



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2019년08월13일
(11) 등록번호 10-1965542
(24) 등록일자 2019년03월28일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04B 7/0452 (2017.01) H04B 7/0456 (2017.01)
H04B 7/06 (2017.01)
(52) CPC특허분류
H04B 7/0452 (2013.01)
H04B 7/0456 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2018-0152253
(22) 출원일자 2018년11월30일
심사청구일자 2018년11월30일
(56) 선행기술조사문헌
KR1020100020883 A*
KR1020140057902 A*
KR1020150080049 A*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
세종대학교산학협력단
서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)
(72) 발명자
송형규
경기도 성남시 분당구 중앙공원로 17, 한양아파트 320동 303호
하중규
서울특별시 광진구 동일로50길 13
노재현
서울특별시 송파구 동남로13길 44-22, 제301호
(74) 대리인
특허법인태백

전체 청구항 수 : 총 10 항

심사관 : 황철규

(54) 발명의 명칭 MU-MIMO 하향링크 시스템 및 다차원을 이용한 전송률 향상 방법

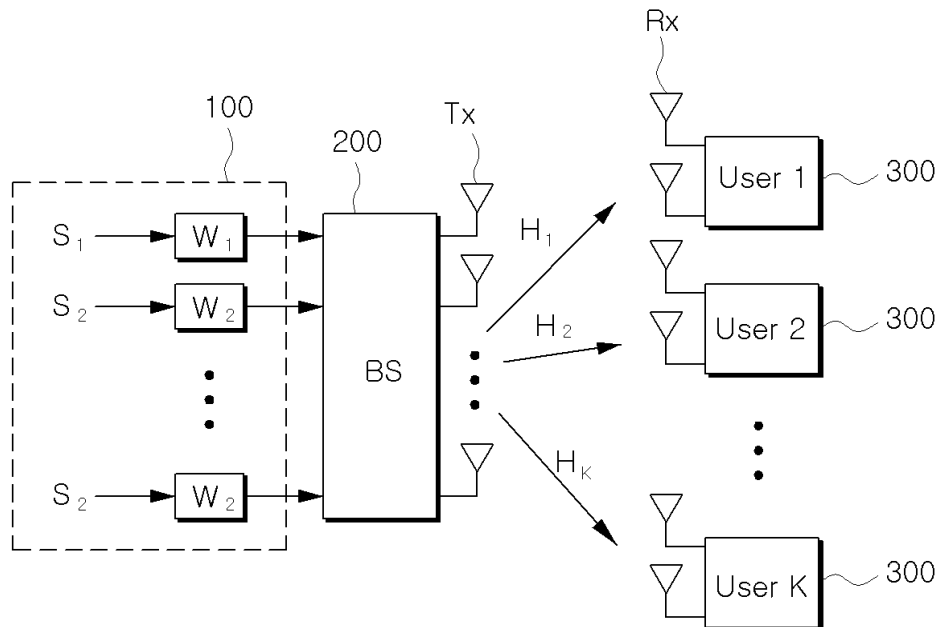
(57) 요약

본 발명은 MU-MIMO 하향링크 시스템 및 다차원을 이용한 전송률 향상 방법에 대한 것이다.

본 발명에 따른 MU-MIMO 하향링크 시스템에서 다차원을 이용한 전송률 향상 방법은 N개의 안테나가 구비된 송신기가 전력 영역을 이용하여 각각 N개의 안테나가 구비된 복수의 사용자 단말기가 각각 수신하고자 하는 하나의

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1



신호마다 복수의 심볼을 중첩시키기 위한 슈퍼포지션 코딩(SC)을 각 신호마다 수행하는 단계; 상기 송신기가 공간 영역을 이용하여 슈퍼포지션 코딩된 신호에서 다중 사용자간 간섭 신호를 제거하기 위한 프리코딩을 각 신호마다 수행하는 단계; 상기 송신기가 각각 프리코딩된 신호들을 합쳐서 기지국에 전송하는 단계; N개의 안테나가 구비된 상기 기지국이 상기 합쳐진 신호를 상기 복수의 사용자 단말기로 각각 전송하는 단계; 상기 사용자 단말기별로 MIMO(Multiple Input Multiple Output) 검출 기법을 이용하여 상기 수신된 신호를 각각 검출하는 단계; 및 상기 사용자 단말기가 연속적으로 간섭 신호를 제거하기 위한 SIC(successive interference cancellation) 검출 기법을 이용하여 각 안테나별 중첩된 심볼들을 각각 검출하는 단계를 포함한다.

이와 같이 본 발명에 따르면, MU-MIMO(Multi User-Multiple Input Multiple Output) 하향링크 시스템에서 데이터 전송 시 프리코딩 기법을 이용한 공간 영역과 슈퍼포지션 코딩 기법을 이용한 전력 영역을 동시에 사용함으로써 동일한 자원을 각 영역에서 보다 효율적으로 사용할 수 있어 신호 전송률을 향상시킬 수 있는 효과가 있다.

(52) CPC특허분류

H04B 7/0697 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711075702
부처명	과학기술정보통신부
연구관리전문기관	정보통신기술진흥센터
연구사업명	정보통신기술인력양성(정보화)
연구과제명	지능형 비행로봇 융합기술 연구
기 여 율	1/1
주관기관	세종대학교 산학협력단
연구기간	2018.06.01 ~ 2019.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

MU-MIMO 하향링크 시스템에서 다차원을 이용한 전송률 향상 방법에 있어서,

N개의 안테나가 구비된 송신기가 전력 영역을 이용하여 각각 N개의 안테나가 구비된 복수의 사용자 단말기가 각각 수신하고자 하는 하나의 신호마다 복수의 심볼을 중첩시키기 위한 슈퍼포지션 코딩(SC)을 각 신호마다 수행하는 단계;

상기 송신기가 공간 영역을 이용하여 슈퍼포지션 코딩된 신호에서 다중 사용자간 간섭 신호를 제거하기 위한 프리코딩을 각 신호마다 수행하는 단계;

상기 송신기가 각각 프리코딩된 신호들을 합쳐서 기지국에 전송하는 단계;

N개의 안테나가 구비된 상기 기지국이 상기 합쳐진 신호를 상기 복수의 사용자 단말기로 각각 전송하는 단계;

상기 사용자 단말기별로 MIMO(Multiple Input Multiple Output) 검출 기법을 이용하여 상기 수신된 신호를 각각 검출하는 단계; 및

상기 사용자 단말기가 연속적으로 간섭 신호를 제거하기 위한 SIC(successive interference cancellation) 검출 기법을 이용하여 각 안테나별 중첩된 심볼들을 각각 검출하는 단계를 포함하고,

상기 프리코딩을 각 신호마다 수행하는 단계는,

블록 대각화(block diagonalization, BD) 기법을 이용하여 다중 사용자간 간섭 신호를 완전히 제거하되, 상기 간섭 신호를 제거하기 위한 프리코딩 행렬을 다음의 수학적식과 같이 정의하고,

$$\tilde{H}_k W_k = 0, k = 1, \dots, K$$

k번째 신호의 채널 행렬을 제외한 다른 신호의 모든 채널 행렬을 다음의 수학적식과 같이 정의하며,

$$\tilde{H}_k = [H_1^T \dots H_{k-1}^T H_{k+1}^T \dots H_K^T]^T$$

상기 다른 신호의 모든 채널 행렬에 특이값 분해를 적용하여 다음의 수학적식을 가지는 프리코딩 행렬을 결정하는 전송률 향상 방법:

$$\tilde{H}_k = U_k \Lambda_k [V_k^{(1)} V_k^{(0)}]^H$$

여기서, W_k 는 k번째 신호에 대한 프리코딩 행렬, \tilde{H}_k 는 k번째 신호의 채널 행렬을 제외한 다른 신호의 모든

채널 행렬, Λ_k 는 \tilde{H}_k 의 특이값을 대각성분으로 가지는 대각 행렬, k는 송신 신호의 인덱스, $V_k^{(1)}$ 는 0이 아

닌 특이값을 가지는 우측 특이 벡터 행렬, $V_k^{(0)}$ 는 0의 특이값을 가지는 우측 특이 벡터 행렬이다.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 슈퍼포지션 코딩을 각 신호마다 수행하는 단계는,

상기 송신기는 다음의 수학적식을 이용하여 복수의 심볼을 중첩시키기 위한 상기 슈퍼포지션 코딩을 수행하는 전 송물 향상 방법:

$$s_k = \begin{bmatrix} \sqrt{p_1} \tilde{s}_{1,1} + \sqrt{p_2} \tilde{s}_{1,2} + \dots + \sqrt{p_N} \tilde{s}_{1,N} \\ \sqrt{p_1} \tilde{s}_{2,1} + \sqrt{p_2} \tilde{s}_{2,2} + \dots + \sqrt{p_N} \tilde{s}_{2,N} \\ \vdots \\ \sqrt{p_1} \tilde{s}_{N,1} + \sqrt{p_2} \tilde{s}_{N,2} + \dots + \sqrt{p_N} \tilde{s}_{N,N} \end{bmatrix}$$

여기서, s_k 는 슈퍼포지션 코딩된 신호, N 은 중첩되는 심볼의 수, \tilde{s} 는 하나의 신호에 중첩되는 각 심볼, p 는 각 심볼에 할당되는 전력이다.

