



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2018년08월24일
(11) 등록번호 10-1891074
(24) 등록일자 2018년08월17일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04B 7/155 (2006.01) H04B 7/026 (2017.01)
H04B 7/0413 (2017.01) H04L 25/02 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
H04B 7/15585 (2013.01)
H04B 7/026 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2017-0045294
(22) 출원일자 2017년04월07일
심사청구일자 2017년04월07일
- (56) 선행기술조사문헌
강영운, "전이중방식 증폭 및 전달 중계기의 최적 설계 연구 : Optimal Design of Full-Duplex Amplify-and-Forward Relay," 박사학위논문, 포항공과대학교, (2015)
전상운, "전이중 셀룰라 시스템의 간섭 제어에 관한 최근 연구동향," 한국통신학회논문지, (2015.7)
장일두 외 다수, "OFDM 기반의 Full Duplex Relay에서 자기 간섭 신호 제거 방안," p. 348, 한국통신학회 학술대회논문집, (2010.11)
이진녕 외 다수, "전이중 다중안테나 시스템을 위한 적응적 디지털 자기간섭제거," 한국통신학회 학술대회논문집, p. 824, (2017.1)
- (73) 특허권자
세종대학교 산학협력단
서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)
- (72) 발명자
송형규
경기도 성남시 분당구 중앙공원로 17 320동 303호 (서현동, 시범단지한양아파트)
하창빈
서울특별시 성북구 장위로26길 11-12 2층 (장위동)
- (74) 대리인
특허법인태백

전체 청구항 수 : 총 10 항

심사관 : 신상길

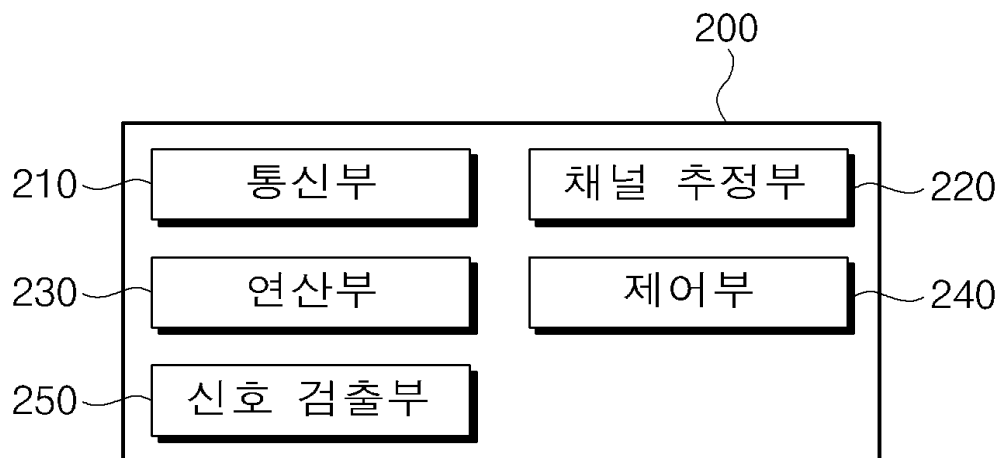
(54) 발명의 명칭 MIMO 기반의 전이중 중계 시스템 및 그것을 이용한 간섭 제거 방법

(57) 요약

본 발명은 MIMO 기반의 전이중 중계 시스템을 이용한 간섭 제거 방법에 관한 것이다. 본 발명에 따르면, 중계 단말은 수신 안테나를 통해 송신 단말로부터 MIMO 신호를 수신하고 송신 안테나를 통해 수신 단말로 MIMO 신호를 송신하는 단계, 송신 단말로부터 수신된 MIMO 신호와 송신 안테나로부터 수신된 자기 간섭 신호를 포함한 수신

(뒷면에 계속)

대 표 도 - 도2



신호로부터 중계 단말과 송신 단말 간 제1 채널과 송수신 안테나 간 제2 채널을 추정하는 단계, 제2 채널에 대한 특이값 분해 결과를 기초로 자기 간섭 신호의 상쇄를 위한 상쇄 행렬을 획득하고, MIMO 신호의 행렬을 QR 분해 후 Z 행렬을 획득하는 단계, 상쇄 행렬 및 Z 행렬 각각의 제1 내지 제 N 행에 대해 두 행렬 간 동일 행에 포함된 간섭 성분의 합이 최소인 제 m 행을 1차 선택하고, 선택한 행을 삭제하여 순환 회전시킨 두 행렬에 대해 다시 합이 최소인 제 m 행을 선택하는 동작을 2차 내지 N 차까지 반복하는 단계, 수신 신호로부터 자기 간섭 신호의 제 m 행 성분과 MIMO 신호의 제 m 행에 포함된 MIMO 간섭 성분을 각각 제거한 결과로부터 m 번째 송신 신호를 검출하되, 1차 내지 N 차 선택된 행의 순으로 순차로 수행하여 N 개 송신 신호를 순차로 검출하는 단계를 포함한다.

본 발명에 의하면, 수신 안테나별 수행되는 간섭 제거의 순서를 통신 환경에 따라 조정하여 송신단말의 신호를 신뢰성 있게 검출하고 전송률을 개선할 수 있다.

(52) CPC특허분류

H04B 7/0413 (2013.01)

H04L 25/0204 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2016937594

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 거대과학연구개발사업

연구과제명 무인 이동체 통신 환경 최적 지원을 위한 FANET 최적 운용 기술 개발 및 통신 모뎀 연구

기 여 율 1/1

주관기관 전자부품연구원

연구기간 2016.09.21 ~ 2019.07.31

명세서

청구범위

청구항 1

MIMO를 기반으로 하는 전이중 중계 시스템을 이용한 간섭 제거 방법에 있어서,

중계 단말은 수신 안테나를 통하여 송신 단말로부터 MIMO 신호를 수신하고 송신 안테나를 통하여 수신 단말로 MIMO 신호를 송신하는 단계;

상기 송신 단말로부터 MIMO 간섭 성분을 포함하여 수신된 상기 MIMO 신호와 상기 송신 안테나로부터 수신된 자기 간섭 신호를 포함한 수신 신호로부터, 상기 중계 단말과 상기 송신 단말 간 제1 채널과, 상기 송신 안테나와 상기 수신 안테나 간 제2 채널을 추정하는 단계;

상기 제2 채널에 대한 특이값 분해 결과를 기초로 상기 자기 간섭 신호를 상쇄하기 위한 상쇄 행렬을 획득하고, 상기 수신 신호 내 상기 MIMO 신호 부분에 대한 상기 제1 채널의 행렬을 QR 분해 후 Q^H 을 곱하여 Z 행렬을 획득하는 단계;

상기 상쇄 행렬 및 상기 Z 행렬 각각의 제1 내지 제N 행에 대하여, 두 행렬 간 동일 행에 포함된 간섭 성분의 합이 최소인 제m 행($m=\{1,2,\dots,N\}$)을 1차 선택하고, 상기 선택한 행을 삭제하여 순환 회전시킨 두 행렬에 대하여 다시 상기 합이 최소인 제m 행을 선택하는 동작을 2차 내지 N차까지 반복하는 단계; 및

상기 수신 신호로부터 상기 자기 간섭 신호의 제m 행 성분과 상기 MIMO 신호의 제m 행에 포함된 상기 MIMO 간섭 성분을 제거한 결과로부터 m번째 송신 신호를 검출하되, 상기 1차 내지 N차 선택된 행의 순으로 순차로 수행하여 N개의 송신 신호를 순차로 검출하는 단계를 포함하는 간섭 제거 방법.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 수신 신호는 아래의 수학식으로 정의되는 간섭 제거 방법:

$$\begin{aligned} \mathbf{Y} &= \mathbf{H}_{SR}\mathbf{X}_S + \mathbf{H}_{RR}\mathbf{X}_R + \mathbf{N} \\ &= \sum_{i=1}^{N_R^r} \sum_{j=1}^{N_S^t} h_{SR}^{(i,j)} x_S^j + \sum_{i=1}^{N_R^r} \sum_{j=1}^{N_R^t} h_{RR}^{(i,j)} x_R^j + \mathbf{N} \end{aligned}$$

여기서, Y는 수신 신호, H_{SR} 은 상기 제1 채널, H_{RR} 은 상기 제2 채널, X_S 는 상기 송신 단말이 전송한 MIMO 신호, X_R 은 상기 송신 안테나로부터 상기 수신 안테나로 유입된 MIMO 신호인 상기 자기 간섭 신호, N은 백색 가우시안 잡음, N_S^t 는 송신 단말의 송신 안테나 개수, N_R^t 및 N_R^r 은 각각 중계 단말의 송신 안테나 및 수신 안테나의 개수, $h_{AB}^{(i,j)}$ 는 A의 j번째 송신 안테나와 B의 i번째 수신 안테나 간의 채널을 나타낸다.

