



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년03월04일  
(11) 등록번호 10-2222671  
(24) 등록일자 2021년02월25일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
H04B 7/026 (2017.01) H04L 25/02 (2006.01)  
H04L 27/26 (2006.01) H04W 40/12 (2009.01)
- (52) CPC특허분류  
H04B 7/026 (2013.01)  
H04L 25/0204 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2020-0092188
- (22) 출원일자 2020년07월24일  
심사청구일자 2020년07월24일
- (56) 선행기술조사문헌  
J.Ryu et al, "Balanced Linear Precoding in Decode-and-Forward based MIMO relay Communications", IEEE Trans.on Wireless Comm., vol.10, NO.7, July 2011(2011.07)\*  
(뒷면에 계속)

- (73) 특허권자  
세종대학교 산학협력단  
서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)
- (72) 발명자  
송형규  
경기도 성남시 분당구 중앙공원로 17, 320동 303호(서현동, 시범단지한양아파트)
- 나유진  
경기도 용인시 수지구 광교마을로 2, 4306동 1903호(상현동, 광교경남아너스빌)
- 백민재  
서울특별시 노원구 동일로230가길 15, 102동 1906호(상계동, 상계우방아파트)
- (74) 대리인  
특허법인태백

전체 청구항 수 : 총 6 항

심사관 : 이미현

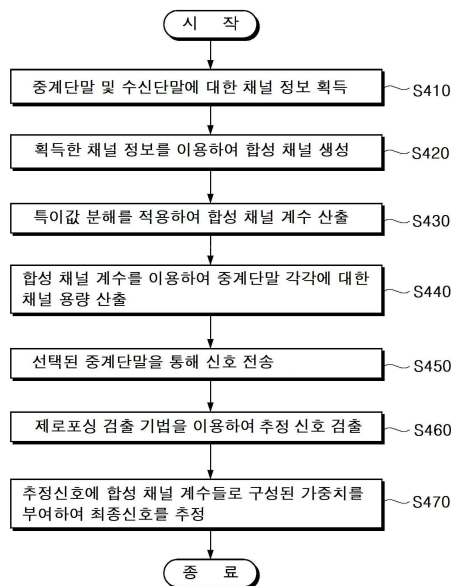
(54) 발명의 명칭 **신뢰성을 향상시키기 위한 MIMO-OFDM 시스템**

(57) 요약

본 발명은 신뢰성을 향상시키기 위한 MIMO-OFDM 시스템에 대한 것이다.

본 발명에 따른 신뢰성을 향상시키기 위한 MIMO-OFDM 시스템은  $N_t$  개의 송신 안테나를 가지며, 중계단말을 통해 MIMO 신호를 전달하는 송신단말, 그리고  $N_r$  개의 수신 안테나를 통해 상기 중계단말로부터 MIMO 신호를 수신하는 (뒷면에 계속)

대표도 - 도4



수신단말을 포함하며, 상기 송신단말은, 상기 송신단말과 수신단말 사이의 채널과 복수의 중계단말 각각과 수신단말 사이의 채널을 매칭한 합성 채널로부터 합성 채널 계수를 추출하고, 추출된 합성 채널 계수를 이용하여 채널 용량을 최대화하는 합성 채널 계수에 대응하는 중계단말을 복수의 중계단말들 중에서 선택하여, 선택된 중계단말을 통해 MIMO 신호를 상기 수신단말로 전송한다.

이와 같이 본 발명에 따르면, 합성 채널의 채널 계수를 이용한 중계단말선정 방법을 제안하여 최적의 중계단말을 선정함으로써 시스템 용량을 최대화하여 무선 통신에서의 전송률을 향상시키며, 보다 신뢰성 높은 무선 통신 서비스를 제공할 수 있는 이점이 있다.

(52) CPC특허분류

- H04L 25/0224* (2013.01)
- H04L 25/0242* (2013.01)
- H04L 25/0258* (2013.01)
- H04L 27/2695* (2021.01)
- H04W 40/12* (2013.01)

(56) 선행기술조사문헌

- W.Kim et al, "Relay Selection Scheme for Multi-hop Transmission of MU-MIMO System," Appl. Sci. September 2018(2018.09.27.)\*
- KR1020180099963 A
- KR101954527 B1
- KR101609100 B1

\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711116145
과제번호	2018-0-01423-003
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	정보통신기획평가원
연구사업명	대학ICT연구센터육성지원사업
연구과제명	지능형 비행로봇 융합 기술 연구
기 여 율	1/1
과제수행기관명	세종대학교 산학협력단
연구기간	2020.01.01 ~ 2020.12.31

공지에외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

신뢰성을 향상시키기 위한 MIMO-OFDM 시스템에 있어서,

$N_t$  개의 송신 안테나를 가지며, 송신단말과 수신단말 사이의 채널과 복수의 중계단말 각각과 수신단말 사이의 채널을 매칭한 합성 채널로부터 합성 채널 계수를 추출하고, 추출된 합성 채널 계수를 이용하여 채널 용량을 최대화하는 합성 채널 계수에 대응하는 중계단말을 복수의 중계단말들 중에서 선택하여, 선택된 중계단말을 통해 MIMO 신호를 상기 수신단말로 전송하는 송신단말, 그리고

$N_r$  개의 수신 안테나를 통해 상기 중계단말로부터 MIMO 신호를 수신하는 수신단말을 포함하며, 상기 송신단말은,

복수의 중계단말에 대하여 각각 파일럿 신호를 송신하여 합성 채널을 추정하는 통신부,

상기 추정된 합성 채널을 이용하여 채널 행렬에 대한 정보를 획득하고, 상기 채널 행렬에 특이값 분해(SVD) 방법을 적용하여 특이값을 추출하는 특이값 추출부,

상기 추출된 특이값을 이용하여 합성 채널 계수를 산출하는 합성 채널 계수 산출부, 그리고

상기 산출된 합성 채널 계수를 이용하여 채널 용량을 산출하고, 산출된 채널 용량 중에서 최대값을 갖는 중계단말을 상기 복수의 중계단말 중에서 선택하는 중계단말 선택부를 포함하고,

상기 합성 채널 계수 산출부는,

상기 추출된 특이값을 하기의 수학식에 대입하여 합성 채널 계수를 산출하는 MIMO-OFDM 시스템:

$$\Lambda_K = \prod_{N_t} (1 + \sigma_N^2)$$

여기서,  $\Lambda_K$  는 중계단말 각각의 합성 채널 계수들의 곱을 나타내고,  $\sigma_N^2$  는 특이값을 나타낸다.

청구항 2

삭제

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 특이값 추출부는,

하기의 수학식을 이용하여 특이값에 대한 행렬을 추출하는 MIMO-OFDM 시스템:

$$H_K = U_K \Sigma_K V_K^H$$

여기서,  $H_K$  는 K번째 중계단말을 이용하여 생성된 합성 채널 행렬을 나타내고,  $\Sigma_K$ 는 합성 채널 행렬( $H_K$ )의 특이값( $\sigma_N^2$ )을 대각성분으로 가지는  $N_r \times N_t$  행렬이고,  $U_K$  는  $H_K$ 의 특이값을 중심으로 좌측에 위치하는 특이벡터로 이루어진  $N_r \times N_r$  행렬이고,  $V_K^H$  는 특이값을 중심으로 우측에 위치하는 특이벡터로 이루어

진  $N_t \times N_t$  행렬이다.

