프리코딩 장치에 있어서, 상기 기지국과 복수의 유저 사이의 채널 행렬(G)을 기초로 Z 행렬($Z=G \cdot G^H$)을 연산하는 행렬 생성부와, 상기 Z 행렬에서 대각 지배적인 행의 개수

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1



($V; 0 \leq V \leq N_u$)를 구하고 상기 대각 지배적인 행의 개수(V)를 상기 유저의 개수(N_u)와 비교하는 비교부와, 비교 결과를 기초로 상기 Z 행렬 내에서 1개의 열 성분만 선택하거나, 설정 개수(k 개; $1 < k < N_u$)의 열 성분을 선택하는 제어부와, 상기 Z 행렬에서 대각 성분만을 취한 대각 행렬(D)에 상기 선택된 열 성분을 결합하여 NS(Neumann Series)의 초기 행렬인 Φ 행렬을 구하고, 상기 Φ 행렬을 NS 기반의 Z^{-1} 의 근사식에 대입하여 Z^{-1} 을 계산하는 역행렬 생성부, 및 상기 연산된 Z^{-1} 에 G^H 를 곱하여 프리코딩 행렬을 생성하는 프리코딩 행렬 생성부를 포함한다.

본 발명에 따르면, 채널 간 상관도가 높은 대용량 MIMO 시스템에서 효율적 프리코딩을 위해 유저들의 대각 지배성에 따라 적응적으로 프리코딩을 수행함으로써 기존의 ZF 프리코딩 기법보다 매우 낮은 복잡도를 가지면서 유사한 오류 성능을 제공하며 기존의 DNS 프리코딩 기법보다 오류 성능을 개선할 수 있는 이점이 있다.

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711082926
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	정보통신기술진흥센터
연구사업명	방송통신산업기술개발(R&D)
연구과제명	투명도와 레이어 가변형 실감 사이니지 기술 연구
기여율	1/1
과제수행기관명	서울과학기술대학교 산학협력단
연구기간	2017.04.01 ~ 2019.12.31

공지의외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

대용량 MIMO 시스템에서 기지국에 적용되는 프리코딩 장치에 있어서,

상기 기지국과 복수의 유저 사이의 채널 행렬(G)을 기초로 Z 행렬($Z=G \cdot G^H$)을 연산하는 행렬 생성부;

상기 Z 행렬에서 대각 지배적인 행의 개수(V; $0 \leq V \leq N_u$)를 구하고 상기 대각 지배적인 행의 개수(V)를 상기 유저의 개수(N_u)와 비교하는 비교부;

비교 결과를 기초로 상기 Z 행렬 내에서 1개의 열 성분만 선택하거나, 설정 개수(k개; $1 < k < N_u$)의 열 성분을 선택하는 제어부;

상기 Z 행렬에서 대각 성분만을 취한 대각 행렬(D)에 상기 선택된 열 성분을 결합하여 NS(Neumann Series)의 초기 행렬인 Φ 행렬을 구하고, 상기 Φ 행렬을 NS 기반의 Z^{-1} 의 근사식에 대입하여 Z^{-1} 을 계산하는 역행렬 생성부; 및

상기 연산된 Z^{-1} 에 G^H 를 곱하여 프리코딩 행렬을 생성하는 프리코딩 행렬 생성부를 포함하는 하향링크 대용량 MIMO 시스템을 위한 프리코딩 장치.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 Z^{-1} 을 계산하기 위한 NS 기반의 Z^{-1} 의 근사식과 그 수렴 조건은 아래 수학식으로 정의되는 하향링크 대용량 MIMO 시스템을 위한 프리코딩 장치:

$$Z^{-1} \approx \sum_{n=0}^L (I_{N_u} - \Phi^{-1} Z)^n \Phi^{-1}$$

$$\lim_{n \rightarrow L} (I_{N_u} - \Phi^{-1} Z)^n = 0_{N_u}$$

여기서, L은 LS의 길이, I_i 는 $i \times i$ 단위 행렬, 0_i 는 $i \times i$ 영행렬을 나타낸다.

청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 역행렬 생성부는,

상기 대각 행렬(D)에 상기 선택된 열 성분을 결합하여 상기 Φ 행렬을 구한 후 역행렬인 Φ^{-1} 을 연산한 다음,

상기 Φ^{-1} 를 상기 Z와 곱한 값($\Phi^{-1} \cdot Z$)을 상기 Z^{-1} 의 근사식의 해당 항에 대입하여 상기 Z^{-1} 을 계산하는 하향링크 대용량 MIMO 시스템을 위한 프리코딩 장치.

청구항 4

청구항 1에 있어서,

상기 제어부는,

상기 열 성분의 선택 시에, 상기 Z 행렬 내의 각 열 중에서 전력이 높은 순서로 선택하는 하향링크 대용량 MIMO

시스템을 위한 프리코딩 장치.

청구항 5

청구항 1에 있어서,

상기 제어부는,

상기 대각 지배적인 행의 개수가 상기 유저의 개수와 동일한 경우($V=N_u$), 상기 Z 행렬 내의 대각 성분을 모두 0으로 처리한 상태에서 각 열 중에서 최대 전력을 가지는 1개의 열 성분을 선택하는 DCNS(Diagonal plus Column NS)-1 기법을 적용하고,

상기 대각 지배적인 행의 개수가 0개인 경우($V=0$), 상기 Z 행렬 내의 대각 성분을 모두 0으로 처리한 상태에서 각 열 중에서 전력 크기가 높은 순으로 k 개의 열 성분을 선택하는 DCNS- k 기법을 적용하는 하향링크 대용량 MIMO 시스템을 위한 프리코딩 장치.

청구항 6

청구항 5에 있어서,

상기 역행렬 생성부는,

상기 $V=N_u$ 인 경우, 상기 선택된 1개의 열 성분을 상기 대각 행렬(D)에 결합하여 초기 행렬인 Φ 행렬을 구하고, Φ 행렬을 다시 대각 행렬(D)과 atomic 행렬로 분리한 결과를 이용하여 Φ 의 역행렬인 Φ^{-1} 을 연산한 다음,

상기 Φ^{-1} 를 상기 Z 와 곱한 값($\Phi^{-1} \cdot Z$)을 상기 Z^{-1} 의 근사식의 해당 항에 대입하여 상기 Z^{-1} 을 계산하는 하향링크 대용량 MIMO 시스템을 위한 프리코딩 장치.

청구항 7

청구항 5에 있어서,

상기 역행렬 생성부는,

상기 $V=0$ 인 경우, 상기 k 개 열 성분들 중 j 번째($j=\{1, \dots, k\}$) 선택된 열 성분과 상기 대각 행렬(D)을 셔먼 모리슨(Sherman Morrison) 공식에 적용하는 연산 동작을 $j=1$ 부터 k 까지 k 회 반복하여, 초기 행렬인 Φ^k 행렬에 대한 역행렬 (Φ^k)⁻¹을 연산한 다음,

상기 (Φ^k)⁻¹를 상기 Z 와 곱한 값($(\Phi^k)^{-1} \cdot Z$)을 상기 Z^{-1} 의 근사식의 해당 항에 대입하여 상기 Z^{-1} 을 계산하는 하향링크 대용량 MIMO 시스템을 위한 프리코딩 장치.

청구항 8

청구항 5에 있어서,

상기 제어부는,

상기 대각 지배적인 행의 개수가 상기 유저의 개수보다 작고 0보다 큰 경우($0 < V < N_u$),

상기 Z 행렬 내에서 대각 지배적인 V 개 행에 대응하여 DCNS-1 기법을 적용하고 상기 Z 행렬 내에서 대각 지배적이지 않은 나머지 U 개 행에 대해 DCNS- U 기법($k=U$)을 적용하는 하이브리드 기법을 선택하는 하향링크 대용량 MIMO 시스템을 위한 프리코딩 장치.

청구항 9

청구항 8에 있어서,

상기 역행렬 생성부는,

상기 $0 < V < N_u$ 인 경우, 상기 Z 행렬 내 각 행에 대해 대각 지배성 크기를 연산하여 대각 지배성 크기가 높은 순으

로 G 행렬의 행들을 재정렬하고, 재정렬된 G_s 를 이용하여 Z_s 행렬($Z_s=G_s \cdot G_s^H$)을 연산하고,

상기 Z_s 행렬을 상기 V값을 기초로 4개 영역으로 분할하여, 좌상단부터 좌하단까지 시계방향으로 $V \times V$ 의 D_1 행렬, $V \times U$ 의 E_1 행렬, $U \times U$ 의 D_2 행렬 및 $U \times V$ 의 D_2 행렬을 분리한 다음, 상기 D_1 행렬에 DCNS-1 기법을 적용하여 $(D_1)^{-1}$ 행렬을 얻고, D_2 행렬에 DCNS-U 기법을 적용하여 상기 $(D_2)^{-1}$ 행렬을 얻은 후,

상기 $(D_1)^{-1}$, $(D_2)^{-1}$, E_1 및 E_2 행렬을 아래 수학적식에 대입하여 Z_s 의 역행렬인 Z_s^{-1} 을 계산하는 하향링크 대용량 MIMO 시스템을 위한 프리코딩 장치:

$$\begin{aligned} Z_s^{-1} &\approx \sum_{n=0}^1 (I_{N_u} - \Phi^{-1}Z)^n \Phi^{-1} = 2\Phi^{-1} - \Phi^{-1}Z_s\Phi^{-1} \\ &= \begin{bmatrix} D_1^{-1} & -D_1^{-1}E_1D_2^{-1} \\ -D_2^{-1}E_2D_1^{-1} & D_2^{-1} \end{bmatrix} \end{aligned}$$

여기서, L은 LS의 길이, I_i 는 $i \times i$ 단위 행렬을 나타낸다.

청구항 10

청구항 9에 있어서,

상기 Z_s^{-1} 의 계산을 위해 수학적식에 포함된 Φ 행렬의 4개 영역에 대응하여 각각 상기 D_1 행렬, 영행렬, 상기 D_2 행렬, 영행렬이 할당되는 하향링크 대용량 MIMO 시스템을 위한 프리코딩 장치.

청구항 11

대용량 MIMO 시스템 내 기지국에서 수행하는 프리코딩 방법에 있어서,

상기 기지국과 복수의 유저 사이의 채널 행렬(G)을 기초로 Z 행렬($Z=G \cdot G^H$)을 연산하는 단계;

상기 Z 행렬에서 대각 지배적인 행의 개수(V; $0 \leq V \leq N_u$)를 구하고 상기 대각 지배적인 행의 개수(V)를 상기 유저의 개수(N_u)와 비교하는 단계;

비교 결과를 기초로 상기 Z 행렬 내에서 1개의 열 성분만 선택하거나, 설정 개수(k개; $1 < k < N_u$)의 열 성분을 선택하는 단계;

상기 Z 행렬에서 대각 성분만을 취한 대각 행렬(D)에 상기 선택된 열 성분을 결합하여 NS(Neumann Series)의 초기 행렬인 Φ 행렬을 구하고, 상기 Φ 행렬을 NS 기반의 Z^{-1} 의 근사식에 대입하여 Z^{-1} 을 계산하는 단계; 및

상기 연산된 Z^{-1} 에 G^H 를 곱하여 프리코딩 행렬을 생성하는 단계를 포함하는 하향링크 대용량 MIMO 시스템을 위한 프리코딩 방법.

청구항 12

청구항 11에 있어서,

상기 Z^{-1} 을 계산하기 위한 NS 기반의 Z^{-1} 의 근사식과 그 수렴 조건은 아래 수학적식으로 정의되는 하향링크 대용량 MIMO 시스템을 위한 프리코딩 방법:

$$Z^{-1} \approx \sum_{n=0}^L (I_{N_u} - \Phi^{-1}Z)^n \Phi^{-1}$$

$$\lim_{n \rightarrow L} (I_{N_u} - \Phi^{-1} Z)^n = \mathbf{0}_{N_u}$$

여기서, L은 LS의 길이, I_i 는 $i \times i$ 단위 행렬, $\mathbf{0}_i$ 는 $i \times i$ 영행렬을 나타낸다.

청구항 13

청구항 11에 있어서,

상기 Z^{-1} 을 계산하는 단계는,

상기 대각 행렬(D)에 상기 선택된 열 성분을 결합하여 상기 Φ 행렬을 구한 후 역행렬인 Φ^{-1} 을 연산한 다음,

상기 Φ^{-1} 를 상기 Z와 곱한 값($\Phi^{-1} \cdot Z$)을 상기 Z^{-1} 의 근사식의 해당 항에 대입하여 상기 Z^{-1} 을 계산하는 하향링크 대용량 MIMO 시스템을 위한 프리코딩 방법.

청구항 14

청구항 11에 있어서,

상기 열 성분을 선택하는 단계는,

상기 열 성분의 선택 시에, 상기 Z 행렬 내의 각 열 중에서 전력이 높은 순서로 선택하는 하향링크 대용량 MIMO 시스템을 위한 프리코딩 방법.

청구항 15

청구항 11에 있어서,

상기 열 성분을 선택하는 단계는,

상기 대각 지배적인 행의 개수가 상기 유저의 개수와 동일한 경우($V=N_u$), 상기 Z 행렬 내의 대각 성분을 모두 0으로 처리한 상태에서 각 열 중에서 최대 전력을 가지는 1개의 열 성분을 선택하는 DCNS(Diagonal plus Column NS)-1 기법을 적용하고,

상기 대각 지배적인 행의 개수가 0개인 경우($V=0$), 상기 Z 행렬 내의 대각 성분을 모두 0으로 처리한 상태에서 각 열 중에서 전력 크기가 높은 순으로 k개의 열 성분을 선택하는 DCNS-k 기법을 적용하는 하향링크 대용량 MIMO 시스템을 위한 프리코딩 방법.

청구항 16

청구항 15에 있어서,

상기 Z^{-1} 을 계산하는 단계는,

상기 $V=N_u$ 인 경우, 상기 선택된 1개의 열 성분을 상기 대각 행렬(D)에 결합하여 초기 행렬인 Φ 행렬을 구하고,

Φ 행렬을 다시 대각 행렬(D)과 atomic 행렬로 분리한 결과를 이용하여 Φ 의 역행렬인 Φ^{-1} 을 연산한 다음,

상기 Φ^{-1} 를 상기 Z와 곱한 값($\Phi^{-1} \cdot Z$)을 상기 Z^{-1} 의 근사식의 해당 항에 대입하여 상기 Z^{-1} 을 계산하는 하향링크 대용량 MIMO 시스템을 위한 프리코딩 방법.