청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 송신 단말, 상기 중계 단말 및 상기 수신 단말에 N개의 안테나가 각각 설치된 경우, 상기 Z 행렬($\hat{\mathbf{Z}}$)은 아래의 수학식으로 정의되는 간섭 제거 방법:

$$\begin{aligned}\hat{\mathbf{Z}} &= \hat{\mathbf{Q}}^H \mathbf{H}_{SR} \mathbf{X}_S = \hat{\mathbf{Q}}^H \mathbf{Q} \mathbf{R} \mathbf{X}_S \\ &= \begin{bmatrix} \hat{z}_1 \\ \hat{z}_2 \\ \vdots \\ \hat{z}_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{r}_{1,1} & \hat{r}_{1,2} & \cdots & \hat{r}_{1,N} \\ \sigma_{2,1} & \hat{r}_{2,2} & \cdots & \hat{r}_{2,N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{N,1} & \sigma_{N,2} & \cdots & \hat{r}_{N,N} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_N \end{bmatrix}\end{aligned}$$

여기서, $\hat{\mathbf{Q}}$ 는 $\hat{\mathbf{Q}}\hat{\mathbf{Q}}^H = \mathbf{I}$ 를 만족하는 정규직교 행렬, $\mathbf{R}$ 은 상삼각 행렬, $\mathbf{H}_{SR}$ 은 상기 제1 채널, $\mathbf{X}_S$ 는 상기 송신 단말이 전송한 MIMO 신호, 상기 상삼각 행렬의 대각성분 아래에 위치한 σ 는 상기 송신 단말이 전송한 MIMO 신호에 포함되어 수신된 상기 MIMO 간섭 성분을 나타낸다.

청구항 4

청구항 3에 있어서,

아래의 수학적식을 이용하여 상기 간섭 성분의 합이 최소인 제 m 행(k_m)을 선택하는 간섭 제거 방법:

$$k_m = \underset{k \in \{1, 2, \dots, N\}}{\operatorname{argmin}} \left\{ \sum_{n=1}^{k-1} \sigma_{k,n} + (\hat{F}_{rx} H_{RR} \hat{F}_{tx})_k \right\}$$

여기서, $\sum \sigma$ 는 상기 Z 행렬 내 상삼각 행렬에서 대각성분 아래에 위치한 간섭 성분 중 k 번째 행에 포함된 간섭 성분, $\hat{F}_{rx} H_{RR} \hat{F}_{tx}$ 는 상기 상쇄 행렬, $(\cdot)_k$ 는 괄호 내 행렬의 k 번째 행만을 취하는 함수, H_{RR} 은 상기 제 2 채널, $\hat{F}_{rx}$ 및 $\hat{F}_{tx}$ 는 상기 특이값 분해를 통해 획득한 수신 필터 및 송신 필터를 나타낸다.

청구항 5

청구항 4에 있어서,

아래의 수학적식을 이용하여 상기 수신 신호로부터 상기 m 번째 송신 신호($\tilde{x}_m$)를 검출하는 간섭 제거 방법:

$$\tilde{x}_m = \mathcal{Q} \left[\left\{ (\hat{\mathbf{Q}}^H \tilde{\mathbf{Y}})_m - \sum_{n=1}^{m-1} \sigma_{m,n} x_n \right\} / \hat{r}_{m,m} \right]$$

$\tilde{\mathbf{Y}} = \mathbf{Y} - (\hat{\mathbf{F}}_{rx} \mathbf{H}_{RR} \hat{\mathbf{F}}_{tx} \mathbf{X}_R)$, $\mathcal{Q}(\cdot)$ 여기서, $\mathbf{Y}$ 는 상기 수신 신호, $\mathbf{X}_R$ 은 상기 자기 간섭 신호, 는 복조 함수, $(\cdot)_m$ 은 괄호 내 행렬에서 제 m 행만을 취하는 함수를 나타낸다.

청구항 6

MIMO를 기반으로 하는 전이중 중계 시스템에 있어서,

상기 전이중 중계 시스템에 포함된 중계 단말은,

수신 안테나를 통하여 송신 단말로부터 MIMO 신호를 수신하고 송신 안테나를 통하여 수신 단말로 MIMO 신호를 송신하는 통신부;

상기 송신 단말로부터 MIMO 간섭 성분을 포함하여 수신된 상기 MIMO 신호와 상기 송신 안테나로부터 수신된 자기 간섭 신호를 포함한 수신 신호로부터, 상기 중계 단말과 상기 송신 단말 간 제1 채널과, 상기 송신 안테나와 상기 수신 안테나 간 제2 채널을 추정하는 채널 추정부;

상기 제2 채널에 대한 특이값 분해 결과를 기초로 상기 자기 간섭 신호를 상쇄하기 위한 상쇄 행렬을 획득하고, 상기 수신 신호 내 상기 MIMO 신호 부분에 대한 상기 제1 채널의 행렬을 QR 분해 후 Q^H 을 곱하여 Z 행렬을 획득하는 연산부;

상기 상쇄 행렬 및 상기 Z 행렬 각각의 제1 내지 제N 행에 대하여, 두 행렬 간 동일 행에 포함된 간섭 성분의 합이 최소인 제m 행($m=\{1,2,\dots,N\}$)을 1차 선택하고, 상기 선택한 행을 삭제하여 순환 회전시킨 두 행렬에 대하여 다시 상기 합이 최소인 제m 행을 선택하는 동작을 2차 내지 N차까지 반복하는 제어부; 및

상기 수신 신호로부터 상기 자기 간섭 신호의 제m 행 성분과 상기 MIMO 신호의 제m 행에 포함된 상기 MIMO 간섭 성분을 제거한 결과로부터 m번째 송신 신호를 검출하되, 상기 1차 내지 N차 선택된 행의 순으로 순차로 수행하여 N개의 송신 신호를 순차로 검출하는 신호 검출부를 포함하는 MIMO 기반의 전이중 중계 시스템.

청구항 7

청구항 6에 있어서,

상기 수신 신호는 아래의 수학식으로 정의되는 MIMO 기반의 전이중 중계 시스템:

$$\begin{aligned} \mathbf{Y} &= \mathbf{H}_{SR}\mathbf{X}_S + \mathbf{H}_{RR}\mathbf{X}_R + \mathbf{N} \\ &= \sum_{i=1}^{N_R^r} \sum_{j=1}^{N_S^t} h_{SR}^{(i,j)} x_S^j + \sum_{i=1}^{N_R^r} \sum_{j=1}^{N_R^t} h_{RR}^{(i,j)} x_R^j + \mathbf{N} \end{aligned}$$

여기서, Y는 수신 신호, H_{SR} 은 상기 제1 채널, H_{RR} 은 상기 제2 채널, X_S 는 상기 송신 단말이 전송한 MIMO 신호, X_R 은 상기 송신 안테나로부터 상기 수신 안테나로 유입된 MIMO 신호인 상기 자기 간섭 신호, N은 백색 가우시안 잡음, N_S^t 는 송신 단말의 송신 안테나 개수, N_R^t 및 N_R^r 은 각각 중계 단말의 송신 안테나 및 수신 안테나의 개수, $h_{AB}^{(i,j)}$ 는 A의 j번째 송신 안테나와 B의 i번째 수신 안테나 간의 채널을 나타낸다.