**청구항 4**

삭제

**청구항 5**

제1항에 있어서,

상기 중계단말 선택부는,

아래의 수학적식을 이용하여 복수의 중계단말 각각에 대하여 채널 용량(C)을 연산하는 MIMO-OFDM 시스템:

$$C = \log_2 \prod_{N_t} (1 + \rho \sigma_N^2)$$

여기서,  $\rho$ 는  $\frac{P_t}{N_0 N_t}$  을 나타내고,  $P_t$ 는 송신 신호의 전력이고,  $N_t$ 은 송신 안테나의 개수를 나타내고,  $N_0$ 는 잡음 전력을 나타낸다. 또한,  $\prod_{N_t} (1 + \sigma_N^2)$ 는 중계단말 각각의 합성 채널 계수들의 곱( $\Lambda_K$ )으로 변환된다.

**청구항 6**

제1항에 있어서,

상기 수신단말은,

상기 송신단말 및 선택된 중계단말을 통해 MIMO 신호를 수신하는 수신부,

상기 수신된 MIMO 신호에 제로 포싱(zero-forcing) 검출 기법을 적용하여 상기 송신단말과 수신단말 사이의 채널을 통해 전송된 추정신호( $\hat{X}_{sd}$ )와 상기 중계단말과 수신단말 사이의 채널을 통해 전송된 추정신호( $\hat{X}_{rd}$ )를 각각 검출하는 검출부, 그리고

상기 검출된 각각의 추정신호에 가중치를 부여하여 최종 신호를 추정하는 신호 추정부를 포함하는 MIMO-OFDM 시스템.

**청구항 7**

제6항에 있어서,

상기 수신된 MIMO 신호는 하기의 수학적식으로 표현되는 MIMO-OFDM 시스템.

$$\begin{aligned} Y_{DK} &= Y_{SD} + Y_{RKD} \\ &= H_{SD}X + n_{SD} + H_{RKD}X + n_{RKD} \end{aligned}$$

여기서,  $Y_{SD}$ 는 중계단말을 거치지 않고 송신단말과 수신단말 사이의 채널을 통해 전송된 수신 신호를 나타내며,  $Y_{RKD}$ 는  $k$ 번째 중계단말을 통해 전송된 수신 신호를 나타낸다.

**청구항 8**

제6항에 있어서,

상기 신호 추정부는,

각각 검출된 추정신호에 채널 계수( $\sigma_{N^2}$ )들로 구성된 가중치를 결합하여 다음의 수학적식과 같은 최종 신호( $\hat{X}$ )를 추정하는 MIMO-OFDM 시스템:

$$\hat{X} = \frac{\sigma_{sd}}{\sigma_{sd} + \sigma_{rd}} \hat{X}_{sd} + \frac{\sigma_{rd}}{\sigma_{sd} + \sigma_{rd}} \hat{X}_{rd}$$

여기서,  $\sigma_{sd}$ 는 송신단말과 수신단말 사이의 채널 계수를 의미하며,  $\sigma_{rd}$ 는 선택된 중계단말과 수신단말 사이의 채널 계수를 의미한다.

### 발명의 설명

#### 기술 분야

[0001] 본 발명은 신뢰성을 향상시키기 위한 MIMO-OFDM 시스템에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 채널 용량을 최대화할 수 있는 중계단말을 선택하여 전송률과 신뢰성을 향상시키기 위한 MIMO-OFDM 시스템에 관한 것이다.

#### 배경 기술

[0002] 최근 이동 통신 시스템은 모자라는 주파수 자원을 효율적으로 사용하기 위하여 송수신단말 간에 복수 개의 안테나 즉, 중계단말을 이용하여 단위 대역폭 당 전송 용량을 늘릴 수 있고 통신품질을 높일 수 있는 MIMO 기술에 대해 활발히 연구하고 있고, MIMO 기술의 상용화를 시도하고 있다.

[0003] 이러한 MIMO 기술을 바탕으로 공간 다이버시티 이득(spatial diversity gain)을 얻을 수 있는 협력 다이버시티(cooperative diversity) 기술이 연구되고 있다. 협력 다이버시티 기술은 송신 노드와 수신 노드 사이에 중계단말을 이용하여 다중의 통신 경로를 생성하고 이를 통하여 공간 다이버시티 이득을 얻을 수 있는 기술이다.

[0004] 협력 다이버시티 기술 중 하나인 기회적 중계(opportunistic relaying) 기법은 모든 노드가 단일 안테나를 가지며 다수의 중계단말이 있을 때 전송이 가능한 기회가 주어진 중계단말만 선택적으로 전송하는 기법이다. 이 기법은 송신 노드와 중계단말사이의 채널과 중계단말과 수신 노드 사이의 채널이 가장 좋은 중계단말을 선택하는 방법으로 구현이 비교적 간단하고 추가적인 선택적 다이버시티 이득을 얻을 수 있다.

[0005] 이와 유사하게 중계단말을 이용하여 공간 다중화 이득(spatial multiplexing gain)을 얻을 수 있는 협력 공간 다중화(cooperative spatial multiplexing) 기술이 연구되고 있다. 협력 공간 다중화 기술은 수신 노드가 다중 안테나를 가질 때 수신 노드의 안테나 수와 같은 여러 개의 중계단말이 전송 신호를 분할하여 전송함으로써 공간 다중화 이득을 얻을 수 있는 방법이다. 이때, 각 중계단말은 전력 소모와 복잡도를 줄일 수 있는 장점이 있으나, 송신 노드의 전송률에 비해 낮은 전송률로 신호를 전송하는 문제점이 있었다.

[0006] 이러한 협력 공간 다중화 기법과 기회적 중계 방법을 응용하여 수신 노드의 안테나 수 보다 많은 수의 중계단말이 존재하는 환경에서 기회적으로 최적의 채널 용량을 갖는 고정된 개수의 중계단말을 선택하는 방법이 제안되었다.

[0007] 이 방법은 전체 중계단말중에서 선택 가능한 모든 경우의 수에 대해서 채널 용량을 비교하고 최대의 채널 용량을 갖는 중계단말들을 선택하는 방법으로, 동일한 환경의 협력 다이버시티 기법에 비해 향상된 오수신(outage) 성능을 갖는 장점이 있다.

[0008] 그러나 이러한 기존의 협력 공간 다중화 기법은 데이터 전송 성능 측면에서 볼 때 가급적 적은 수의 중계단말을 선택할 필요가 있으며 전송률이 고정된 데이터를 전송할 때 채널 상태에 따라 전송 방식이 최적화 되어 있지 않다는 문제점이 있었다.

[0009] 본 발명의 배경이 되는 기술은 대한민국 공개특허공보 제10-2014-0115260호(2014.09.30. 공개)에 개시되어 있다.

### 발명의 내용

#### 해결하려는 과제

[0010] 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 채널 용량을 최대화할 수 있는 중계단말을 선택하여 전송률과 신뢰성을 향상시키기 위한 MIMO-OFDM 시스템을 제공하기 위한 것이다.