청구항 17

청구항 15에 있어서,

상기 Z^{-1} 을 계산하는 단계는,

상기 $V=0$ 인 경우, 상기 k개 열 성분들 중 j번째($j=\{1, \dots, k\}$) 선택된 열 성분과 상기 대각 행렬(D)을 셔먼 모리슨(Sherman Morrison) 공식에 적용하는 연산 동작을 j=1 부터 k까지 k회 반복하여, 초기 행렬인 Φ^k 행렬에 대

한 역행렬 $(\Phi^k)^{-1}$ 을 연산한 다음,

상기 $(\Phi^k)^{-1}$ 를 상기 Z와 곱한 값 $((\Phi^k)^{-1} \cdot Z)$ 을 상기 Z^{-1} 의 근사식의 해당 항에 대입하여 상기 Z^{-1} 을 계산하는 하향링크 대용량 MIMO 시스템을 위한 프리코딩 방법.

청구항 18

청구항 15에 있어서,

상기 열 성분을 선택하는 단계는,

상기 대각 지배적인 행의 개수가 상기 유저의 개수보다 작고 0보다 큰 경우 $(0 < V < N_u)$,

상기 Z 행렬 내에서 대각 지배적인 V개 행에 대응하여 DCNS-1 기법을 적용하고 상기 Z 행렬 내에서 대각 지배적이지 않은 나머지 U개 행에 대해 DCNS-U 기법(k=U)을 적용하는 하이브리드 기법을 선택하는 하향링크 대용량 MIMO 시스템을 위한 프리코딩 방법.

청구항 19

청구항 18에 있어서,

상기 Z^{-1} 을 계산하는 단계는,

상기 $0 < V < N_u$ 인 경우, 상기 Z 행렬 내 각 행에 대해 대각 지배성 크기를 연산하여 대각 지배성 크기가 높은 순으로 G 행렬의 행들을 재정렬하고, 재정렬된 G_S 를 이용하여 Z_S 행렬($Z_S = G_S \cdot G_S^H$)을 연산하고,

상기 Z_S 행렬을 상기 V값을 기초로 4개 영역으로 분할하여, 좌상단부터 좌하단까지 시계방향으로 $V \times V$ 의 D_1 행렬, $V \times U$ 의 E_1 행렬, $U \times U$ 의 D_2 행렬 및 $U \times V$ 의 D_2 행렬을 분리한 다음, 상기 D_1 행렬에 DCNS-1 기법을 적용하여 $(D_1)^{-1}$ 행렬을 얻고, D_2 행렬에 DCNS-U 기법을 적용하여 상기 $(D_2)^{-1}$ 행렬을 얻은 후,

상기 $(D_1)^{-1}$, $(D_2)^{-1}$, E_1 및 E_2 행렬을 아래 수학적식에 대입하여 Z_S 의 역행렬인 Z_S^{-1} 을 계산하는 하향링크 대용량 MIMO 시스템을 위한 프리코딩 방법:

$$Z_S^{-1} \approx \sum_{n=0}^1 (I_{N_u} - \Phi^{-1}Z)^n \Phi^{-1} = 2\Phi^{-1} - \Phi^{-1}Z_S\Phi^{-1}$$

$$= \begin{bmatrix} D_1^{-1} & -D_1^{-1}E_1D_2^{-1} \\ -D_2^{-1}E_2D_1^{-1} & D_2^{-1} \end{bmatrix}$$

여기서, L은 LS의 길이, I_i 는 $i \times i$ 단위 행렬을 나타낸다.

청구항 20

청구항 19에 있어서,

상기 Z_S^{-1} 의 계산을 위해 수학적식에 포함된 Φ 행렬의 4개 영역에 대응하여 각각 상기 D_1 행렬, 영행렬, 상기 D_2 행렬, 영행렬이 할당되는 하향링크 대용량 MIMO 시스템을 위한 프리코딩 방법.

발명의 설명

기술 분야

본 발명은 하향링크 대용량 MIMO 시스템을 위한 효율적 프리코딩 장치 및 그 방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 하향링크 대용량 MIMO 시스템에서 오류 성능을 향상시키기 위한 효율적 프리코딩 장치 및 그 방법에 관

[0001]

한 것이다.

배경 기술

- [0002] 다중 사용자 기반의 하향링크 대용량 MIMO 시스템은 신호 송신 이전에 MUI(Multi-User Interference)를 제거하기 위해 신호 전처리 즉, 프리코딩(precoding)을 수행한다. 대용량 MIMO 시스템은 기지국에서 무수히 많은 안테나를 이용하여, 선형 ZF(Zero-Forcing) 만으로도 MUI를 제거하고, 높은 빔포밍 이득을 생성하여 최적의 오류 성능을 얻을 수 있다.
- [0003] 하지만, 대용량 MIMO의 특성상 많은 유저 수를 수용하므로 프리코딩 기법인 ZF의 복잡도가 매우 높으며, 이를 해결하기 위해 NS(Neumann Series) 기반의 근사화된 ZF가 개발되었다. NS 기반의 여러 ZF 중, DNS(Diagonal NS)는 gram 행렬의 대각 지배적인 특성을 활용하여, ZF보다 매우 낮은 복잡도를 지니면서 높은 오류 성능을 얻을 수 있다.
- [0004] 그러나 유저 수가 증가할수록 즉, 송신 안테나 개수 대비 유저 수의 비율이 높아질수록 대용량 MIMO의 특성 중 하나인 대수의 법칙이 성립하지 않아 채널 간 상관도가 높아진다. 이로 인해 gram 행렬의 대각 지배적인 특성이 사라져 DNS의 오류 성능이 급격히 저하된다. 특히 사용된 변조 차수가 증가할수록 성능 열화는 더욱 심하며, 가장 심각한 문제점은 기지국 송신 전력과 NS의 길이를 증가시켜도 이를 해결할 수 없다는 것이다.
- [0005] 본 발명의 배경이 되는 기술은 한국공개특허 제2008-0083808호(2008.09.19 공개)에 개시되어 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0006] 본 발명은 채널 간 상관도가 높은 대용량 MIMO 시스템에서도 DNS의 오류 성능을 개선할 수 있으며 효율적 프리코딩을 위해 유저들의 대각 지배성에 따라 적응적으로 프리코딩을 수행할 수 있는 하향링크 대용량 MIMO 시스템을 위한 효율적 프리코딩 장치 및 그 방법을 제공하는데 목적이 있다.

과제의 해결 수단

- [0007] 본 발명은, 대용량 MIMO 시스템에서 기지국에 적용되는 프리코딩 장치에 있어서, 상기 기지국과 복수의 유저 사이의 채널 행렬(G)을 기초로 Z 행렬($Z=G \cdot G^H$)을 연산하는 행렬 생성부와, 상기 Z 행렬에서 대각 지배적인 행의 개수($V; 0 \leq V \leq N_u$)를 구하고 상기 대각 지배적인 행의 개수(V)를 상기 유저의 개수(N_u)와 비교하는 비교부와, 비교 결과를 기초로 상기 Z 행렬 내에서 1개의 열 성분만 선택하거나, 설정 개수(k개; $1 < k < N_u$)의 열 성분을 선택하는 제어부와, 상기 Z 행렬에서 대각 성분만을 취한 대각 행렬(D)에 상기 선택된 열 성분을 결합하여 NS(Neumann Series)의 초기 행렬인 Φ 행렬을 구하고, 상기 Φ 행렬을 NS 기반의 Z^{-1} 의 근사식에 대입하여 Z^{-1} 을 계산하는 역행렬 생성부, 및 상기 연산된 Z^{-1} 에 G^H 를 곱하여 프리코딩 행렬을 생성하는 프리코딩 행렬 생성부를 포함하는 하향링크 대용량 MIMO 시스템을 위한 프리코딩 장치를 제공한다.
- [0008] 또한, 상기 Z^{-1} 을 계산하기 위한 NS 기반의 Z^{-1} 의 근사식과 그 수렴 조건은 아래 수학식으로 정의될 수 있다.

[0009]
$$Z^{-1} \approx \sum_{n=0}^L (I_{N_u} - \Phi^{-1} Z)^n \Phi^{-1}$$

[0010]
$$\lim_{n \rightarrow L} (I_{N_u} - \Phi^{-1} Z)^n = 0_{N_u}$$

- [0011] 여기서, L은 LS의 길이, I_i 는 $i \times i$ 단위 행렬, 0_i 는 $i \times i$ 영행렬을 나타낸다.
- [0012] 또한, 상기 역행렬 생성부는, 상기 대각 행렬(D)에 상기 선택된 열 성분을 결합하여 상기 Φ 행렬을 구한 후 역행렬인 Φ^{-1} 을 연산한 다음, 상기 Φ^{-1} 를 상기 Z와 곱한 값($\Phi^{-1} \cdot Z$)을 상기 Z^{-1} 의 근사식의 해당 항에 대입하여 상기 Z^{-1} 을 계산할 수 있다.

- [0013] 또한, 상기 제어부는, 상기 열 성분의 선택 시에, 상기 Z 행렬 내의 각 열 중에서 전력이 높은 순서로 선택할 수 있다.
- [0014] 또한, 상기 제어부는, 상기 대각 지배적인 행의 개수가 상기 유저의 개수와 동일한 경우($V=N_u$), 상기 Z 행렬 내의 대각 성분을 모두 0으로 처리한 상태에서 각 열 중에서 최대 전력을 가지는 1개의 열 성분을 선택하는 DCNS(Diagonal plus Column NS)-1 기법을 적용하고, 상기 대각 지배적인 행의 개수가 0개인 경우($V=0$), 상기 Z 행렬 내의 대각 성분을 모두 0으로 처리한 상태에서 각 열 중에서 전력 크기가 높은 순으로 k개의 열 성분을 선택하는 DCNS-k 기법을 적용할 수 있다.
- [0015] 또한, 상기 역행렬 생성부는, 상기 $V=N_u$ 인 경우, 상기 선택된 1개의 열 성분을 상기 대각 행렬(D)에 결합하여 초기 행렬인 Φ 행렬을 구하고, Φ 행렬을 다시 대각 행렬(D)과 atomic 행렬로 분리한 결과를 이용하여 Φ 의 역행렬인 Φ^{-1} 을 연산한 다음, 상기 Φ^{-1} 를 상기 Z와 곱한 값($\Phi^{-1} \cdot Z$)을 상기 Z^{-1} 의 근사식의 해당 항에 대입하여 상기 Z^{-1} 을 계산할 수 있다.
- [0016] 또한, 상기 역행렬 생성부는, 상기 $V=0$ 인 경우, 상기 k개 열 성분들 중 j번째($j=\{1, \dots, k\}$) 선택된 열 성분과 상기 대각 행렬(D)을 셔먼 모리슨(Sherman Morrison) 공식에 적용하는 연산 동작을 j=1 부터 k까지 k회 반복하여, 초기 행렬인 Φ^k 행렬에 대한 역행렬 (Φ^k)⁻¹을 연산한 다음, 상기 (Φ^k)⁻¹를 상기 Z와 곱한 값($(\Phi^k)^{-1} \cdot Z$)을 상기 Z^{-1} 의 근사식의 해당 항에 대입하여 상기 Z^{-1} 을 계산할 수 있다.
- [0017] 또한, 상기 제어부는, 상기 대각 지배적인 행의 개수가 상기 유저의 개수보다 작고 0보다 큰 경우($0 < V < N_u$), 상기 Z 행렬 내에서 대각 지배적인 V개 행에 대응하여 DCNS-1 기법을 적용하고 상기 Z 행렬 내에서 대각 지배적이지 않은 나머지 U개 행에 대해 DCNS-U 기법($k=U$)을 적용하는 하이브리드 기법을 선택할 수 있다.
- [0018] 또한, 상기 역행렬 생성부는, 상기 $0 < V < N_u$ 인 경우, 상기 Z 행렬 내 각 행에 대해 대각 지배성 크기를 연산하여 대각 지배성 크기가 높은 순으로 G 행렬의 행들을 재정렬하고, 재정렬된 G_s 를 이용하여 Z_s 행렬($Z_s = G_s \cdot G_s^H$)을 연산하고, 상기 Z_s 행렬을 상기 V값을 기초로 4개 영역으로 분할하여, 좌상단부터 좌하단까지 시계방향으로 $V \times V$ 의 D_1 행렬, $V \times U$ 의 E_1 행렬, $U \times U$ 의 D_2 행렬 및 $U \times V$ 의 D_2 행렬을 분리한 다음, 상기 D_1 행렬에 DCNS-1 기법을 적용하여 (D_1)⁻¹ 행렬을 얻고, D_2 행렬에 DCNS-U 기법을 적용하여 상기 (D_2)⁻¹ 행렬을 얻은 후, 상기 (D_1)⁻¹, (D_2)⁻¹, E_1 및 E_2 행렬을 아래 수학적식에 대입하여 Z_s 의 역행렬인 Z_s^{-1} 을 계산할 수 있다.

$$Z_s^{-1} \approx \sum_{n=0}^1 (I_{N_u} - \Phi^{-1} Z)^n \Phi^{-1} = 2\Phi^{-1} - \Phi^{-1} Z \Phi^{-1}$$

$$= \begin{bmatrix} D_1^{-1} & -D_1^{-1} E_1 D_2^{-1} \\ -D_2^{-1} E_2 D_1^{-1} & D_2^{-1} \end{bmatrix}$$

- [0019] 여기서, L은 LS의 길이, I_i 는 $i \times i$ 단위 행렬을 나타낸다.
- [0020]

- [0021] 또한, 상기 Z_s^{-1} 의 계산을 위해 수학적식에 포함된 Φ 행렬의 4개 영역에 대응하여 각각 상기 D_1 행렬, 영행렬, 상기 D_2 행렬, 영행렬이 할당될 수 있다.
- [0022] 그리고, 본 발명은, 대용량 MIMO 시스템 내 기지국에서 수행하는 프리코딩 방법에 있어서, 상기 기지국과 복수의 유저 사이의 채널 행렬(G)을 기초로 Z 행렬($Z=G \cdot G^H$)을 연산하는 단계와, 상기 Z 행렬에서 대각 지배적인 행의 개수(V; $0 \leq V \leq N_u$)를 구하고 상기 대각 지배적인 행의 개수(V)를 상기 유저의 개수(N_u)와 비교하는 단계와, 비교 결과를 기초로 상기 Z 행렬 내에서 1개의 열 성분만 선택하거나, 설정 개수(k개; $1 < k < N_u$)의 열 성분을 선택하는 단계와, 상기 Z 행렬에서 대각 성분만을 취한 대각 행렬(D)에 상기 선택된 열 성분을 결합하여 NS(Neumann Series)의 초기 행렬인 Φ 행렬을 구하고, 상기 Φ 행렬을 NS 기반의 Z^{-1} 의 근사식에 대입하여 Z^{-1} 을

계산하는 단계, 및 상기 연산된 Z^{-1} 에 G^H 를 곱하여 프리코딩 행렬을 생성하는 단계를 포함하는 하향링크 대용량 MIMO 시스템을 위한 프리코딩 방법을 제공한다.