청구항 8

청구항 6에 있어서,

상기 송신 단말, 상기 중계 단말 및 상기 수신 단말에 N개의 안테나가 각각 설치된 경우, 상기 Z 행렬($\hat{\mathbf{Z}}$)은 아래의 수학식으로 정의되는 MIMO 기반의 전이중 중계 시스템:

$$\begin{aligned} \hat{\mathbf{Z}} &= \hat{\mathbf{Q}}^H \mathbf{H}_{SR} \mathbf{X}_S = \hat{\mathbf{Q}}^H \mathbf{Q} \mathbf{R} \mathbf{X}_S \\ &= \begin{bmatrix} \hat{z}_1 \\ \hat{z}_2 \\ \vdots \\ \hat{z}_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{r}_{1,1} & \hat{r}_{1,2} & \cdots & \hat{r}_{1,N} \\ \sigma_{2,1} & \hat{r}_{2,2} & \cdots & \hat{r}_{2,N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{N,1} & \sigma_{N,2} & \cdots & \hat{r}_{N,N} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_N \end{bmatrix} \end{aligned}$$

여기서, $\hat{\mathbf{Q}}$ 는 $\hat{\mathbf{Q}}\hat{\mathbf{Q}}^H = \mathbf{I}$ 를 만족하는 정규직교 행렬, $\mathbf{R}$ 은 상삼각 행렬, H_{SR} 은 상기 제1 채널, X_S 는 상기 송신 단말이 전송한 MIMO 신호, 상기 상삼각 행렬의 대각성분 아래에 위치한 σ 는 상기 송신 단말이 전송한 MIMO 신호에 포함되어 수신된 상기 MIMO 간섭 성분을 나타낸다.

청구항 9

청구항 8에 있어서,

상기 제어부는,

아래의 수학적식을 이용하여 상기 간섭 성분의 합이 최소인 제 m 행(k_m)을 선택하는 MIMO 기반의 전이중 중계 시스템:

$$k_m = \underset{k \in \{1, 2, \dots, N\}}{\operatorname{argmin}} \left\{ \sum_{n=1}^{k-1} \sigma_{k,n} + (\widehat{F}_{rx} H_{RR} \widehat{F}_{tx})_k \right\}$$

여기서, $\sum \sigma$ 는 상기 Z 행렬 내 상삼각 행렬에서 대각성분 아래에 위치한 간섭 성분 중 k 번째 행에 포함된 간섭

성분, $\widehat{F}_{rx} H_{RR} \widehat{F}_{tx}$ 는 상기 상쇄 행렬, $(\cdot)_k$ 는 괄호 내 행렬의 k 번째 행만을 취하는 함수, H_{RR} 은 상기 제

2 채널, $\widehat{F}_{rx}$ 및 $\widehat{F}_{tx}$ 는 상기 특이값 분해를 통해 획득한 수신 필터 및 송신 필터를 나타낸다.

청구항 10

청구항 9에 있어서,

상기 신호 검출부는,

아래의 수학적식을 이용하여 상기 수신 신호로부터 상기 m 번째 송신 신호($\tilde{x}_m$)를 검출하는 MIMO 기반의 전이중 중계 시스템:

$$\tilde{x}_m = \mathcal{Q} \left[\left\{ (\hat{\mathbf{Q}}^H \tilde{\mathbf{Y}})_m - \sum_{n=1}^{m-1} \sigma_{m,n} x_n \right\} / \hat{r}_{m,m} \right]$$

여기서, $\tilde{\mathbf{Y}} = \mathbf{Y} - (\hat{\mathbf{F}}_{rx} \mathbf{H}_{RR} \hat{\mathbf{F}}_{tx} \mathbf{X}_R)$, $\mathbf{Y}$ 는 상기 수신 신호, $\mathbf{X}_R$ 은 상기 자기 간섭 신호, $\mathcal{Q}(\cdot)$

는 복조 함수, $(\cdot)_m$ 은 괄호 내 행렬에서 제 m 행만을 취하는 함수를 나타낸다.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 MIMO 기반의 전이중 중계 시스템 및 그것을 이용한 간섭 제거 방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 중계 단말에서 송신 단말의 신호를 신뢰성 있게 검출할 수 있고 전송률을 높일 수 있는 MIMO 기반의 전이중 중계 시스템 및 그것을 이용한 간섭 제거 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 무선 통신 시스템에서 MIMO(Multiple-Input Multiple-Output) 시스템은 높은 대역폭 및 전력 효율로 기존의 SISO(Single Input Single Output) 시스템보다 높은 채널 용량을 제공한다.

[0003] 이처럼 MIMO 기술은 LTE(Long-Term Evolution)와 WiFi(Wireless Fidelity) 등의 통신 표준에서 높은 대역 효율을 성취하기 위한 핵심 기술로서 사용되고 있다. 또한, 협력 중계(Cooperative Relaying) 통신은 광범위한 통신 범위와 높은 전송률 및 신뢰성을 제공하는 효과적인 방법이다. 중계 통신의 방식은 전이중 방식(FD; Full-Duplex)과 반이중 방식(HD; Half-Duplex)로 분류된다.

[0004] 전이중 중계 방식은 반이중 중계 방식보다 최대 2배의 전송률을 지원할 수 있으나, 중계 단말로부터 상대적으로 먼 거리에 위치한 송신 단말의 전송 신호와, 중계 단말 자체의 송신 및 수신 안테나 간에 발생하는 자기 간섭 신호 간의 큰 전력 차로 인하여, 간섭 제거의 문제가 발생하고 그에 따른 전송률 및 신뢰성 저하 문제가 존재한다.

[0005] 또한, 기존에는 송신 단말의 전송 신호에 포함된 간섭 신호와 중계 단말 자체에서 발생한 자기 간섭 신호를 독립적으로 제거하였으나 중계 단말에서 이들 두 가지 간섭을 동시에 제거할 수 있는 기술이 요구된다.

[0006] 본 발명의 배경이 되는 기술은 한국등록특허 제10-1670705호(2016.11.01 공고)에 개시되어 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명은 중계 단말에서 송신 단말의 신호를 신뢰성 있게 검출할 수 있고 전송률을 높일 수 있는 MIMO 기반의 전이중 중계 시스템 및 그것을 이용한 간섭 제거 방법을 제공하는데 목적이 있다.

과제의 해결 수단

[0008] 본 발명은, MIMO를 기반으로 하는 전이중 중계 시스템을 이용한 간섭 제거 방법에 있어서, 중계 단말은 수신 안테나를 통하여 송신 단말로부터 MIMO 신호를 수신하고 송신 안테나를 통하여 수신 단말로 MIMO 신호를 송신하는 단계와, 상기 송신 단말로부터 MIMO 간섭 성분을 포함하여 수신된 상기 MIMO 신호와 상기 송신 안테나로부터 수신된 자기 간섭 신호를 포함한 수신 신호로부터, 상기 중계 단말과 상기 송신 단말 간 제1 채널과, 상기 송신 안테나와 상기 수신 안테나 간 제2 채널을 추정하는 단계와, 상기 제2 채널에 대한 특이값 분해 결과를 기초로 상기 자기 간섭 신호를 상쇄하기 위한 상쇄 행렬을 획득하고, 상기 수신 신호 내 상기 MIMO 신호 부분에 대한 상기 제1 채널의 행렬을 QR 분해 후 Q^H 를 곱하여 Z 행렬을 획득하는 단계와, 상기 상쇄 행렬 및 상기 Z 행렬 각각의 제1 내지 제N 행에 대하여, 두 행렬 간 동일 행에 포함된 간섭 성분의 합이 최소인 제m 행($m=\{1,2,\dots,N\}$)을 1차 선택하고, 상기 선택한 행을 삭제하여 순환 회전시킨 두 행렬에 대하여 다시 상기 합이 최소인 제m 행을 선택하는 동작을 2차 내지 N차까지 반복하는 단계, 및 상기 수신 신호로부터 상기 자기 간섭 신호의 제m 행 성분과 상기 MIMO 신호의 제m 행에 포함된 상기 MIMO 간섭 성분을 제거한 결과로부터 m번째 송신 신호를 검출하되, 상기 1차 내지 N차 선택된 행의 순으로 순차로 수행하여 N개의 송신 신호를 순차로 검출하는 단계를 포함하는 간섭 제거 방법을 제공한다.