**과제의 해결 수단**

[0011] 이러한 기술적 과제를 이루기 위한 본 발명의 실시예에 따른 신뢰성을 향상시키기 위한 MIMO-OFDM 시스템에 있어,

$N_t$  개의 송신 안테나를 가지며, 중계단말을 통해 MIMO 신호를 전달하는 송신단말, 그리고  $N_r$  개의 수신 안테나를 통해 상기 중계단말로부터 MIMO 신호를 수신하는 수신단말을 포함하며,

[0012] 상기 송신단말은, 상기 송신단말과 수신단말 사이의 채널과 복수의 중계단말 각각과 수신단말 사이의 채널을 매칭한 합성 채널로부터 합성 채널 계수를 추출하고, 추출된 합성 채널 계수를 이용하여 채널 용량을 최대화하는 합성 채널 계수에 대응하는 중계단말을 복수의 중계단말들 중에서 선택하여, 선택된 중계단말을 통해 MIMO 신호를 상기 수신단말로 전송한다.

[0013] 상기 송신단말은, 복수의 중계단말에 대하여 각각 파일럿 신호를 송신하여 합성 채널을 추정하는 통신부, 상기 추정된 합성 채널을 이용하여 채널 행렬에 대한 정보를 획득하고, 상기 채널 행렬에 특이값 분해(SVD) 방법을 적용하여 특이값을 추출하는 특이값 추출부, 상기 추출된 특이값을 이용하여 합성 채널 계수를 산출하는 합성 채널 계수 산출부, 그리고 상기 산출된 합성 채널 계수를 이용하여 채널 용량을 산출하고, 산출된 채널 용량 중에서 최대값을 갖는 중계단말을 상기 복수의 중계단말 중에서 선택하는 중계단말 선택부를 포함할 수 있다.

[0014] 상기 특이값 추출부는, 하기의 수학적식을 이용하여 특이값에 대한 행렬을 추출할 수 있다.

$$H_K = U_K \Sigma_K V_K^H$$

[0015]

[0016] 여기서,  $H_K$  는 K번째 중계단말을 이용하여 생성된 합성 채널 행렬을 나타내고,  $\Sigma_K$ 는 합성 채널 행렬( $H_K$ )의 특이값( $\sigma_N^2$ )을 대각성분으로 가지는  $N_r \times N_t$  행렬이고,  $U_K$  는  $H_K$ 의 특이값을 중심으로 좌측에 위치하는 특이벡터로 이루어진  $N_r \times N_r$  행렬이고,  $V_K^H$  는 특이값을 중심으로 우측에 위치하는 특이벡터로 이루어진  $N_t \times N_t$  행렬이다.

[0017] 상기 합성 채널 계수 산출부는, 상기 산출된 특이값을 하기의 수학적식에 대입하여 합성 채널 계수를 산출할 수 있다.

$$\Lambda_K = \prod_{N_t} (1 + \sigma_N^2)$$

[0018]

[0019] 여기서,  $\Lambda_K$  는 중계단말 각각의 합성 채널 계수들의 곱을 나타내고,  $\sigma_N^2$  는 특이값을 나타낸다.

[0020] 상기 중계단말 선택부는, 아래의 수학적식을 이용하여 복수의 중계단말 각각에 대하여 채널 용량(C)을 연산할 수 있다.

$$C = \log_2 \prod_{N_t} (1 + \rho \sigma_N^2)$$

[0021]

[0022] 여기서,  $\rho$  는  $\frac{P_t}{N_0 N_t}$  을 나타내고,  $P_t$  는 송신 신호의 전력이고,  $N_t$  은 송신 안테나의 개수를 나타내고,  $N_0$  는 잡음 전력을 나타낸다. 또한,  $\prod_{N_t} (1 + \sigma_N^2)$  는 중계단말 각각의 합성 채널 계수들의 곱( $\Lambda_K$ )으로 변환된다.

[0023] 상기 수신단말은, 상기 송신단말 및 선택된 중계단말을 통해 MIMO 신호를 수신하는 수신부, 상기 수신된 MIMO

신호에 제로 포싱(zero-forcing) 검출 기법을 적용하여 상기 송신단말과 수신단말 사이의 채널을 통해 전송된 추정신호( $\hat{X}_{sd}$ )와 상기 중계단말과 수신단말 사이의 채널을 통해 전송된 추정신호( $\hat{X}_{rd}$ )를 각각 검출하는 검출부, 그리고 상기 검출된 각각의 추정신호에 가중치를 부여하여 최종 신호를 추정하는 신호 추정부를 포함할 수 있다.

[0024] 상기 수신된 MIMO 신호는 하기의 수학적식으로 표현될 수 있다.

$$Y_{DK} = Y_{SD} + Y_{RKD}$$

$$= H_{SD}X + n_{SD} + H_{RKD}X + n_{RKD}$$

[0025] 여기서,  $Y_{SD}$ 는 중계단말을 거치지 않고 송신단말과 수신단말 사이의 채널을 통해 전송된 수신 신호를 나타내며,  $Y_{RKD}$ 는  $K$ 번째 중계단말을 통해 전송된 수신 신호를 나타낸다.

[0026] 상기 신호 추정부는, 각각 검출된 추정신호에 채널 계수( $\sigma_{N^2}$ )들로 구성된 가중치를 결합하여 다음의 수학적식과 같은 최종 신호( $\hat{X}$ )를 추정할 수 있다.

$$\hat{X} = \frac{\sigma_{sd}}{\sigma_{sd} + \sigma_{rd}} \hat{X}_{sd} + \frac{\sigma_{rd}}{\sigma_{sd} + \sigma_{rd}} \hat{X}_{rd}$$

[0027] 여기서,  $\sigma_{sd}$ 는 송신단말과 수신단말 사이의 채널 계수를 의미하며,  $\sigma_{rd}$ 는 선택된 중계단말과 수신단말 사이의 채널 계수를 의미한다.

**발명의 효과**

[0028] 이와 같이 본 발명에 따르면, 합성 채널의 채널 계수를 이용한 중계단말선정 방법을 제안하여 최적의 중계단말을 선정함으로써 시스템 용량을 최대화하여 무선 통신에서의 전송률을 향상시키며, 보다 신뢰성 높은 무선 통신 서비스를 제공할 수 있는 이점이 있다.

[0029] 또한 본 발명에 따르면, 각 중계단말과 수신단말 사이의 채널과 합성 채널의 독립적인 채널 계수를 이용하여 다중 중계단말환경에서도 수신 신호의 신뢰성을 보장하는 중계단말을 보다 효과적으로 선택할 수 있고, 송신단말에서는 채널의 용량을 최대화하는 중계단말을 선택할 수 있고, 수신단말에서는 채널 계수를 이용하여 결합된 수신 신호를 검출하여 전송률을 향상시킬 수 있다.

**도면의 간단한 설명**

[0030] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 MIMO-OFDM 시스템을 설명하기 위한 도면이다.

도 2는 도 1의 송신단말을 설명하기 위한 구성도이다.

도 3은 도 1의 수신단말의 설명하기 위한 구성도이다.

도 4는 본 발명의 실시예에 따른 MIMO-OFDM 시스템에서 채널 용량의 최대화 및 전송률을 향상시키는 방법의 동작 흐름을 도시한 순서도이다.

도 5는 본 발명의 실시예에 따른 송신단말의 구조를 나타낸다.

도 6은 본 발명의 실시예에 따른 수신단말의 구조를 나타낸다.

도 7의 그래프는 본 발명의 실시예에 따른 MIMO-OFDM 시스템을 이용하여 중계단말을 선택하는 기법과 종래의 일반적인 중계단말 선택 기법에 따라 신호 대 잡음비(signal to noise power ratio, SNR)에 따른 비트 오류율(bit error rate, BER) 성능을 비교한 그래프이다.