[0023] 또한, 상기 Z^{-1} 을 계산하는 단계는, 상기 대각 행렬(D)에 상기 선택된 열 성분을 결합하여 상기 Φ 행렬을 구한 후 역행렬인 Φ^{-1} 을 연산한 다음, 상기 Φ^{-1} 를 상기 Z와 곱한 값($\Phi^{-1} \cdot Z$)을 상기 Z^{-1} 의 근사식의 해당 항에 대입하여 상기 Z^{-1} 을 계산할 수 있다.

[0024] 또한, 상기 열 성분을 선택하는 단계는, 상기 열 성분의 선택 시에, 상기 Z 행렬 내의 각 열 중에서 전력이 높은 순서로 선택할 수 있다.

[0025] 또한, 상기 열 성분을 선택하는 단계는, 상기 대각 지배적인 행의 개수가 상기 유저의 개수와 동일한 경우 ($V=N_u$), 상기 Z 행렬 내의 대각 성분을 모두 0으로 처리한 상태에서 각 열 중에서 최대 전력을 가지는 1개의 열 성분을 선택하는 DCNS(Diagonal plus Column NS)-1 기법을 적용하고, 상기 대각 지배적인 행의 개수가 0개인 경우($V=0$), 상기 Z 행렬 내의 대각 성분을 모두 0으로 처리한 상태에서 각 열 중에서 전력 크기가 높은 순으로 k개의 열 성분을 선택하는 DCNS-k 기법을 적용할 수 있다.

[0026] 여기서, 상기 Z^{-1} 을 계산하는 단계는, 상기 $V=N_u$ 인 경우, 상기 선택된 1개의 열 성분을 상기 대각 행렬(D)에 결합하여 초기 행렬인 Φ 행렬을 구하고, Φ 행렬을 다시 대각 행렬(D)과 atomic 행렬로 분리한 결과를 이용하여 Φ 의 역행렬인 Φ^{-1} 을 연산한 다음, 상기 Φ^{-1} 를 상기 Z와 곱한 값($\Phi^{-1} \cdot Z$)을 상기 Z^{-1} 의 근사식의 해당 항에 대입하여 상기 Z^{-1} 을 계산할 수 있다.

[0027] 여기서, 상기 Z^{-1} 을 계산하는 단계는, 상기 $V=0$ 인 경우, 상기 k개 열 성분들 중 j번째($j=\{1, \dots, k\}$) 선택된 열 성분과 상기 대각 행렬(D)을 셔먼 모리슨(Sherman Morrison) 공식에 적용하는 연산 동작을 $j=1$ 부터 k까지 k회 반복하여, 초기 행렬인 Φ^k 행렬에 대한 역행렬 (Φ^k)⁻¹을 연산한 다음, 상기 (Φ^k)⁻¹를 상기 Z와 곱한 값($(\Phi^k)^{-1} \cdot Z$)을 상기 Z^{-1} 의 근사식의 해당 항에 대입하여 상기 Z^{-1} 을 계산할 수 있다.

[0028] 또한, 상기 열 성분을 선택하는 단계는, 상기 대각 지배적인 행의 개수가 상기 유저의 개수보다 작고 0보다 큰 경우($0 < V < N_u$), 상기 Z 행렬 내에서 대각 지배적인 V개 행에 대응하여 DCNS-1 기법을 적용하고 상기 Z 행렬 내에서 대각 지배적이지 않은 나머지 U개 행에 대해 DCNS-U 기법($k=U$)을 적용하는 하이브리드 기법을 선택할 수 있다.

[0029] 여기서, 상기 Z^{-1} 을 계산하는 단계는, 상기 $0 < V < N_u$ 인 경우, 상기 Z 행렬 내 각 행에 대해 대각 지배성 크기를 연산하여 대각 지배성 크기가 높은 순으로 G 행렬의 행들을 재정렬하고, 재정렬된 G_s 를 이용하여 Z_s 행렬($Z_s = G_s \cdot G_s^H$)을 연산하고, 상기 Z_s 행렬을 상기 V값을 기초로 4개 영역으로 분할하여, 좌상단부터 좌하단까지 시계방향으로 $V \times V$ 의 D_1 행렬, $V \times U$ 의 E_1 행렬, $U \times U$ 의 D_2 행렬 및 $U \times V$ 의 D_2 행렬을 분리한 다음, 상기 D_1 행렬에 DCNS-1 기법을 적용하여 (D_1)⁻¹ 행렬을 얻고, D_2 행렬에 DCNS-U 기법을 적용하여 상기 (D_2)⁻¹ 행렬을 얻은 후, 상기 (D_1)⁻¹, (D_2)⁻¹, E_1 및 E_2 행렬을 아래 수학적식에 대입하여 Z_s 의 역행렬인 Z_s^{-1} 을 계산할 수 있다.

$$Z_s^{-1} \approx \sum_{n=0}^1 (I_{N_u} - \Phi^{-1} Z)^n \Phi^{-1} = 2\Phi^{-1} - \Phi^{-1} Z_s \Phi^{-1}$$

$$= \begin{bmatrix} D_1^{-1} & -D_1^{-1} E_1 D_2^{-1} \\ -D_2^{-1} E_2 D_1^{-1} & D_2^{-1} \end{bmatrix}$$

[0030] 여기서, L은 LS의 길이, I_i 는 $i \times i$ 단위 행렬을 나타낸다.

발명의 효과

[0032] 본 발명에 따르면, 채널 간 상관도가 높은 대용량 MIMO 시스템에서 효율적 프리코딩을 위해 유저들의 대각 지배성에 따라 적응적으로 프리코딩을 수행함으로써 기존의 ZF 프리코딩 기법보다 매우 낮은 복잡도를 가지면서 유사한 오류 성능을 제공하며 기존의 DNS 프리코딩 기법보다 오류 성능을 개선할 수 있는 이점이 있다.

도면의 간단한 설명

- [0033] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 대용량 MIMO 시스템의 구성도이다.
- 도 2는 도 1의 기지국에 적용되는 프리코딩 장치의 구성을 나타낸 도면이다.
- 도 3은 도 2를 이용한 프리코딩 방법을 설명하는 도면이다.
- 도 4는 하이브리드 기법에서 정렬된 행렬 Z_s 및 초기 행렬 Φ 를 예시한 도면이다.
- 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 프리코딩 방법의 개략적인 순서도이다.
- 도 6은 기존의 기법과 본 발명이 제시한 기법에서 Z^{-1} 을 계산하기 위해 요구되는 곱셈 연산량을 나타낸 도면이다.
- 도 7은 200×10 , 200×20 , 200×30 대용량 MIMO 시스템에서 채널 추정 MSE(Mean Square Error) 성능을 나타낸 도면이다.
- 도 8은 유저 수에 따른 DCNS-1, DCNS-k, hybrid DCNS-1 and DCNS-U의 사용 빈도를 나타낸 도면이다.
- 도 9는 200×10 대용량 MIMO 시스템에서 기존의 기법과 본 발명에서 제시한 기법의 BER (Bit Error Rate) 성능을 나타낸 도면이다.
- 도 10은 200×20 대용량 MIMO 시스템에서 기존의 기법과 본 발명에서 제시한 기법의 BER 성능을 나타낸 도면이다.
- 도 11은 200×30 대용량 MIMO 시스템에서 기존의 기법과 본 발명에서 제시한 기법의 BER 성능을 나타낸 도면이다.
- 도 12는 200×20 과 200×30 대용량 MIMO 시스템에서 16-QAM(Quadrature Amplitude Modulation) 변조를 사용할 때, 본 발명에서 제시한 기법의 nulling 유저 선택에 따른 BER 성능을 나타낸 도면이다.
- 도 13은 유저 수에 따라 기존의 기법과 본 발명의 곱셈 연산량을 나타낸 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0034] 그러면 첨부한 도면을 참고로 하여 본 발명의 실시 예에 대하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다.

[0035] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 대용량 MIMO 시스템의 구성도이다. 대용량 MIMO 시스템은 기지국(10)(BS; Base Station)과 복수의 유저(10)(User)를 포함한다.

[0036] 도 1에 도시된 것과 같이, 본 발명의 실시예는 N_t 개의 송신 안테나를 가진 기지국(10)(BS)과, 한 개의 수신 안테나를 가진 N_r 명의 유저(20)(User 1, ..., User N_r)를 포함하는 대용량 MIMO 시스템을 고려한다($N_t \gg N_r$). 여기서, 유저란 사용자 단말을 의미할 수 있다.

[0037] i 번째 유저의 수신 신호(y_i)는 다음의 수학적 식 1과 같이 표현된다.

수학식 1

$$y_i = \sqrt{P} g_i^T \frac{w_i}{\|W\|_F} x_i + \sum_{j=1, j \neq i}^{N_u} \sqrt{P} g_i^T \frac{w_j}{\|W\|_F} x_j + n_i$$

[0038]

[0039]

여기서, P는 기지국의 송신 전력, W는 프리코딩 행렬, w_i 는 w의 i번째 열, x_i 는 i번째 유저에 대한 평균이 0이고 분산이 1인 변조된 송신 신호, n_i 는 i번째 유저에서 발생한 평균이 0이고 분산이 1인 AWGN(Additive White Gaussian Noise), g_i 는 모든 송신 안테나로부터 i번째 유저로의 레일리 채널 벡터, T는 전치행렬, F는 프로베니우스 놈(Frobenius norm)을 나타낸다.

[0040]

기지국(10)과 복수의 유저(20) 사이의 채널 행렬 G는 수학식 2와 같이 표현된다.

수학식 2

$$G = \begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} & \cdots & g_{1N_t} \\ g_{21} & g_{22} & \cdots & g_{2N_t} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ g_{N_u 1} & g_{N_u 2} & \cdots & g_{N_u N_t} \end{bmatrix}$$

[0041]

[0042]

여기서, g_{ij} 는 평균이 0이고 분산이 1이며, j번째 송신 안테나로부터 i번째 유저로의 채널 계수를 나타낸다($1 \leq i \leq N_u, 1 \leq j \leq N_t$).

[0043]

기존의 ZF(Zero-Forcing) 프리코딩 기법은 기지국에서 채널 정보를 정확하게 알고 있다고 가정할 때, 송신 신호에 의사 역행렬(프리코딩 행렬)을 곱함으로써 MUI(Multi-User Interference)를 완벽하게 제거한다. ZF 프리코딩을 위한 벡터 조건은 수학식 3과 같다.

수학식 3

$$\begin{cases} g_i^T w_i = 1 \\ g_i^T w_j = 0 \quad (\forall i \neq j) \end{cases}$$

[0044]

[0045]

그리고 수학식 3을 만족시키는 프리코딩 행렬(W)은 수학식 4와 같다.

수학식 4

$$W = G^H (GG^H)^{-1}$$

[0046]

[0047]

여기서, $(\cdot)^H$ 는 에르미트(Hermitian) 변환을 나타낸다. 이러한 수학식 4의 프리코딩 행렬(W)는 채널 행렬(G)에 대한 의사 역행렬에 해당한다.

[0048]

그런데 기존 ZF 프리코딩 기법은 대용량 MIMO 시스템에서 최적의 오류 성능을 보이지만, gram 행렬 GG^H 에 대한 역행렬인 $(GG^H)^{-1}$ 의 연산 복잡도 차수는 $O(N_u^3)$ 로 매우 높다.

[0049]

비록 ZF 기법은 선형 프리코딩 기법이지만 많은 수의 유저를 수용하는 대용량 MIMO 시스템에서 매우 높은 복잡

도를 지니므로 구현이 어렵다. 본 발명의 실시에는 대용량 MIMO 시스템에서 연산 복잡도를 낮출 수 있는 프리코딩 기법을 제안한다.

[0050] 이하에서는 표현의 간단함을 위해, gram 행렬(GG^H)을 다음과 같이 Z 로 정의한다.

수학식 5

$$Z = GG^H = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} & \cdots & z_{1N_u} \\ z_{21} & z_{22} & \cdots & z_{2N_u} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ z_{N_u1} & z_{N_u2} & \cdots & z_{N_uN_u} \end{bmatrix}$$

[0051]

[0052] 수학식 5를 이용하면 수학식 4는 간단히 $W = G^H \cdot Z^{-1}$ 로 표현되어진다.

[0053] 기지국(10)에서 송신 신호를 프리코딩하기 위해서는 수학식 4의 프리코딩 행렬 W 을 구해야 하며, W 를 구하기 위해 G^H 와 Z^{-1} 를 각각 연산 후 곱하는 과정이 필요함을 알 수 있다.

[0054] 그런데, G^H 는 수학식 2를 에르미트 변환하여 쉽게 구해지지만, Z 의 역행렬(Z^{-1})은 연산 복잡도가 매우 높다.

[0055] 본 발명의 실시에는 Z^{-1} 의 연산 복잡도를 줄이기 위한 방법으로 NS(Neumann Series; 노이만 급수) 기반의 Z^{-1} 의 근사식을 사용한다.

[0056] NS 기반의 Z^{-1} 의 근사식은 아래의 수학식 6으로 정의된다.

수학식 6

$$Z^{-1} \approx \sum_{n=0}^L (I_{N_u} - \Phi^{-1}Z)^n \Phi^{-1}$$

[0057]

[0058] 여기서, L 은 LS의 길이, I_i 는 $i \times i$ 단위 행렬, Φ 는 NS의 초기 행렬이다.

[0059] 아래의 수학식 7은 가역 행렬인 Z 에 대해 수학식 6의 NS 기반의 Z^{-1} 을 계산하기 위한 수렴 조건을 나타낸다.

수학식 7

$$\lim_{n \rightarrow L} (I_{N_u} - \Phi^{-1}Z)^n = 0_{N_u}$$

[0060]

[0061] 여기서, 0_i 는 $i \times i$ 영행렬을 나타낸다.

[0062] 이와 같이, NS 기반의 Z^{-1} 의 근사식은 Z 의 역행렬인 Z^{-1} 을 더욱 낮은 복잡도로 연산하면서 연산 오류를 최소화하기 위한 근사화된 수식을 의미한다. 이하의 본 실시에는 낮은 복잡도를 위하여 수학식 6과 7에서 $L=1$ 로 고정하여 사용한다. 물론 본 발명이 반드시 이에 한정되지 않는다.