[0009] 또한, 상기 수신 신호는 아래의 수학식으로 정의될 수 있다.

$$\begin{aligned} \mathbf{Y} &= \mathbf{H}_{SR}\mathbf{X}_S + \mathbf{H}_{RR}\mathbf{X}_R + \mathbf{N} \\ &= \sum_{i=1}^{N_R^r} \sum_{j=1}^{N_S^t} h_{SR}^{(i,j)} x_S^j + \sum_{i=1}^{N_R^r} \sum_{j=1}^{N_R^t} h_{RR}^{(i,j)} x_R^j + \mathbf{N} \end{aligned}$$

[0010]

[0011] 여기서, $\mathbf{Y}$ 는 수신 신호, $\mathbf{H}_{SR}$ 은 상기 제1 채널, $\mathbf{H}_{RR}$ 은 상기 제2 채널, $\mathbf{X}_S$ 는 상기 송신 단말이 전송한 MIMO 신호, $\mathbf{X}_R$ 은 상기 송신 안테나로부터 상기 수신 안테나로 유입된 MIMO 신호인 상기 자기 간섭 신호, $\mathbf{N}$ 은 백색 가우시안 잡음, N_S^t 는 송신 단말의 송신 안테나 개수, N_R^t 및 N_R^r 은 각각 중계 단말의 송신 안테나 및 수신 안테나의 개수, $h_{AB}^{(i,j)}$ 는 A의 j번째 송신 안테나와 B의 i번째 수신 안테나 간의 채널을 나타낸다.

[0012] 또한, 상기 송신 단말, 상기 중계 단말 및 상기 수신 단말에 N개의 안테나가 각각 설치된 경우, 상기 Z 행렬 ($\hat{\mathbf{Z}}$)은 아래의 수학식으로 정의될 수 있다.

$$\begin{aligned}\hat{\mathbf{Z}} &= \hat{\mathbf{Q}}^H \mathbf{H}_{SR} \mathbf{X}_S = \hat{\mathbf{Q}}^H \mathbf{Q} \mathbf{R} \mathbf{X}_S \\ &= \begin{bmatrix} \hat{z}_1 \\ \hat{z}_2 \\ \vdots \\ \hat{z}_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{r}_{1,1} & \hat{r}_{1,2} & \cdots & \hat{r}_{1,N} \\ \sigma_{2,1} & \hat{r}_{2,2} & \cdots & \hat{r}_{2,N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{N,1} & \sigma_{N,2} & \cdots & \hat{r}_{N,N} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_N \end{bmatrix}\end{aligned}$$

여기서, $\hat{\mathbf{Q}}$ 는 $\hat{\mathbf{Q}}\hat{\mathbf{Q}}^H = \mathbf{I}$ 를 만족하는 정규직교 행렬, $\mathbf{R}$ 은 상삼각 행렬, $\mathbf{H}_{SR}$ 은 상기 제1 채널, $\mathbf{X}_S$ 는 상기 송신 단말이 전송한 MIMO 신호, 상기 상삼각 행렬의 대각성분 아래에 위치한 σ 는 상기 송신 단말이 전송한 MIMO 신호에 포함되어 수신된 상기 MIMO 간섭 성분을 나타낸다.

또한, 상기 간섭 제거 방법은, 아래의 수학적식을 이용하여 상기 간섭 성분의 합이 최소인 제 m 행(k_m)을 선택할 수 있다.

$$k_m = \underset{k \in \{1, 2, \dots, N\}}{\operatorname{argmin}} \left\{ \sum_{n=1}^{k-1} \sigma_{k,n} + (\hat{F}_{rx} H_{RR} \hat{F}_{tx})_k \right\}$$

여기서, $\sum \sigma$ 는 상기 Z 행렬 내 상삼각 행렬에서 대각성분 아래에 위치한 간섭 성분 중 k 번째 행에 포함된 간섭 성분, $\hat{F}_{rx} H_{RR} \hat{F}_{tx}$ 는 상기 상쇄 행렬, $(\cdot)_k$ 는 괄호 내 행렬의 k 번째 행만을 취하는 함수, H_{RR} 은 상기 제2 채널, $\hat{F}_{rx}$ 및 $\hat{F}_{tx}$ 는 상기 특이값 분해를 통해 획득한 수신 필터 및 송신 필터를 나타낸다.

또한, 상기 간섭 제거 방법은, 아래의 수학적식을 이용하여 상기 수신 신호로부터 상기 m 번째 송신 신호($\tilde{x}_m$)를 검출할 수 있다.

$$\tilde{x}_m = Q \left[\left\{ (\hat{\mathbf{Q}}^H \tilde{\mathbf{Y}})_m - \sum_{n=1}^{m-1} \sigma_{m,n} x_n \right\} / \hat{r}_{m,m} \right]$$

여기서, $\tilde{\mathbf{Y}} = \mathbf{Y} - (\hat{\mathbf{F}}_{rx} \mathbf{H}_{RR} \hat{\mathbf{F}}_{tx} \mathbf{X}_R)$, $\mathbf{Y}$ 는 상기 수신 신호, $\mathbf{X}_R$ 은 상기 자기 간섭 신호, $Q(\cdot)$ 는 복조 함수, $(\cdot)_m$ 은 괄호 내 행렬에서 제 m 행만을 취하는 함수를 나타낸다.

그리고, 본 발명은, MIMO를 기반으로 하는 전이중 중계 시스템에 있어서, 상기 전이중 중계 시스템에 포함된 중계 단말은, 수신 안테나를 통하여 송신 단말로부터 MIMO 신호를 수신하고 송신 안테나를 통하여 수신 단말로 MIMO 신호를 송신하는 통신부와, 상기 송신 단말로부터 MIMO 간섭 성분을 포함하여 수신된 상기 MIMO 신호와 상기 송신 안테나로부터 수신된 자기 간섭 신호를 포함한 수신 신호로부터, 상기 중계 단말과 상기 송신 단말 간 제1 채널과, 상기 송신 안테나와 상기 수신 안테나 간 제2 채널을 추정하는 채널 추정부와, 상기 제2 채널에 대한 특이값 분해 결과를 기초로 상기 자기 간섭 신호를 상쇄하기 위한 상쇄 행렬을 획득하고, 상기 수신 신호 내 상기 MIMO 신호 부분에 대한 상기 제1 채널의 행렬을 QR 분해 후 $\mathbf{Q}^H$ 을 곱하여 Z 행렬을 획득하는 연산부와, 상기 상쇄 행렬 및 상기 Z 행렬 각각의 제1 내지 제 N 행에 대하여, 두 행렬 간 동일 행에 포함된 간섭 성분의 합이 최소인 제 m 행($m=\{1, 2, \dots, N\}$)을 1차 선택하고, 상기 선택한 행을 삭제하여 순환 회전시킨 두 행렬에 대하여 다시 상기 합이 최소인 제 m 행을 선택하는 동작을 2차 내지 N 차까지 반복하는 제어부, 및 상기 수신 신호로부터 상기 자기 간섭 신호의 제 m 행 성분과 상기 MIMO 신호의 제 m 행에 포함된 상기 MIMO 간섭 성분을 제거한 결과로

부터 m 번째 송신 신호를 검출하되, 상기 1차 내지 N 차 선택된 행의 순으로 순차로 수행하여 N 개의 송신 신호를 순차로 검출하는 신호 검출부를 포함하는 MIMO 기반의 전이중 중계 시스템을 제공한다.

발명의 효과

[0022] 본 발명에 의하면, 중계 단말이 송신 단말의 신호 검출 시에 통신 환경에 따라 수신 안테나별 수행되는 간섭 제거 순서를 조정함으로써, 송신 단말의 송신 안테나로부터 간섭 및 중계 단말의 송신 안테나로부터의 간섭을 동시에 최소화할 수 있으며, 송신 단말의 신호를 신뢰성 있게 검출하고 전송률을 개선할 수 있는 이점이 있다.

