



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2012-0009649
(43) 공개일자 2012년02월02일

(51) Int. Cl.

H04B 7/04 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2010-0069798

(22) 출원일자 2010년07월20일

심사청구일자 없음

(71) 출원인

삼성전자주식회사

경기도 수원시 영통구 매탄동 416

고려대학교 산학협력단

서울 성북구 안암동5가 1

(72) 발명자

박성우

경기도 용인시 수지구 죽전로 143, 우미이노스빌
2차 성현마을 207동 1305호 (죽전동)

이인규

서울특별시 광진구 자양동 227-342

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

이정순, 권혁록

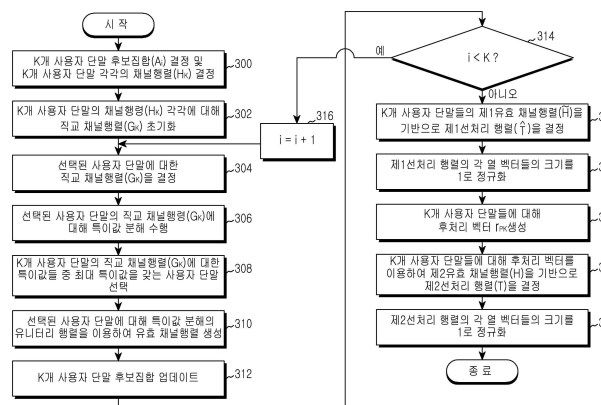
전체 청구항 수 : 총 26 항

(54) 다중 사용자 다중안테나 시스템에서 채널 직교화를 이용한 선처리 방법 및 장치

(57) 요약

다중 사용자 다중안테나 시스템에서 채널 직교화를 이용한 선처리 방법은, 다수 사용자 단말들에 대해 제1 채널 행렬을 채널 직교화하여 제1 유효 채널을 결정하는 과정과, 상기 제1 유효 채널을 이용하여 선처리 행렬을 결정하는 과정을 포함하여, 종래 계산량이 많은 반복(iteration) 알고리즘 성능을 유지하며, 계산량 적어 복잡하지 않은 이점이 있다.

대표도 - 도3



(72) 발명자

황인석

서울특별시 송파구 문정로5길 13, 동아아파트
101-705호 (문정동)

김진성

경상북도 경산시 점촌동 177-17 성창아파트 202호

강충구

서울특별시 성북구 인촌로17가길 64, 110동 802호
(안암동1가, 래미안 안암)

허준

서울특별시 강남구 광평로10길 15, 상록수 아파트
210동 204호 (일원동)

특허청구의 범위

청구항 1

다중 사용자 다중안테나 시스템에서 채널 직교화를 이용한 선처리 방법에 있어서,
다수 사용자 단말들에 대해 제1 채널행렬을 채널 직교화하여 제1 유효 채널을 결정하는 과정과,
상기 제1 유효 채널을 이용하여 선처리 행렬을 결정하는 과정을 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 2

제 1항에 있어서,
상기 다수 사용자 단말들에 대해 제1 채널행렬을 채널 직교화하여 유효 채널을 결정하는 과정은,
다수의 사용자 단말들 각각에 대해 제1 채널행렬을 결정하는 과정과,
상기 다수의 사용자 단말들의 제1 채널행렬을 이용하여 제2 채널행렬을 결정하는 과정과,
상기 다수의 사용자 단말들의 제2 채널행렬에 대해 특이값 분해를 수행하여, 상기 제2 채널행렬들을 각각 제1 유니터리 행렬, 대각행렬, 제2 유니터리 행렬로 분해하는 과정과,
상기 다수의 사용자 단말들의 제2 유니터리 행렬을 이용하여, 각각의 사용자 단말의 제1 유효 채널을 결정하는 과정을 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 3

제 2항에 있어서,
상기 다수의 사용자 단말들의 제1 채널행렬을 이용하여 제2 채널행렬을 결정하는 과정은, 초기($i=1$)에, 하기 수학적식으로 결정되는 것을 특징으로 하는 방법.

$$G_k = H_k (\forall k)$$

여기서, G_k 는 제2 채널행렬이고, H_k 는 제1 채널행렬이고, $\forall k$ 는 모든 k 값을 가리킨다.

청구항 4

제 2항에 있어서,
상기 다수의 사용자 단말들의 제1 채널행렬을 이용하여 제2 채널행렬을 결정하는 과정은,
 $i=2, \dots, K$ 이고 하나의 사용자 단말이 하나의 데이터 스트림을 전송하는 경우, 하기 수학적식으로 결정되는 것을 특징으로 하는 방법.

$$G_k = H_k \left(I - \sum_{m=1}^{i-1} v_{p_m,1} v_{p_m,1}^* \right)$$

여기서, I 는 단위행렬이고, H_k 는 k 번째 단말의 채널행렬이고, $v_{p_m,1}$ 는 선택된 사용자 단말의 G_k 에 대한 특이값

분해(Singular Value Decomposition, SVD)에 따른 제2 유니터리 행렬의 첫 번째 열벡터를 가리킴.

청구항 5

제 2항에 있어서,

상기 다수의 사용자 단말들의 제1 채널행렬을 이용하여 제2 채널행렬을 결정하는 과정은,

$i=2, \dots, K$ 이고 하나의 사용자 단말이 두 개 이상의 데이터 스트림을 전송하는 경우, 하기 수학식으로 결정되는 것을 특징으로 하는 방법.

$$G_k = \left(\mathbf{I} - \sum_{n=1}^{j-1} \sum_{m=1}^K \mathbf{v}_{p_m, n} \mathbf{v}_{p_m, n}^H - \sum_{m=1}^{i-1} \mathbf{v}_{p_m, i} \mathbf{v}_{p_m, i}^H \right) \mathbf{H}_k$$

여기서, j 는 단말당 전송하고자 하는 데이터 스트림의 인덱스를 가리키고, i 는 j 번째 단말당 데이터 스트림에서

사용자 선택시의 순서를 가리키고, $\mathbf{I}$ 는 단위행렬이고, $\mathbf{H}_k$ 는 k 번째 단말의 채널행렬이고, $\mathbf{v}_{p_m, 1}$ 는 선택된 사용자 단말의 G_k 에 대한 특이값 분해(Singular Value Decomposition, SVD)에 따른 제2 유니터리 행렬의 첫 번째 열벡터를 가리킴.

청구항 6

제 2항에 있어서,

상기 다수의 사용자 단말들의 제2 채널행렬에 대해 특이값 분해은 하기 수학식으로 표현되는 것을 특징으로 하는 방법.

$$G_k = [\mathbf{u}_{k, 1} \cdots] \sum_k [\mathbf{v}_{k, 1} \cdots]^*$$

여기서, $\mathbf{u}_{k, 1}$ 는 제1 유니터리 행렬의 첫 번째 열벡터이고, $\sum_k$ 는 대각행렬이고 $\mathbf{v}_{k, 1}$ 는 제2 유니터리 행렬의 첫 번째 열벡터임.

청구항 7

제 1항에 있어서,

상기 각각의 사용자 단말의 제1 유효 채널은 하기 수학식으로 결정되는 것을 특징으로 하는 방법.

$$\tilde{\mathbf{h}}_i = \mathbf{u}_{p_{i, 1}}^* \mathbf{H}_{p_i}$$

여기서, $\tilde{\mathbf{h}}_i$ 는 i 번째로 선택된 사용자 단말의 유효 채널이고, $\mathbf{u}_{p_{i, 1}}$ 는 선택된 i 번째 사용자 단말의 제1 유니터

리 행렬의 첫 번째 열벡터이고, $\mathbf{H}_{p_i}$ 는 i 번째 사용자 단말의 채널행렬임.