[0063] 우수한 성능을 지닌 NS를 위한 Φ 의 설정 조건은 아래와 같이 두 가지로 요약된다. 첫 번째는 수학식 7을 빠르게 수렴시켜야 하며, 두 번째는 수학식 6의 Φ^{-1} 의 연산 복잡도를 낮출 수 있어야 한다.

[0064] NS 기반의 ZF 기법 중에서 DNS(Diagonal NS)는 gram 행렬(Z)의 대각 지배적인 특성을 활용하여, ZF보다 매우 낮

은 복잡도를 지니면서 높은 오류 성능을 얻는다.

[0065] 구체적으로, DNS 프리코딩 기법은 수학식 6의 Φ 부분을 수학식 5의 gram 행렬(Z)의 대각 성분으로만 구성(대체)하여 수학식 6의 연산 복잡도를 낮춘다($\Phi=D$). 이하에서는 편의상 이를 대각 행렬(D)로 명명한다.

[0066] Z 행렬에 대한 대각 행렬(D)은 아래 수학식 8로 표현된다. 즉, 대각 행렬(D)는 gram 행렬(Z)에서 대각 성분만 취하고 나머지 성분을 0으로 처리한 것에 해당한다.

수학식 8

[0067]
$$D = \text{diag}(Z) = \begin{bmatrix} z_{11} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & z_{22} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & z_{N_u N_u} \end{bmatrix}$$

[0068] 만일, 수학식 6에서 Φ 를 Z 로 사용할 경우, gram 행렬(Z) 내 원소(성분)들을 모두 활용하여 Φ^{-1} 를 연산해야 하므로 연산 복잡도가 매우 높다.

[0069] 하지만, DNS 프리코딩 기법의 경우 Φ 를 D 로 사용함으로써 gram 행렬(Z) 내 모든 성분들이 아닌 대각 성분만을 사용하여 Φ 의 역행렬 즉, Φ^{-1} 를 연산하면 되므로 연산 복잡도를 매우 낮출 수 있다.

[0070] 이와 같이 DNS 기법은 gram 행렬(Z)의 대각 지배적인 특성을 기초로 Z 값을 모두 사용하지 않고 Z 값의 대각 성분만을 취하여 이를 Φ 값으로 사용하여, 수학식 6의 Φ^{-1} 의 연산 복잡도를 낮춘다.

[0071] 이를 토대로 알 수 있는 것은 기지국(10)에서 수학식 4의 프리코딩 행렬 W 를 얻기 위해, gram 행렬(GG^H)의 역행렬인 Z^{-1} 를 수학식 6의 근사식을 통해 구하는 과정에서, 수학식 6의 Φ 를 어떤 값으로 사용(적용)하느냐에 따라 복잡도가 달라짐을 알 수 있다.

[0072] 만일, 기지국의 송신 안테나 개수 대비 유저 수가 적은 경우(ρ 가 클수록), 대용량 MIMO 시스템의 채널 간 상관도가 낮아진다. 이 경우 DNS 프리코딩 기법은 수학식 7을 빠르게 수렴시키며, NS의 초기 행렬(Φ)이 대각 행렬(D)로 대체되어($\Phi=D$), Φ^{-1} 의 연산 복잡도가 낮으며 NS 기반의 ZF 방식으로 적합하다.

[0073] 하지만 기지국의 송신 안테나 개수 대비 유저수가 많을 경우(ρ 가 작을수록), 대용량 MIMO 시스템의 상관도가 높으므로, 이 경우 NS 프리코딩 기법을 사용할 경우, L 을 무수히 증가시키더라도 수학식 7을 만족시키지 못하여, 심각한 오류 성능 열화를 초래한다.

[0074] 즉, DNS의 오류 성능 열화를 줄이기 위해서는 gram 행렬(Z 행렬)이 대각 지배적이어야 한다. 그러나 상관성이 높은 대용량 MIMO 시스템에서는 gram 행렬이 부분적으로 대각 지배적이거나 혹은 완전히 대각 지배적이지 않을 수 있다. 또한, gram 행렬이 대각 지배적이라 하더라도 변조 차수가 높을 경우, 오류 성능 열화가 발생하므로, 본 발명의 실시예는 이를 줄이기 위한 적응적 프리코딩 기법을 사용한다.

[0075] 이하의 본 발명의 실시예는 상관도가 높은 대용량 MIMO 시스템에서도 DNS의 신뢰성을 확보하기 위한 프리코딩 기법을 제안한다. 제안된 프리코딩 기법은 각 유저의 대각 지배성에 따라 적응적으로 프리코딩을 수행한다.

[0076] 즉, 기지국(10)은 수학식 4의 프리코딩 행렬 W 를 얻기 위해, gram 행렬(GG^H)의 역행렬인 Z^{-1} 를 수학식 6의 근사식을 통해 구하되, 유저의 대각 지배성에 따라 Φ 를 달리 사용하여, 상황에 따라 복잡도와 오류 성능을 조절한다.

[0077] 물론, 본 발명의 실시예는 궁극적으로는 Z 의 역행렬인 Z^{-1} 을 낮은 복잡도와 높은 신뢰도로 연산하며, 연산된 Z^{-1} 을 G^H 와 곱하여 프리코딩 행렬 W 를 생성한다.

[0078] 즉, 기지국(10)은 수학식 6의 근사식을 기반으로 Z 의 역행렬(Z^{-1})을 구한 다음, Z^{-1} 를 G^H 와 다시 곱하여 프리코딩

행렬 \mathbb{W} 을 생성한다. 그리고, 송신 신호에 프리코딩 행렬을 곱하여, 프리코딩된 송신 신호를 유저(20)에게 전송함으로써 다중 유저 간섭(MUI)을 제거한다.

[0079] 여기서, 기지국(10)은 기지국(10)과 복수의 유저(20) 간에 구해진 Z 행렬을 기초로 대각 지배성을 분석하고 대각 지배적인 행의 개수와 유저의 개수를 비교한 결과를 기초로 Z 의 역행렬(Z^{-1})을 구하는 방법을 적응적으로 조정한다.

[0080] 이하에는 본 발명의 실시예에 따른 프리코딩 장치 및 방법을 더욱 상세히 설명한다.

[0081] 본 발명의 실시예에 따른 프리코딩 장치(100)는 기지국(10)에 포함된 것을 가정한다. 물론 프리코딩 장치(100)는 기지국(10) 그 자체에 해당할 수 있다.

[0082] 도 2는 도 1의 기지국에 적용되는 프리코딩 장치의 구성을 나타낸 도면이고, 도 3은 도 2를 이용한 프리코딩 방법을 설명하는 도면이다.

[0083] 도 2 및 도 3에 나타낸 것과 같이, 본 발명의 실시예에 따른 프리코딩 장치(100)는 행렬 생성부(110), 비교부(120), 제어부(130), 역행렬 생성부(140), 프리코딩 행렬 생성부(150)를 포함한다.

[0084] 먼저, 행렬 생성부(110)는 기지국(10)과 복수의 유저(20) 사이의 채널 행렬(G)을 기초로 Z 행렬($Z=G \cdot G^H$)을 연산한다(S310).

[0085] 기지국(10)과 복수의 유저(20) 간의 채널 행렬(G)는 수학식 4에 나타낸 바 있다. 행렬 생성부(110)는 G 와 G^H (G 에 대한 에르미트 변환)를 곱하여 수학식 5와 같이 Z 행렬을 연산한다.

[0086] 그리고, 비교부(120)는 Z 행렬에서 대각 지배적인 행의 개수(V ; $0 \leq V \leq N_u$)를 구하고, 대각 지배적인 행의 개수(V)를 유저의 개수(N_u)와 비교한다(S320).

[0087] 비교부(120)는 다음의 수학식 9의 조건을 이용하여 수학식 5의 Z 행렬의 각 행에 대한 대각 지배성(Diagonally dominant) 여부를 판단한다.

수학식 9

$$|z_{ii}| > \sum_{j=1, j \neq i}^{N_u} |z_{ij}|$$

[0088]

[0089] 수학식 9는 각 행 마다, 행에 속한 원소 중 대각 성분 z_{ii} 의 크기가 나머지 성분들의 크기 합보다 큰 것인지 판단하는 수식으로, 만일 그러한 경우 해당 행은 대각 지배적인 행으로 판단한다.

[0090] 즉, Z 행렬의 i 번째 행이 수학식 9를 만족하면 대각 지배적이고, 그렇지 않으면 대각 지배적이지 못한 것을 의미한다. 쉽게 말해서, 대각 성분이 자신을 제외한 나머지 성분보다 우위 조건을 가지는 행을 대각 지배적인 행으로 정의할 수 있다.

[0091] 간단한 예로, Z 는 3×3 크기($N_u=3$)를 가지고, 첫 번째 행인 $[z_{11}, z_{12}, z_{13}] = [5, 1, 2]$, 두 번째 행인 $[z_{21}, z_{22}, z_{23}] = [2, 7, 4]$, 세 번째 행인 $[z_{31}, z_{32}, z_{33}] = [1, 4, 6]$ 인 상황을 가정하여 설명한다. 여기서 실제로 Z 행렬 내의 모든 원소 z 값들은 복소수 형태를 가지지만 설명의 편의상 간단히 양의 정수로 예시하였다.

[0092] 이 경우, 첫 번째 행의 대각 성분(z_{11})의 크기 5는 나머지 두 성분(z_{12}, z_{13})의 합인 3보다 크므로($5 > 1+2$), 첫 번째 행은 대각 지배적인 행이 된다. 마찬가지로, 두 번째 행의 대각 성분(z_{22})의 크기 7는 나머지 두 성분의 합보다 크고, 세 번째 행의 대각 성분(z_{33})의 크기 6은 나머지 두 성분의 합보다 크다.

[0093] 따라서 상술한 예시에서는 Z 행렬을 구성하는 모든 행이 대각 지배적인 행이므로 대각 지배적인 행의 개수(V)는 3이며, 이는 N_u 와도 같으므로 $V=N_u=3$ 이 된다.

- [0094] 본 실시예에 따른 프리코딩 기법은 대각 지배적인 행의 개수(V)에 따라 3 가지의 시나리오로 나누어진다.
- [0095] 구체적으로, $V=N_u$ 인 시나리오(Z 행렬 내 모든 행이 대각 지배적인 경우; Case 1)와, $V=0$ 인 시나리오(모든 행이 대각 지배적이지 않은 경우; Case 2), 그리고 $0<V<N_u$ 인 시나리오(일부 행이 대각 지배적인 경우; Case 3)로 구분될 수 있다. 본 발명의 실시예는 각 시나리오마다 서로 다른 프리코딩 기법을 적용한다.
- [0096] 구체적으로, $V=N_u$ (Case 1)인 경우 즉, 모든 유저가 대각 지배적인 경우에는 DNS 기법과 유사한 낮은 복잡도를 지니면서 오류 성능을 향상시키는 DCNS(Diagonal plus Column NS)-1 기법을 적용하여 프리코딩한다.
- [0097] 그리고, $V=0$ (Case 2)인 경우 즉, 모든 유저가 대각 지배적이지 않은 경우에는 채널 상관도가 높기 때문에, DNS의 오류 성능을 개선시키기 위해 복잡도를 조금 높이더라도 DCNS-k 프리코딩을 적용한다. 물론, DCNS-k 기법은 ZF 기법보다는 훨씬 낮은 복잡도를 지니면서 유사한 오류 성능을 갖는다.
- [0098] 다음, $0<V<N_u$ 인 경우 즉, 일부 유저들이 부분적으로 대각 지배적인 경우, 대각 지배적인 유저에게는 DCNS-1을 적용하고, 대각 지배적이지 않은 유저에게는 DCNS-U를 적용하는 하이브리드(hybrid DCNS-1 and DCNS-U) 프리코딩 기법을 적용한다.
- [0099] 후술하겠지만 DCNS-1은 DCNS-k에서 $k=1$ 인 특수한 상황을 나타낸다. 또한 DCNS-k 기법에서는 Z 행렬에 대한 대각 행렬 D에 Z 행렬에서 선택한 k개 열을 결합하여 Φ 행렬을 구한다. 즉, Φ 행렬을 구할 때, DCNS 기법은 DNS 기법 처럼 Z 행렬에서 대각 성분만 이용하는 것이 아닌, Z 행렬에 포함된 소정 개수의 열 성분을 결합하여 사용한다.
- [0100] 이하에서는 설명의 편의를 위하여 Case 1과 Case 2를 우선적으로 설명한다.
- [0101] 비교부(120)는 대각 지배적인 행의 개수(V)를 유저의 개수(N_u)와 비교하며, V 값과 비교 결과를 제어부(130)로 전달한다.
- [0102] 그러면, 제어부(130)는 비교부(120)에서 수행한 비교 결과를 기초로, 수학적 5의 Z 행렬 내에서 1개의 열 성분만 선택하거나, 설정 개수(k개; $1<k<N_u$)의 열 성분을 선택한다(S330).
- [0103] 이러한 제어부(130)는 사실상 본 발명의 실시예에서 프리코딩 기법을 적응적으로 제어하는 역할을 하며, 그밖에도 각 부(110, 120, 140, 150)를 제어할 수 있다.
- [0104] 여기서, 제어부(130)는 열 성분의 선택 시에, 수학적 5의 Z 행렬 내의 각 열 중에서 전력이 높은 순서로 열 성분을 선택할 수 있다.
- [0105] 만일, 수학적 5의 Z 행렬 내에서 1개의 열 성분만 선택해야 하는 경우 전체 열 중에 최대 전력을 갖는 하나의 열을 선택하면 되고, k개의 열성분을 선택하는 경우 전체 열 중에 전력이 높은 상위 k개의 열성분을 선택하면 된다.
- [0106] 구체적으로, 제어부(130)는 대각 지배적인 행의 개수(V)가 유저의 개수(N_u)와 동일한 경우($V=N_u$; Case 1), Z 행렬 내의 대각 성분을 모두 0으로 처리한 상태에서 각 열 중에서 최대 전력을 가지는 1개의 열 성분을 선택하는 DCNS-1 기법을 적용한다. 이때 해당 열에 있는 각 성분의 제곱을 합하면 해당 열의 전력 크기가 나온다.
- [0107] 그리고, 제어부(130)는 대각 지배적인 행의 개수(V)가 유저의 개수(N_u)보다 작되 0개인 경우($V=0$; Case 2), Z 행렬 내의 대각 성분을 모두 0으로 처리한 상태에서 각 열 중에서 전력 크기가 높은 순으로 k개의 열 성분을 선택하는 DCNS-k 기법을 적용한다.
- [0108] 여기서, k는 시스템에서 목표로 하는 성능, 채널 환경 등을 고려하여 $1<k<N_u$ 범위 내에서 결정될 수 있다. 물론 $k=N_u$ 이면 사실상 기존 ZF 기법과 같아지므로 k는 N_u 보다 작은 값(예를 들어, $k=0.3N_u$, $0.6N_u$)으로 결정되는 것이 바람직하다. 이러한 제어부(130)는 사실상 본 발명의 실시예에서 프리코딩 기법을 적응적으로 제어하는 역할을 한다.
- [0109] 그러면, 역행렬 생성부(140)는 Z 행렬에서 대각 성분만을 취한 대각 행렬(D)에 대해, S330 단계에서 선택된 열 성분을 결합하여, NS(Neumann Series)의 초기 행렬인 Φ 행렬을 구하고, Φ 행렬을 NS 기반의 Z^{-1} 의 근사식(수학적 식 6)에 대입하여 Z^{-1} 을 계산한다(S340).