도면의 간단한 설명

[0023] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 MIMO 기반의 전이중 중계 시스템을 나타낸 도면이다.
 도 2는 도 1에 도시된 중계 단말의 구성을 나타낸 도면이다.
 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 간섭 제거 방법을 설명하는 도면이다.
 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 전이중 중계 시스템과 기존의 반이중 중계 시스템의 전송률을 비교한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0024] 그러면 첨부한 도면을 참고로 하여 본 발명의 실시예에 대하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다.

[0025] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 MIMO 기반의 전이중 중계 시스템을 나타낸 도면이다. 도 1에 나타낸 바와 같이, MIMO 기반의 전이중 중계 시스템은 송신 단말(100;S), 중계 단말(200;R), 그리고 수신 단말(300;D)을 포함한다.

[0026] 여기서, 도 1은 송신 단말(100), 중계 단말(200) 및 수신 단말(300)에 각각 N 개의 안테나가 설치된 $N \times N$ MIMO 시스템으로 가정한다. 즉, 송신 단말(100)은 N 개의 송신 안테나를 가지고, 중계 단말(200)은 N 개의 송신 안테나와 N 개의 수신 안테나를 각각 가지며, 수신 단말(300)은 N 개의 수신 안테나를 가진다.

[0027] 송신 단말(100)은 N 개의 송신 안테나를 통해 N 개의 송신 신호(MIMO 신호)를 송신하며 송신 신호는 제1 채널(H_{SR})을 통과한 뒤 혼합되어 중계 단말(200)의 N 개의 수신 안테나로 각각 수신된다. 중계 단말(200)은 송신 단말(100)이 보낸 MIMO 신호를 자신의 수신 안테나를 통하여 수신하고, MIMO 신호를 자신의 송신 안테나를 통하여 수신 단말(300)로 송신한다.

[0028] 중계 단말(200)은 전이중(full-duplex) 통신을 사용하므로, 송신 단말(100)로부터 MIMO 신호를 받는 동작과, MIMO 신호를 수신 단말(300)로 보내는 동작을 동일 타임 슬롯에서 수행한다. 그 과정에서 중계 단말(200) 내부에서는 송신 안테나를 통해 수신 단말(300)로 송신한 MIMO 신호가 수신 안테나로 유입되는 자기 간섭(Self-Interference)이 발생한다.

[0029] 본 발명의 실시예에서는 크게 두 가지 간섭이 존재하는데, 하나는 송신 단말(100)의 송신 안테나와 중계 단말(200)의 수신 안테나 간의 제1 채널(H_{SR})을 통한 MIMO 간섭(MIMO-Interference)이고, 나머지 하나는 중계 단말(200) 자체의 송신 안테나와 수신 안테나 간의 제2 채널(H_{RR})을 통한 자기 간섭(Self-Interference)이다.

[0030] 송신 단말(100)이 송신한 MIMO 신호는 제1 채널(H_{SR})을 통과하면서 MIMO 간섭 성분이 포함된 상태로 중계 단말(200)로 수신된다. 따라서, 중계 단말(200)이 송신 단말(100)로부터 수신한 MIMO 신호에는 MIMO 간섭(MIMO-Interference) 성분이 포함되어 있다.

[0031] 중계 단말(200)이 수신 단말(300)로 송신한 MIMO 신호는 제3 채널(H_{SD})를 통해 수신 단말(300)로 수신되지만 제2 채널(H_{RR})를 통해 수신 안테나로도 유입되어 자기 간섭을 일으킨다. 이하에서는 중계 단말(200)의 제2 채널(H_{RR})를 통해 들어오는 MIMO 신호를 자기 간섭 신호라 명명한다.

[0032] 이와 같이 중계 단말(200)의 수신 안테나에는 실제 송신 단말(100)이 송신한 MIMO 신호(검출 대상 신호) 이외에도, 두 가지 간섭 성분 즉, 실제 송신 단말(100)이 송신한 MIMO 신호에 포함되어 수신되는 MIMO 간섭 성분과,

내부적으로 발생한 자기 간섭 신호가 함께 수신된다.

- [0033] 중계 단말(200)은 송신 단말(100)이 보낸 MIMO 신호(N개 송신 신호)를 정확히 검출할 수 있어야 하며, 이를 위해 수신 안테나의 수신 신호로부터 두 가지 간섭 성분을 효과적으로 제거할 수 있어야 한다.
- [0034] 본 발명의 실시예에서 중계 단말(200)은 송신 단말(100)의 신호 검출 시에 통신 환경에 따라 수신 안테나별 수행되는 간섭 제거의 순서를 조정한다. 중계 단말(200)은 자신의 N개의 수신 안테나의 수신 신호 성분을 분석하여 간섭 성분이 가장 최소인 수신 안테나부터 순차적으로 간섭을 제거하면서 그에 대응하는 순서대로 N개 송신 신호를 순차로 검출한다.
- [0035] 예를 들어, 기존처럼 단순히 $x_1 \rightarrow x_2 \rightarrow x_3 \rightarrow x_4$ 순으로 4개의 송신 신호를 검출하는 것이 아니라, $x_3 \rightarrow x_1 \rightarrow x_4 \rightarrow x_2$ 순으로 4개의 송신 신호를 순차로 검출할 수 있다. 이와 같이, 중계 단말(200)은 복수의 수신 안테나 중에서 간섭 성분이 작은 순서 즉, 신뢰성 높은 수신 안테나부터 간섭을 제거하면서 간섭이 제거된 수신 신호로부터 그에 대응하는 나머지 송신 신호를 순차로 검출할 수 있다.
- [0036] 도 2는 도 1에 도시된 중계 단말의 구성을 나타낸 도면이고, 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 간섭 제거 방법을 설명하는 도면이다.
- [0037] 도 2 및 도 3을 참조하면, 중계 단말(200)은 통신부(210), 채널 추정부(220), 연산부(230), 제어부(240), 신호 검출부(250)를 포함한다.
- [0038] 먼저, 중계 단말(200)의 통신부(210)는 수신 안테나를 통하여 송신 단말(100)로부터 MIMO 신호를 수신하고 송신 안테나를 통하여 수신 단말로 MIMO 신호를 송신한다(S310).
- [0039] 중계 단말(200)은 전이중 방식의 통신을 사용하기 때문에 수신과 송신 동작이 동시에 이루어진다. 또한, 중계 단말(200)의 수신 안테나에는 송신 단말(100)이 보낸 MIMO 신호, 및 수신 단말(300)로 보내는 MIMO 신호(이하, 자기 간섭 신호)가 함께 유입된다. 물론, 송신 단말(100)이 보낸 MIMO 신호에는 MIMO 간섭 성분이 포함되어 있다.
- [0040] 이와 같이 중계 단말(200)의 수신 안테나에 수신되는 신호(이하, 수신 신호)는 송신 단말(100)로부터 MIMO 간섭 성분을 포함하여 수신된 'MIMO 신호'와, 자신의 송신 안테나로부터 수신된 '자기 간섭 신호'를 포함한다.
- [0041] 중계 단말(200)의 수신 신호 Y는 아래의 수학적 식 1과 같이 나타낼 수 있다.

수학적 식 1

$$\begin{aligned} \mathbf{Y} &= \mathbf{H}_{SR}\mathbf{X}_S + \mathbf{H}_{RR}\mathbf{X}_R + \mathbf{N} \\ &= \sum_{i=1}^{N_R^r} \sum_{j=1}^{N_S^t} h_{SR}^{(i,j)} x_S^j + \sum_{i=1}^{N_R^r} \sum_{j=1}^{N_R^t} h_{RR}^{(i,j)} x_R^j + \mathbf{N} \end{aligned}$$

- [0042]
- [0043] 여기서, H_{SR} 은 중계 단말(200)과 송신 단말(100) 간 채널(제1 채널), H_{RR} 은 중계 단말(200)의 송신 안테나와 수신 안테나 간 채널(제2 채널), X_S 는 송신 단말(100)이 전송한 MIMO 신호, X_R 은 중계 단말(200)의 송신 안테나로부터 수신 안테나로 유입된 MIMO 신호인 자기 간섭 신호, N은 백색 가우시안 잡음(Additive White Gaussian Noise: AWGN)를 의미한다.
- [0044] 또한, N_S^t 는 송신 단말(100)의 송신 안테나 개수, N_R^t 및 N_R^r 은 각각 중계 단말(200)의 송신 안테나 및 수신 안테나의 개수, $h_{AB}^{(i,j)}$ 는 A의 j번째 송신 안테나와 B의 i번째 수신 안테나 간의 채널을 나타낸다. 물론, h의 아래첨자 중 S는 송신 단말(100), R은 중계 단말(200)을 나타낸다.
- [0045] 이후에, 채널 추정부(220)는 수신 신호(Y)로부터 중계 단말(200)과 송신 단말(100) 간 채널(H_{SR} ; 제1 채널)과, 송신 안테나와 수신 안테나 간 채널(H_{RR} ; 제2 채널)을 추정한다(S320).