청구항 8

제 1항에 있어서,

상기 제1 유효 채널을 이용하여 선처리 행렬을 결정하는 과정은,

상기 다수의 사용자 단말의 제1 유효 채널을 기반으로 제1 선처리 행렬을 결정하는 과정과,

상기 제1 선처리 행렬을 이용하여 후처리 벡터를 결정하는 과정과,

상기 후처리 벡터를 이용하여 상기 다수의 사용자 단말의 제2 유효 채널을 결정하는 과정과,

상기 제2 유효 채널을 기반으로, 상기 다수의 사용자 단말의 제2 선처리 행렬을 결정하는 과정을 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 9

제 8항에 있어서,

하기 수학식처럼, 상기 제1 선처리 행렬의 각 열 벡터들의 크기를 1로 정규화하는 과정을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

$$\hat{\mathbf{T}} = \left[\frac{\tilde{\mathbf{t}}_1}{\|\tilde{\mathbf{t}}_1\|} \quad \dots \quad \frac{\tilde{\mathbf{t}}_K}{\|\tilde{\mathbf{t}}_K\|} \right] \text{ where } \tilde{\mathbf{T}} = [\tilde{\mathbf{t}}_1 \quad \dots \quad \tilde{\mathbf{t}}_K]$$

청구항 10

제 8항에 있어서,

하기 수학식처럼, 상기 제2 선처리 행렬의 각 열 벡터들의 크기를 1로 정규화하는 과정을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

$$\mathbf{T}_{Final} = \left[\frac{\mathbf{t}_1}{\|\mathbf{t}_1\|} \quad \dots \quad \frac{\mathbf{t}_K}{\|\mathbf{t}_K\|} \right] \text{ where } \mathbf{T} = [\mathbf{t}_1 \quad \dots \quad \mathbf{t}_K]$$

청구항 11

제 8항에 있어서,

상기 제1 선처리 행렬은 하기 수학식으로 결정되는 것을 특징으로 하는 방법.

$$\tilde{\mathbf{T}} = \tilde{\mathbf{H}}^* (\tilde{\mathbf{H}} \tilde{\mathbf{H}}^*)^{-1}$$

청구항 12

제 8항에 있어서,

상기 후처리 벡터는 수학식으로 결정되는 것을 특징으로 하는 방법.

$$Z=[(r_1^*H_1)^T \cdots (r_K^*H_K)^T]$$

$$r_{p_k}^*=H_{p_k}\tilde{T}_k$$

청구항 13

제 8항에 있어서,

상기 다수의 사용자 단말의 제2 선처리 행렬은 하기 수학식으로 결정되는 것을 특징으로 하는 방법.

$$T=Z^*(ZZ^*)^{-1}$$

청구항 14

다중 사용자 다중안테나 시스템에서 채널 직교화를 이용한 선처리를 수행하는 송신기에 있어서,

다수 사용자 단말들에 대해 제1 채널행렬을 채널 직교화하여 제1 유효 채널을 결정하고,

상기 제1 유효 채널을 이용하여 선처리 행렬을 결정하는 선처리기를 포함하는 것을 특징으로 하는 송신기.

청구항 15

제 14항에 있어서,

상기 선처리기는,

다수의 사용자 단말들 각각에 대해 제1 채널행렬을 결정하고,

상기 다수의 사용자 단말들의 제1 채널행렬을 이용하여 제2 채널행렬을 결정하고,

상기 다수의 사용자 단말들의 제2 채널행렬에 대해 특이값 분해를 수행하여, 상기 제2 채널행렬들을 각각 제1 유니터리 행렬, 대각행렬, 제2 유니터리 행렬로 분해하고,

상기 다수의 사용자 단말들의 제2 유니터리 행렬을 이용하여, 각각의 사용자 단말의 제1 유효 채널을 결정하는 것을 특징으로 하는 송신기.

청구항 16

제 15항에 있어서,

상기 다수의 사용자 단말들의 제1 채널행렬을 이용하여 제2 채널행렬을 결정하는 과정은, 초기(i=1)에, 하기 수학식으로 결정되는 것을 특징으로 하는 송신기.

$$G_k=H_k(\forall k)$$

여기서, G_k 는 제2 채널행렬이고, H_k 는 제1 채널행렬이고, $\forall k$ 는 모든 k 값을 가리킨다.

청구항 17

제 15항에 있어서,

상기 다수의 사용자 단말들의 제1 채널행렬을 이용하여 제2 채널행렬을 결정하는 과정은,

$i=2, \dots, K$ 이고 하나의 사용자 단말이 하나의 데이터 스트림을 전송하는 경우, 하기 수학식으로 결정되는 것을 특징으로 하는 송신기.

$$G_k = H_k \left(I - \sum_{m=1}^{i-1} v_{p_m,1} v_{p_m,1}^* \right)$$

여기서, I 는 단위행렬이고, H_k 는 k 번째 단말의 채널행렬이고, $v_{p_m,1}$ 는 선택된 사용자 단말의 G_k 에 대한 특이값 분해(Singular Value Decomposition, SVD)에 따른 제2 유니터리 행렬의 첫 번째 열벡터를 가리킴.

청구항 18

제 15항에 있어서,

상기 다수의 사용자 단말들의 제1 채널행렬을 이용하여 제2 채널행렬을 결정하는 과정은,

$i=2, \dots, K$ 이고 하나의 사용자 단말이 두 개 이상의 데이터 스트림을 전송하는 경우, 하기 수학식으로 결정되는 것을 특징으로 하는 송신기.

$$G_k = \left(\mathbf{I} - \sum_{n=1}^{j-1} \sum_{m=1}^K \mathbf{v}_{p_m,n} \mathbf{v}_{p_m,n}^H - \sum_{m=1}^{i-1} \mathbf{v}_{p_m,i} \mathbf{v}_{p_m,i}^H \right) \mathbf{H}_k$$

여기서, j 는 단말당 전송하고자 하는 데이터 스트림의 인덱스를 가리키고, i 는 j 번째 단말당 데이터 스트림에서

사용자 선택의 순서를 가리키고, I 는 단위행렬이고, H_k 는 k 번째 단말의 채널행렬이고, $v_{p_m,1}$ 는 선택된 사용자 단말의 G_k 에 대한 특이값 분해(Singular Value Decomposition, SVD)에 따른 제2 유니터리 행렬의 첫 번째 열벡터를 가리킴.

청구항 19

제 15항에 있어서,

상기 다수의 사용자 단말들의 제2 채널행렬에 대해 특이값 분해은 하기 수학식으로 표현되는 것을 특징으로 하는 송신기.

$$G_k = [u_{k,1} \cdots] \sum_k [v_{k,1} \cdots]^*$$

여기서, $u_{k,1}$ 는 제1 유니터리 행렬의 첫 번째 열벡터이고, $\sum_k$ 는 대각행렬이고 $v_{k,1}$ 는 제2 유니터리 행렬의 첫 번째 열벡터임.

청구항 20

제 14항에 있어서,

상기 각각의 사용자 단말의 제1 유효 채널은 하기 수학식으로 결정되는 것을 특징으로 하는 송신기.

$$\tilde{h}_i = u_{p_{i,1}}^* H_{p_i}$$

여기서, $\tilde{h}_i$ 는 i번째로 선택된 사용자 단말의 유효 채널이고, $u_{p_{i,1}}$ 는 선택된 i번째 사용자 단말의 제1 유니터리 행렬의 첫 번째 열벡터이고, H_{p_i} 는 i번째 사용자 단말의 채널행렬임.