청구항 3

삭제

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 사용자 단말기는,

다중 사용자간 간섭 신호가 제거된 k 번째 사용자 단말기의 수신 신호를 다음의 수학적식과 같이 정의하는 전송물 향상 방법:

$$y_k = H_k W_k s_k + n_k = H_{eff,k} s_k + n_k$$

$$y_k = H_{eff,k} s_k + n_k = H_{eff,k} \begin{bmatrix} \sqrt{p_1} \tilde{s}_{1,1} + \sqrt{p_2} \tilde{s}_{1,2} + \dots + \sqrt{p_N} \tilde{s}_{1,N} \\ \sqrt{p_1} \tilde{s}_{2,1} + \sqrt{p_2} \tilde{s}_{2,2} + \dots + \sqrt{p_N} \tilde{s}_{2,N} \\ \vdots \\ \sqrt{p_1} \tilde{s}_{N,1} + \sqrt{p_2} \tilde{s}_{N,2} + \dots + \sqrt{p_N} \tilde{s}_{N,N} \end{bmatrix} + n_k$$

여기서, y_k 는 수신 신호 벡터, H_k 는 기지국과 k 번째 사용자 단말기 사이의 채널 행렬, W_k 는 k 번째 신호에 대한 프리코딩 행렬, s_k 는 k 번째 신호에 대한 슈퍼포지션 코딩된 신호, n_k 는 k 번째 사용자 단말기로 전송되는

수신 잡음, $H_{eff,k}$ 는 k 번째 사용자 단말기의 유효 채널, p 는 각 심볼에 할당되는 전력, \tilde{s} 은 추정신호에 중첩되어 있는 각 추정 심볼이다.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 수신된 신호를 각각 검출하는 단계는,

선형 검출 기법 및 비선형 검출 기법 중 어느 하나를 적용하는 상기 MIMO 검출 기법을 이용하여 상기 각 사용자 단말기 별로 수신된 신호를 각각 검출하고, 검출된 사용자 단말기의 수신 신호를 다음의 수학적식과 같이 정의하는 전송물 향상 방법:

$$\hat{\mathbf{s}}_k + \mathbf{n}_k = \begin{bmatrix} \hat{s}_1 \\ \hat{s}_2 \\ \vdots \\ \hat{s}_{N_r} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ \vdots \\ n_{N_r} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt{p_1} \hat{s}_{1,1} + \sqrt{p_2} \hat{s}_{1,2} + \dots + \sqrt{p_N} \hat{s}_{1,N} \\ \sqrt{p_1} \hat{s}_{2,1} + \sqrt{p_2} \hat{s}_{2,2} + \dots + \sqrt{p_N} \hat{s}_{2,N} \\ \vdots \\ \sqrt{p_1} \hat{s}_{N_r,1} + \sqrt{p_2} \hat{s}_{N_r,2} + \dots + \sqrt{p_N} \hat{s}_{N_r,2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ \vdots \\ n_{N_r} \end{bmatrix}$$

여기서, $\hat{\mathbf{s}}$ 는 MIMO 검출 기법으로부터 검출된 추정 신호, \hat{s}_i 는 $\hat{\mathbf{s}}$ 에 중첩되어 있는 각 추정 심볼, n 은 수신 잡음, N 은 중첩되는 심볼의 수, N_t 는 송신안테나의 개수, N_r 은 수신안테나의 개수이다.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 각 안테나별 중첩된 심볼들을 각각 검출하는 단계는,

상기 슈퍼포지션 코딩을 복조하는 상기 SIC 검출 기법을 이용하여 상기 사용자 단말기에서 각 심볼에 할당된 전력에 따라 가장 높은 전력을 할당받은 신호부터 차례로 검출하여 연속적으로 간섭 신호를 제거하여 상기 심볼들을 각각 검출하는 전송률 향상 방법.

청구항 7

N 개의 안테나가 구비되며, 전력 영역을 이용하여 각각 N 개의 안테나가 구비된 복수의 사용자 단말기가 각각 수신하고자 하는 하나의 신호마다 복수의 심볼을 중첩시키기 위한 슈퍼포지션 코딩(SC)을 각 신호마다 수행하고, 공간 영역을 이용하여 슈퍼포지션 코딩된 신호에서 다중 사용자간 간섭 신호를 제거하기 위한 프리코딩을 각 신호마다 수행하여, 각각 프리코딩된 신호들을 합쳐서 기지국에 전송하는 송신기;

N 개의 안테나가 구비되며, 상기 합쳐진 신호를 상기 복수의 사용자 단말기로 각각 전송하는 상기 기지국; 및

각각 N 개의 안테나가 구비되며, MIMO(Multiple Input Multiple Output) 검출 기법을 이용하여 상기 수신된 신호를 각각 검출하고, 연속적으로 간섭 신호를 제거하기 위한 SIC(successive interference cancellation) 검출 기법을 이용하여 각 안테나별로 중첩된 심볼들을 각각 검출하는 복수의 사용자 단말기를 포함하고,

상기 송신기는,

블록 대각화(block diagonalization, BD) 기법을 이용하여 다중 사용자간 간섭 신호를 완전히 제거하는 프리코딩 모듈을 포함하고,

상기 프리코딩 모듈은,

상기 간섭 신호를 제거하기 위한 프리코딩 행렬을 다음의 수학적식과 같이 정의하고,

$$\tilde{\mathbf{H}}_k \mathbf{W}_k = \mathbf{0}, k = 1, \dots, K$$

k 번째 신호의 채널 행렬을 제외한 다른 신호의 모든 채널 행렬을 다음의 수학적식과 같이 정의하며,

$$\tilde{\mathbf{H}}_k = [\mathbf{H}_1^T \dots \mathbf{H}_{k-1}^T \mathbf{H}_{k+1}^T \dots \mathbf{H}_K^T]^T$$

상기 다른 신호의 모든 채널 행렬에 특이값 분해를 적용하여 다음의 수학적식을 가지는 프리코딩 행렬을 결정하는 MU-MIMO 하향링크 시스템:

$$\tilde{\mathbf{H}}_k = \mathbf{U}_k \mathbf{\Lambda}_k [\mathbf{V}_k^{(1)} \mathbf{V}_k^{(0)}]^H$$

여기서, W_k 는 k 번째 신호에 대한 프리코딩 행렬, \tilde{H}_k 는 k 번째 신호의 채널 행렬을 제외한 다른 신호의 모든 채널 행렬, A_k 는 \tilde{H}_k 의 특이값을 대각성분으로 가지는 대각 행렬, k 는 송신 신호의 인덱스, $V_k^{(1)}$ 는 0이 아닌 특이값을 가지는 우측 특이 벡터 행렬, $V_k^{(0)}$ 는 0의 특이값을 가지는 우측 특이 벡터 행렬이다.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 송신기는,

다음의 수학적식을 이용하여 복수의 심볼을 중첩시키기 위한 상기 슈퍼포지션 코딩을 수행하는 슈퍼포지션 코딩 모듈을 포함하는 MU-MIMO 하향링크 시스템:

$$s_k = \begin{bmatrix} \sqrt{p_1} \tilde{s}_{1,1} + \sqrt{p_2} \tilde{s}_{1,2} + \dots + \sqrt{p_N} \tilde{s}_{1,N} \\ \sqrt{p_1} \tilde{s}_{2,1} + \sqrt{p_2} \tilde{s}_{2,2} + \dots + \sqrt{p_N} \tilde{s}_{2,N} \\ \vdots \\ \sqrt{p_1} \tilde{s}_{N,1} + \sqrt{p_2} \tilde{s}_{N,2} + \dots + \sqrt{p_N} \tilde{s}_{N,N} \end{bmatrix}$$

여기서, s_k 는 슈퍼포지션 코딩된 신호, N 은 중첩되는 심볼의 수, \tilde{s} 은 하나의 신호에 중첩되는 각 심볼, p 는 각 심볼에 할당되는 전력이다.