[0110] 여기서, 역행렬 생성부(140)는 제어부(130)에서 선택된 열 성분을 대각 행렬(D)에 결합하여 Φ 행렬을 구한 후, 구한 Φ 을 역행렬 연산하여 Φ^{-1} 을 연산한다. 그런 다음, Φ^{-1} 를 다시 Z와 곱한 값($\Phi^{-1} \cdot Z$)을 수학식 6(Z^{-1} 의 근사식)의 해당 항에 대입함으로써 Z^{-1} 을 계산한다.

[0111] 이후, 프리코딩 행렬 생성부(150)는 S340 단계에서 연산된 Z^{-1} 에 G^H 를 곱하여, 프리코딩 행렬(W)을 최종적으로 생성한다(S350).

[0112] 이에 따라, 기지국(10)은 프리코딩 행렬(W)을 이용하여 송신 신호를 프리코딩하여 유저(20)로 전송한다. 즉, 송신 신호에 프리코딩 행렬(W)을 곱하여, 프리코딩한 송신 신호를 유저로 제공한다.

[0113] 이하에서는 S340 단계를 더욱 구체적으로 설명한다.

[0114] DCNS-k 기법에서는 간편한 연산을 위하여, Hollow 행렬(E)를 사용하여, DS의 초기 행렬인 Φ 행렬을 구한다. 여기서, E는 다음의 수학식 10과 같이 정의된다.

수학식 10

$$E = Z - D = \begin{bmatrix} 0 & z_{12} & \cdots & z_{1N_u} \\ z_{21} & 0 & \cdots & z_{2N_u} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ z_{N_u1} & z_{N_u2} & \cdots & 0 \end{bmatrix}$$

[0115]

[0116] 이러한 행렬 E는 수학식 5의 Z 행렬에서 대각 성분을 모두 0으로 처리한 것으로, Z 행렬에서 D 행렬을 빼는 것을 통해 쉽게 연산될 수 있다.

[0117] 또한, DCNS-k 기법에서, 초기행렬 Φ^k 은 다음의 수학식 11과 같이 설정된다.

수학식 11

$$\Phi^k = D + E^k$$

[0118]

[0119] 여기서, E^k 는 E에서 선택된 k번째 열과, 나머지 $N_u - k$ 개의 영벡터로 구성된다.

[0120] 이러한 수학식 10과 11을 이용하게 되면, S330 단계에서 선택된 열 성분과 대각 행렬(D)이 결합되어 구성된 Φ 행렬을 구할 수 있다.

[0121] 우선, 발명의 이해를 돕기 위하여, $V = N_u$ (Case 1)에서, $N_u = 3$ 일 때, DCNS-1을 사용하여 DCMS-1의 초기행렬 $\Phi (= \Phi^1)$ 을 생성하는 예시를 먼저 설명한다.

[0122] 이때, Z 행렬에서 대각 성분을 제거한 상태의 E 행렬 내 모든 3개 열 중에서, 첫 번째 열이 가장 높은 전력이라 가정한다면, E^1 과 Φ^1 는 다음의 수학식 12와 같다.

수학식 12

$$E^1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ z_{21} & 0 & 0 \\ z_{31} & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad \Phi^1 = \begin{bmatrix} z_{11} & 0 & 0 \\ z_{21} & z_{22} & 0 \\ z_{31} & 0 & z_{33} \end{bmatrix}$$

[0123]

- [0124] 즉, 수학식 10의 E 행렬에서 전력 강도가 최대인 첫 번째 열 성분만 선택하면 수학식 12의 E¹이 얻어진다. 그리고 수학식 11을 이용하여 대각행렬 D에 E¹을 결합하면, 수학식 12와 같이 Φ¹이 구해진다.
- [0125] 수학식 5의 Z 행렬과 비교하여 보면, 초기 행렬 Φ¹는, Z 행렬의 대각 성분과 첫 번째 열 성분으로만 구성된 것을 알 수 있다. 즉, DCSN-1 기법을 적용할 경우에는 Z 행렬 내의 대각 성분과 Z 행렬 내에서 선택된 하나의 열 성분을 결합하여 Φ 행렬을 얻는다.
- [0126] 이와 같은 방법으로, V=N_u인 경우(Case 1)에, 역행렬 생성부(140)는, 제어부(130)에서 선택된 1개의 열 성분을 대각 행렬(D)과 결합하여, DCNS-1의 초기행렬 Φ(=Φ¹)을 먼저 생성한다.
- [0127] 그런 다음, 역행렬 생성부(140)는 Φ 행렬을 다시 대각 행렬(D)과 atomic 행렬로 분리한 결과를 이용하여 Φ의 역행렬인 Φ⁻¹을 연산한다. 그리고, 연산된 Φ⁻¹를 다시 Z와 곱한 값(Φ⁻¹·Z)을 수학식 6(Z⁻¹의 근사식)의 해당 항에 대입하여 Z⁻¹을 최종 계산한다.
- [0128] 여기서, atomic 행렬을 사용하는 이유는 Φ 행렬에 대한 역행렬을 연산하는 과정을 간소화하기 위한 것이다.
- [0129] 즉, 수학식 12의 Φ¹를 대각 행렬(D)과 atomic 행렬로 분리하면 수학식 13와 같고, 수학식 13의 역행렬은 수학식 14와 같이 간단히 정리된다.

수학식 13

$$\Phi^1 = D \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ z_{21}/z_{22} & 1 & 0 \\ z_{31}/z_{33} & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_{11} & 0 & 0 \\ 0 & z_{22} & 0 \\ 0 & 0 & z_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ z_{21}/z_{22} & 1 & 0 \\ z_{31}/z_{33} & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

[0130]

수학식 14

$$(\Phi^1)^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ -z_{21}/z_{22} & 1 & 0 \\ -z_{31}/z_{33} & 0 & 1 \end{bmatrix} D^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ -z_{21}/z_{22} & 1 & 0 \\ -z_{31}/z_{33} & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1/z_{11} & 0 & 0 \\ 0 & 1/z_{22} & 0 \\ 0 & 0 & 1/z_{33} \end{bmatrix}$$

[0131]

- [0132] 여기서, 수학식 13은 간단히 Φ¹=D·M으로 표현되는데, 그에 대한 역행렬은 (Φ¹)⁻¹ = M⁻¹·D⁻¹로 나타내어 진다.
- [0133] 그런데, 일반적으로 대각 행렬(D)의 역행렬 연산과 atomic 행렬(M)의 역행렬 연산은 매우 쉬운 방법으로 이루어 진다. 즉, 수학식 14와 같이 M⁻¹은 M 행렬의 내부 원소 간 나눔 연산하면 되고, D⁻¹은 D 행렬의 원소를 역수로 표현하면 된다.
- [0134] 이처럼, atomic 행렬을 이용하여 Φ 행렬을 분리하면, 역행렬의 연산이 매우 간편해지는 것을 알 수 있다.
- [0135] 수학식 6에서는 연산된 Φ⁻¹와 Z 간의 곱셈을 요구하므로, 수학식 14를 이용하여 (Φ¹)⁻¹·Z를 연산하면, 해당 결과의 첫 번째 열은 [1 0 0]^T의 단위 벡터가 된다. 이는 곧 첫 번째 열 성분이 suppression된 것을 의미하며, 이를 통해 가장 큰 전력을 지닌 첫 번째 유저에 대한 MUI(간섭)가 모두 제거되었음을 알 수 있다.
- [0136] 이와 같이, 특정 유저에 대한 MUI를 완벽하게 널링(nulling) 시키면, 프리코딩 이후의 SINR(Signal to Noise plus Interference Ratio)을 증가시켜 오류 성능을 향상시킬 수 있다. 이처럼, 오류 성능을 최대한 향상시키기 위해 가장 큰 전력을 지닌 MUI 성분부터 nulling 시킨다.
- [0137] 다음, V=0인 Case 2의 경우, 즉, DCSN-k 기법을 적용할 경우에는 Z 행렬 내의 대각 성분과 Z 행렬 내에서 선택된 k개의 열 성분을 이용하여 Φ^k 행렬을 얻는다.

[0138] 이때, k=1인 DCSN-1 기법을 사용할 경우에는 atomic 행렬의 구조를 이용하여 $(\Phi^1)^{-1}$ 을 낮은 복잡도로 계산하였지만, k가 증가할수록 $(\Phi^k)^{-1}$ 의 복잡도가 비선형적으로 증가한다.

[0139] 이를 해결하기 위하여, 본 발명의 실시예는 V=0일 때, 셔먼 모리슨(Sherman Morrison) 공식을 이용하여 $(\Phi^k)^{-1}$ 을 계산한다.

[0140] 즉, V=0일 때, 역행렬 생성부(140)는 전력 크기 순으로 선택된 k개 열 성분들 중 j번째(j={1, ..., k}) 선택된 열 성분과 대각 행렬(D)을 셔먼 모리슨 공식에 적용하는 연산 동작을 j=1 부터 k까지 k회 반복하여, 초기 행렬인 Φ^k 행렬에 대한 역행렬 $(\Phi^k)^{-1}$ 을 연산한다. 즉, 셔먼 모리슨 공식을 반복적으로 사용하여 $(\Phi^k)^{-1}$ 을 계산한다.

[0141] 이후, 역행렬 생성부(140)는 $(\Phi^k)^{-1}$ 를 Z와 곱한 값($(\Phi^k)^{-1} \cdot Z$)을 수학식 6(Z^{-1} 의 근사식)의 해당 항에 대입함으로써, Z^{-1} 을 최종 계산한다.

[0142] N_0 명의 유저와 k=K인 시스템에서, DCNS-k를 적용할 때, 셔먼 모리슨 공식을 반복적으로 사용하여 $(\Phi^k)^{-1}$ 을 계산하는 예시는 다음과 같다.

[0143] 계산의 편의성을 위해, 총 K개의 열 중에서 k번째 열의 MUI 크기는 k번째로 크다고 가정한다. 먼저, $m \times m$ 의 가역행렬 A와, $m \times 1$ 의 열벡터 u, v에 대해 Sherman Morrison 공식은 다음과 같다.

수학식 15

[0144]
$$(A + uv^T)^{-1} = A^{-1} - \frac{A^{-1}uv^T A^{-1}}{1 + v^T A^{-1}u}$$

[0145] 일반적으로, 역행렬은 분배가 쉽지 않지만, 수학식 15에서 알 수 있듯이 셔먼 모리슨 공식을 이용하면 분리가 용이하다.

[0146] 본 발명의 실시예는 $(\Phi^k)^{-1}$ 를 계산하기 위해, 반복적으로 수학식 15를 사용한다.

[0147] 이러한 수학식 15의 구조는 본 발명의 역행렬 연산에 적용 가능한 구조이다. 즉, 수학식 11의 역행렬은 수학식 16와 같이 표현될 수 있다.

수학식 16

[0148]
$$(\Phi^k)^{-1} = (D + E^k)^{-1}$$

[0149] 수학식 15와 수학식 16을 대응시켜 보면, 수학식 16의 대각행렬(D)는 A에 대응하고 E^k 는 uv^T 에 대응되는 것을 알 수 있다.

[0150] 이를 이용하면 수학식 16은 수학식 17의 형태로 표현할 수 있다.

수학식 17

[0151]
$$(\Phi^1)^{-1} = (D + e_1 v_1^T)^{-1} = D^{-1} - \frac{D^{-1} e_1 v_1^T D^{-1}}{1 + v_1^T D^{-1} e_1}$$

[0152] 여기서, e_j 와 v_j 는 각각 E 와 I_{N_u} 의 j 번째 선택된 열을 나타낸다.

[0153] 본 발명의 실시예는 $(\Phi^k)^{-1}$ 를 계산하기 위해, 반복적으로 수학적 식 15를 사용하고, 가역 행렬 D 에 대해 $(\Phi^1)^{-1}$ 부터 반복적으로 계산한다.

[0154] $(\Phi^1)^{-1}$ 을 이용하여 동일한 방식으로 $(\Phi^2)^{-1}$ 를 계산하면 다음의 수학적 식 18과 같다.

수학적 식 18

$$(\Phi^2)^{-1} = (\Phi^1 + e_2 v_2^T)^{-1} = (\Phi^1)^{-1} - \frac{(\Phi^1)^{-1} e_2 v_2^T (\Phi^1)^{-1}}{1 + v_2^T (\Phi^1)^{-1} e_2}$$

[0155]

[0156] 즉, 이러한 서면 모리슨 방식을 $k=1$ 부터 k 까지 k 회 반복하면, 더욱 낮은 복잡도로 Φ^k 행렬에 대한 역행렬 $(\Phi^k)^{-1}$ 을 구할 수 있다. 이는 수학적 식 17과 같이 첫번째 서면 모리슨 공식에서 수학적 식 16의 A 를 D 로 설정할 수 있었기 때문이다.

[0157] 마지막으로, 대각 지배적인 행의 개수가 0보다 크고 유저의 개수보다 작은 경우($0 < V < N_u$; Case 3)에 대한 실시예를 설명한다.

[0158] $0 < V < N_u$ 인 경우, 제어부(130)는 Z 행렬 내에서 대각 지배적인 V 개 행에 대응하여 DCNS-1 기법을 적용하고 Z 행렬 내에서 대각 지배적이지 않은 나머지 U 개 행에 대해 DCNS-U 기법($k=U$)을 적용한다. 이를 구체적으로 설명하면 다음과 같다.