청구항 21

제 14항에 있어서,

상기 선처리기는,

상기 다수의 사용자 단말의 제1 유효 채널을 기반으로 제1 선처리 행렬을 결정하고,

상기 제1 선처리 행렬을 이용하여 후처리 벡터를 결정하고,

상기 후처리 벡터를 이용하여 상기 다수의 사용자 단말의 제2 유효 채널을 결정하고,

상기 제2 유효 채널을 기반으로, 상기 다수의 사용자 단말의 제2 선처리 행렬을 결정하는 것을 특징으로 하는 송신기.

청구항 22

제 21항에 있어서,

하기 수학식처럼, 상기 제1 선처리 행렬의 각 열 벡터들의 크기를 1로 정규화하는 과정을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 송신기.

$$\hat{\mathbf{T}} = \left[\frac{\tilde{\mathbf{t}}_1}{\|\tilde{\mathbf{t}}_1\|} \quad \dots \quad \frac{\tilde{\mathbf{t}}_K}{\|\tilde{\mathbf{t}}_K\|} \right] \text{ where } \tilde{\mathbf{T}} = [\tilde{\mathbf{t}}_1 \quad \dots \quad \tilde{\mathbf{t}}_K]$$

청구항 23

제 21항에 있어서,

하기 수학식처럼, 상기 제2 선처리 행렬의 각 열 벡터들의 크기를 1로 정규화하는 과정을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 송신기.

$$\mathbf{T}_{Final} = \left[\frac{\mathbf{t}_1}{\|\mathbf{t}_1\|} \quad \dots \quad \frac{\mathbf{t}_K}{\|\mathbf{t}_K\|} \right] \text{ where } \mathbf{T} = [\mathbf{t}_1 \quad \dots \quad \mathbf{t}_K]$$

청구항 24

제 21항에 있어서,

상기 제1 선처리 행렬은 하기 수학식으로 결정되는 것을 특징으로 하는 송신기.

$$\tilde{T} = \tilde{H}^* (\tilde{H} \tilde{H}^*)^{-1}$$

청구항 25

제 21항에 있어서,

상기 후처리 벡터는 수학식으로 결정되는 것을 특징으로 하는 송신기.

$$Z = [(r_1^* H_1)^T \cdots (r_K^* H_K)^T]$$

$$r_{p_k}^* = H_{p_k} \tilde{T}_k$$

청구항 26

제 21항에 있어서,

상기 다수의 사용자 단말의 제2 선처리 행렬은 하기 수학식으로 결정되는 것을 특징으로 하는 송신기.

$$T = Z^* (ZZ^*)^{-1}$$

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 다중안테나 시스템에 관한 것으로, 특히 다중안테나 시스템에서 두 명 이상의 사용자에게 하향링크 데이터 전송을 위한 선처리 시 반복(iteration) 작업을 줄이기 위한 방법 및 장치에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 최근 무선 통신 환경에서 음성 서비스를 비롯한 다양한 멀티미디어 서비스를 제공하고, 고품질 및 고속의 데이터 전송을 지원하기 위해 많은 연구가 이루어지고 있다. 이러한 연구의 일환으로 공간영역의 채널을 이용하는 MIMO(Multiple Input Multiple Output) 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. MIMO 기술은 송수신 양단에 다중안테나를 사용함으로써 한정된 주파수 자원 내에서 채널 용량을 증대하여 높은 데이터 전송률을 제공할 수 있다.

[0003] MIMO 환경에서, 다중 사용자를 위한 선형 빔포밍 기법(linear beamforming technique) 중 대표적으로 채널반전(Channel Inversion: CI) 기법, 블록 대각화(Block Diagonalization: BD) 기법 등이 제안되었다. 하지만, 상기 BD 기법은 기지국 단에서 많은 수의 송신 안테나가 필요하다는 단점이 있으며, 이를 보완하기 위하여 안테나 선택 기법(antenna selection)이나 모드 선택 기법(eigenmode selection)과 같은 추가적인 기법들이 필요하다.

[0004] 상기 BD 기법과 달리, CBF(Coordinated BeamForming) 기법은 사용자마다 각 사용자의 수신 안테나 개수보다 적은 수의 데이터 스트림을 전송할 수 있다. 이를 통하여 다양한 안테나 상황에서 보다 높은 성능으로 여러 명의 사용자에게 데이터를 전송할 수 있다.

[0005] 기존 기법의 문제점은, 반복적인 최적화 과정 수행 시에 상당량의 복잡도가 필요하며, 매 채널 realization마다 반복 실행 수의 정도가 달라져서 실제 기법으로 이용되기에는 어려움이 있다는 것이다. 또한 이러한 반복 수행

의 결과가 채널상황에 관계없이 항상 수렴되는지에 대해서 추가적인 분석이 필요하다.

- [0006] 이러한 반복 수행을 없애는 방법으로, 상기 CBF 기법은 후처리 벡터의 일반화된 고유벡터(generalized eigenvector)를 이용한다. 하지만, 상기 CBF 기법은 안테나의 개수가 특정 상황보다 많아지게 되면, 성능 열화를 보이게 된다. 또한 실제로 다수의 사용자, 다수의 안테나가 존재하는 일반적인 통신 시스템에서 사용하기 어렵다.
- [0007] 상술한 바와 같이, 기존 기법에 있어서의 지속적인 반복 최적화 과정은 평균적으로 많은 양의 복잡도를 요구하면서도 매 채널 realization마다 다른 복잡도를 요구하므로 실제 시스템에서 사용이 어렵다.
- [0008] 따라서, 적은 복잡도를 요구하면서도 매번 일정한 계산량만을 사용하는 선처리 기법이 필요하다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0009] 본 발명의 목적은 다중 사용자 다중안테나 시스템에서 채널 직교화를 이용한 선처리 방법 및 장치를 제공함에 있다.
- [0010] 본 발명의 다른 목적은 다중 사용자 다중안테나 시스템에서 선처리 과정시 연산과정을 줄이기 위한 방법 및 장치를 제공함에 있다.

과제의 해결 수단

- [0011] 상기한 목적들을 달성하기 위한 본 발명의 제 1 견지에 따르면, 다중 사용자 다중안테나 시스템에서 채널 직교화를 이용한 선처리 방법에 있어서, 다수 사용자 단말들에 대해 제1 채널행렬을 채널 직교화하여 제1 유효 채널을 결정하는 과정과, 상기 제1 유효 채널을 이용하여 선처리 행렬을 결정하는 과정을 포함하며, 상기 다수 사용자 단말들에 대해 제1 채널행렬을 채널 직교화하여 유효 채널을 결정하는 과정은, 다수의 사용자 단말들 각각에 대해 제1 채널행렬을 결정하는 과정과, 상기 다수의 사용자 단말들의 제1 채널행렬을 이용하여 제2 채널행렬을 결정하는 과정과, 상기 다수의 사용자 단말들의 제2 채널행렬에 대해 특이값 분해를 수행하여, 상기 제2 채널행렬들을 각각 제1 유니터리 행렬, 대각행렬, 제2 유니터리 행렬로 분해하는 과정과, 상기 다수의 사용자 단말들의 제2 유니터리 행렬을 이용하여, 각각의 사용자 단말의 제1 유효 채널을 결정하는 과정을 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0012] 상기한 목적들을 달성하기 위한 본 발명의 제 2 견지에 따르면, 다중 사용자 다중안테나 시스템에서 채널 직교화를 이용한 선처리를 수행하는 송신기에 있어서, 다수 사용자 단말들에 대해 제1 채널행렬을 채널 직교화하여 제1 유효 채널을 결정하고, 상기 제1 유효 채널을 이용하여 선처리 행렬을 결정하는 선처리기를 포함하며, 상기 선처리기는, 다수의 사용자 단말들 각각에 대해 제1 채널행렬을 결정하고, 상기 다수의 사용자 단말들의 제1 채널행렬을 이용하여 제2 채널행렬을 결정하고, 상기 다수의 사용자 단말들의 제2 채널행렬에 대해 특이값 분해를 수행하여, 상기 제2 채널행렬들을 각각 제1 유니터리 행렬, 대각행렬, 제2 유니터리 행렬로 분해하고, 상기 다수의 사용자 단말들의 제2 유니터리 행렬을 이용하여, 각각의 사용자 단말의 제1 유효 채널을 결정하는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