청구항 9

삭제

청구항 10

제7항에 있어서,

상기 사용자 단말기는,

다중 사용자간 간섭 신호가 제거된 k 번째 사용자 단말기의 수신 신호를 다음의 수학적식과 같이 정의하는 MU-MIMO 하향링크 시스템:

$$y_k = H_k W_k s_k + n_k = H_{eff,k} s_k + n_k$$

$$y_k = H_{eff,k} s_k + n_k = H_{eff,k} \begin{bmatrix} \sqrt{p_1} \hat{s}_{1,1} + \sqrt{p_2} \hat{s}_{1,2} + \dots + \sqrt{p_N} \hat{s}_{1,N} \\ \sqrt{p_1} \hat{s}_{2,1} + \sqrt{p_2} \hat{s}_{2,2} + \dots + \sqrt{p_N} \hat{s}_{2,N} \\ \vdots \\ \sqrt{p_1} \hat{s}_{N,1} + \sqrt{p_2} \hat{s}_{N,2} + \dots + \sqrt{p_N} \hat{s}_{N,N} \end{bmatrix} + n_k$$

여기서, y_k 는 수신 신호 벡터, H_k 는 기지국과 k 번째 사용자 단말기 사이의 채널 행렬, W_k 는 k 번째 신호에 대한 프리코딩 행렬, s_k 는 k 번째 신호에 대한 슈퍼포지션 코딩된 신호, n_k 는 k 번째 사용자 단말기로 전송되는

수신 잡음, $H_{eff,k}$ 는 k 번째 사용자 단말기의 유효 채널, p 는 각 심볼에 할당되는 전력, \hat{s} 는 추정신호에 중첩되어 있는 각 추정 심볼이다.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 복수의 사용자 단말기는,

선형 검출 기법 및 비선형 검출 기법 중 어느 하나를 적용하는 상기 MIMO 검출 기법을 이용하여 상기 각 사용자 단말기 별로 수신된 신호를 각각 검출하고,

검출된 사용자 단말기의 수신 신호를 다음의 수학적식과 같이 정의하는 MU-MIMO 하향링크 시스템:

$$\hat{\mathbf{s}}_k + \mathbf{n}_k = \begin{bmatrix} \hat{s}_1 \\ \hat{s}_2 \\ \vdots \\ \hat{s}_{N_t} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ \vdots \\ n_{N_r} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt{p_1} \hat{s}_{1,1} + \sqrt{p_2} \hat{s}_{1,2} + \dots + \sqrt{p_N} \hat{s}_{1,N} \\ \sqrt{p_1} \hat{s}_{2,1} + \sqrt{p_2} \hat{s}_{2,2} + \dots + \sqrt{p_N} \hat{s}_{2,N} \\ \vdots \\ \sqrt{p_1} \hat{s}_{N_t,1} + \sqrt{p_2} \hat{s}_{N_t,2} + \dots + \sqrt{p_N} \hat{s}_{N_t,N} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ \vdots \\ n_{N_r} \end{bmatrix}$$

여기서, $\hat{\mathbf{s}}$ 는 MIMO 검출 기법으로부터 검출된 추정 신호, \hat{s} 는 $\hat{\mathbf{s}}$ 에 중첩되어 있는 각 추정 심볼, n 은 수신 잡음, N 은 중첩되는 심볼의 수, N_t 는 송신안테나의 개수, N_r 은 수신안테나의 개수이다.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 복수의 사용자 단말기는,

상기 슈퍼포지션 코딩을 복조하는 상기 SIC 검출 기법을 이용하여 상기 사용자 단말기에서 각 심볼에 할당된 전력에 따라 가장 높은 전력을 할당받은 신호부터 차례로 검출하여 연속적으로 간섭 신호를 제거하여 상기 심볼들을 각각 검출하는 MU-MIMO 하향링크 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 MU-MIMO 하향링크 시스템 및 다차원을 이용한 전송률 향상 방법에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 MU-MIMO(Multi User-Multiple Input Multiple Output) 하향링크 시스템에서 데이터 전송 시 공간 영역과 전력 영역을 동시에 사용하여 무선 통신시스템의 전송률이 향상되도록 하는 MU-MIMO 하향링크 시스템 및 다차원을 이용한 전송률 향상 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 무선통신 시스템에서 전송률 향상 및 높은 스펙트럼 효율에 대한 요구는 점차 증대되어 왔다. 이러한 요구를 만족하기 위해 point-to-point MIMO(Multiple Input Multiple Output) 기법에서부터 MU-MIMO(Multi User-Multiple Input Multiple Output) 기법까지 점차적으로 발전되고 있다.

[0003] 이중 MU-MIMO 기법은 다중 사용자 환경에서 공간 영역을 활용하여 동일한 주파수와 시간상에서 다수의 데이터를 다중 사용자에게 전송할 수 있는 다중 접속(multiple access)을 의미하며, 쉽게 말해 스마트 안테나 기술로 무선 신호를 전송하는 기지국과 단말기 사이에 여러 개의 안테나를 사용하여 무선 인터넷 전송 속도를 향상시키는 기법이다.

[0004] 이러한 MU-MIMO 기법의 핵심은 다중 사용자간의 간섭을 제거하기 위한 송신단에서의 프리코딩(Precoding) 기법

에 있다. 또한 이러한 MU-MIMO 기법은 주로 시스템 전반의 채널 용량을 향상시키는 것을 목적으로 하고 있으며, 그에 따른 다양한 프리코딩 기법들이 연구되고 있다.

[0005] 본 발명의 배경이 되는 기술은 대한민국 등록특허공보 제10-1478277호(2014.12.31. 공고)에 개시되어 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 MU-MIMO(Multi User-Multiple Input Multiple Output) 하향링크 시스템에서 데이터 전송 시 프리코딩(Precoding) 기법을 이용한 공간 영역과 슈퍼포지션 코딩(Superposition Coding) 기법을 이용한 전력 영역을 동시에 사용하여 무선 통신시스템의 전송률이 향상되도록 하는 MU-MIMO 하향링크 시스템 및 다차원을 이용한 전송률 향상 방법을 제공하기 위한 것이다.

과제의 해결 수단

[0007] 이러한 기술적 과제를 이루기 위한 본 발명의 실시예에 따른 MU-MIMO 하향링크 시스템에서 다차원을 이용한 전송률 향상 방법은, N개의 안테나가 구비된 송신기가 전력 영역을 이용하여 각각 N개의 안테나가 구비된 복수의 사용자 단말기가 각각 수신하고자 하는 하나의 신호마다 복수의 심볼을 중첩시키기 위한 슈퍼포지션 코딩(SC)을 각 신호마다 수행하는 단계; 상기 송신기가 공간 영역을 이용하여 슈퍼포지션 코딩된 신호에서 다중 사용자간 간섭 신호를 제거하기 위한 프리코딩을 각 신호마다 수행하는 단계; 상기 송신기가 각각 프리코딩된 신호들을 합쳐서 기지국에 전송하는 단계; N개의 안테나가 구비된 상기 기지국이 상기 합쳐진 신호를 상기 복수의 사용자 단말기로 각각 전송하는 단계; 상기 사용자 단말기별로 MIMO(Multiple Input Multiple Output) 검출 기법을 이용하여 상기 수신된 신호를 각각 검출하는 단계; 및 상기 사용자 단말기가 연속적으로 간섭 신호를 제거하기 위한 SIC(successive interference cancellation) 검출 기법을 이용하여 각 안테나별 중첩된 심볼들을 각각 검출하는 단계를 포함한다.

[0008] 또한, 슈퍼포지션 코딩을 각 신호마다 수행하는 단계는 상기 송신기는 다음의 수학적식을 이용하여 복수의 심볼을 중첩시키기 위한 상기 슈퍼포지션 코딩을 수행할 수 있다.

$$s_k = \begin{bmatrix} \sqrt{p_1} \tilde{s}_{1,1} + \sqrt{p_2} \tilde{s}_{1,2} + \dots + \sqrt{p_N} \tilde{s}_{1,N} \\ \sqrt{p_1} \tilde{s}_{2,1} + \sqrt{p_2} \tilde{s}_{2,2} + \dots + \sqrt{p_N} \tilde{s}_{2,N} \\ \vdots \\ \sqrt{p_1} \tilde{s}_{N,1} + \sqrt{p_2} \tilde{s}_{N,2} + \dots + \sqrt{p_N} \tilde{s}_{N,N} \end{bmatrix}$$

[0009] 여기서, s_k 는 슈퍼포지션 코딩된 신호, N 은 중첩되는 심볼의 수, \tilde{s} 는 하나의 신호에 중첩되는 각 심볼, p 는 각 심볼에 할당되는 전력이다.