[0159] 역행렬 생성부(140)는 hybrid DCNS-1 and DCNS-U를 적용하기 위해, 우선 Z 행렬 내 각 행에 대해 대각 지배성 크기를 연산하여 대각 지배성 크기가 높은 순으로 G 행렬의 행들을 재정렬한다. 그리고, 재정렬된 G_s 를 이용하여 Z_s 행렬($Z_s = G_s \cdot G_s^H$)을 연산한다.

[0160] i 번째 유저의 대각 지배성의 크기 d_i 를 구하는 방법은 수학적 식 19와 같다.

수학적 식 19

$$d_i = |z_{ii}| - \sum_{j=1, j \neq i}^{N_u} |z_{ij}|$$

[0161]

$$Z = \begin{bmatrix} 15 & 6 & 7 \\ 6 & 8 & 3 \\ 7 & 3 & 16 \end{bmatrix}, \quad G = \begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} & g_{13} \\ g_{21} & g_{22} & g_{23} \\ g_{31} & g_{32} & g_{33} \end{bmatrix}$$

[0162] 예를 들어, Z 의 첫번째 행에서 $d_1 = 15 - (6+7) = 2$, 두 번째 행에서 $d_2 = 8 - (6+3) = -1$, 그리고 세 번째 행에서 $d_3 = 16 - (7+3) = 6$ 이 각각 구해진다. 따라서 Z 의 대각 지배성 크기 벡터 $d = [d_1 \ d_2 \ d_3] = [2 \ -1 \ 6]$ 이 된다.

[0163] 여기서, 대각 지배성 크기가 0보다 큰 첫 번째 및 세 번째 행은 대각 지배적 행인 반면, 0 이하인 두 번째 행은 대각 지배적이지 않은 행에 해당한다. 따라서 대각 지배적인 행의 개수 $V=2$ 가 된다. 이는 $0 < V < N_u$ 조건(Case 3)에 해당하여 하이브리드 프리코딩 기법이 요구된다.

[0164] 또한 이러한 결과로부터 세번째 유저의 대각 지배성이 가장 크고 두 번째의 유저의 대각 지배성이 가장 낮은 것

을 알 수 있다.

[0165]

대각 지배성 순서대로 G 행렬을 정렬하면

$$G_S = \begin{bmatrix} g_{31} & g_{32} & g_{33} \\ g_{11} & g_{12} & g_{13} \\ g_{21} & g_{22} & g_{23} \end{bmatrix}$$

이 된다. 또한 이러한 G_S를 이용하여 Z 행렬을 변형하면 수학식 20이 된다.

수학식 20

[0166]

$$Z_s = G_s G_s^H$$

[0167]

도 4는 하이브리드 기법에서 정렬된 행렬 Z_s 및 초기 행렬 Φ를 예시한 도면이다.

[0168]

도 4에 나타난 것과 같이, 역행렬 생성부(140)는 수학식 20을 통해 연산된 Z_s 행렬을 V값(대각 지배적인 행의 개수)를 이용하여 4개 영역으로 분할한다.

[0169]

즉, 도 4에서 Z_s 행렬은 값을 기준으로 좌상단부터 좌하단까지 시계방향으로 각각 V×V의 D₁ 행렬, V×U의 E₁ 행렬, U×U의 D₂ 행렬, 그리고 U×V의 D₂ 행렬로 분리된 것을 알 수 있다. 여기서 U=N_u-V로서, 대각 지배적이지 않은 행의 개수에 대응한다.

[0170]

앞서 제시한 N_u=3, V=2인 상황은 설명의 편의상 제안한 매우 간단한 예시에 해당하므로, N_u=20, V=5인 경우를 예를 들면, Z_s 행렬은 5×5 크기의 D₁ 행렬, 5×15 크기의 E₁ 행렬, 15×15 크기의 D₂ 행렬, 그리고 15×5 크기의 D₂ 행렬로 분리될 것이다.

[0171]

이후, 역행렬 생성부(140)는 D₁ 행렬에 DCNS-1 기법을 적용하여 (D₁)⁻¹ 행렬을 얻고, D₂ 행렬에 DCNS-U 기법을 적용하여 (D₂)⁻¹ 행렬을 얻은 후, (D₁)⁻¹, (D₂)⁻¹, E₁ 및 E₂ 행렬을 아래 수학식 21에 대입하여 Z_s의 역행렬인 Z_s⁻¹을 계산한다.

수학식 21

[0172]

$$Z_s^{-1} \approx \sum_{n=0}^1 (I_{N_u} - \Phi^{-1} Z)^n \Phi^{-1} = 2\Phi^{-1} - \Phi^{-1} Z_s \Phi^{-1} \\ = \begin{bmatrix} D_1^{-1} & -D_1^{-1} E_1 D_2^{-1} \\ -D_2^{-1} E_2 D_1^{-1} & D_2^{-1} \end{bmatrix}$$

[0173]

여기서 물론, L은 LS의 길이, I_i는 i×i 단위 행렬을 나타낸다.

[0174]

즉, 수학식 21에서 Z_s⁻¹을 구하기 위해서는 (D₁)⁻¹과 (D₂)⁻¹를 계산해야 한다.

[0175]

이를 위해, 도 4의 Φ 행렬을 참조하면, 역행렬 생성부(140)는 수학식 21의 Z_s⁻¹의 계산을 위하여, 수학식에 포함된 Φ 행렬에 대한 4개 영역에 대응하여, 각각 D₁ 행렬, 영행렬, D₂ 행렬, 영행렬을 할당(설정)한 것을 알 수 있다.

[0176]

이때, 도 4의 Φ 행렬 내 D₁ 행렬에 대한 역행렬 (D₁)⁻¹을 연산할 때는 DCNS-1 기법을 적용한다. 예를 들어, 앞서

Z의 역행렬을 구하는 방법과 유사하게, 먼저 D_1 행렬에 대한 대각 행렬 D과 최대 전력을 가진 하나의 열 성분을 조합하여 행렬 Φ^1 을 구성한 다음, 수학적 식 13, 14의 방법으로 Φ^1 의 역행렬인 $(\Phi^1)^{-1}$ 을 연산하고, 이를 다시 D_1 과 곱한 $D_1 \cdot (\Phi^1)^{-1}$ 를 계산한다. 그리고, $D_1 \cdot (\Phi^1)^{-1}$ 를 수학적 식 6의 해당 항에 대입(Z 대신 D_1 으로 대치)함으로써, Z의 역행렬을 구한 방법과 같이 D_1 의 역행렬인 D_1^{-1} 을 연산할 수 있다.

[0177] 또한, 도 4의 Φ 행렬 내 D_2 행렬에 대한 역행렬 $(D_2)^{-1}$ 을 연산할 때는 DCNS-U 기법($k=U$)을 적용하면 된다. 즉, 앞서 상술한 DCNS-k 기법에서 $k=U$ 를 적용하고, 수학적 식 15에 언급한 서먼 모리스 공식을 이용하여 D_2 의 역행렬인 D_2^{-1} 을 연산한다.

[0178] 이와 같이, 재정렬된 Z_s 에서 D_1 은 대각 지배적인 행들에 대응하므로 D_1^{-1} 을 구하기 위해 DCNS-1을 이용하여 낮은 복잡도로 높은 오류 성능을 얻고, D_2 는 그렇지 않은 행들에 대응하므로 D^{-2} 을 구하기 위해 DCNS-U를 이용하여 대각 지배적이지 않은 시스템에서도 DNS의 오류 성능을 개선한다.

[0179] 위와 같이 V에 따라 적응적으로 프리코딩 기법을 달리하여 수학적 식 6과 같이 gram 행렬의 역행렬 Z^{-1} 을 구할 수 있다.

[0180] 또한, 수학적 식 4와 같이 Z^{-1} 의 좌측에 G^H 를 곱하는 MF(Matched Filter)를 통과함으로써 본 발명에서 제시한 기법의 알고리즘을 종료한다.

[0181] 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 프리코딩 방법의 개략적인 순서도이다.

[0182] 도 5를 참조하면, 프리코딩 장치(100)는 먼저 채널 행렬 G를 이용하여 Z(gram 행렬)를 구한다(S501). 그리고, Z 행렬에서 대각 지배적인 행의 수(V)를 연산하고(S502), 유저의 수(N_u)와 비교한다(S503).

[0183] 비교 결과, $V=N_u$ 이면 DCNS-1 기법을 적용하여 $(\Phi^1)^{-1}$ 을 구한 다음(S504), $(\Phi^1)^{-1}$ 을 수학적 식 6의 Φ 항에 대입하여 Z^{-1} 을 연산하고(S505), 연산한 Z^{-1} 을 G^H 와 곱하여 수학적 식 4와 같이 프리코딩 행렬(W)을 최종 생성한다(S506).

[0184] S503 단계의 비교 결과, $V=N_u$ 이 아닌 경우에는, $V=0$ 인지 판단한다(S507). 만일 $V=0$ 이면, $k=0$, $\Phi^k=D$ 로 초기 설정한 후(S508)에, DCNS-k 기법을 적용하여 $(\Phi^k)^{-1}$ 을 구한다(S509). S509 과정의 경우 k를 1부터 하나씩 증가시키면서 서먼 모리스 공식을 반복 사용하여 $(\Phi^k)^{-1}$ 를 최종 연산한다. 이후, 연산한 $(\Phi^k)^{-1}$ 을 수학적 식 6의 Φ 항에 대입하여 Z^{-1} 을 연산 후(S510), Z^{-1} 을 G^H 와 곱하여 수학적 식 4와 같이 프리코딩 행렬(W)을 최종 생성한다(S511).

[0185] 그리고, S507 단계의 비교 결과, $V=0$ 이 아닌 경우에는 대각 지배성 크기에 따라 Z를 재정렬한 Z_s 를 얻은 후 DCNS-1과 DCNS-U의 하이브리드 기법을 이용하여 수학적 식 21을 통해 Z^{-1} 을 바로 연산한다(S512). 그리고, 수학적 식 4와 같이 Z^{-1} 을 G^H 와 곱하여 프리코딩 행렬(W)을 최종 생성한다(S513).

[0186] 다음은 본 발명에서 제안한 기법의 성능을 모의 실험한 결과를 설명한다.

[0187] 도 6은 기존의 기법과 본 발명이 제시한 기법에서 Z^{-1} 을 계산하기 위해 요구되는 곱셈 연산량을 나타낸 도면이다.

[0188] 도 6에서 곱셈 연산량 계산시 두 복소수의 곱셈은 한 번의 곱셈 연산을 요구한다고 가정하였다. 그리고 대용량 MIMO 시스템의 복잡도는 $O(N_u^2)$ ($p \geq 1$)에 비례하므로 표현의 편의성을 위해 최종 복잡도 식에서 상수값은 제외하였다.

[0189] 또한, 기존의 기법과 본 발명에서 제시한 기법 모두 프리코딩 행렬을 구할 때, Z^{-1} 을 구하는 방식만 다르고 나머지 방식은 모두 동일하므로 도 6에서는 Z^{-1} 을 계산하기 위해 요구되는 곱셈 연산량만 고려하였다.

[0190] 도 6의 결과에서, 기존 ZF 기법이 가장 높은 복잡도를 가지며 DNS 기법이 가장 낮은 복잡도를 나타낸다. ZF 기법 다음으로는 Case 2에 사용된 DCNS-k 기법의 복잡도가 높고, 그 다음으로는 Case 3에 사용된 하이브리드 기법, Case 1에 사용된 DCNS-1 순으로 복잡도가 높은 것을 알 수 있다.

[0191] 도 7 내지 도 13은 본 발명에서 제시한 기법의 시뮬레이션 결과를 나타낸 도면이다.

[0192] 모든 시뮬레이션에서 $N_t=200$ 으로 설정하였고, 채널은 평균이 0이고 분산이 1인 레일리 분포로 모델링하였고, 모든 유저는 평균이 0이고 분산이 1인 AWGN을 발생하도록 설정하였다. 그리고 무선 채널의 coherence interval이 충분히 큰 TDD(Time Division Duplex) 시스템을 가정하여, 상향링크와 하향링크의 채널은 완벽한 calibration을 통해 서로 전치 관계가 성립한다.

[0193] 즉, 하향링크 채널 추정을 위해 모든 유저들은 상향링크 파일럿을 기지국으로 전송하고, 기지국에서는 이를 추정하여 해당 값을 프리코딩 채널 계수로 사용한다.

[0194] 또한, 인접 셀에서 파일럿 오염으로 인한 오류 성능 열화를 최소화하기 위해서는 파일럿 시퀀스의 길이 T 가 유저수와 같아야하므로 $\tau = N_u$ 로 설정하였다. 상향링크 파일럿 수신 신호는 다음과 같다.

수학식 22

[0195]
$$Y_p = \sqrt{\tau P_u} H^T X_p + N_p$$

[0196] 여기서, P_u 는 유저 송신 전력으로 본 시뮬레이션에서는 기지국 송신 전력 P 보다 3dB 낮은 전력으로 설정하였다. 그리고 X_p 는 $X_p X_p^H = I_{N_u}$ 를 만족하는 $N_u \times \tau$ 의 직교 파일럿 시퀀스 행렬, N_p 는 모든 원소가 평균이 0이고 분산이 1인 $N_u \times \tau$ 의 AWGN이다. 기지국에서 추정된 채널 행렬은 다음과 같다.

수학식 23

[0197]
$$\hat{H} = \frac{X_p^* Y_p^T}{\sqrt{\tau P_u}} = H + \overline{N_p}$$

[0198] 여기서, $\overline{N_p} = \frac{X_p^* Y_p^T}{\sqrt{\tau P_u}}$ 는 변형된 AWGN이다.

[0199] 이론적인 채널 추정 MSE를 구하기 위해서는 $\tilde{H} = H - \hat{H}$ 의 MSE를 계산해야 한다. 그렇지만, \tilde{H} 의 각 성분들은 모두 독립적이므로 \tilde{H} 의 i 행 및 j 열인 $[\tilde{H}]_{ij}$ 의 MSE를 계산하여도 무방하고, 이는 다음과 같다.

수학식 24

[0200]
$$E\left[|[\tilde{H}]_{ij}|^2\right] = E\left[|[\overline{N_p}]_{ij}|^2\right] = \frac{1}{\tau P_u}$$

[0201] 도 7은 200×10 , 200×20 , 200×30 대용량 MIMO 시스템에서 채널 추정 MSE(Mean Square Error) 성능을 나타낸 도면이다. 여기서, MSE 값이 높을수록 성능이 나쁜 것을 의미한다.