- [0013] 상술한 바와 같이, 다중 사용자 다중안테나 시스템에서 채널 직교화를 이용한 선처리 행렬을 결정함으로써, 종래 계산량이 많은 반복(iteration) 알고리즘 성능을 유지하며, 계산량 적어 복잡하지 않은 이점이 있다. 또한, 일반적인 안테나와 사용자 수에서 폭넓은 적용이 가능하다.

도면의 간단한 설명

- [0014] 도 1은 본 발명의 실시 예에 따른 다중 사용자 다중안테나 시스템,
 도 2는 본 발명의 실시 예에 따른 다중 사용자 다중안테나 시스템에서 데이터 송신하는 흐름도,
 도 3은 본 발명의 실시 예에 따른 다중 사용자 다중안테나 시스템에서 선처리 흐름도,
 도 4는 본원발명과 기존 기법의 복잡도를 비교하는 그래프
 도 5는 본원발명과 기존 기법의 BER(Bit Error Rate) 성능 그래프 및,
 도 6과 도 7은 본원발명과 기존 기법의 BER(Bit Error Rate) 성능 그래프.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0015] 이하 본 발명의 바람직한 실시 예를 첨부된 도면의 참조와 함께 상세히 설명한다. 그리고, 본 발명을 설명함에 있어서, 관련된 공지기능 혹은 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단된 경우 그 상세한 설명은 생략할 것이다. 그리고 후술되는 용어들은 본 발명에서의 기능을 고려하여 정의된 용어들로서 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 관례 등에 따라 달라질 수 있다. 그러므로 그 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다.
- [0016] 이하, 본 발명은 다중 사용자 다중안테나 시스템에서 채널 직교화를 이용한 선처리 방법 및 장치에 대해 설명하기로 한다. 특히, 두 명 이상의 사용자를 위한 하향링크 데이터 송신을 위한 선처리(precoding) 시, 채널 직교화(channel orthogonalization) 후, 한 번의 반복(iteration) 작업을 수행하여, 적은 복잡도와 적은 계산량을 요구하는 선처리 방법 및 장치를 제안한다.
- [0017] 도 1은 본 발명의 실시 예에 따른 다중 사용자 다중안테나 시스템을 도시하고 있다.
- [0018] 상기 도 1을 참조하면, 송신기(혹은 기지국)는 선처리기와 N_t 개의 안테나로 구성되며, N_r 개의 안테나를 갖는 수신기는 K 개로서 각각 N_s ($N_s < N_r$) 개의 데이터 스트림을 전송받는다. 각 구성요소들을 살펴보면, 선처리기는 각 수신기에 전송될 복소 벡터를 선처리 행렬 $T=[T_1 \dots T_K]$ 를 이용하여 선처리하여 N_t 개의 안테나를 통해 2개 이상의 수신기로 전송한다. 즉, 선처리기는 다수의 사용자의 데이터 스트림들을 다수의 송신안테나와 매핑시킨다.
- [0019] 본원발명에서는 상기 선처리기가 적은 복잡도와 적은 계산량을 요구하는 선처리를 수행하도록 하기 위해, 다수 사용자 단말들에 대해 채널행렬을 채널 직교화하여 유효 채널을 결정하고, 유효 채널을 이용하여 선처리 행렬을 결정한다.
- [0020] 즉, 상기 선처리기는 다수의 사용자 단말들 각각에 대해 채널행렬을 결정하고, 상기 다수의 사용자 단말들의 채널행렬을 이용하여 직교 채널행렬을 결정하고, 상기 다수의 사용자 단말들의 직교 채널행렬에 대해 특이값 분해를 수행하여, 상기 직교 채널행렬들을 각각 제1 유니터리 행렬, 대각행렬, 제2 유니터리 행렬로 분해하고, 그리고 상기 다수의 사용자 단말들의 제2 유니터리 행렬을 이용하여, 각각의 사용자 단말의 제1 유효 채널을 결정한다.
- [0021] 또한, 상기 선처리기는 상기 제1 유효 채널을 이용하여 선처리 행렬을 결정하고, 상기 다수의 사용자 단말의 제1 유효 채널을 기반으로 제1 선처리 행렬을 결정하고, 상기 제1 선처리 행렬을 이용하여 후처리 벡터를 결정하고, 상기 후처리 벡터를 이용하여 상기 다수의 사용자 단말의 제2 유효 채널을 결정하고, 그리고 상기 제2 유효 채널을 기반으로, 상기 다수의 사용자 단말의 제2 선처리 행렬을 결정합니다.
- [0022] 각각 수신기(혹은 단말기)는 상기 송신기로부터의 송신신호를 수신하여 서로 다른 후처리 행렬 R_k 를 곱하여 독립된 송신신호를 출력한다.
- [0023] 좀 더 명확한 설명을 위해, 각 사용자의 수신 신호 벡터를 하기 <수학식 1>로 표현한다.

수학식 1

$$w_k = R_k^* = R_k^* H_k T_k x_k + R_k^* H_k \sum_{i=1, i \neq k}^K T_i x_i + R_k^* n_k$$

[0024]

[0025]

여기서, x_i 는 각 사용자의 데이터 신호 벡터를 가리키며, T_i 는 i -번째 사용자에게 해당하는 선처리 행렬, H_k 는 각 사용자의 채널 응답 행렬, n_k 는 잡음 벡터, y_k 는 수신 신호 벡터를 의미한다. 기호 $*$ 는 켈레전치 혹은 공액전치 (conjugate transpose)를 의미한다.

[0026]

도 2는 본 발명의 실시 예에 따른 다중 사용자 다중안테나 시스템에서 데이터 송신하는 절차를 도시하고 있다.

[0027]

상기 도 2를 참조하면, 송신기는 200단계에서 사용자 스케줄링을 수행한다. 상기 사용자 스케줄링은 공지된 기술이 적용되며 상세한 설명은 생략하기로 한다.

[0028]

이후, 상기 송신기는 202단계에서 상기 사용자 스케줄링을 통해 결정된 사용자 단말들 각각에 대해 채널 직교화를 기반으로 선처리 행렬을 결정한다. 상세한 선처리 행렬을 결정하는 상세한 설명은 하기 도 3에서 설명하기로 한다.

[0029]

이후, 상기 송신기는 204단계에서 다수의 사용자 단말들의 선처리 행렬을 이용하여 선처리를 수행한다.

[0030]

이후, 상기 송신기는 206단계에서 다수의 안테나를 통해 선처리된 다수의 사용자 단말들의 데이터를 송신한다.