[0011] 또한, 상기 프리코딩을 각 신호마다 수행하는 단계는 블록 대각화(block diagonalization, BD) 기법을 이용하여 다중 사용자간 간섭 신호를 완전히 제거하되, 상기 간섭 신호를 제거하기 위한 프리코딩 행렬을 다음의 수학적식과 같이 정의하고,

$$\tilde{H}_k W_k = 0, k = 1, \dots, K$$

[0012] k 번째 신호의 채널 행렬을 제외한 다른 신호의 모든 채널 행렬을 다음의 수학적식과 같이 정의하며,

$$\tilde{H}_k = [H_1^T \dots H_{k-1}^T H_{k+1}^T \dots H_K^T]^T$$

[0015] 상기 다른 신호의 모든 채널 행렬에 특이값 분해를 적용하여 다음의 수학적식을 가지는 프리코딩 행렬을 결정할 수 있다.

$$\tilde{H}_k = U_k \Lambda_k [V_k^{(1)} V_k^{(0)}]^H$$

[0016]

[0017] 여기서, W_k 는 k 번째 신호에 대한 프리코딩 행렬, \tilde{H}_k 는 k 번째 신호의 채널 행렬을 제외한 다른 신호의 모든 채널 행렬, Λ_k 는 \tilde{H}_k 의 특이값을 대각성분으로 가지는 대각 행렬, k 는 송신 신호의 인덱스, $V_k^{(1)}$ 는 0이 아닌 특이값을 가지는 우측 특이 벡터 행렬, $V_k^{(0)}$ 는 0의 특이값을 가지는 우측 특이 벡터 행렬이다.

[0018] 또한, 상기 사용자 단말기는 다중 사용자간 간섭 신호가 제거된 k 번째 사용자 단말기의 수신 신호를 다음의 수학적식과 같이 정의할 수 있다.

$$y_k = H_k W_k s_k + n_k = H_{eff,k} s_k + n_k$$

[0019]

$$y_k = H_{eff,k} s_k + n_k = H_{eff,k} \begin{bmatrix} \sqrt{p_1} \hat{s}_{1,1} + \sqrt{p_2} \hat{s}_{1,2} + \dots + \sqrt{p_N} \hat{s}_{1,N} \\ \sqrt{p_1} \hat{s}_{2,1} + \sqrt{p_2} \hat{s}_{2,2} + \dots + \sqrt{p_N} \hat{s}_{2,N} \\ \vdots \\ \sqrt{p_1} \hat{s}_{N_r,1} + \sqrt{p_2} \hat{s}_{N_r,2} + \dots + \sqrt{p_N} \hat{s}_{N_r,N} \end{bmatrix} + n_k$$

[0020]

[0021] 여기서, y_k 는 수신 신호 벡터, H_k 는 기지국과 k 번째 사용자 단말기 사이의 채널 행렬, W_k 는 k 번째 신호에 대한 프리코딩 행렬, s_k 는 k 번째 신호에 대한 슈퍼포지션 코딩된 신호, n_k 는 k 번째 사용자 단말기로 전송되는 수신 잡음, $H_{eff,k}$ 는 k 번째 사용자 단말기의 유효 채널, p 는 각 심볼에 할당되는 전력, \hat{s} 은 추정신호에 중첩되어 있는 각 추정 심볼이다.

[0022] 또한, 상기 수신된 신호를 각각 검출하는 단계는 선형 검출 기법 및 비선형 검출 기법 중 어느 하나를 적용하는 상기 MIMO 검출 기법을 이용하여 상기 각 사용자 단말기 별로 수신된 신호를 각각 검출하고, 검출된 사용자 단말기의 수신 신호를 다음의 수학적식과 같이 정의할 수 있다.

$$\hat{s}_k + n_k = \begin{bmatrix} \hat{s}_1 \\ \hat{s}_2 \\ \vdots \\ \hat{s}_{N_r} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ \vdots \\ n_{N_r} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt{p_1} \hat{s}_{1,1} + \sqrt{p_2} \hat{s}_{1,2} + \dots + \sqrt{p_N} \hat{s}_{1,N} \\ \sqrt{p_1} \hat{s}_{2,1} + \sqrt{p_2} \hat{s}_{2,2} + \dots + \sqrt{p_N} \hat{s}_{2,N} \\ \vdots \\ \sqrt{p_1} \hat{s}_{N_r,1} + \sqrt{p_2} \hat{s}_{N_r,2} + \dots + \sqrt{p_N} \hat{s}_{N_r,N} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ \vdots \\ n_{N_r} \end{bmatrix}$$

[0023]

[0024] 여기서, \hat{s} 는 MIMO 검출 기법으로부터 검출된 추정 신호, \hat{s} 는 \hat{s} 에 중첩되어 있는 각 추정 심볼, n 은 수신 잡음, N 은 중첩되는 심볼의 수, N_t 는 송신안테나의 개수, N_r 은 수신안테나의 개수이다.

[0025] 또한, 상기 각 안테나별 중첩된 심볼들을 각각 검출하는 단계는 상기 슈퍼포지션 코딩을 복조하는 상기 SIC 검출 기법을 이용하여 상기 사용자 단말기에서 각 심볼에 할당된 전력에 따라 가장 높은 전력을 할당받은 신호부터 차례로 검출하여 연속적으로 간섭 신호를 제거하여 상기 심볼들을 각각 검출할 수 있다.

[0026] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 MU-MIMO 하향링크 시스템은 N개의 안테나가 구비되며, 전력 영역을 이용하여 각각 N개의 안테나가 구비된 복수의 사용자 단말기가 각각 수신하고자 하는 하나의 신호마다 복수의 심볼을 중첩시키기 위한 슈퍼포지션 코딩(SC)을 각 신호마다 수행하고, 공간 영역을 이용하여 슈퍼포지션 코딩된 신호에서 다중 사용자간 간섭 신호를 제거하기 위한 프리코딩을 각 신호마다 수행하여, 각각 프리코딩된 신호들을 합쳐서 기지국에 전송하는 송신기; N개의 안테나가 구비되며, 상기 합쳐진 신호를 상기 복수의 사용자 단말기로 각각 전송하는 상기 기지국; 및 각각 N개의 안테나가 구비되며, MIMO(Multiple Input Multiple Output) 검출 기법을 이용하여 상기 수신된 신호를 각각 검출하고, 연속적으로 간섭 신호를 제거하기 위한 SIC(successive interference cancellation) 검출 기법을 이용하여 각 안테나별로 중첩된 심볼들을 각각 검출하는 복수의 사용자 단말기를 포함한다.

발명의 효과

[0027] 이와 같이 본 발명에 따르면, MU-MIMO(Multi User-Multiple Input Multiple Output) 하향링크 시스템에서 데이터 전송 시 프리코딩 기법을 이용한 공간 영역과 슈퍼포지션 코딩 기법을 이용한 전력 영역을 동시에 사용함으로써 동일한 자원을 각 영역에서 보다 효율적으로 사용할 수 있어 신호 전송률을 향상시킬 수 있는 효과가 있다.

[0028] 또한 본 발명에 따르면, 무선 통신 시스템의 스펙트럼 효율이 향상됨에 따라 더 많은 사용자에게 보다 좋은 무선 서비스를 제공할 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0029] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 MU-MIMO 하향링크 시스템을 나타낸 시스템구성도이다.
 도 2는 도 1의 송신기의 세부 구조를 나타낸 도면이다.
 도 3은 도 1의 사용자 단말기의 세부 구조를 나타낸 도면이다.
 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 MU-MIMO 하향링크 시스템에서 다차원을 이용한 전송률 향상 방법의 동작 흐름을 도시한 순서도이다.
 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 MU-MIMO 하향링크 시스템에서 다차원을 이용한 전송률 향상 방법의 신호 전송 성능을 입증하기 위한 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0030] 이하 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 바람직한 실시예를 상세히 설명하기로 한다. 이 과정에서 도면에 도시된 선들의 두께나 구성요소의 크기 등은 설명의 명료성과 편의상 과장되게 도시되어 있을 수 있다.

[0031] 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.

[0032] 먼저, 도 1을 통해 본 발명의 실시예에 따른 MU-MIMO 하향링크 시스템에 대하여 설명한다.

[0033] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 MU-MIMO 하향링크 시스템을 나타낸 시스템구성도이다.

[0034] 도 1에서와 같이 본 발명의 실시예에 따른 MU-MIMO 하향링크 시스템은, 송신기(100), 기지국(200) 및 사용자 단말기(300)를 포함한다.