[0046] 이와 같이 간섭을 보상하기 위해서는 채널 추정이 선행된다. 비 이상적인 채널 추정은 수학식 2에 의해 정의된다.

수학식 2

$$\begin{aligned}\mathbf{H}_{\text{SR}} &= \hat{\mathbf{H}}_{\text{SR}} + \Delta\hat{\mathbf{H}}_{\text{SR}} \\ \mathbf{H}_{\text{RR}} &= \hat{\mathbf{H}}_{\text{RR}} + \Delta\hat{\mathbf{H}}_{\text{RR}}\end{aligned}$$

[0047]

[0048] 수학식 2에서, 실제 채널($\mathbf{H}$)은 각각 추정된 채널($\hat{\mathbf{H}}$)과 추정 에러($\Delta\hat{\mathbf{H}}$)의 합으로 정의된다. 추정된 채널($\hat{\mathbf{H}}$)은 파일럿 신호를 이용하여 알아낼 수 있는 값이며 이는 통상의 기술 범위에 해당한다.

[0049] 그리고 상대적 추정 에러는 수학식 3에 의해 정의된다.

수학식 3

$$\varepsilon_{\text{H}}[\text{dB}] = 10 \log \frac{|\mathbf{H}|^2}{|\Delta\hat{\mathbf{H}}|^2}$$

[0050]

[0051] 상대적 추정 에러는 추정된 채널($\hat{\mathbf{H}}$)의 제곱 값을 추정 에러($\Delta\hat{\mathbf{H}}$)의 제곱 값으로 나눈 결과에 로그를 취하여 얻어진다. 수학식 3을 이용하면 $\mathbf{H}_{\text{SR}}$ 의 상대적 추정 에러($\varepsilon_{\text{H}}^{\text{SR}}$)와 $\mathbf{H}_{\text{RR}}$ 의 상대적 추정 에러($\varepsilon_{\text{H}}^{\text{RR}}$)를 얻을 수 있다.

[0052] 추정된 제2 채널($\hat{\mathbf{H}}_{\text{RR}}$)에 대한 특이값 분해(SVD; Singular Value Decomposition)는 수학식 4와 같이 수행된다.

수학식 4

$$\hat{\mathbf{H}}_{\text{RR}} = \tilde{\mathbf{U}}\tilde{\Sigma}\tilde{\mathbf{V}}^{\text{H}}$$

[0053]

[0054] 수학식 4에서 $\tilde{\mathbf{U}}$ 와 $\tilde{\mathbf{V}}$ 는 각각 $\tilde{\mathbf{U}}^{\text{H}}\tilde{\mathbf{U}} = \mathbf{I}$ 와 $\tilde{\mathbf{V}}^{\text{H}}\tilde{\mathbf{V}} = \mathbf{I}$ 를 만족하는 정규 직교 행렬이며, $\tilde{\Sigma}$ 은 대각행렬이다. 이처럼 행렬에 대해 특이값 분해를 수행하면 우항에 있는 각 행렬 요소($\tilde{\mathbf{U}}$, $\tilde{\mathbf{V}}$, $\tilde{\Sigma}$)를 구할 수 있다. 특이값 분해는 기 공지된 기술로서 더욱 구체적인 설명은 생략한다.

[0055] 이후 연산부(230)는 제2 채널과 관련한 상쇄 행렬을 얻고, 제1 채널과 관련한 Z 행렬을 얻는다(S330).

[0056] 우선, 연산부(230)는 제2 채널에 대한 특이값 분해 결과를 기초로 자기 간섭 신호를 상쇄하기 위한 행렬인 상쇄 행렬을 획득한다. 상쇄 행렬($\hat{\mathbf{F}}_{\text{rx}}\mathbf{H}_{\text{RR}}\hat{\mathbf{F}}_{\text{tx}}$)은 수학식 5와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 5

$$\hat{\mathbf{F}}_{rx} \mathbf{H}_{RR} \hat{\mathbf{F}}_{tx} = \frac{\tilde{\mathbf{U}}^H}{\sqrt{\tilde{\Sigma}}} \mathbf{U} \Sigma \mathbf{V}^H \frac{\tilde{\mathbf{V}}}{\sqrt{\tilde{\Sigma}}}$$

[0057]

[0058] 여기서, $\hat{\mathbf{F}}_{rx}$ 및 $\hat{\mathbf{F}}_{tx}$ 는 각각 수학식 4의 특이값 분해를 기반으로 획득한 제2 채널에 대한 수신 필터 및 송신 필터를 나타낸다. 수학식 5의 좌항은 제2 채널에 대해 수신 및 송신 필터를 취한 형태이며 이는 수학식 4의 원리를 이용하여 우항과 같이 구해질 수 있다. 이때, 채널 추정이 완벽한 이상적인 상황일 경우에 상쇄 행렬은 단위행렬이 되지만, 실제로는 비이상적 채널 추정으로 인해 단위행렬이 되지 못한다.

[0059] 그리고, S330 단계에서 연산부(230)는 수신 신호(Y) 내 송신 단말(100)의 MIMO 신호 부분에 대한 제1 채널의 행렬을 QR 분해 후 $\mathbf{Q}^H$ 를 곱하여 Z 행렬을 획득한다.

[0060] QR 분해(QR-decomposition)는 채널 H를 Q와 R로 분해하는 기술로, Q는 정규직교 행렬(orthonormal matrix), R은 상삼각 행렬(upper triangular matrix)을 나타낸다. 여기서, 채널 H를 QR 분해한 결과를 이용하여, 수신 신호 Y에 대해 $\mathbf{Q}^H$ (Q에 대한 에르미트 변환)을 곱하게 되면, Q 성분이 제거된 수신 신호인 Z 행렬을 만들 수 있다.

[0061] 본 발명의 실시예에서, 추정된 제1 채널($\hat{\mathbf{H}}_{SR}$)에 대한 V-BLAST(Vertical Bell Laboratories Layered Space Time) 기반의 QR 분해는 수학식 6과 같이 수행된다.

수학식 6

$$\hat{\mathbf{H}}_{SR} = \hat{\mathbf{Q}} \hat{\mathbf{R}}$$

[0062]

[0063] 여기서, $\hat{\mathbf{Q}}$ 는 $\hat{\mathbf{Q}} \hat{\mathbf{Q}}^H = \mathbf{I}$ 를 만족하는 정규 직교 함수이고, $\hat{\mathbf{R}}$ 은 상삼각행렬이다.

[0064] 수학식 1의 수신 신호(Y)에서 송신 단말(100)이 보낸 MIMO 신호의 행렬 부분은 잡음을 생략하여 간단히 $\mathbf{Y} = \mathbf{H}_{SR} \mathbf{X}_S$ 로 정리될 수 있다. 또한, $\mathbf{Y} = \mathbf{H} \mathbf{X}$ 형태의 수신신호 벡터는 간단히 수학식 7과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 7

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & \cdots & h_{1N} \\ h_{21} & h_{22} & \cdots & h_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{N1} & h_{N2} & \cdots & h_{NN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_N \end{bmatrix}$$

[0065]

[0066] 여기서 x_i 는 송신 단말(100)의 j번째 송신 안테나가 송신한 신호를 나타내고, y_i 는 중계 단말(200)의 i번째 안테나에 수신된 수신 신호를 나타낼 수 있다.