[0031]

도 3은 본 발명의 실시 예에 따른 다중 사용자 다중안테나 시스템에서 선처리 절차를 도시하고 있다.

[0032]

상기 도 3을 참조하면, 송신기는 300단계에서 첫 번째($i=1$)로 선택된 사용자 단말에 대한 K 개의 사용자 단말 후보집합($A_1=\{1, \dots, K\}$)을 결정하고, 채널추정을 기반으로 상기 후보집합(A_1)에 포함된 K 개의 사용자 단말 각각의 채널행렬(H_k)을 결정한다. 상기 K 개의 사용자 단말 후보집합($A_1=\{1, \dots, K\}$)은 사용자 스케줄링을 통해 결정된다. 여기서, i 는 사용자 단말이 선택되는 순서를 가리킨다.

[0033]

이후, 상기 송신기는 302단계에서 K 개 사용자 단말의 채널행렬(H_k) 각각에 대해 직교 채널행렬(G_k)을 초기화한다. 여기서, $k(=1, \dots, K)$ 는 사용자 단말의 인덱스를 가리킨다. 즉, 상기 송신기는 초기에(즉, $i=1$ 일 때) K 개 사용자 단말의 채널행렬(H_k) 각각에 대해 직교 채널행렬(G_k)을 상기 채널행렬(H_k)로 설정한다. 이는 하기 <수학식 2>로 표현된다.

수학식 2

$$G_k = H_k (\forall k)$$

[0034]

[0035]

여기서, $\forall k$ 는 모든 k 값을 가리킨다.

[0036]

이후, 상기 송신기는 304단계에서 선택된 사용자 단말의 직교 채널행렬(G_k)을 결정한다. 즉, $i=1$ 일 때, 사용자 단말 후보집합(A_1)의 모든 사용자 단말들($1, \dots, K$)에 대한 직교 채널행렬(G_k)은 상기 채널행렬(H_k)로 결정된다.

[0037]

그리고, $i=2, \dots, K$ 일 때, 사용자 단말 후보집합 $A_i=\{k \mid k \in A_{i-1}, k \neq p_{i-1}\}$ 에 대하여 직교 채널행렬(G_k)을 하기 <수학식 3>같이 결정한다. A_2 는 후보집합 A_1 에서 첫 번째 선택된 사용자 단말(p_1)을 제외한 나머지 $K-1$ 개 사용자 단

말들에 대해 G_k 를 결정한다. A_3 는 후보집합 A_2 에서 첫 번째와 두 번째로 선택된 두 개의 사용자 단말(p_1, p_2)을 제외한 나머지 $K-2$ 개 사용자 단말들에 대해 G_k 를 결정한다. 마지막 A_K 는 후보집합 A_{K-1} 에서 $K-1$ 개 선택된 사용자 단말($p_1, \dots, p_{K-1}$)을 제외한 나머지 하나의 사용자 단말에 대해 G_k 를 결정한다.

수학식 3

$$G_k = H_k \left(I - \sum_{m=1}^{i-1} \mathbf{v}_{p_m,1} \mathbf{v}_{p_m,1}^* \right)$$

여기서, I 는 단위행렬이고, H_k 는 k 번째 단말의 채널행렬이고, $\mathbf{v}_{p_m,1}$ 는 선택된 사용자 단말의 G_k 에 대한 특이값 분해(Singular Value Decomposition, SVD)에 따른 제2 유니터리 행렬의 첫 번째 열벡터를 나타낸다. 즉, 상기 <수학식 3>은 이전에 선택된 사용자 단말의 채널요소가 제거됨을 의미한다.

한편, 상기 <수학식 3>은 하나의 사용자 단말이 하나의 데이터 스트림을 가정한 것이다. 만약 하나의 사용자 단말이 2개 이상의 데이터 스트림을 전송하는 경우, 먼저 K 개의 사용자 단말에 대해 각각 1개의 스트림을 할당한 후 K 개의 사용자 단말 당 하나의 스트림을 상기와 같은 방법으로 스트림에 대한 직교 채널행렬(G_k)을 하기 수학식으로 결정한다.

$$G_k = \left(\mathbf{I} - \sum_{n=1}^{j-1} \sum_{m=1}^K \mathbf{v}_{p_m,n} \mathbf{v}_{p_m,n}^H - \sum_{m=1}^{i-1} \mathbf{v}_{p_m,i} \mathbf{v}_{p_m,i}^H \right) \mathbf{H}_k$$

여기서, j 는 단말당 전송하고자 하는 데이터 스트림의 인덱스를 가리키고, i 는 j 번째 단말당 데이터 스트림에서 사용자 선택의 순서를 가리킨다.

이후, 상기 송신기는 306단계에서 선택된 사용자 단말의 직교 채널행렬(G_k)에 대해 특이값 분해(Singular Value Decomposition, SVD)를 하기 <수학식 4>에 기반하여 수행한다.

수학식 4

$$G_k = [\mathbf{u}_{k,1} \cdots] \sum_k [\mathbf{v}_{k,1} \cdots]^*$$

여기서, $\mathbf{u}_{k,1}$ 는 제1 유니터리 행렬의 첫 번째 열벡터이고, $\sum_k$ 는 대각행렬이고 $\mathbf{v}_{k,1}$ 는 제2 유니터리 행렬의 첫 번째 열벡터이다. 즉, 직교 채널행렬(G_k)은 두 개의 유니터리 행렬과 하나의 대각행렬로 분해된다.

이후, 상기 송신기는 308단계에서 선택된 사용자 단말의 직교 채널행렬(G_k)에 대한 특이값들 중 최대 특이값을 갖는 사용자 단말 선택을 선택한다. 이를 수학식으로 표현하면, 하기 <수학식 5>처럼 나타낼 수 있다.

수학식 5

$$p_i = \arg \max_{k \in A_i} (\sigma_{k,1} = \|\mathbf{u}_{k,1}^* \mathbf{H}_k\|)$$

여기서, p_i 는 i 번째로 선택된 사용자 단말의 인덱스를 가리키고, $\mathbf{u}_{k,1}$ 는 특이값 분해 시 제1 유니터리 행렬의 첫 번째 열벡터이고, $\mathbf{H}_k$ 는 k 번째 사용자 단말의 채널행렬이다.

이후, 상기 송신기는 310단계에서 선택된 사용자 단말에 대해 특이값 분해의 제1 유니터리 행렬의 첫 번째 열벡터($\mathbf{u}_{k,1}$)을 이용하여 유효 채널행렬 $\hat{\mathbf{H}}$ 을 생성한다. 이를 수학식으로 표현하면, 하기 <수학식 6>처럼 나타낼 수 있다.

수학식 6

$$\hat{\mathbf{h}}_i = \mathbf{u}_{p_i,1}^* \mathbf{H}_{p_i}$$

여기서, $\hat{\mathbf{h}}_i$ 는 i 번째로 선택된 사용자 단말의 유효 채널이고, $\mathbf{u}_{p_i,1}$ 는 선택된 i 번째 사용자 단말의 제1 유니터리 행렬의 첫 번째 열벡터이고, $\mathbf{H}_{p_i}$ 는 i 번째 사용자 단말의 채널행렬이다.

이후, 상기 송신기는 312단계에서 하기 <수학식 7>에 따라 K 개 사용자 단말 후보집합을 갱신한다.