**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

[0033] 이하 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 바람직한 실시 예를 상세히 설명하기로 한다. 이 과정에서 도면에 도시된 선들의 두께나 구성요소의 크기 등은 설명의 명료성과 편의상 과장되게 도시되어 있을 수 있다.

[0034] 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.

[0035] 먼저, 도 1을 통해 본 발명의 실시 예에 따른 MIMO-OFDM 시스템에 대하여 설명한다.

[0036] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 MIMO-OFDM 시스템을 설명하기 위한 도면이다.

[0037] 도 1에서와 같이 본 발명의 실시 예에 따른 MIMO-OFDM 시스템은, 송신단말(100), 중계단말(200) 및 수신단말(300)을 포함한다.

[0038] 먼저, 송신단말(100)은  $N_t$  개의 송신 안테나가 구비되며, 전력 영역을 이용하여 각각  $N_r$  개의 안테나가 구비된 복수의 수신단말(300)에서 각각 수신하고자 하는 신호를 중계단말(200)에 전송한다. 이때, 송신단말(100)은 전송 신호의 신뢰도 향상 및 전송 용량을 최대화하기 위하여 합성 채널 계수를 산출하고, 산출된 합성 채널 계수에 따라 K개의 중계단말(200) 중에서 어느 하나의 중계단말(200)을 선택한다. 그 다음, 송신단말(100)은 선택된 중계단말(200)을 통해 신호를 전송한다.

[0039] 그리고 중계단말(200)은 K개 구성되며, decode-and-forward(DF) 방식을 이용하여 송신단말(100)로부터 수신된 신호를 복조한 다음, 다시 변조하여 수신단말(300)에 전송한다.

[0040] 마지막으로 수신단말(300)은  $N_r$  개의 안테나가 구비되며, 제로 포싱(zero-forcing, ZF) 검출 기법을 이용하여 송신단말(100)과 수신단말(300) 사이의 채널을 통해 수신된 신호와 중계단말(200)과 수신단말(300) 사이의 채널을 통해 수신된 신호를 추정한다. 그 다음, 수신단말(300)은 추정된 각각의 신호에 합성 채널 계수에 따른 가중치를 부여하여 채널 상태를 반영한다.

[0042] 이하에서는 도 2를 이용하여 본 발명의 실시예에 따른 송신단말에 대해 더욱 상세하게 설명한다.

[0043] 도 2는 도 1의 송신단말을 설명하기 위한 구성도이다.

[0044] 도 2에서와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 송신단말(100)은 통신부(110), 특이값 추출부(120), 합성 채널 계수 산출부(130) 및 중계단말 선택부(140)를 포함한다.

[0045] 먼저, 통신부(110)는 K개의 중계단말(200) 및 N개의 수신단말(300)에게 각각 파일럿 신호를 송신한다. 그리고, 통신부(110)는 송신된 파일럿 신호에 대응하여 수신된 신호를 이용하여 수신단말(100)과 중계단말(200) 사이의 채널 및 송신단말(100)과 수신단말(300) 사이의 채널에 대한 정보를 획득한다.

[0046] 그 다음, 통신부(110)는 수신단말(100)과 중계단말(200) 사이의 채널과 송신단말(100)과 수신단말(300) 사이의 채널을 매칭하여 합성 채널을 추정한다.

[0047] 특이값 추출부(120)는 K개의 중계단말(200)에 대한 각각의 합성 채널에 대해 채널 행렬을 생성한다.

[0048] 채널 행렬은 에르미트(Hermitian) 행렬로서, 하기의 수학적 식 1와 같이 표현된다.

**수학적 식 1**

$$\mathbf{A} = \mathbf{H}\mathbf{H}^H = \mathbf{H}^H \mathbf{H}$$

[0049]

[0050] 그 다음, 특이값 추출부(120)는 특이값 분해(singular value decomposition, SVD)를 적용하여 생성된 채널 행렬을 선형 독립인 고유 벡터들로 분해한다.

[0051] 특이값 분해(singular value decomposition, SVD)에 따른 관계식은 하기의 수학적 식 2로 정리될 수 있다.



수학식 2

$$\mathbf{H}\mathbf{H}^H = \mathbf{Q}\mathbf{\Lambda}\mathbf{Q}^H$$

[0052]

[0053] 여기서,  $\mathbf{H}$ 는  $H_{SD}$  (송신단말과 수신단말 사이의 채널)과  $H_{RKD}$  (중계단말과 수신단말 사이의 채널)의 합성채널을 나타낸다.  $\mathbf{Q}$ 는  $i$ 번째 열이 합성 채널의 고유 벡터인 정사각행렬이고,  $\mathbf{\Lambda}$ 는  $i$ 번째 성분이  $i$ 번째 특이값인 대각 행렬이다.

[0054] 따라서, 특이값 추출부(120)는 생성된 채널 행렬에 수학식 2와 같이 실수부 대각화를 수행하여 행렬에서의 비-대각 실수부 원소를 제거한 다음, 허수부 대각화를 수행하여 행렬에서의 비-대각 허수부를 제거한다.

[0055] 그 다음, 특이값 추출부(120)는  $\mathbf{Q}$  행렬 및  $\mathbf{\Lambda}$  행렬로부터  $U_K$  행렬,  $\Sigma_K$  행렬 및  $V_K^H$  행렬을 산출한다.

[0056]  $U_K$  행렬,  $\Sigma_K$  행렬 및  $V_K^H$  행렬은 하기의 수학식 3을 통해 계산될 수 있다.

수학식 3

$$H_K = U_K \Sigma_K V_K^H$$

[0057]

[0058] 여기서,  $H_K$ 는  $K$ 번째 중계단말을 이용하여 생성된 합성 채널 행렬을 나타내고,  $\Sigma_K$ 는 합성 채널 행렬 ( $H_K$ )의 특이값( $\sigma_N^2$ )을 대각성분으로 가지는  $N_r \times N_t$  행렬이고,  $u_K$ 는  $H_K$ 의 특이값을 중심으로 좌측에 위치하는 특이벡터로 이루어진  $N_r \times N_r$  행렬이고,  $v_K^H$ 는 특이값을 중심으로 우측에 위치하는 특이벡터로 이루어진  $N_t \times N_t$  행렬이다.

[0059] 그 다음, 합성 채널 계수 산출부(130)는 수학식 3을 이용하여  $K$ 개의 중계단말(200)마다 추출된 특이값을 이용하여 합성 채널 계수를 산출한다.

[0060] 합성 채널 계수는 하기의 수학식 4를 이용하여 산출된다.

수학식 4

$$\Lambda_K = \prod_{N_t} (1 + \sigma_N^2)$$

[0061]

[0062] 여기서,  $\Lambda_K$ 는  $K$ 번째 중계단말의 합성 채널 계수들의 곱을 나타내고,  $\sigma_N^2$ 는 특이값을 나타낸다.

[0063] 중계단말 선택부(140)는 상기 산출된 합성 채널 계수를 이용하여 채널 용량을 산출하고, 산출된 채널 용량 중에서 최대값을 갖는 중계단말을  $K$ 개의 중계단말 중에서 선택한다.

[0064] 부연하자면, 채널 용량(C)은 하기의 수학식 5와 같이 정의된다.

수학식 5

$$C = \log_2 \det \left( I + \frac{P_t}{N_0 N_t} H H^H \right)$$

[0065]

[0066] 여기서,  $I$ 는 고유행렬(eigen matrix)이고,  $P_t$ 는 송신 신호의 전력이고,  $N_t$ 는 송신 안테나의 개수를 나타내고,  $N_0$ 는 잡음 전력을 나타낸다.