[0035] 먼저, 송신기(100)는 N개의 안테나가 구비되며, 전력 영역을 이용하여 각각 N개의 안테나가 구비된 복수의 사용자 단말기(300)가 각각 수신하고자 하는 하나의 신호마다 복수의 심볼을 중첩시키기 위한 슈퍼포지션 코딩(SC)을 각 신호마다 수행하고, 공간 영역을 이용하여 슈퍼포지션 코딩된 신호에서 다중 사용자간 간섭 신호를 제거하기 위한 프리코딩을 각 신호마다 수행하여, 각각 프리코딩된 신호들을 합쳐서 기지국(200)에 전송한다.

[0036] 그리고 기지국(200)은 N개의 안테나(Tx)가 구비되며, 송신기(100)로부터 합쳐진 신호를 수신하여 복수의 사용자 단말기(300)로 각각 전송한다.

[0037] 마지막으로 복수의 사용자 단말기(300)는 사용자 단말기(300) 별로 각각 N개의 안테나(Rx)가 구비되며, MIMO(Multiple Input Multiple Output) 검출 기법을 이용하여 기지국(200)으로부터 수신된 신호를 각각 검출하

고, 연속적으로 간섭 신호를 제거하기 위한 SIC(successive interference cancellation) 검출 기법을 이용하여 각 안테나(Rx)별로 중첩된 심볼들을 각각 검출한다.

[0038] 본 발명의 실시예에서는 N_t 개의 송신안테나와 각 사용자 단말기(300) 당 N_r 개의 수신안테나를 가진 MU-MIMO 하향링크 시스템으로, 주파수 선택적 페이딩은 직교주파수분할(orthogonal frequency division multiplexing, OFDM) 변조에 의해서 극복이 가능하므로 기지국(200)과 사용자 단말기(300) 사이의 MIMO 채널은 주파수 평탄 페이딩을 가정한다.

[0039] 본 발명의 실시예에 따른 MU-MIMO 하향링크 시스템 모델에서 k 번째 사용자 단말(300)의 송신 신호 벡터 \mathbf{x}_k 와 수신 신호 벡터 \mathbf{y}_k 는 다음의 수학적 식 1과 같이 정의될 수 있다.

수학적 식 1

$$\mathbf{x}_k = \mathbf{W}_k \mathbf{s}_k$$

$$\mathbf{y}_k = \mathbf{H}_k \mathbf{W}_k \mathbf{s}_k + \sum_{j=1, j \neq k}^K \mathbf{H}_k \mathbf{W}_j \mathbf{s}_j + \mathbf{n}_k \quad k = 1, \dots, K$$

[0040]

[0041] 여기서, k 와 j 는 송신 신호의 인덱스, \mathbf{W}_k 는 k 번째 송신 신호에 대한 $N_t \times N_r$ 크기의 프리코딩 행렬, \mathbf{s}_k 는 $N_r \times 1$ 크기의 슈퍼포지션 코딩된 신호, \mathbf{x}_k 는 $N_r \times 1$ 크기의 프리코딩된 신호, \mathbf{H}_k 는 기지국(200)과 k 번째 사용자 단말기(300) 사이의 $N_t \times N_r$ 크기의 채널 행렬, \mathbf{n}_k 는 k 번째 사용자 단말기로 전송되는 수신 잡음이다.

[0042] 도 2는 도 1의 송신기의 세부 구조를 나타낸 도면이다.

[0043] 도 2에서와 같이 송신기(100)는 복수의 심볼을 중첩시키기 위한 슈퍼포지션 코딩을 수행하는 슈퍼포지션 코딩 모듈(110)과, 다중 사용자간 간섭 신호를 완전히 제거하는 프리코딩을 수행하기 위한 프리코딩 모듈(120)을 포함한다.

[0044] 이때, 슈퍼포지션 코딩 모듈(110)과 프리코딩 모듈(120)은 사용자 단말기(300)의 개수와 동일하게 구비된다.

[0045] 슈퍼포지션 코딩 모듈(110)은 전력 영역을 이용하여 복수의 심볼을 전송하기 위해 다음의 수학적 식 2를 이용하여 슈퍼포지션 코딩을 수행한다.

수학적 식 2

$$\mathbf{s}_k = \begin{bmatrix} \sqrt{p_1} \tilde{s}_{1,1} + \sqrt{p_2} \tilde{s}_{1,2} + \dots + \sqrt{p_N} \tilde{s}_{1,N} \\ \sqrt{p_1} \tilde{s}_{2,1} + \sqrt{p_2} \tilde{s}_{2,2} + \dots + \sqrt{p_N} \tilde{s}_{2,N} \\ \vdots \\ \sqrt{p_1} \tilde{s}_{N,1} + \sqrt{p_2} \tilde{s}_{N,2} + \dots + \sqrt{p_N} \tilde{s}_{N,N} \end{bmatrix}$$

[0046]

[0047] 여기서, \mathbf{s}_k 는 슈퍼포지션 코딩된 신호, N 은 중첩되는 심볼의 수, \tilde{s} 는 하나의 신호에 중첩되는 각 심볼, p 는 각 심볼에 할당되는 전력이다.

[0048] 이때, p 는 수신단에서의 검출을 위해 $p_1 < p_2 < \dots < p_N$ 의 전력 차이에 따라 할당되고, 전력 영역의 파워가 다르게

할당되는 것을 이용하여 슈퍼포지션 코딩을 수행하며, 각 사용자 단말기에게 총 $N_r \times N$ 개의 데이터 심볼이 송신된다.

[0049] 그리고 프리코딩 모듈(120)은 블록 대각화(block diagonalization, BD) 기법을 이용하여 다중 사용자간 간섭 신호를 완전히 제거하되, 간섭 신호를 제거하기 위한 프리코딩 행렬을 다음의 수학적 식 3과 같이 정의할 수 있다.

수학적 식 3

$$\tilde{H}_k W_k = 0, k = 1, \dots, K$$

[0050]

[0051] 여기서, \tilde{H}_k 는 k 번째 신호의 채널 행렬을 제외한 다른 신호의 모든 채널 행렬, W_k 는 k 번째 신호에 대한 프리코딩 행렬, k 는 송신 신호의 인덱스이다.

[0052] 또한, k 번째 신호의 채널 행렬을 제외한 다른 신호의 모든 채널 행렬을 다음의 수학적 식 4와 같이 정의할 수 있다.

수학적 식 4

$$\tilde{H}_k = [H_1^T \dots H_{k-1}^T H_{k+1}^T \dots H_K^T]^T$$

[0053]

[0054] 여기서, 수학적 식 4에 특이값 분해를 적용하여 다음의 수학적 식 5를 가지는 프리코딩 행렬을 결정할 수 있다.

수학적 식 5

$$\tilde{H}_k = U_k \Lambda_k [V_k^{(1)} V_k^{(0)}]^H$$

[0055]

[0056] 여기서, Λ_k 는 \tilde{H}_k 의 특이값을 대각성분으로 가지는 대각 행렬, $V_k^{(1)}$ 는 0이 아닌 특이값을 가지는 우측 특이 벡터 행렬, $V_k^{(0)}$ 는 0의 특이값을 가지는 우측 특이 벡터 행렬이다.

[0057] 따라서 $V_k^{(0)}$ 는 \tilde{H}_k 의 영공간의 직교기저가 되며 다중 사용자 간의 간섭을 제거할 수 있는 프리코딩 행렬이 된다.

[0058] 송신기(100)는 각각 프리코딩된 신호들을 합쳐서 기지국(200)에 전송하고, 기지국(200)은 송신기(100)로부터 수신한 신호들을 사용자 단말기(300)로 각각 전송한다.

[0059] 도 3은 도 1의 사용자 단말기의 세부 구조를 나타낸 도면이다.

[0060] 다중 사용자 간섭이 제거된 k 번째 사용자 단말기(300)의 수신 신호는 다음의 수학적 식 6과 같이 정의될 수 있다.

수학식 6

$$y_k = H_k W_k s_k + n_k = H_{eff,k} s_k + n_k$$

[0061]

[0062] 여기서, y_k 는 수신 신호 벡터, H_k 는 기지국과 k 번째 사용자 단말기 사이의 채널 행렬, W_k 는 k 번째 신호에 대한 프리코딩 행렬, s_k 는 k 번째 신호에 대한 슈퍼포지션 코딩된 신호, n_k 는 k 번째 사용자 단말기로 전송되는 수신 잡음, $H_{eff,k}$ 는 k 번째 사용자 단말기의 유효 채널이다.