수학식 7

$$A_i = \{k \mid k \in A_{i-1}, k \neq p_{i-1}\}$$

즉, i 는 $2, \dots, K$ 이고, 사용자 단말 후보집합 A_2 는 후보집합 A_1 에서 첫 번째로 선택된 사용자 단말(p_1)을 제외한 나머지 $K-1$ 개 사용자 단말들이 되고, 사용자 단말 후보집합 A_3 는 후보집합 A_2 에서 첫 번째와 두 번째로 선택된 두 개의 사용자 단말(p_1, p_2)을 제외한 나머지 $K-2$ 개 사용자 단말들이 된다. 마지막 사용자 단말 후보집합 A_K 는 후보집합 A_{K-1} 에서 $K-1$ 개 선택된 사용자 단말($p_1, \dots, p_{K-1}$)을 제외한 나머지 하나의 사용자 단말이 된다.

이후, 상기 송신기는 314단계에서, $i < K$ 일 시, 316단계로 진행하여 $i=i+1$ 로 설정하고 304단계로 진행한다.

즉, 304단계 내지 312단계를 K 횟수만큼 반복수행하게 되어, 제1 유효 채널(effective channel)

$$\tilde{\mathbf{H}} = [\hat{\mathbf{h}}_1^T \cdots \hat{\mathbf{h}}_1^T]^T$$

이 생성된다.

반면, 상기 송신기는 314단계에서, $i \geq K$ 일 시, 318단계로 진행하여 K 개 사용자 단말들의 제1 유효 채널행렬

$\tilde{H} = [\tilde{h}_1^T \cdots \tilde{h}_K^T]^T$ 을 기반으로 제1 선처리 행렬 $\tilde{T}$ 을 결정한다. 상기 제1 선처리 행렬 $\tilde{T}$ 는 하기 <수학식 8>과 같다.

수학식 8

$$\tilde{T} = \tilde{H}^* (\tilde{H} \tilde{H}^*)^{-1}$$

이후, 상기 송신기는 320단계에서, 하기 <수학식 9>과 같이, 상기 제1 선처리 행렬의 각 열 벡터들의 크기를 1로 정규화한다.

수학식 9

$$\hat{\mathbf{T}} = \left[\frac{\tilde{\mathbf{t}}_1}{\|\tilde{\mathbf{t}}_1\|} \quad \cdots \quad \frac{\tilde{\mathbf{t}}_K}{\|\tilde{\mathbf{t}}_K\|} \right] \text{ where } \tilde{\mathbf{T}} = [\tilde{\mathbf{t}}_1 \quad \cdots \quad \tilde{\mathbf{t}}_K]$$

이후, 상기 송신기는 322단계에서, 정규화된 상기 제1 선처리 행렬 $\tilde{T}_k$ 과 상기 채널행렬 H_{P_k} 을 이용하여 하기 <수학식 10>와 같이 K개 사용자 단말들에 대해 후처리 벡터 r_{P_k} 를 생성한다.

수학식 10

$$r_{P_k}^* = H_{P_k} \tilde{T}_k$$

이후, 상기 송신기는 324단계에서, K개 사용자 단말들에 대해 후처리 벡터를 이용하여 하기 <수학식 11>처럼 제2 유효 채널(Z)을 결정하고, 결정된 제2 유효 채널(Z)을 이용하여 하기 <수학식 12>처럼 제2 선처리 행렬(T)을 결정한다.

수학식 11

$$Z = [(r_1^* H_1)^T \cdots (r_K^* H_K)^T]$$

수학식 12

$$T = Z^* (ZZ^*)^{-1}$$

이후, 상기 송신기는 326단계에서, 하기 <수학식 13>과 같이, 제2 선처리 행렬의 각 열 벡터들의 크기를 1로 정

규화한다.

수학식 13

$$\mathbf{T}_{Final} = \left[\frac{\mathbf{t}_1}{\|\mathbf{t}_1\|} \quad \dots \quad \frac{\mathbf{t}_K}{\|\mathbf{t}_K\|} \right] \text{ where } \mathbf{T} = [\mathbf{t}_1 \quad \dots \quad \mathbf{t}_K]$$

[0067]

상기 도 3을 pseudo code로 나타내면 다음과 같다.

[0068]

1. Set $\mathcal{A}_1 = \{1, \dots, K\}$ and $\mathbf{G}_k = \mathbf{H}_k (\forall k)$

2. For $k=1:K$,

Obtain $\mathbf{G}_k = \mathbf{H}_k \left(\mathbf{I} - \sum_{n=1}^{i-1} \mathbf{v}_{p_{n,1}} \mathbf{v}_{p_{n,1}}^* \right)$ for $k \in \mathcal{A}_i$

Apply SVD to $\mathbf{G}_k = \mathbf{U}_k \mathbf{\Sigma}_k \mathbf{V}_k^*$

$p_i = \arg \max_{k \in \mathcal{A}_i} (\sigma_{k,1} = \|\mathbf{u}_{k,1}^* \mathbf{H}_k\|)$

$\tilde{\mathbf{h}}_i = \mathbf{u}_{p_i,1}^* \mathbf{H}_{p_i}$

Set $\mathcal{A}_i = \{k \mid k \in \mathcal{A}_{i-1}, k \neq p_{i-1}\}$

3. $\tilde{\mathbf{T}} = \tilde{\mathbf{H}}^* (\tilde{\mathbf{H}} \tilde{\mathbf{H}}^*)^{-1}$ and normalize $\tilde{\mathbf{T}}$

4. $\mathbf{r}_{p_k}^* = \mathbf{H}_{p_k} (\tilde{\mathbf{T}})_k$

5. $\mathbf{Z} = \begin{bmatrix} (\mathbf{r}_1^* \mathbf{H}_1)^T & \dots & (\mathbf{r}_K^* \mathbf{H}_K)^T \end{bmatrix}^{-T}$

6. $\mathbf{T} = \mathbf{Z}^* (\mathbf{Z} \mathbf{Z}^*)^{-1}$ and normalize $\mathbf{T}$

[0069]

기존 기법과 본원발명의 계산 복잡도를 비교하면, 하기 <표 1>은 본원발명과 기존 기법에서 수행되는 평균 특이값 분해(SVD) 연산 수이다. 기존 기법과 달리, 본원발명은 평균 특이값 분해(SVD) 연산 수가 수신 안테나 수 (N_r)에 독립적이므로 실제 시스템에서 적용이 용이하다.

[0070]

표 1

[0071]

시스템 환경		$N_r=2$	$N_r=3$	$N_r=4$
$N_t=4, K=2$	본원발명	3		
	기존 기법	12.4	16.2	19
$N_t=6, K=4$	본원발명	10		
	기존 기법	51.6	72.4	86.4

[0072]

하기 <표 2>에서는 상기 <표 1>의 복잡도를 실제 필요한 곱셈 수로 나타내었다. 하기 <표 2>를 통하여, 본원발

명이 기존 기법에 비해 그 복잡도가 크게 감소되는 것을 알 수 있다. 예를 들어, $N_t=4$ 이고 $K=2$ 일 때, 본원발명은 각각 $N_r=2, 3, 4$ 에서 68%, 76%, 79%의 복잡도가 감소한다. 송신 안테나 개수가 증가하여도 복잡도 감소가 유지된다.

표 2

시스템 환경		$N_r=2$	$N_r=3$	$N_r=4$
$N_t=4, K=2$	본원발명	5388	7602	9816
	기존 기법	16864	31104	47120
$N_t=6, K=4$	본원발명	26120	36780	47440
	기존 기법	70176	139008	214272

여기서, N_t 는 송신 안테나 수이고, N_r 은 수신 안테나 수이고, K 는 사용자 수이다.