- [0202] 도 7에서 유저 수에 관계없이 이론적인 결과(Theory)는 시뮬레이션 결과(Monte Carlo)와 동일하다. 그리고 유저 수가 증가할수록 MSE 성능이 우수한데, 이는 유저 수가 증가할수록 파일럿의 길이가 증가하고, 수학식 22에서처럼 송신 전력은 파일럿의 길이에 비례하기 때문이다.
- [0203] 도 8은 유저 수에 따른 DCNS-1, DCNS-k, hybrid DCNS-1 and DCNS-U의 사용 빈도를 나타낸 도면이다. 가로축은 유저의 수(N_u), 세로축은 이용률(%)을 의미한다.
- [0204] 도 8의 결과에서 $N_u \leq 13$ 일 때, 대용량 MIMO 시스템이 거의 대부분 대각 지배적이므로 본 발명에서 제시한 기법은 평균 90% 이상의 비율로 DCNS-1을 선택한다. 이는 유저가 적을수록 간섭이 적기 때문에 DCNS-1 기법으로도 충분한 것을 의미한다.
- [0205] 그리고 $14 \leq N_u \leq 20$ 일 때, 대용량 MIMO 시스템이 부분적으로 대각 지배적이므로 본 발명에서 제시한 기법은 평균 90% 이상의 비율로 hybrid DCNS-1 and DCNS-U를 선택한다.
- [0206] 마지막으로 $N_u \geq 21$ 일 때, 대용량 MIMO 시스템이 거의 대각 지배적이지 않으므로 본 발명에서 제시한 기법은 평균 85% 이상의 비율로 DCNS-k를 선택한다. 도 8과 같이 유저 수에 따른 프리코딩 선택 빈도는 도 9 내지 도 13의 결과에 대한 이해를 돕는다.
- [0207] 도 11 내지 도 13에서는 BER 측정을 위해 QPSK(Quadrature Phase Shift Keying)와 16-QAM 변조를 사용하였다. 그리고 유저 수는 각각 10, 20, 30으로 설정하였는데, 이는 도 7의 결과에서처럼 본 발명의 성능 측정을 위한 유의미한 유저 구간은 9 ~ 27이기 때문이다.
- [0208] 즉, 유저수가 8 이하일 때는 DCNS-1이 선택되고, 28 이상일 때는 DCNS-k가 선택됨을 쉽게 유추할 수 있기 때문이다. 또한, 기지국 송신 전력은 -10dB부터 10dB로 설정하였는데, 이는 에너지 효율을 추구하는 대용량 MIMO 시스템에서 적절한 송신 전력이기 때문이다. 본 발명의 다양한 성능을 보이기 위해 DCNS-K에서 $K=0.3N_u$ 와 $K=0.6N_u$ 로 설정하였다.
- [0209] 도 9는 200×10 대용량 MIMO 시스템에서 기존의 기법과 본 발명에서 제시한 기법의 BER (Bit Error Rate) 성능을 나타낸 도면이다. 이는 유저가 10명일 때의 성능을 나타낸다.
- [0210] 도 9에서 QPSK를 사용한 기존의 DNS와 본 발명에서 제시한 기법은 거의 동일한 BER 성능을 지니며, 최적의 ZF의 BER 성능과도 거의 유사하다. 이는 도 8의 결과에서 $N_u=10$ 일 때, 대용량 MIMO 시스템이 완전히 대각 지배적이기 때문이다. 이때에는 DCNS-1만 사용되므로 변조 차수에 관계없이 K의 증가에 따라 BER 성능이 개선되지 않는다.
- [0211] 그렇지만, 16-QAM을 사용한 DNS는 ZF의 BER 성능 대비 열화가 발생하였지만, 본 발명에서 제시한 기법은 가깝게 MUI를 지니는 유저를 nulling 시키기 때문에 DNS보다 열화 정도가 더 적다.
- [0212] 도 10은 200×20 대용량 MIMO 시스템에서 기존의 기법과 본 발명에서 제시한 기법의 BER 성능을 나타낸 도면이고, 도 11은 200×30 대용량 MIMO 시스템에서 기존의 기법과 본 발명에서 제시한 기법의 BER 성능을 나타낸 도면이다. 즉, 도 10은 유저가 20명인 경우($N_u=20$)이고 도 11은 유저가 30명인 경우($N_u=30$)이다.
- [0213] 도 10과 도 11에서도 변조 차수에 따라 DNS와 본 발명에서 제시한 기법의 BER 성능이 도 9와 유사한 패턴을 지닌다. 그렇지만, 도 9의 결과에 비해, DNS는 ZF의 BER 성능 대비 그 열화가 더 커졌는데, 이는 도 10 및 도 11의 결과에서 $N_u=20$ 및 $N_u=30$ 일 때, 대용량 MIMO 시스템이 각각 부분적으로 대각 지배적이고 완전히 대각 지배적이지 않기 때문이다. 도 10 및 도 11의 결과에서 본 발명의 실시예는 도 9의 결과와 달리 K의 증가에 따라 BER 성능이 개선된다. 이와 같이 본 발명의 실시예의 기법은 유저의 수가 많아질수록 더욱 성능이 부각되는 것을 알 수 있다.
- [0214] 도 12는 200×20 과 200×30 대용량 MIMO 시스템에서 16-QAM(Quadrature Amplitude Modulation) 변조를 사용할 때, 본 발명에서 제시한 기법의 nulling 유저 선택에 따른 BER 성능을 나타낸 도면이다. 도 12에서 No-selection 방식은 K개의 열을 선택 시에 전력의 크기를 고려한 본 발명과는 달리, 단순히 랜덤하게 선택한 경우를 나타낸다. 도 12에서는 nulling 유저 선택 유무에 따라 BER 성능이 차이가 남을 볼 수 있다. Nulling 유저 선택의 복잡도는 매우 낮기 때문에 이러한 BER 성능 개선은 매우 유의미한 결과이다.
- [0215] 도 13은 유저 수에 따라 기존의 기법과 본 발명의 곱셈 연산량을 나타낸 도면이다. 도 13에서는 유저 수에 관계

없이 본 발명에서 제시한 기법의 복잡도는 기존의 ZF보다 항상 작다.

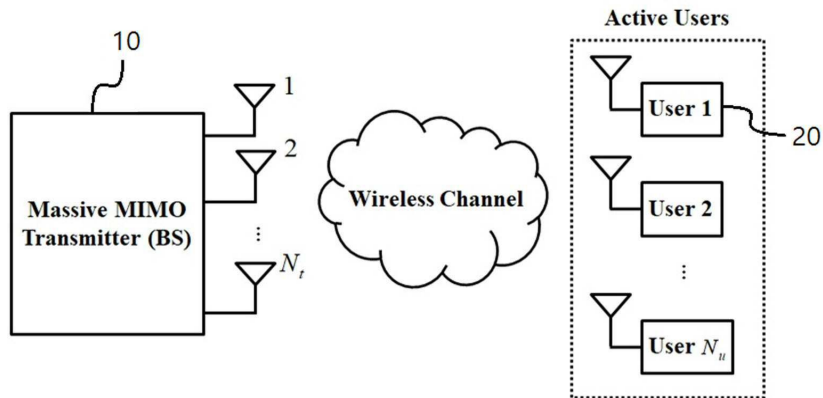
- [0216] 한편, $N_u=10$ 일 때, 본 발명에서 제시한 기법의 복잡도는 기존의 DNS의 복잡도와 거의 유사한데, 도 9에서처럼 대용량 MIMO 시스템이 대각 지배적이기 때문이다.
- [0217] 그러나 $N_u>10$ 일 때는 유저 수가 증가할수록 DNS의 복잡도보다 더욱 커지는데, 이는 유저 수가 많을 때 본 발명의 기법은 BER 성능 열화를 막기 위해 hybrid DCNS-1 and DCNS-U와 DCNS-K의 선택 빈도를 높이기 때문이다.
- [0218] 비록 $N_u>10$ 일 때 본 발명에서 제시한 기법의 복잡도가 DNS의 복잡도보다 높지만, $K=0.3N_u$ 일 때의 복잡도 증가는 도 10 내지 도 11에서 보인 BER 성능 개선 대비 크지 않음을 알 수 있다.
- [0219] 이상과 같은 본 발명은 하향링크 대용량 MIMO 시스템에서 NS를 이용한 근사적 ZF 프리코딩 기법을 제공한다. 기존의 DNS 프리코딩은 매우 낮은 복잡도를 지지만 상관도가 높은 대용량 MIMO 시스템에서는 DNS의 오류 성능은 매우 열악하며 이는 기지국 송신 전력과 NS의 길이를 증가시켜도 해결하기 어렵다.
- [0220] 하지만 본 발명의 실시예는 대용량 MIMO 시스템의 대각 지배성에 따라 적응적으로 프리코딩 기법을 선택함으로써, 상관도가 높은 대용량 MIMO 시스템에서도 높은 오류 성능을 지닌다. 여기서, 대용량 MIMO 시스템의 대각 지배적인 유저 수(V)에 따라 DCNS-1, DCNS-K, hybrid DCNS-1 and DCNS-U를 적응적으로 선택한다.
- [0221] 즉, $V=N_u$ 일 때에는 모든 유저가 대각 지배적이므로 낮은 복잡도를 지니는 DCNS-1을 사용하고, $V=0$ 일 때에는 모든 유저가 대각 지배적이지 않으므로 오류 성능 개선을 위해 DCNS-k를 사용하고, $0<V<N_u$ 일 때는 대각 지배적인 유저에게 DCNS-1을 적용하고, 대각 지배적이지 않은 유저에게는 DCNS-U를 적용한다. 그리고, DCNS-k의 오류 성능 개선을 위해 가장 큰 MUI를 지니는 k명의 유저를 선택하여 완전히 nulling 시킨다.
- [0222] 시뮬레이션 결과로부터 본 발명에서 제시한 기법은 상관도가 높은 대용량 MIMO 시스템에서도 낮은 복잡도를 지니면서 기존의 DNS보다 매우 높은 BER 성능을 지니면서 최적의 ZF에 근사한 BER 성능을 지님을 확인할 수 있었다.
- [0223] 이상과 같은 본 발명에 따르면, 채널 간 상관도가 높은 대용량 MIMO 시스템에서 효율적 프리코딩을 위해 유저들의 대각 지배성에 따라 적응적으로 프리코딩을 수행함으로써 기존의 ZF 프리코딩 기법보다 매우 낮은 복잡도를 가지면서 유사한 오류 성능을 제공함은 물론 기존의 DNS 프리코딩 기법보다 오류 성능을 개선할 수 있는 이점이 있다.
- [0224] 본 발명은 도면에 도시된 실시 예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 다른 실시 예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 특허청구범위의 기술적 사상에 의하여 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

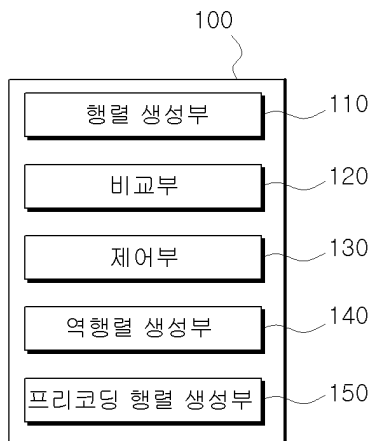
- [0225] 10: 기지국 20: 유저
- 100: 프리코딩 장치 110: 행렬 생성부
- 120: 비교부 130: 제어부
- 140: 역행렬 생성부 150: 프리코딩 행렬 생성부