[0063] 다중 사용자 간의 간섭이 완전히 제거되었으므로, 각 사용자 단말기(300)는 온전한 신호를 수신할 수 있다. 결과적으로, 본 발명의 실시예에 따르면 전력 영역과 공간 영역을 동시에 사용함으로써 동일한 자원(주파수/시간) 상에서 더 많은 사용자 단말기(300)에 더 많은 신호를 전송할 수 있게 된다.

[0064] 이때, 수학식 6은 다음의 수학식 7과 같이 정리할 수 있다.

수학식 7

$$y_k = H_{eff,k} s_k + n_k = H_{eff,k} \begin{bmatrix} \sqrt{p_1} \hat{s}_{1,1} + \sqrt{p_2} \hat{s}_{1,2} + \dots + \sqrt{p_N} \hat{s}_{1,N} \\ \sqrt{p_1} \hat{s}_{2,1} + \sqrt{p_2} \hat{s}_{2,2} + \dots + \sqrt{p_N} \hat{s}_{2,N} \\ \vdots \\ \sqrt{p_1} \hat{s}_{N,1} + \sqrt{p_2} \hat{s}_{N,2} + \dots + \sqrt{p_N} \hat{s}_{N,N} \end{bmatrix} + n_k$$

[0065]

[0066] 여기서, p 는 각 심볼에 할당되는 전력, \hat{s} 은 추정신호에 중첩되어 있는 각 추정 심볼이다.

[0067] 사용자 단말기(300)는 수학식 7로부터 선형 검출 기법 및 비선형 검출 기법 중 어느 하나를 적용하는 MIMO 검출 기법을 이용하여 각 사용자 단말기(300) 별로 수신된 신호를 각각 검출하고, 검출된 사용자 단말기의 수신 신호를 다음의 수학식 8과 같이 정의할 수 있다.

[0068] 자세히는, ZF(zero-forcing) 또는 MMSE(minimum mean squared error)와 같이 복잡도가 낮은 선형 검출 기법부터 OSIC(ordered successive interference cancellation), DFE(decision feedback equalizer) 및 ML(maximum likelihood)와 같은 다양한 비선형 검출 기법이 적용될 수도 있다.

[0069] ML 검출 기법은 복잡도는 가장 높지만 BER(bit error rate) 측면에서는 최적의 성능을 가진다.

[0070] 본 발명의 실시예에서는 추가적인 SIC(successive interference cancellation) 검출 기법을 수행함에 있어 조금 더 높은 BER성능과 추가적인 검출 오류 전파를 막기 위하여 ML 검출 기법을 적용하는 것이 가장 바람직하기에 한정하는 것은 아니다.

[0071] 따라서 너무 높은 복잡도를 방지하기 위해 ML 검출 기법에 비해 매우 낮은 복잡도를 지니면서 동일한 오류 성능을 가지는 QRD-M(QR decomposition-M) 알고리즘 검출 기법이 적용될 수도 있다. 적절한 MIMO 검출 기법을 이용하여 검출된 k 번째 사용자 단말기(300)로 전송되는 신호는 다음의 수학식 8과 같이 정의될 수 있다.

수학식 8

$$\hat{\mathbf{s}}_k + \mathbf{n}_k = \begin{bmatrix} \hat{s}_1 \\ \hat{s}_2 \\ \vdots \\ \hat{s}_{N_r} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ \vdots \\ n_{N_r} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt{p_1} \hat{s}_{1,1} + \sqrt{p_2} \hat{s}_{1,2} + \dots + \sqrt{p_N} \hat{s}_{1,N} \\ \sqrt{p_1} \hat{s}_{2,1} + \sqrt{p_2} \hat{s}_{2,2} + \dots + \sqrt{p_N} \hat{s}_{2,N} \\ \vdots \\ \sqrt{p_1} \hat{s}_{N_r,1} + \sqrt{p_2} \hat{s}_{N_r,2} + \dots + \sqrt{p_N} \hat{s}_{N_r,N} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ \vdots \\ n_{N_r} \end{bmatrix}$$

[0072]

[0073] 여기서, $\hat{\mathbf{s}}$ 는 MIMO 검출 기법으로부터 검출된 추정 신호, \hat{s} 는 $\hat{\mathbf{s}}$ 에 중첩되어 있는 각 추정 심볼, n 은 수신 잡음, N 은 중첩되는 심볼의 수, N_t 는 송신안테나의 개수, N_r 은 수신안테나의 개수이다.

[0074] 수학식 8은 MIMO 검출이 적용되었지만 각 사용자 단말기(300)의 수신안테나에서 SIC 검출 기법이 적용되지 않은 완전히 복조되지 않은 신호이다.

[0075] 따라서 각 사용자 단말기(300)별 심볼을 검출하기 위한 SIC 검출을 수행해야 한다.

[0076] 이때, 복수의 사용자 단말기(300)는, 슈퍼포지션 코딩을 복조하는 SIC 검출 기법을 이용하여 사용자 단말기(300)에서 각 심볼에 할당된 전력에 따라 가장 높은 전력을 할당받은 신호부터 차례로 검출하여 연속적으로 간섭 신호를 제거하여 심볼들을 각각 검출한다.

[0077] 예를 들어 $N=2$, 즉 하나의 신호에 중첩된 심볼이 2개라고 가정하여 $p_1 < p_2$ 라고 가정하면, 수학식 8은 다음의 수학식 9와 같이 다시 정의될 수 있다.

수학식 9

$$\hat{\mathbf{s}}_k + \mathbf{n}_k = \begin{bmatrix} \hat{s}_1 \\ \hat{s}_2 \\ \vdots \\ \hat{s}_{N_r} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ \vdots \\ n_{N_r} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt{p_1} \hat{s}_{1,1} + \sqrt{p_2} \hat{s}_{1,2} \\ \sqrt{p_1} \hat{s}_{2,1} + \sqrt{p_2} \hat{s}_{2,2} \\ \vdots \\ \sqrt{p_1} \hat{s}_{N_r,1} + \sqrt{p_2} \hat{s}_{N_r,2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ \vdots \\ n_{N_r} \end{bmatrix}$$

[0078]

[0079] 여기서, 각 안테나 당 할당 전력이 p_2 인 심볼부터 검출하여 SIC를 적용하면 모든 수신 심볼들을 검출할 수 있다.

[0080] 즉, 수학식 9에서 첫 번째 안테나의 검출 신호에 SIC 기법을 적용한다고 가정하면, 수학식 9의 첫 번째 안테나의 신호는 다음의 수학식 10과 같이 표현될 수 있다.

수학식 10

$$\hat{s}_1 + n_1 = \sqrt{p_1} \hat{s}_{1,1} + \sqrt{p_2} \hat{s}_{1,2} + n_1$$

[0081]

[0082] 여기서, 비교적 신호의 전력이 작은 $\sqrt{p_1} \hat{s}_{1,1}$ 를 잡음 취급하여 첫 번째 안테나의 검출 신호를 복조하게 되

면 p_2 로 비교적 전력이 많이 할당된 $\hat{s}_{1,2}$ 심볼을 복조할 수 있다.

[0083] 이때, 수학식 10의 수신 신호에서 복조하여 얻게 된 $\hat{s}_{1,2}$ 에 대한 복조 신호를 $\hat{s}_{1,2}^d$ 로 표현할 수 있다. 그리

고, 수학식 10에서 복조된 심볼 $\hat{s}_{1,2}^d$ 를 뺀 신호를 복조하게 되면, $\hat{s}_{1,1}$ 에 대한 심볼을 복조할 수 있다.

[0084] 다음의 수학식 11은 수학식 10에서의 검출을 위하여 먼저 복조된 신호 $\hat{s}_{1,2}^d$ 를 제거한 것이다.

수학식 11

$$\sqrt{p_1} \hat{s}_{1,1} + \sqrt{p_2} \hat{s}_{1,2} + n_1 - \sqrt{p_2} \hat{s}_{1,2}^d$$

[0085]

[0086] 수학식 11을 복조하여 $\hat{s}_{1,1}$ 의 복조된 심볼 $\hat{s}_{1,1}^d$ 를 구할 수 있다. 이러한 연속적인 SIC 과정을 통해 모든 수신 신호의 심볼을 검출할 수 있다.

[0087] 이하에서는 도 4 및 도 5를 통해 본 발명의 실시예에 따른 MU-MIMO 하향링크 시스템에서 다차원을 이용한 전송률 향상 방법에 대하여 설명한다.

[0088] 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 MU-MIMO 하향링크 시스템에서 다차원을 이용한 전송률 향상 방법의 동작 흐름을 도시한 순서도로서, 이를 참조하여 본 발명의 구체적인 동작을 설명한다.