도 4는 본원발명과 기존 기법의 복잡도를 비교하는 그래프이다.

상기 도 4를 참조하면, N_t 가 가변적으로 변할 때, 기존 기법과 본원발명에 필요한 곱셈수를 비교하였다. 본원발명은 N_t 가 커질수록 기존 기법에 비해 복잡도가 크게 감소한다. 또한 기존 기법과는 달리 본원발명은 N_t 의 크기에 따라서 낮고 일정한 기울기의 그래프를 보인다. 이를 바탕으로 본원발명이 기존의 기법보다 복잡도 면에서 매우 큰 이득이 있음을 알 수 있다.

도 5는 본원발명과 기존 기법의 BER(Bit Error Rate) 성능 그래프를 도시하고 있다. 상기 기존 기법은 문헌 "C.-B. Chae, D. Mazzaresse, N. Jindal, and R. W. Heath, "Coordinated Beamforming with Limited Feedback in the MIMO Broadcast Channel," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 26, pp. 1505?1515, October 2008."에 기술된 기법이다.

상기 도 5를 참조하면, 4-QAM, 평탄 페이딩(flat fading) 채널, $K=2$, $N_t=N_r=\{4, 6\}$, 그리고 $N_s=1$ 인 시뮬레이션 환경에서, 본원발명의 성능은 기존 기법보다 약 3.5dB 성능 이득을 보인다.

도 6과 도 7은 본원발명과 기존 기법의 BER(Bit Error Rate) 성능 그래프를 도시하고 있다. 도 6과 도 7의 상기 기존 기법은 문헌 Z. Pan, K.-K. Wong, and T.-S. Ng, "Generalized Multiuser Orthogonal Space-Division Multiplexing," IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 3, pp. 1969?1973, November 2004"에 기술된 기법이다.

상기 도 6을 참조하면, 도 6은 4-QAM, 평탄 페이딩(flat fading) 채널, $N_t=4$, $N_r=\{2, 3, 4\}$, 그리고 $N_s=1$ 인 시뮬레이션 환경에서, 본원발명의 성능은 기존 기법보다 낮은 복잡도를 보이면서도 거의 모든 값에 대해서 동일한 성능을 보인다. 여기서, 상기 도 6의 시뮬레이션 환경에서, 상기 도 5의 기존 기법은 랭크(rank) 부족으로 인해 사용할 수 없다.

상기 도 7을 참조하면, 4-QAM, 평탄 페이딩(flat fading) 채널, $N_t=8$, $N_r=\{2, 3, 4\}$, 그리고 $N_s=1$ 인 시뮬레이션 환경에서, 본원발명의 성능은 기존 기법보다 낮은 복잡도를 보이면서 약간의 성능저하가 보인다. 즉, 본원발명은 도 7의 기존 기법에 비해 약 0.3~0.5 dB정도의 성능 감쇠만을 보이지만, 기존 기법에 비해 상당한 양의 복잡도를 감소시킨다.

한편 본 발명의 상세한 설명에서는 구체적인 실시 예에 관해 설명하였으나, 본 발명의 범위에서 벗어나지 않는

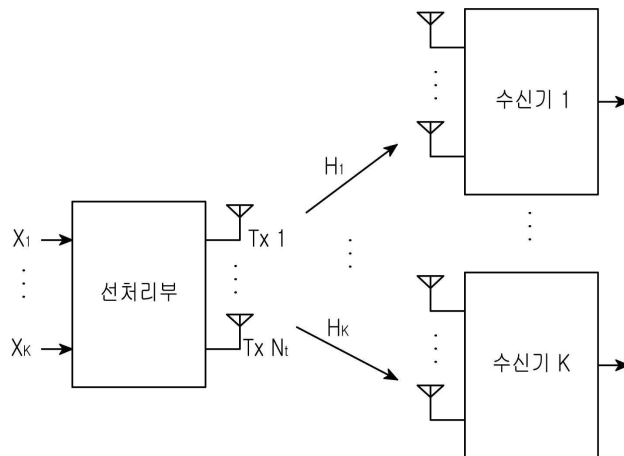
한도 내에서 여러 가지 변형이 가능함은 물론이다. 그러므로 본 발명의 범위는 설명된 실시 예에 국한되어 정해져서는 아니 되며 후술하는 특허청구의 범위뿐만 아니라 이 특허청구의 범위와 균등한 것들에 의해 정해져야 한다.