[0067] 중계단말 선택부(140)는 채널 용량에 대한 수학식 5에 수학식 2를 대입하면 하기의 수학식 6과 같이 변환된다.

수학식 6

$$C = \log_2 \prod_{N_t} (1 + \rho \sigma_N^2)$$

[0068]

[0069] 여기서,  $\rho$ 는  $\frac{P_t}{N_0 N_t}$ 을 나타내고,  $P_t$ 는 송신 신호의 전력이고,  $N_t$ 는 송신 안테나의 개수를 나타내고,  $N_0$ 는 잡음 전력을 나타낸다. 한편,  $\prod_{N_t} (1 + \sigma_N^2)$ 는 수학식 4로 대입하여 변환될 수 있다.

[0070] 본 발명의 실시예에 따른 수신단말(100)은 획득한 합성 채널 개수를 이용하여  $K$ 개의 중계단말(200)에 대한 각각의 채널 용량을 산출하고, 산출된 채널 용량 중에서 가장 큰 값을 가지는 중계단말(200)을 선택한다. 그 다음, 수신단말(100)은 MIMO 신호를 선택된 중계단말(200)을 거쳐 수신단말(300)에 전송한다.

[0072] 이하에서는 도 3을 이용하여 본 발명의 실시예에 따른 수신단말에 대해 더욱 상세하게 설명한다.

[0073] 도 3은 도 1의 수신단말의 설명하기 위한 구성도이다.

[0074] 도 3에서와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 수신단말(300)은 수신부(310), 검출부(320) 및 신호추정부(330)를 포함한다.

[0075] 먼저, 수신부(310)는 송신단말(100) 및 선택된 중계단말(200)을 통해 MIMO 신호를 수신한다.

[0076] MIMO 신호는 하기의 수학식 7과 같이 정의될 수 있다.

수학식 7

$$\begin{aligned} Y_{D_K} &= Y_{SD} + Y_{R_K D} \\ &= H_{SD} X + n_{SD} + H_{R_K D} X + n_{R_K D} \end{aligned}$$

[0077]

[0078] 여기서,  $Y_{SD}$ 는 중계단말을 거치지 않고 송신단말과 수신단말 사이의 채널을 통해 전송된 수신 신호를 나타내며,  $Y_{R_K D}$ 는  $K$ 번째 중계단말을 통해 전송된 수신 신호를 나타낸다.

[0079] 그 다음, 검출부(320)는 선형 검출 기법 및 비선형 검출 기법 중 어느 하나를 적용하는 MIMO 검출 기법을 이용하여 MIMO 검출 기법을 이용하여 수신단말(300)에 수신된 신호를 검출한다.

[0080] MIMO 검출 기법 중 선형 검출 기법인 제로포싱(zero-forcing, ZF) 또는 MMSE (minimum mean squared error)와 같은 기법들은 비선형 검출 기법인 OSIC(ordered successive interference cancellation), DFE(decision

feedback equalizer) 및 ML(maximum likelihood)에 비해 복잡도가 낮은 장점이 있다. 따라서, 본 발명의 실시예에 따른 MIMO-OFDM 시스템은 송신단말(100) 및 수신단말(100)에 대한 전체의 복잡도를 낮추기 위하여 제로포싱(ZF) 검출 기법을 적용한다.

[0081] 따라서, 검출부(320)는 제로포싱(ZF) 기법을 적용하여 송신단말(100)과 수신단말(300) 사이의 채널을 통해 전송된 추정신호( $\hat{X}_{sd}$ )와 선택된 중계단말(200)과 수신단말(300) 사이의 채널을 통해 전송된 추정신호( $\hat{X}_{rd}$ )를 각각 검출한다.

[0082] 그 다음, 신호 추정부(330)는 검출된 각각의 추정신호( $\hat{X}_{sd}$ ,  $\hat{X}_{rd}$ )에 가중치를 부여하여 최종 신호를 추정한다.

[0083] 부연하자면, 신호 추정부(330)는 수학식 3을 이용하여 산출된 채널 계수( $\sigma_n^2$ )를 이용하여 송신단말(100)과 수신단말(300) 사이의 채널을 통해 전송된 추정신호( $\hat{X}_{sd}$ )와 선택된 중계단말(200)과 수신단말(300) 사이의 채널을 통해 전송된 추정신호( $\hat{X}_{rd}$ )에 각각 가중치를 부여하여 최종 신호( $\hat{X}$ )를 추정한다.

[0084] 최종 신호( $\hat{X}$ )는 하기의 수학식 8과 같이 표현된다.

**수학식 8**

$$\hat{X} = \frac{\sigma_{sd}}{\sigma_{sd} + \sigma_{rd}} \hat{X}_{sd} + \frac{\sigma_{rd}}{\sigma_{sd} + \sigma_{rd}} \hat{X}_{rd}$$

[0085]

[0086] 여기서,  $\sigma_{sd}$ 는 송신단말과 수신단말 사이의 채널 계수를 의미하며,  $\sigma_{rd}$ 는 선택된 중계단말과 수신단말 사이의 채널 계수를 의미한다.

[0088] 이하에서는 도 4 내지 도 6을 이용하여 본 발명의 실시예에 따른 MIMO-OFDM 시스템을 이용하여 채널 용량의 최대화 및 전송률을 향상시키는 방법에 대해 더욱 상세하게 설명한다.

[0089] 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 MIMO-OFDM 시스템에서 채널 용량의 최대화 및 전송률을 향상시키는 방법의 동작 흐름을 도시한 순서도로서, 이를 참조하여 본 발명의 구체적인 동작을 설명한다.

[0090] 또한, 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 송신단말의 구조를 나타내고, 도 6은 본 발명의 실시예에 따른 수신단말의 구조를 나타낸다.

[0091] 본 발명의 실시예에 따르면, 먼저  $N_t$  개의 안테나가 구비된 송신단말(100)은 전력 영역을 이용하여 K개의 중계단말(200) 및  $N_r$  개의 안테나가 구비된 수신단말(300)에 파일럿 신호를 송신하여 채널에 대한 정보를 획득한다(S410).

[0092] 본 발명의 실시예에 따른 MIMO-OFDM 시스템은 MIMO 신호를 입력할 수 있는 모든 채널에 대한 정보를 알고 있는 상태에서  $N_t$  개의 송신 안테나가 동일한 전력으로 신호를 송신할 때 채널 용량을 획득할 수 있다.

[0093] 그러므로, 수신단말(100)은 MIMO 신호를 입력할 수 있는 모든 채널에 대한 정보를 획득하고, 획득한 채널에 대한 정보를 이용하여 합성 채널을 생성한다(S420).

[0094] 여기서 합성 채널은 송신단말(100)과 수신단말(300) 사이의 채널과 송신 단말(100)과 K개의 중계단말(200) 중에

서 선택된 하나의 중계단말(200)사이의 채널을 매칭하여 합성된 채널을 나타낸다.