[0067] 앞서, $\mathbf{Y} = \mathbf{H}_{SR}\mathbf{X}_S$ 에서 제1 채널($\mathbf{H}_{SR}$)을 QR 분해 후 양변에 $\mathbf{Q}^H$ 을 곱하게 되면, 수학식 8과 같이 Z 행렬 ($\hat{\mathbf{Z}}$)을 만들 수 있다.

수학식 8

$$\begin{aligned}\hat{\mathbf{Z}} &= \hat{\mathbf{Q}}^H \mathbf{H}_{SR} \mathbf{X}_S = \hat{\mathbf{Q}}^H \mathbf{Q} \mathbf{R} \mathbf{X}_S \\ &= \begin{bmatrix} \hat{z}_1 \\ \hat{z}_2 \\ \vdots \\ \hat{z}_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{r}_{1,1} & \hat{r}_{1,2} & \cdots & \hat{r}_{1,N} \\ \sigma_{2,1} & \hat{r}_{2,2} & \cdots & \hat{r}_{2,N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{N,1} & \sigma_{N,2} & \cdots & \hat{r}_{N,N} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_N \end{bmatrix}\end{aligned}$$

[0069] 여기서, $\hat{\mathbf{Q}}$ 는 $\hat{\mathbf{Q}}\hat{\mathbf{Q}}^H = \mathbf{I}$ 를 만족하는 정규직교 행렬, $\mathbf{R}$ 은 상삼각 행렬, $\mathbf{H}_{SR}$ 은 제1 채널, $\mathbf{X}_S$ 는 송신 단말(100)이 전송한 MIMO 신호, 상삼각 행렬의 대각성분 아래에 위치한 σ 는 송신 단말(100)이 전송한 MIMO 신호에 포함되어 수신된 MIMO 간섭 성분을 나타낸다.

[0070] 채널 추정이 완벽한 이상적인 경우이면 상삼각 행렬($\mathbf{R}$)의 대각성분 아래의 모든 항이 0이 되어야 하지만, 실질적으로는 MIMO 간섭 성분으로 인하여 σ 성분들이 존재하게 된다. 이러한 σ 는 비 이상적인 채널 추정에 따른 성분으로 볼 수 있다.

[0071] 상술한 바와 같은 방법으로 연산부(230)는 상쇄 행렬 및 Z 행렬을 각각 구하게 되며, 이후 제어부(240)는 이들 두 행렬을 이용하여 중계 단말(200)의 각 수신 안테나별로 수행되는 간섭 제거의 순서를 결정한다.

[0072] 구체적으로, 제어부(240)는 상쇄 행렬 및 Z 행렬 각각의 제1 내지 제 N 행에 대하여, 두 행렬 간 동일 행에 포함된 간섭 성분의 합이 최소인 제 m 행($m=\{1,2,\dots,N\}$)을 1차 선택하고, 선택한 행을 삭제하여 순환 회전시킨 두 행렬에 대하여 다시 합이 최소인 제 m 행을 선택하는 동작을 2차 내지 N 차까지 반복한다(S340).

[0073] 여기서 제어부(240)는 아래의 수학식 9를 이용하여, 간섭 성분의 합이 최소인 제 m 행을 각각 선택한다.

수학식 9

$$k_m = \underset{k \in \{1,2,\dots,N\}}{\operatorname{argmin}} \left\{ \sum_{n=1}^{k-1} \sigma_{k,n} + (\hat{F}_{rx} H_{RR} \hat{F}_{tx})_k \right\}$$

[0075] 여기서, $\sum \sigma$ 는 Z 행렬 내 상삼각 행렬에서 대각성분 아래에 위치한 간섭 성분 중 k 번째 행에 포함된 간섭 성분, $\hat{F}_{rx} H_{RR} \hat{F}_{tx}$ 는 상쇄 행렬, $(\cdot)_k$ 는 괄호 내 행렬의 k 번째 행만을 취하는 함수를 나타낸다.

[0076] 이처럼, 제어부(240)는 두 행렬의 각 행별로 간섭 성분의 합을 구한 후에 가장 최소인 행을 1차 선택하고 이후부터는 선택한 행을 삭제하여 순환 회전하는 방법을 통해 마지막 하나의 행이 남을 때까지 반복하여 선택한다.

[0077] 예를 들어 $N=4$ 인 경우, 두 행렬은 모두 4개의 행(위에서 아래로 제1 행 내지 제4행)을 가진다. 이때, 두 행렬 각각에 대한 제1 행에 포함된 간섭 성분의 합을 구하고, 같은 방법으로 제2 행, 제3 행, 제4 행을 대상으로 간섭 성분의 합을 각각 구한다. 구해진 4개의 결과 중에 간섭 성분의 합이 최소인 한 개의 결과를 찾고 해당 결과를 도출한 행(ex, 제3 행)을 1차로 선택한다. 이에 따라, 1차 선택된 행은 제 3행(3번째 행)이 된다.

[0078] 이후, 두 행렬 각각에서 제3 행을 삭제한 후에 맨 아래에 있는 제4 행이 가장 상위에 가도록 순환 회전시켜

각각의 행렬을 제 4행, 제 1행, 제 2행 순으로 정렬한다. 이후, 남은 3개의 행 각각에 대해 간섭 성분의 합을 구하여 가장 최소인 행(ex, 제1 행)을 2차 선택하는데, 이러한 방법을 반복하여 3차 선택 및 4차 선택까지 수행한다.

[0079] 만일, 최종 선택된 순서가 제3, 제1, 제4 및 제2 행의 순서이면, 추후 신호 검출부(250)는 수신 신호로부터 송신 신호를 검출할 때 해당 행의 순서대로 간섭 성분을 제거하며, 아울러 그에 대응하는 제3 송신 신호(3번째 송신 신호), 제1 송신 신호, 제4 송신 신호 및 제2 송신 신호 순으로 송신 신호를 검출하게 된다.

[0080] 즉, 신호 검출부(250)는 수신 신호로부터 자기 간섭 신호의 제 m 행 성분과 MIMO 신호의 제 m 행에 포함된 MIMO 간섭 성분을 모두 제거한 결과로부터, m 번째 송신 신호를 검출하되, 1차 내지 N 차 선택된 행의 순으로 순차로 수행하여 N 개의 송신 신호를 순차로 검출한다(S350). 이러한 방법에 따라, 예를 들어 $x_3 \rightarrow x_1 \rightarrow x_4 \rightarrow x_2$ 순서로 전체 4개의 송신 신호를 순차로 검출할 수 있다.

[0081] 구체적으로, 신호 검출부(250)는 수신 신호로부터 m 번째 송신 신호($\tilde{x}_m$)를 검출할 때 아래의 수학식 10을 이용한다.

수학식 10

$$\tilde{x}_m = Q \left[\left\{ (\hat{\mathbf{Q}}^H \tilde{\mathbf{Y}})_m - \sum_{n=1}^{m-1} \sigma_{m,n} x_n \right\} / \hat{r}_{m,m} \right]$$

[0082]

$$\tilde{\mathbf{Y}} = \mathbf{Y} - (\hat{\mathbf{F}}_{rx} \mathbf{H}_{RR} \hat{\mathbf{F}}_{tx} \mathbf{X}_R) \quad Q(\cdot)$$

[0083] 여기서, $\tilde{\mathbf{Y}} = \mathbf{Y} - (\hat{\mathbf{F}}_{rx} \mathbf{H}_{RR} \hat{\mathbf{F}}_{tx} \mathbf{X}_R)$, $\mathbf{Y}$ 는 수학식 1의 수신 신호, $\mathbf{X}_R$ 은 자기 간섭 신호, $Q(\cdot)$ 는 복조 함수, $(\cdot)_m$ 은 괄호 내 행렬에서 제 m 행만을 취하는 함수를 나타낸다.

[0084] 수학식 10에서 $[\cdot]$ 부분은 수신 신호로부터 자기 간섭의 제 m 행 성분과 MIMO 신호의 제 m 행에 존재하는 MIMO 간섭 성분을 모두 제거한 결과에 해당하며, 해당 결과에 복조 함수를 적용하여 m 번째 송신 신호를 검출한다. 예를 들어, 신호 검출부(250)는 가장 먼저 3번째 송신 신호(x_3)를 검출하며, 이를 위해 수학식 10에서 수신 신호로부터 3번째 행의 간섭 성분을 모두 제거한 결과를 복조 함수에 적용하여 x_3 을 검출한다. 나머지 송신 신호 역시 동일한 원리로 검출하면 된다.