도면

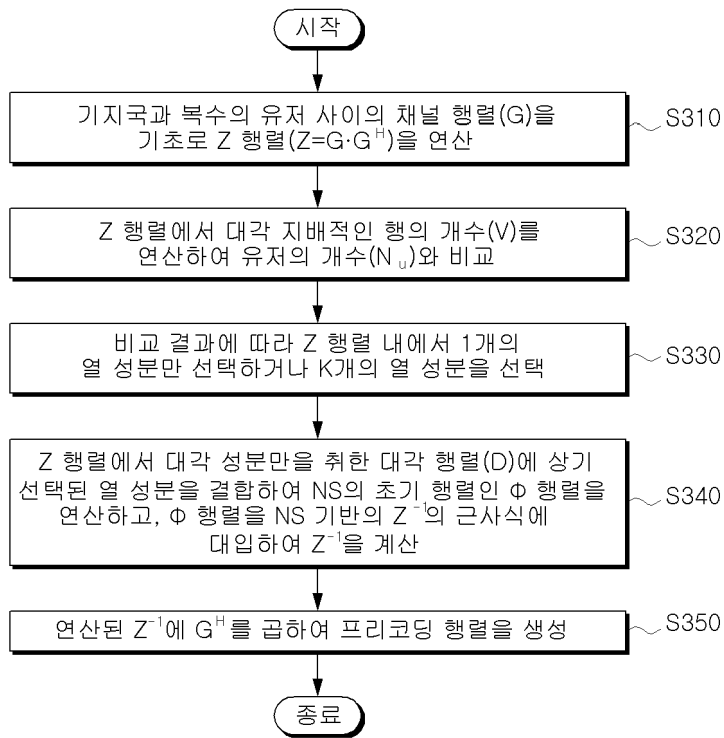
도면1



도면2



도면3



도면4

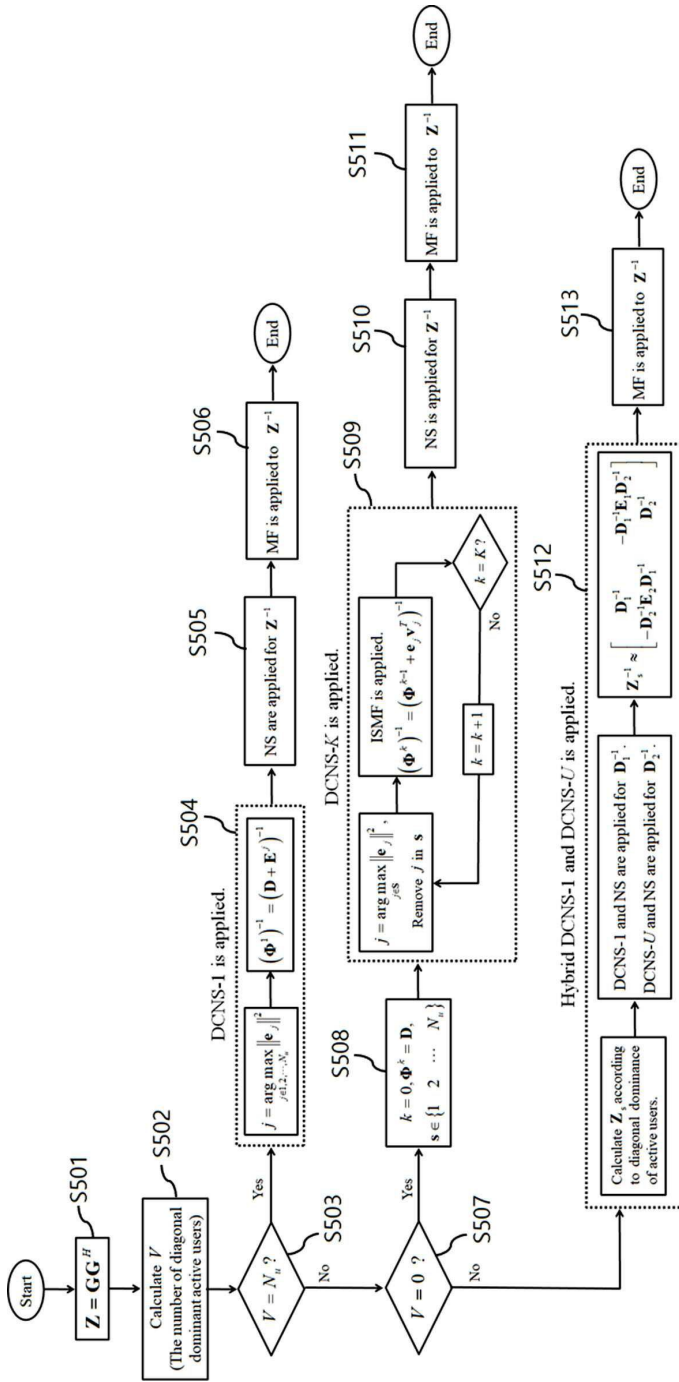
$$\mathbf{Z}_s = \begin{bmatrix} \mathbf{D}_1 & \mathbf{E}_1 \\ \mathbf{E}_2 & \mathbf{D}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \boxed{\begin{matrix} z_{11} & z_{12} & \dots & z_{1V} \\ z_{21} & z_{22} & \dots & z_{2V} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ z_{V1} & z_{V2} & \dots & z_{VV} \end{matrix}} & \boxed{\begin{matrix} z_{1\ V+1} & z_{1\ V+2} & \dots & z_{1N_u} \\ z_{2\ V+1} & z_{2\ V+2} & \dots & z_{2N_u} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ z_{V\ V+1} & z_{V\ V+2} & \dots & z_{VN_u} \end{matrix}} \\ \boxed{\begin{matrix} z_{V+1\ 1} & z_{V+1\ 2} & \dots & z_{V+1\ V} \\ z_{V+2\ 1} & z_{V+2\ 2} & \dots & z_{V+2\ V} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ z_{N_u\ 1} & z_{N_u\ 2} & \dots & z_{N_u\ V} \end{matrix}} & \boxed{\begin{matrix} z_{V+1\ V+1} & z_{V+1\ V+2} & \dots & z_{V+1\ N_u} \\ z_{V+2\ V+1} & z_{V+2\ V+2} & \dots & z_{V+2\ N_u} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ z_{N_u\ V+1} & z_{N_u\ V+2} & \dots & z_{N_u\ N_u} \end{matrix}} \end{bmatrix}$$

\mathbf{D}_1 (Diagonal Dominant) \mathbf{E}_1
 \mathbf{E}_2 \mathbf{D}_2 (Non Diagonal Dominant)

$$\mathbf{\Phi} = \begin{bmatrix} \mathbf{D}_1 & \mathbf{0}_{V \times U} \\ \mathbf{0}_{U \times V} & \mathbf{D}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underbrace{\boxed{\begin{matrix} z_{11} & z_{12} & \dots & z_{1V} \\ z_{21} & z_{22} & \dots & z_{2V} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ z_{V1} & z_{V2} & \dots & z_{VV} \end{matrix}}}_{\text{Assumption for selection of the first column}} & \mathbf{0}_{V \times U} \\ \mathbf{0}_{U \times V} & \underbrace{\boxed{\begin{matrix} z_{V+1\ V+1} & z_{V+1\ V+2} & \dots & z_{V+1\ N_u} \\ z_{V+2\ V+1} & z_{V+2\ V+2} & \dots & z_{V+2\ N_u} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ z_{N_u\ V+1} & z_{N_u\ V+2} & \dots & z_{N_u\ N_u} \end{matrix}}}_{\text{DCNS-U is applied } \mathbf{D}_2^{-1}} \end{bmatrix}$$

DCNS-1 is applied for \mathbf{D}_1^{-1} .

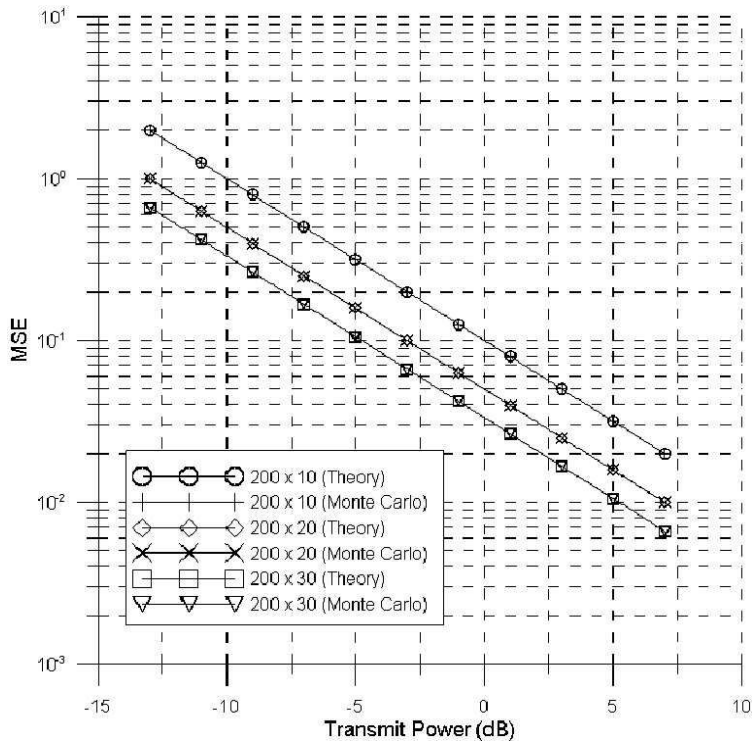
도면5



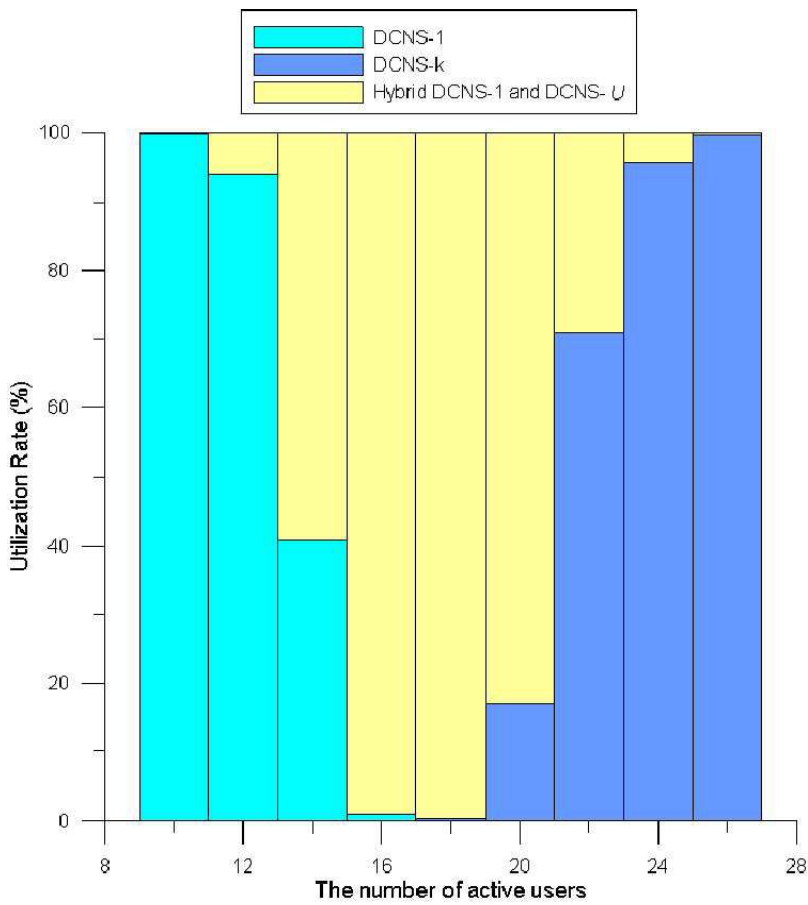
도면6

기법	Z^{-1} 을 계산하기 위해 요구되는 곱셈 연산량
ZF	$N_u^3 + N_u^2$ (가우스 소거법 이용)
DNS	$2N_u^2$
DCNS-1	$5N_u^3 + 7N_u^2$
DCNS-K	$5N_u^2 + (K^2 + 4K)N_u + \left(\frac{K^2 - 5K}{2}\right)$
Hybrid DCNS-1 and DCNS-U	$\left(U^3 + \frac{9U^2 - 5U}{2}\right) + (5V^2 + 7V)$

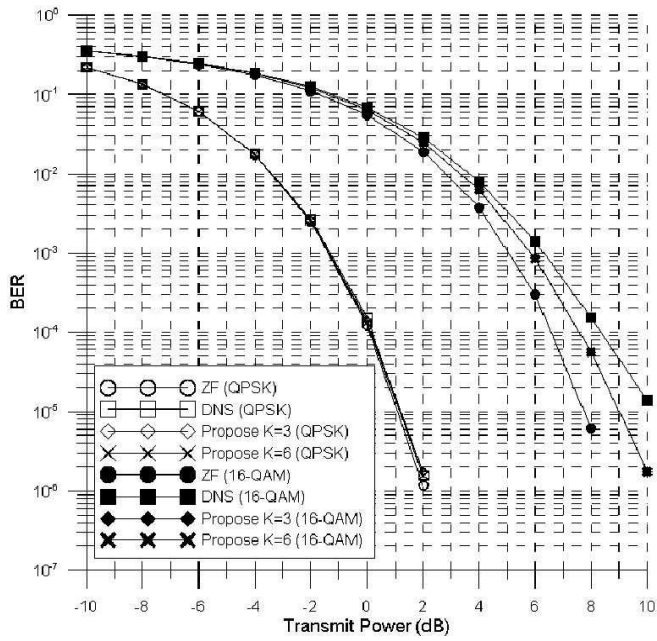
도면7



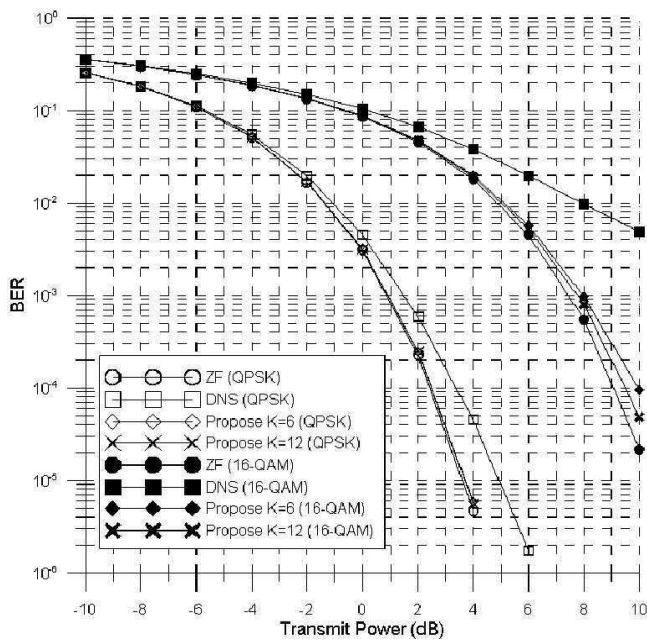
도면8



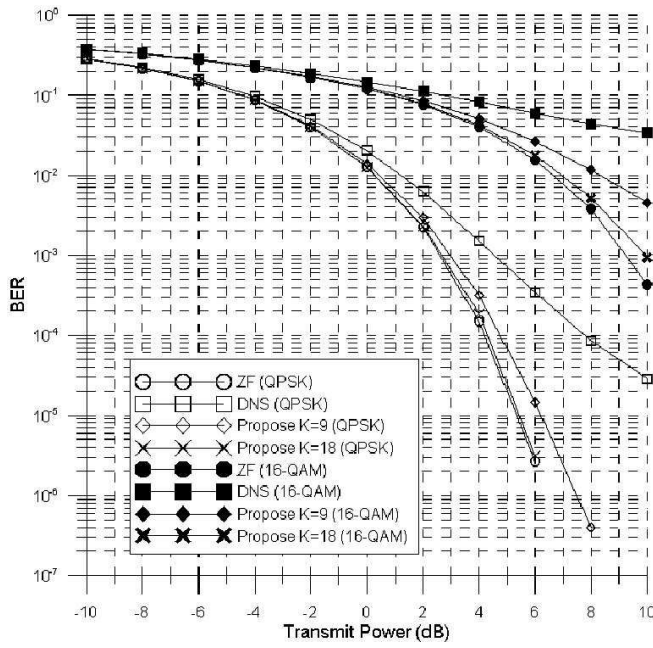
도면9



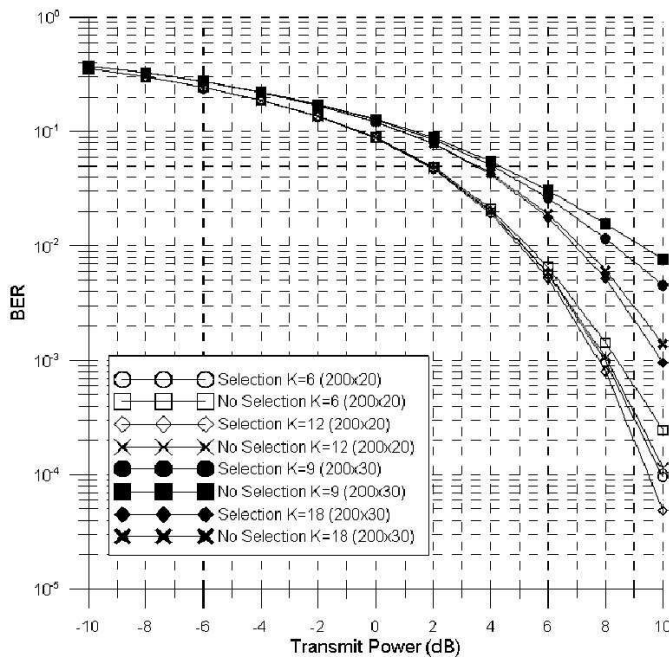
도면10



도면11



도면12



도면13