부호의 설명

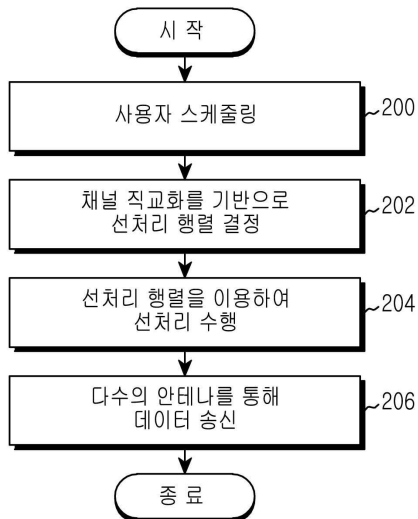
송신기, 수신기, 선처리기

도면

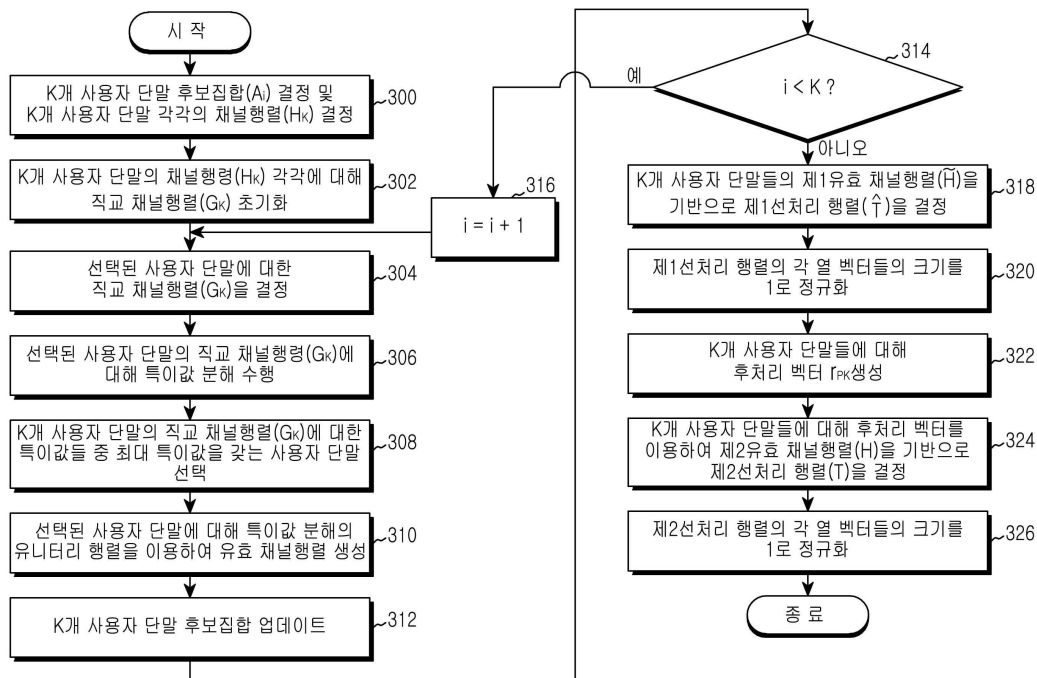
도면1



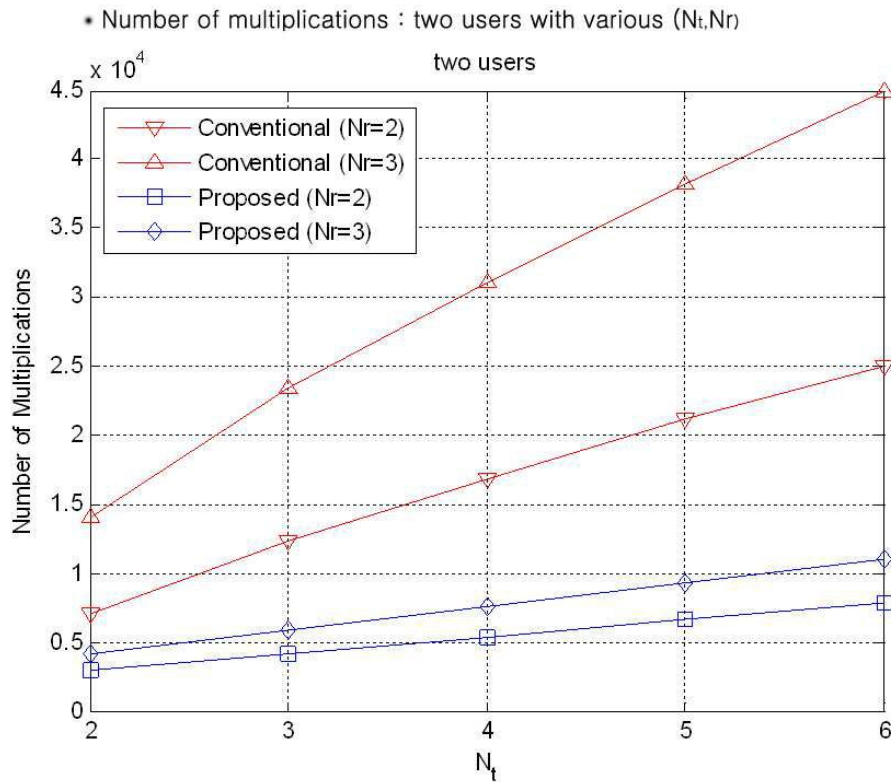
도면2



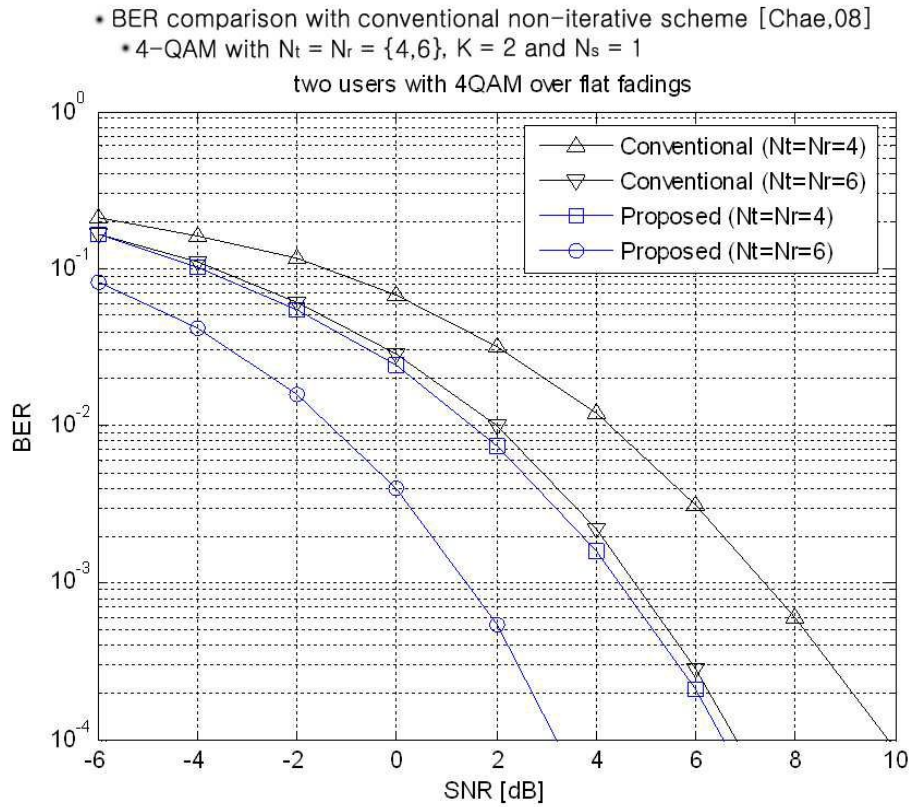
도면3



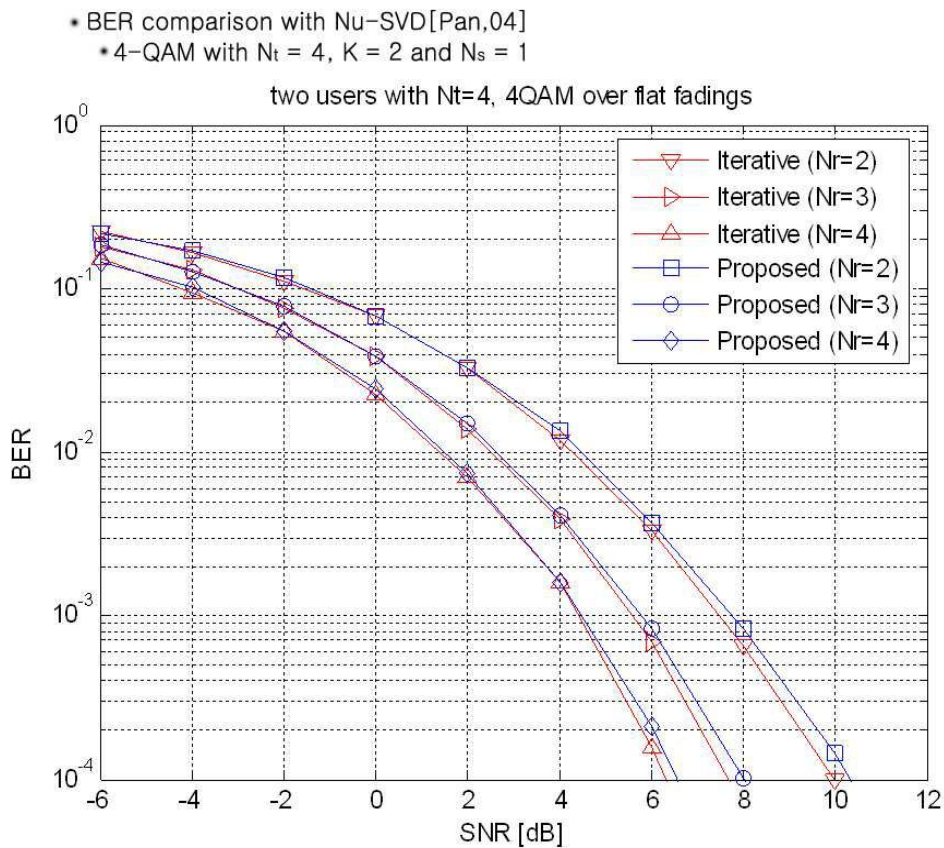
도면4



도면5



도면6



도면7

- BER comparison with Nu-SVD[Pan,04]
- 4-QAM with $N_t = 8$, $K = 4$ and $N_s = 1$

4 users with $N_t=6$, 4QAM over flat fading