- [0095] 그 다음, 송신단말(100)은 합성 채널로부터 채널 행렬을 생성하고, 생성된 채널 행렬에 특이값 분해(SVD)를 적용하여 합성 채널 계수를 산출한다(S430).
- [0096] 이때, S430 단계에서는 수학적 2 내지 4를 이용하여 K개의 중계단말(200) 마다 각각의 합성 채널 계수를 산출한다.
- [0097] 그 다음, 송신단말(100)은 산출된 합성 채널 계수를 이용하여 K개의 중계단말(200)에 대한 각각의 채널 용량을 산출한다(S440).
- [0098] 이때, S440 단계에서는 수학적 5 및 6을 이용하여 K개의 중계단말(200) 마다 채널 용량을 산출한다.
- [0099] 결과적으로 본 발명의 실시예에 따르면, 합성 채널 계수의 값이 클수록 채널 용량의 값도 커진다. 따라서, 수신단말(100)은 추출된 합성 채널 계수를 이용하여 채널 용량을 최대화하는 합성 채널 계수에 대응하는 중계단말(200)을 선택한다.
- [0100] 따라서, 도 5에 도시된 바와 같이, 수신단말(100)은 K개의 중계단말(200)중에서 합성 채널 계수 값이 가장 큰 중계단말(200)을 선택하고, 선택된 중계단말(200)을 이용하여 신호를 수신단말(300)에 전송한다(S450).
- [0101] 그 다음, 수신단말(300)은 S450단계에서 제로 포싱(ZF) 검출 기법을 이용하여 수신 신호를 검출한다(S460).
- [0102] 즉, 수신단말(300)은 제로 포싱(zero-forcing) 검출 기법을 적용하여 상기 송신단말과 수신단말 사이의 채널을 통해 전송된 추정신호( $\hat{X}_{sd}$ )와 상기 중계단말과 수신단말 사이의 채널을 통해 전송된 추정신호( $\hat{X}_{rd}$ )를 각각 검출한다.
- [0103] 그 다음, 수신단말(300)은 각각 검출된 추정신호( $\hat{X}_{sd}$ ,  $\hat{X}_{rd}$ )에 가중치를 부여하여 최종 신호를 추정한다(S470).
- [0104] 도 6에 도시된 바와 같이, 추정신호  $\hat{X}_{sd}$ 와  $\hat{X}_{rd}$ 는 합성 채널 계수 들로 구성된 가중치에 의해 결합되며, 가중치가 부여된 최종신호는 수학적 8을 이용하여 추정된다.
- [0105] 도 7의 그래프는 본 발명의 실시예에 따른 MIMO-OFDM 시스템을 이용하여 중계단말을 선택하는 기법과 종래의 일반적인 중계단말 선택 기법에 따라 신호대 잡음비(signal to noise power ratio, SNR)에 따른 비트오류율(bit error rate, BER) 성능을 비교한 그래프이다.
- [0106] 도 7의 시뮬레이션에서는 128개의 부반송파를 갖는 직교주파수분할(OFDM)시스템에서 CP의 길이가 32이며 16-QAM(16-quadrature amplitude modulation) 변조를 사용하였다.
- [0107] 또한 본 발명의 실시예에 따른 MIMO-OFDM 시스템을 이용하여 중계단말을 선택하는 기법과 종래의 일반적인 중계단말 선택 기법은 중계단말의 개수를 16개로 하고, 송수신 안테나 개수는  $N=4$ 인 시스템으로 가정하였다.
- [0108] 그리고, 각 중계단말들은 DF 기법을 사용하며 송신단말과 수신단말 사이의 거리를 1로 가정하였을 때 0.25에서 0.5 사이의 거리 범위 안에 랜덤하게 위치한다.
- [0109] 도 7에서 확인할 수 있듯이, 본 발명의 실시예에 따른 MIMO-OFDM 시스템을 이용하여 중계단말을 선택하는 기법은 기존의 중계단말 선택 기법인 랜덤(Random) 중계단말 선택 기법과 프로베니우스 놈(Frobenius norm)을 이용한 중계단말 선택 기법에 비하여 높은 전송률을 가지는 것을 알 수 있다.
- [0110] 이는 본 발명의 실시예에 따른 중계단말 선택 방법이 기존의 기법들과 달리 합성 채널에 대해 특이값 분해(SVD)를 이용하여 구한 채널 계수를 통해 효과적으로 채널 상태를 고려하여 중계단말을 선택하기 때문이다. 또한 수신단말에서는 송신단말과 수신단말 사이의 경로를 통해 수신된 신호와 중계단말과 수신단말 사이의 경로를 통해 수신된 신호에 각 경로의 채널 계수를 이용하여 가중치를 주어 채널 상태를 반영한다.
- [0111] 도 7에서 채널 상태를 고려하지 않은 랜덤(Random) 중계단말 선택 기법은 가장 낮은 전송률을 보인다. 다음으로 프로베니우스 놈(Frobenius norm)을 사용하는 중계단말 선택 기법은 채널 정보를 고려하였지만 합성 채널이 아

닌 각각의 채널 정보만을 고려하기 때문에, 본 발명의 실시예에 따른 중계단말 선택 방법보다 전송률이 낮다.

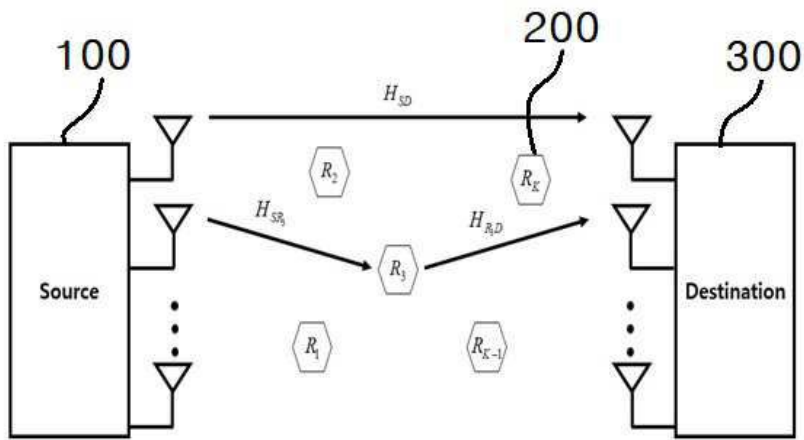
- [0112] 또한, 채널 계수를 이용한 가중치를 이용하여 결합하지 않은 기법(only SVD)은 본 발명이 제안한 기법보다 낮은 전송률을 보인다.
- [0113] 즉, 전반적인 신호대 잡음비(SNR)에 대해 본 발명의 실시예에 따른 MIMO-OFDM 시스템의 전송률이 기존의 기법의 전송률보다 높은 것을 볼 수 있다. 이는 협력 통신에서 채널 정보를 이용한 기법을 통해 최적의 중계단말 선택이 선택되어 전체 시스템의 전송률이 향상되며 시스템 용량이 증가됨을 의미한다.
- [0114] 상술한 바와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 MIMO-OFDM 시스템은 합성 채널의 채널 계수를 이용한 중계단말 선정 방법을 제안하여 최적의 중계단말을 선정함으로써 시스템 용량을 최대화하여 무선 통신에서의 전송률을 향상시키며, 보다 신뢰성 높은 무선 통신 서비스를 제공할 수 있는 이점이 있다.
- [0115] 또한 본 발명의 실시예에 따르면, 각 중계단말과 수신단말 사이의 채널과 합성 채널의 독립적인 채널 계수를 이용하여 다중 중계단말환경에서도 수신 신호의 신뢰성을 보장하는 중계단말을 보다 효과적으로 선택할 수 있고, 송신단말에서는 채널의 용량을 최대화하는 중계단말을 선택할 수 있고, 수신단말에서는 채널 계수를 이용하여 결합된 수신 신호를 검출하여 전송률을 향상시킬 수 있다.
- [0117] 본 발명은 도면에 도시된 실시 예를 참고로 하여 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 당해 기술이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시 예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서 본 발명의 진정한 기술적 보호범위는 아래의 특허청구범위의 기술적 사상에 의하여 정해져야 할 것이다.