[0089] 본 발명의 실시예에 따르면, 먼저, N개의 안테나가 구비된 송신기(100)가 전력 영역을 이용하여 각각 N개의 안테나가 구비된 복수의 사용자 단말기(300)가 각각 수신하고자 하는 하나의 신호마다 복수의 심볼을 중첩시키기 위한 슈퍼포지션 코딩(SC)을 각 신호마다 수행한다(S410).

[0090] 이때, S410 단계에서는 수학식 2를 이용하여 복수의 심볼을 중첩시키기 위한 슈퍼포지션 코딩을 수행한다.

[0091] 그 다음, 송신기(100)가 공간 영역을 이용하여 슈퍼포지션 코딩된 신호에서 다중 사용자간 간섭 신호를 제거하기 위한 프리코딩을 각 신호마다 수행한다(S420).

[0092] 이때, S420 단계에서는 수학식 3 내지 5를 이용하여 다중 사용자간 간섭 신호를 제거하기 위한 프리코딩을 수행한다.

[0093] 그 다음, 송신기(100)가 각각 프리코딩된 신호들을 합쳐서 기지국(200)에 전송한다(S430, S440).

[0094] 그 다음, N개의 안테나가 구비된 기지국(200)이 S430 단계에서 합쳐진 신호를 복수의 사용자 단말기(300)로 각각 전송한다(S450).

[0095] 그 다음, 각각의 사용자 단말기(300)가 S450 단계에서 수신한 신호를 MIMO(Multiple Input Multiple Output) 검출 기법을 이용하여 각각 검출한다(S460).

[0096] 이때, S460 단계에서는 수학식 8을 이용하여 S450 단계에서 각 사용자 단말기(300) 별로 수신된 신호를 각각 검출한다.

[0097] 마지막으로 각각의 사용자 단말기(300)가 연속적으로 간섭 신호를 제거하기 위한 SIC(successive interference cancellation) 검출 기법을 이용하여 각 안테나별 중첩된 심볼들을 각각 검출한다(S470).

[0098] 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 MU-MIMO 하향링크 시스템의 통신 방법의 신호 전송 성능을 입증하기 위한 그래프이다.

[0099] 도 5의 시뮬레이션에서는 128개의 부반송파를 갖는 직교주파수분할(OFDM) 시스템에서 OFDM 심볼 기간(symbol duration)을 4 마이크로초로 가정했으며, 직교 위상 편이(QPSK) 변조를 사용하였다.

[0100] 도 5의 (A)그래프는 블록 대각화(block diagonalization, BD) 기법을 이용하여 프리코딩만 수행한 경우의 신호 대잡음비(signal to noise power ratio, 이하 SNR)에 따른 전송률(throughput) 성능을 나타낸 그래프이고, (B)그래프는 노마(NOMA) 기법을 이용하여 슈퍼포지션 코딩만 수행한 경우의 SNR에 따른 전송률을 나타낸 그래프이고, (C)그래프는 본 발명의 실시예에 의해 SNR에 따른 전송률을 나타낸 그래프이고, (D) 그래프는 가장 이상적인 경우의 SNR에 따른 전송률을 나타낸 그래프이다.

[0101] 이때, 도 5의 (A)그래프의 경우와, (C)그래프의 경우는 송신안테나(N_t)의 개수 = 4이고, 각 사용자 단말기(300) 당 수신안테나(N_r)의 개수 = 2인 경우의 2대의 사용자 단말기(300)로 구성된 시스템으로 가정했고, (B)그래프의 경우는 송신안테나(N_t)의 개수 = 2이고, 각 사용자 단말기(300) 당 수신안테나(N_r)의 개수 = 1인 경우의 2대의 사용자 단말기(300)로 구성된 시스템으로 가정했다.

[0102] 도 5에서 확인할 수 있듯이, 본 발명의 실시예에 따른 통신 방법인 (C)그래프는 기존의 방법인 (A)그래프 및 (B)그래프에 비하여 높은 전송률을 가지는 것을 알 수 있다.

[0103] 이는 본 발명의 실시예에 따른 통신 방법이 전력 영역과 공간 영역 모두를 사용하여 동일한 자원 내에서 더 많은 데이터를 전송할 수 있기 때문이다. 하지만 본 발명의 실시예에 따른 통신 방법은 심볼을 빠르게 복조하기 위하여 SIC 검출 기법 과정에서 전력이 비교적 낮게 할당된 전력을 잡음으로 취급하기 때문에 이로 인한 오류가 발생할 수 있다.

[0104] 즉, 낮은 SNR 구간에서 기존의 방법인 (A)그래프 및 (B)그래프에 비하여 전송률이 낮은 구간이 존재한다. 이는 SIC 검출 기법의 오류로 인한 오류의 전파가 발생하여 전송된 신호의 복조가 올바르게 이루어지지 않을 경우를 나타낸다.

[0105] 그러나 일정 SNR 이상(약 30dB 가량)의 값에서부터는 (C)그래프의 전송률이 (A) 및 (B)그래프의 전송률보다 높은 것을 확인할 수 있다. 즉, SIC 검출 과정에서 에러가 발생하지 않았다고 가정한 경우를 나타낸 (D)그래프와 큰 차이가 없음을 확인할 수 있다. 이로부터 본 발명의 실시예에 따른 통신 방법은 전력 영역과 공간 영역의 활용이 적절하게 이루어져 전체 시스템의 전송률이 향상되며 주파수 스펙트럼 효율이 향상되었음을 확인할 수 있다.

[0106] 상술한 바와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 MU-MIMO 하향링크 시스템 및 다차원을 이용한 전송률 향상 방법은 MU-MIMO(Multi User-Multiple Input Multiple Output) 하향링크 시스템에서 데이터 전송 시 프리코딩 기법을 이용한 공간 영역과 슈퍼포지션 코딩 기법을 이용한 전력 영역을 동시에 사용함으로써 동일한 자원을 각 영역에서 보다 효율적으로 사용할 수 있어 신호 전송률을 향상시킬 수 있는 효과가 있다.

[0107] 또한 본 발명의 실시예에 따르면, 무선 통신 시스템의 스펙트럼 효율이 향상됨에 따라 더 많은 사용자에게 보다 좋은 무선 서비스를 제공할 수 있는 효과가 있다.

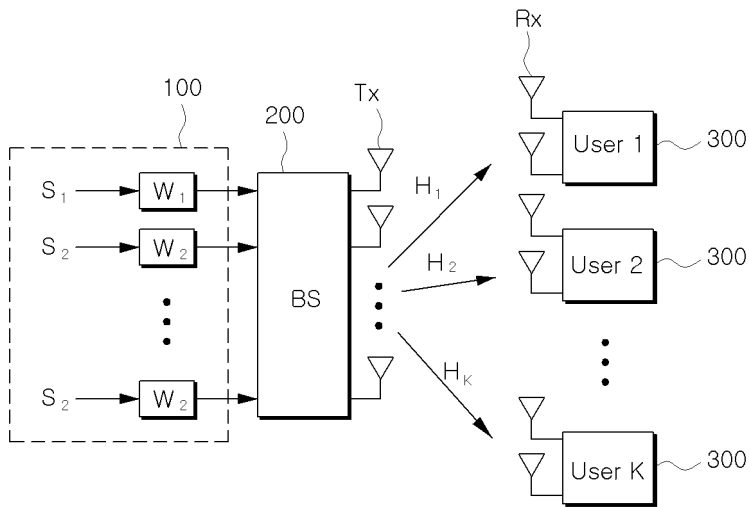
[0108] 본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 하여 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 당해 기술이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서 본 발명의 진정한 기술적 보호범위는 아래의 특허청구범위의 기술적 사상에 의하여 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