[0085] 이러한 본 실시예에 따른 간섭 제거 방법은 중계 단말에서 송신 신호의 검출 시 통신 환경에 따라 수신 안테나별 수행되는 간섭 제거의 순서를 조정하여 두 가지 간섭을 동시에 최소화할 수 있으며 송신 단말의 신호를 신뢰성 있게 검출할 수 있다.

[0086] 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 전이중 중계 시스템과 기존의 반이중 중계 시스템의 전송률을 비교한 도면이다. 본 발명의 실시예에 따른 간섭 제거 효과를 기존의 기법과 비교하기 위해 모의 실험을 실시하였다. 각 단말의 안테나의 수는 4개로 가정하였으며, SNR(Signal-to-Noise Ratio)는 5dB, 15dB, 25dB의 경우로 가정하였다.

[0087] 도 5에서 proposed 및 proposed-wihtout으로 표기된 것은 전이중(HD) 방식의 중계 시스템이고, conv로 표시된 것은 반이중(FD) 방식의 중계 시스템을 나타낸다. 여기서 proposed의 경우, 분할 간섭 제거의 순서를 결정하는 방식(proposed)과 결정하지 않은 방식(proposed-wihtout)으로 각각 구분하였다.

[0088] 시스템의 성능은 추정 에러에 의해 크게 좌우됨을 확인할 수 있으며, 제안된 기법을 사용함에 따라 기존 기법 대비 전송률을 개선함을 확인할 수 있다. 또한, 분할 간섭 제거의 순서가 결정되었을 경우, 그렇지 않은 경우보다 성능을 개선함을 확인할 수 있다.

[0089] 이상과 같은 본 발명에 의하면, 중계 단말이 송신 단말의 신호 검출 시에 통신 환경에 따라 수신 안테나별 수행되는 간섭 제거의 순서를 조정함으로써, 송신 단말의 송신 안테나로부터 간섭 및 중계 단말의 송신 안테나로부

터의 간섭을 동시에 최소화할 수 있으며, 송신 단말의 신호를 신뢰성 있게 검출하고 전송률을 개선할 수 있는 이점이 있다.

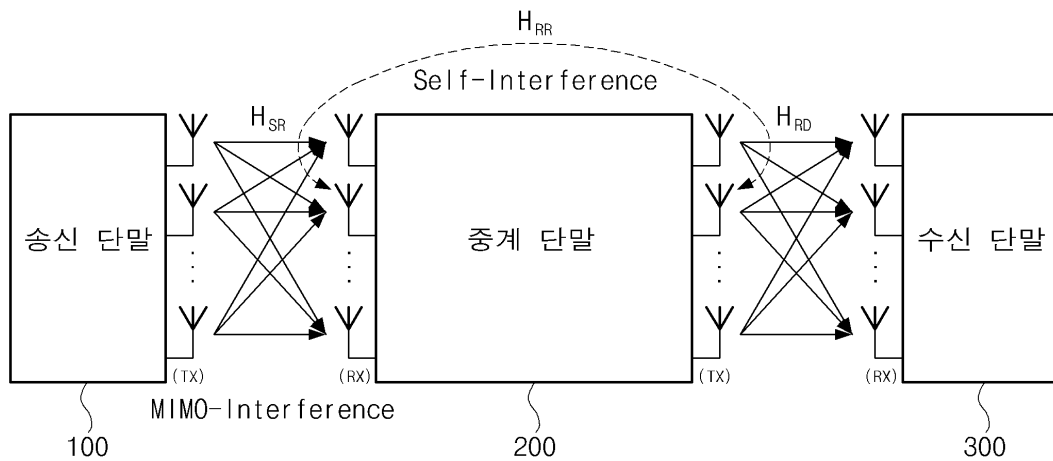
[0090] 본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 다른 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 특허청구범위의 기술적 사상에 의하여 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

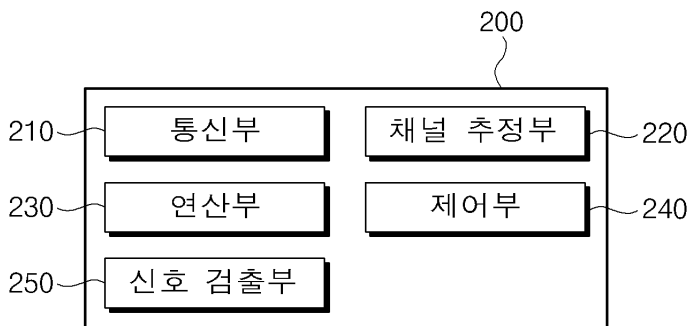
[0091] 100: 송신 단말 200: 중계 단말
210: 통신부 220: 채널 추정부
230: 연산부 240: 제어부
250: 신호 검출부 300: 수신 단말

도면

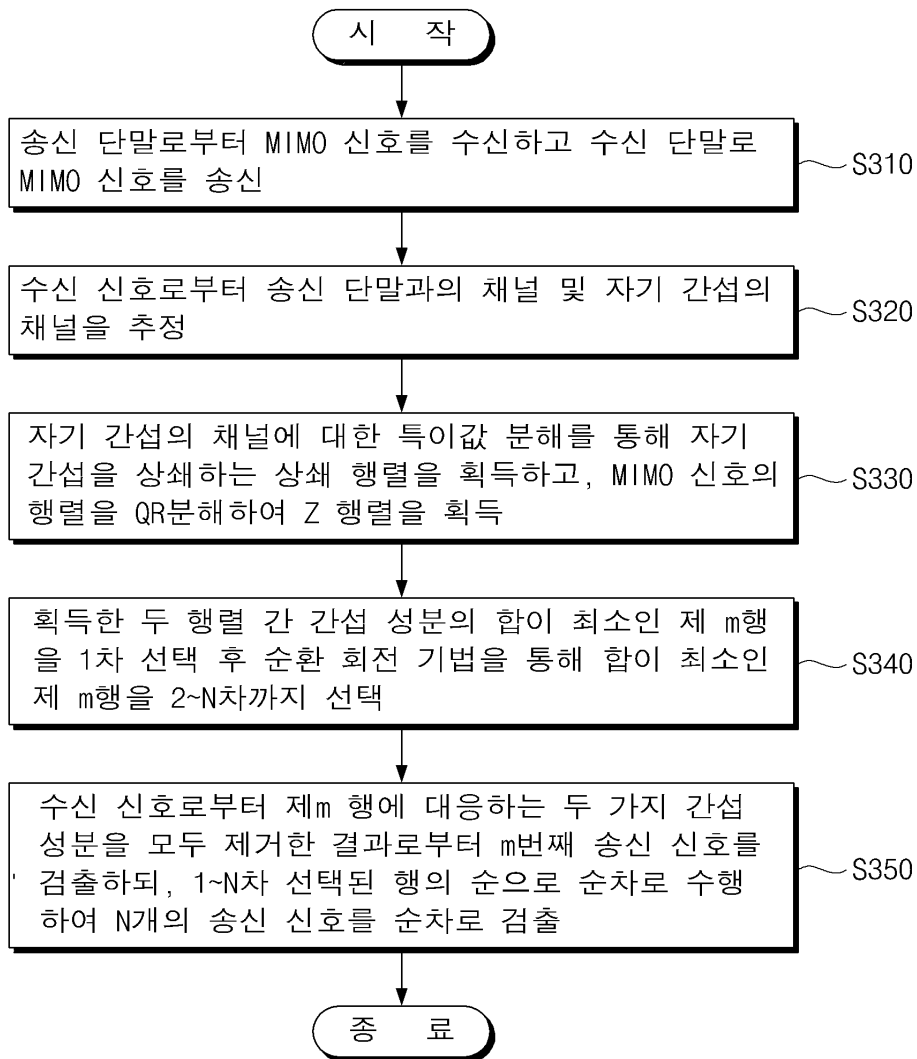
도면1



도면2



도면3



도면4