**부호의 설명**

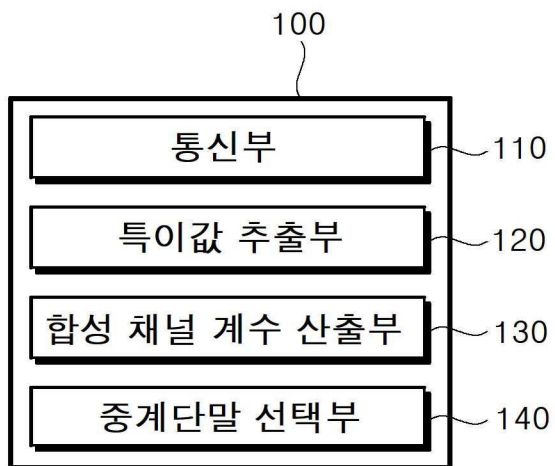
- [0118] 100 : 송신단말
- 110 : 통신부
- 120 : 특이값 추출부
- 130 : 합성 채널 계수 산출부
- 140 : 중계단말 선택부
- 200 : 중계단말
- 300 : 수신단말
- 310 : 수신부
- 320 : 검출부
- 330 : 신호추정부

도면

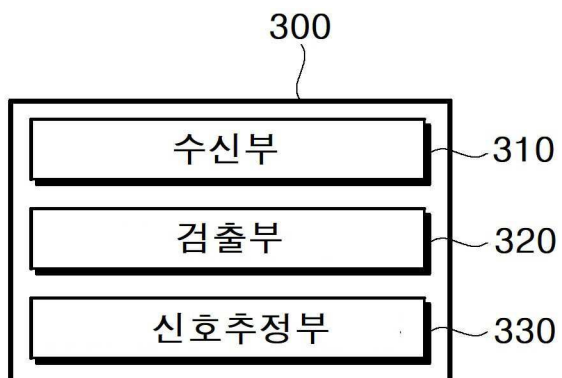
도면1



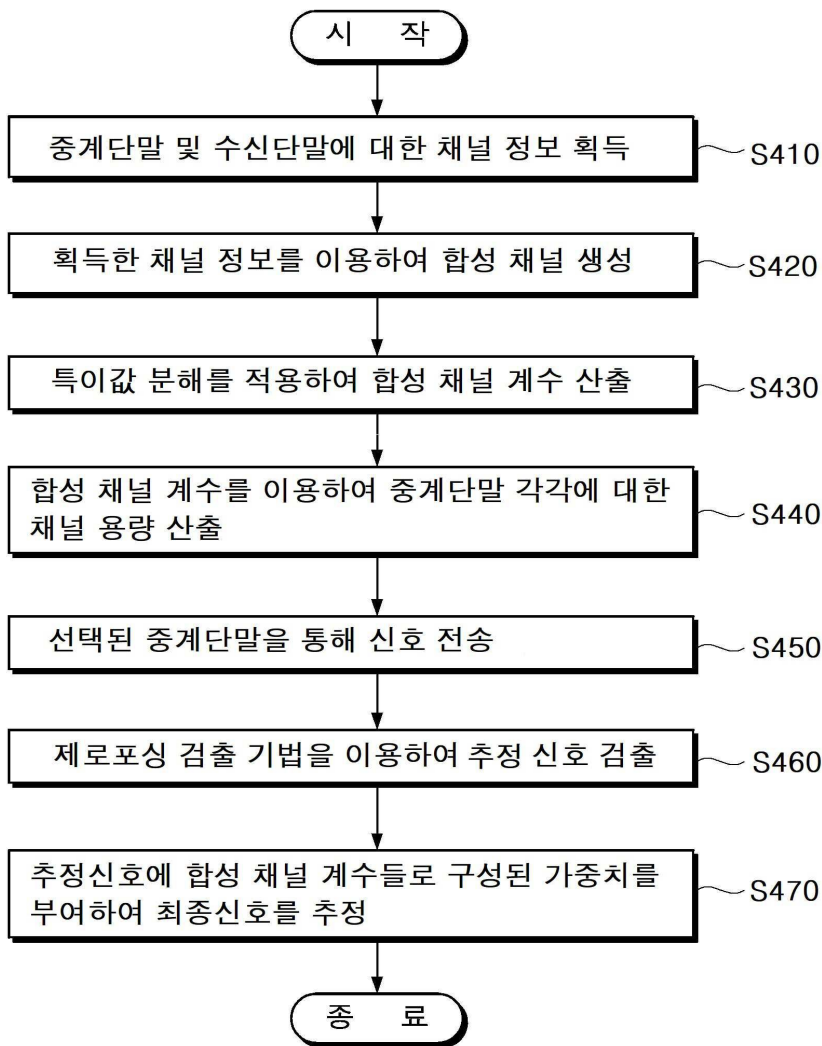
도면2



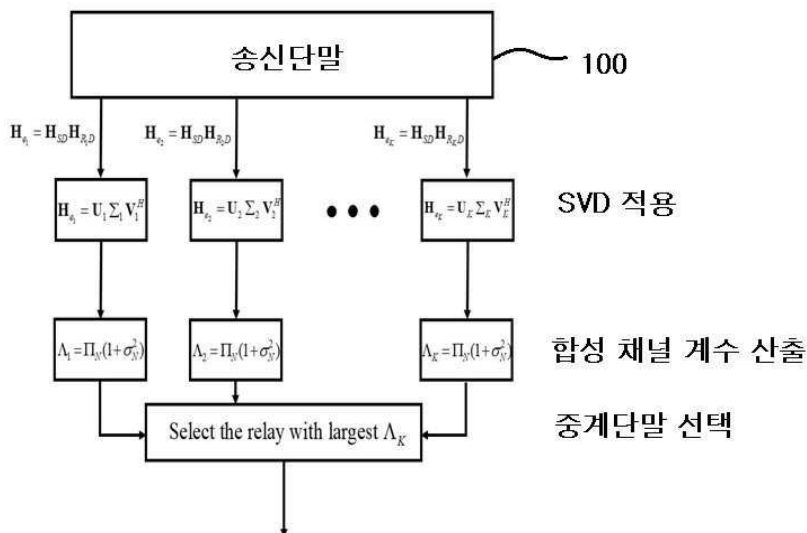
도면3



도면4

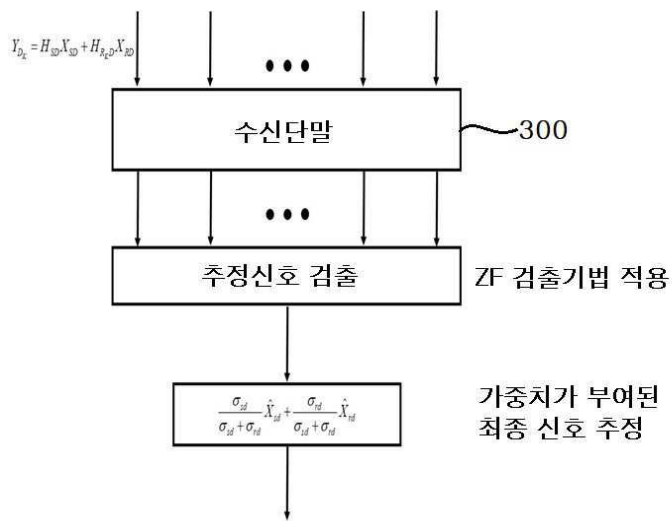


도면5

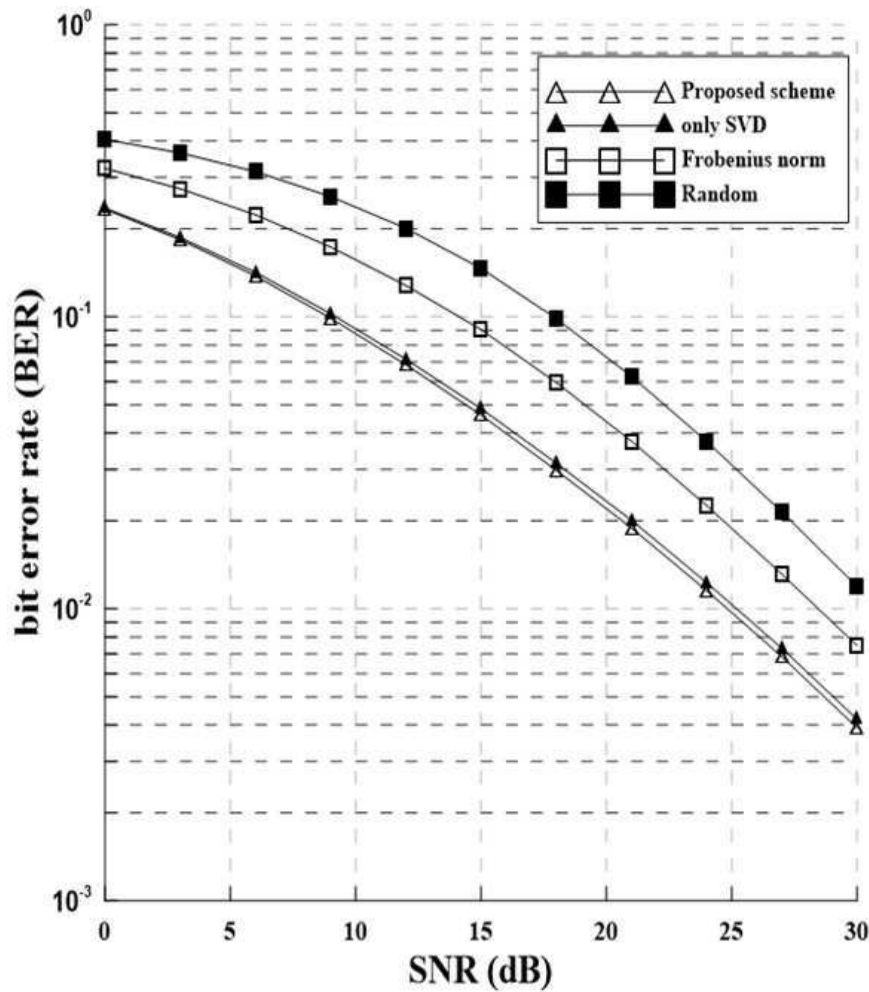




도면6



도면7



【심사관 직권보정사항】

【직권보정 1】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구항 1

**【변경전】**

신뢰성을 향상시키기 위한 MIMO-OFDM 시스템에 있어서,

$$N_t$$

개의 송신 안테나를 가지며, 송신단말과 수신단말 사이의 채널과 복수의 중계단말 각각과 수신단말 사이의 채널을 매칭한 합성 채널로부터 합성 채널 계수를 추출하고, 추출된 합성 채널 계수를 이용하여 채널 용량을 최대화하는 합성 채널 계수에 대응하는 중계단말을 복수의 중계단말들 중에서 선택하여, 선택된 중계단말을 통해 MIMO 신호를 상기 수신단말로 전송하는 송신단말, 그리고

$$N_r$$

개의 수신 안테나를 통해 상기 중계단말로부터 MIMO 신호를 수신하는 수신단말을 포함하며,

상기 송신단말은,

복수의 중계단말에 대하여 각각 파일럿 신호를 송신하여 합성 채널을 추정하는 통신부,

상기 추정된 합성 채널을 이용하여 채널 행렬에 대한 정보를 획득하고, 상기 채널 행렬에 특이값 분해(SVD) 방법을 적용하여 특이값을 추출하는 특이값 추출부,

상기 추출된 특이값을 이용하여 합성 채널 계수를 산출하는 합성 채널 계수 산출부, 그리고