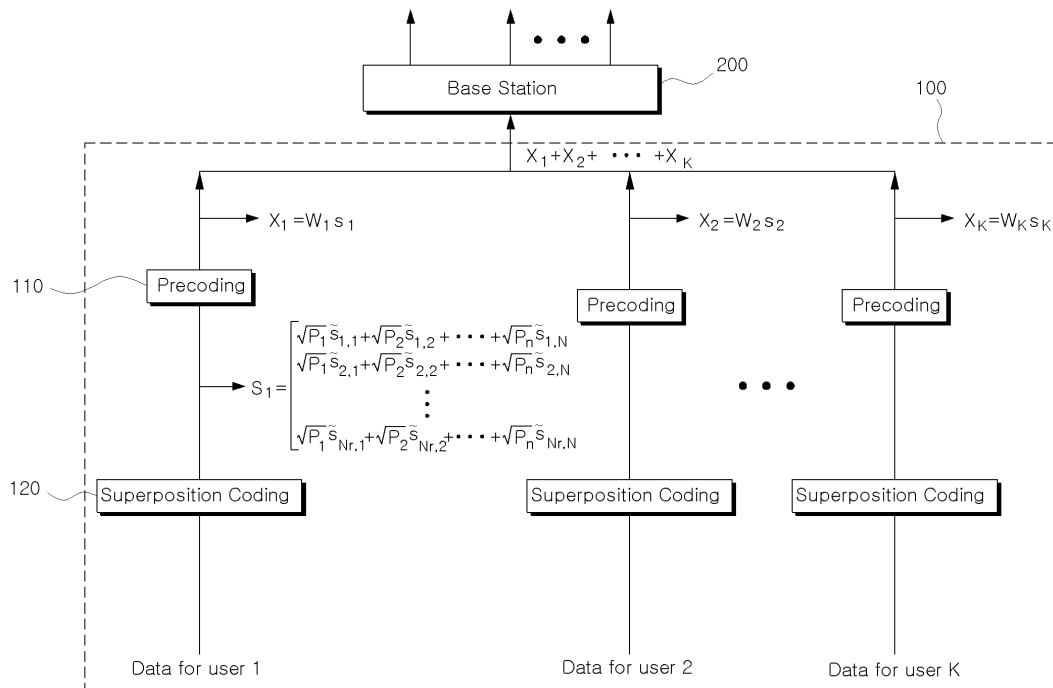
- [0109] 100 : 송신기 110 : 슈퍼포지션 코딩 모듈
- 120 : 프리코딩 모듈 200 : 기지국
- 300 : 사용자 단말기

도면

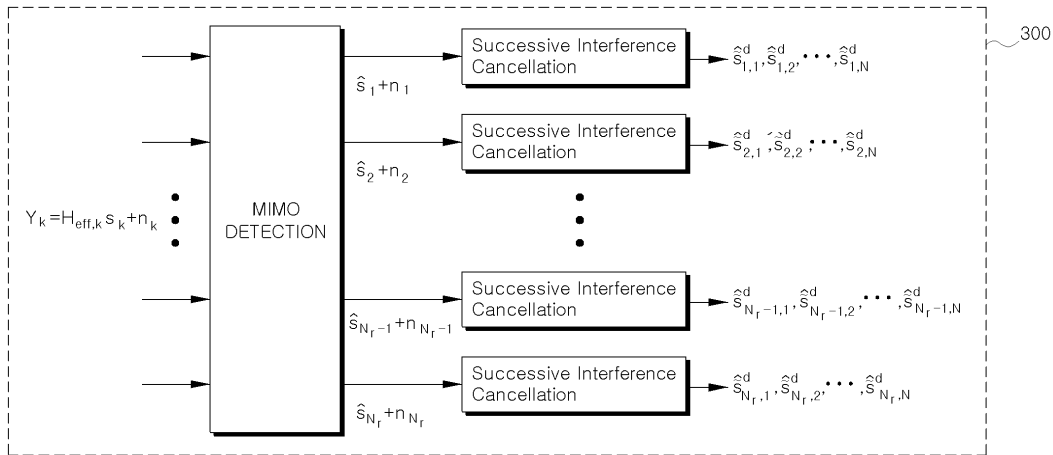
도면1



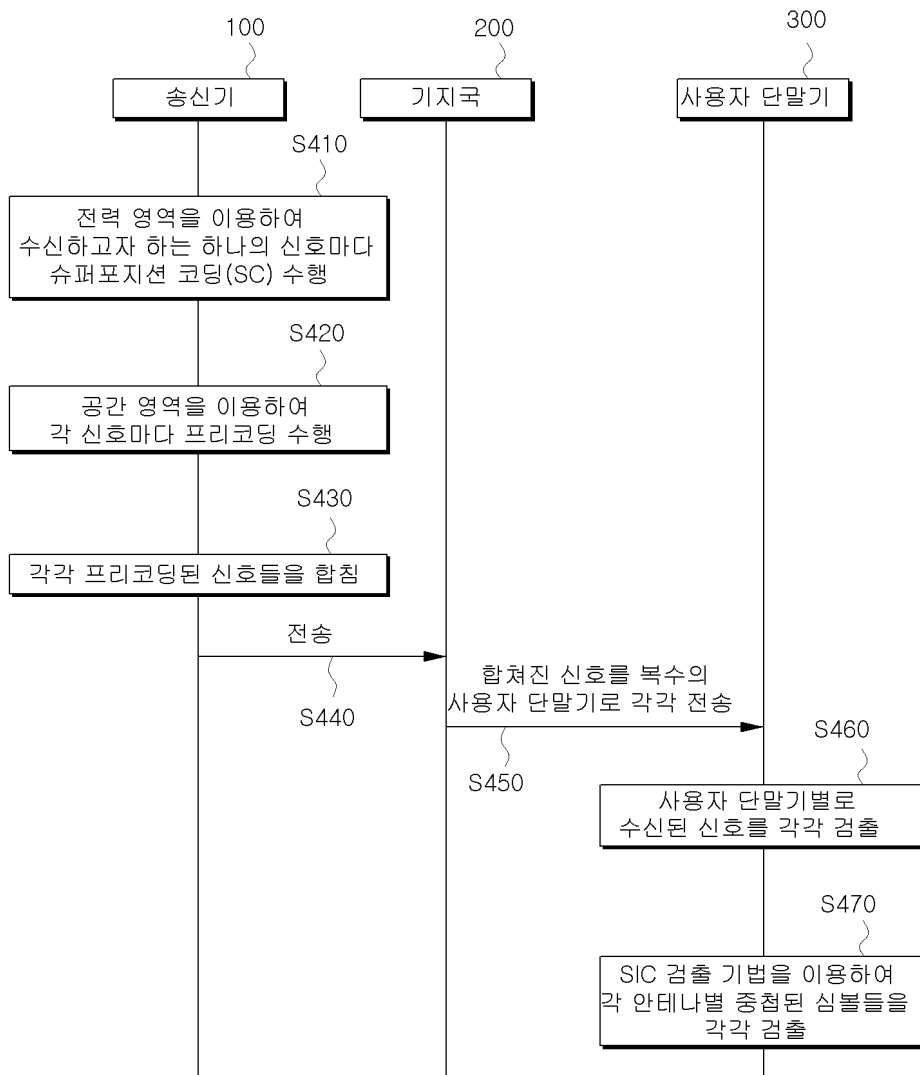
도면2



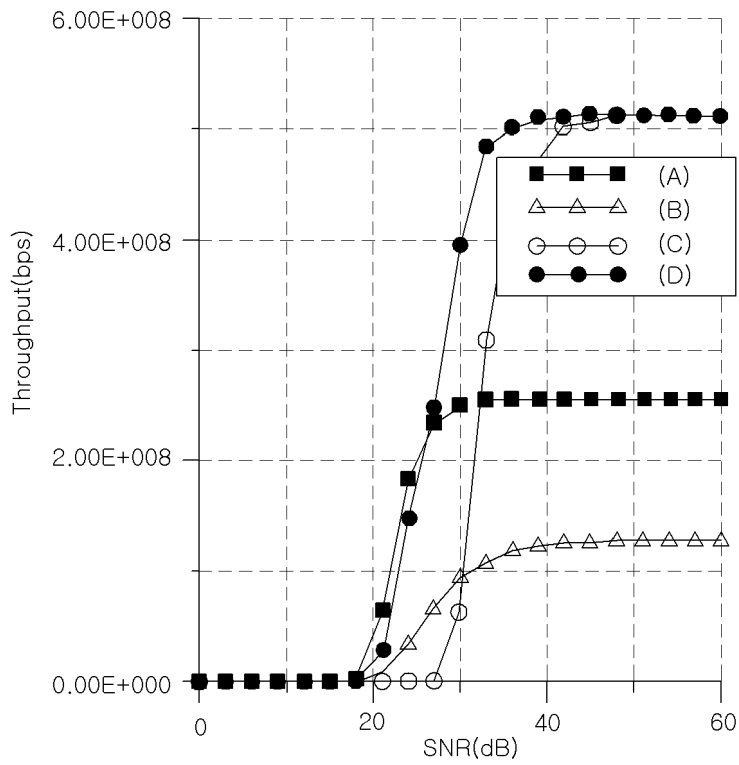
도면3



도면4



도면5



【심사관 직권보정사항】

【직권보정 1】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구항 제10항

【변경전】

제7에 있어서

【변경후】

제7항에 있어서