상기 산출된 합성 채널 계수를 이용하여 채널 용량을 산출하고, 산출된 채널 용량 중에서 최대값을 갖는 중계단말을 상기 복수의 중계단말 중에서 선택하는 중계단말 선택부를 포함하고,

상기 합성 채널 계수 산출부는,

상기 산출된 특이값을 하기의 수식에 대입하여 합성 채널 계수를 산출하는 MIMO-OFDM 시스템:

$$\Lambda_K = \prod_{N_t} (1 + \sigma_N^2)$$

여기서,  $\Lambda_K$

는 중계단말 각각의 합성 채널 계수들의 곱을 나타내고,  $\sigma_N^2$ 는 특이값을 나타낸다.

**【변경후】**

신뢰성을 향상시키기 위한 MIMO-OFDM 시스템에 있어서,

$$N_t$$

개의 송신 안테나를 가지며, 송신단말과 수신단말 사이의 채널과 복수의 중계단말 각각과 수신단말 사이의 채널을 매칭한 합성 채널로부터 합성 채널 계수를 추출하고, 추출된 합성 채널 계수를 이용하여 채널 용량을 최대화하는 합성 채널 계수에 대응하는 중계단말을 복수의 중계단말들 중에서 선택하여, 선택된 중계단말을 통해 MIMO 신호를 상기 수신단말로 전송하는 송신단말, 그리고

$$N_r$$

개의 수신 안테나를 통해 상기 중계단말로부터 MIMO 신호를 수신하는 수신단말을 포함하며,

상기 송신단말은,

복수의 중계단말에 대하여 각각 파일럿 신호를 송신하여 합성 채널을 추정하는 통신부,

상기 추정된 합성 채널을 이용하여 채널 행렬에 대한 정보를 획득하고, 상기 채널 행렬에 특이값 분해(SVD) 방법을 적용하여 특이값을 추출하는 특이값 추출부,

상기 추출된 특이값을 이용하여 합성 채널 계수를 산출하는 합성 채널 계수 산출부, 그리고

상기 산출된 합성 채널 계수를 이용하여 채널 용량을 산출하고, 산출된 채널 용량 중에서 최대값을 갖는 중계단말을 상기 복수의 중계단말 중에서 선택하는 중계단말 선택부를 포함하고,

상기 합성 채널 계수 산출부는,

상기 추출된 특이값을 하기의 수학적식에 대입하여 합성 채널 계수를 산출하는 MIMO-OFDM 시스템:

$$\Lambda_K = \prod_{N_t} (1 + \sigma_N^2)$$

여기서,  $\Lambda_K$

는 중계단말 각각의 합성 채널 계수들의 곱을 나타내고,  $\sigma_N^2$ 는 특이값을 나타낸다.