(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2009-0069089
(43) 공개일자 2009년06월29일

(51) Int. Cl.
*H04B 7/06* (2006.01) *H04B 7/04* (2006.01)
(21) 출원번호 10-2007-0136935
(22) 출원일자 2007년12월24일
심사청구일자 2007년12월24일

(71) 출원인
**고려대학교 산학협력단**
서울 성북구 안암동5가1 고려대학교 내
(72) 발명자
**이인규**
서울 성북구 안암동5가 1번지 136-701
**이흔철**
경기 포천시 일동면 기산1리 672-4
(74) 대리인
**현종철**

전체 청구항 수 : 총 16 항

# (54) 회전 변환 기반의 송신 빔 형성 방법 및 이를 기록한컴퓨터 판독 가능 저장 매체

## (57) 요 약

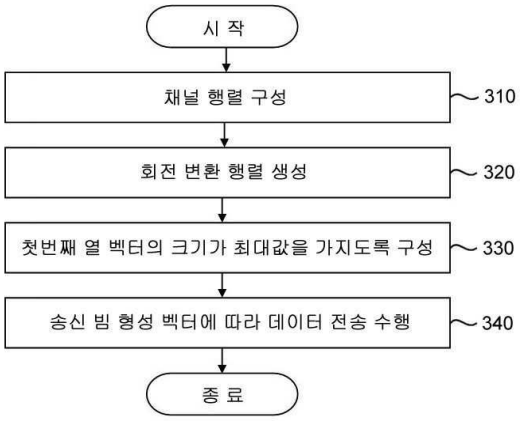
회전 변환 기반의 송신 빔 형성 방법 및 이를 기록한 컴퓨터 판독 가능 저장 매체가 개시된다.

본 발명에 따른 회전 변환 기반의 송신 빔 형성 방법은.

다중입출력(Multiple Input Multiple Output:MIMO) 안테나 기반의 송신 빔 벡터 형성을 위하여 송신단의 안테나 수와 수신단의 안테나 수에 따라 채널 행렬을 구성하는 단계; 상기 구성된 채널 행렬과 상기 송신 빔 형성 벡터에 따라 결합 벡터를 생성하고, 상기 송신 빔 형성 벡터를 구성하는 복수 개의 열 벡터 중 첫 번째 열 벡터와 상기 열 벡터가 포함된 채널 행렬의 모든 다른 열 벡터의 위상을 이용하여 회전 변환을 수행하는 단계; 상기 회전 변환을 수행하여 상기 결합 벡터를 구성하는 복수 개의 열 벡터 중 상기 첫 번째 열 벡터의 크기를 최대로 구성하는 단계; 및 상기 결합 벡터 중 첫 번째 열 벡터의 크기가 다른 열 벡터의 크기보다 가장 큰 값을 가지게 되는 상기 송신 빔 형성 벡터에 따라 상기 송신단에서 상기 수신단으로 데이터 전송을 수행하는 단계를 포함한다.

본 발명에 의하면, 다중입출력에서의 송신 빔 형성에 있어서, 특이값 분해 기반의 폐루프 송신 빔형성에 있어 빔형성 벡터를 연산하기 위한 연산의 복잡도를 줄이기 위하여 회전 변환 기반의 빔형성 기법을 사용함으로써 빔형성 벡터를 연산하기 위한 연산 복잡도를 줄일 수 있을 뿐만 아니라 데이터 전송에 따른 송신단에서 필요한 채널 정보량 사이의 tradeoff를 제공할 수 있으며, 수신단에서의 신호 수신 성능을 향상시킬 수 있는 효과가 있다.

*대 표 도* - 도3



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

| | |
|---|---|
| 과제고유번호 | R0608943 |
| 부처명 | 정보통신 연구진흥원 |
| 연구사업명 | 대학 정보통신 연구센터 지원사업 |
| 연구과제명 | 트래픽 앤지니어링에 의한 통신시스템의 성능 분석 및최적화 (7차년도) |
| 주관기관 | 고려대학교 통신수학연구센터 |
| 연구기간 | 2007년 09월 01일 ~ 2007년 12월 31일 |

## *특허청구의 범위*

**청구항 1**

다중입출력(Multiple Input Multiple Output:MIMO) 안테나 기반의 송신 빔 벡터 형성을 위하여 송신단의 안테나 수와 수신단의 안테나 수에 따라 채널 행렬을 구성하는 단계;

상기 구성된 채널 행렬과 상기 송신 빔 형성 벡터인 회전 변환 행렬에 따라 결합 벡터를 생성하되, 상기 결합 벡터를 구성하는 복수 개의 열 벡터 중 첫 번째 열 벡터와 상기 결합 벡터에 포함된 모든 다른 열 벡터가 상호 직교하도록 회전 변환 행렬을 생성하는 단계;

상기 결합 벡터를 구성하는 복수 개의 열 벡터 중 상기 첫 번째 열 벡터의 크기가 최대값을 가지도록 구성하는 단계; 및

상기 결합 벡터 중 다른 열 벡터의 크기보다 첫 번째 열 벡터의 크기가 가장 큰 값을 가지도록 구성된 상기 결합 벡터에 따라 상기 송신단에서 상기 송신 빔 형성 벡터에 따라 데이터 전송을 수행하는 단계를 포함하는 회전 변환 기반의 송신 빔 형성 방법.

**청구항 2**

제 1 항에 있어서,

상기 회전 변환 행렬을 생성하는 단계는

상기 결합 벡터의 첫 번째 열 벡터와 상기 열 벡터가 포함된 결합 벡터의 모든 다른 열벡터와의 내적의 실수부가 0이 되도록 내부 회전 변환 행렬을 생성하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 회전 변환 기반의 송신 빔 형성 방법.

**청구항 3**

제 2 항에 있어서,

상기 내부 회전 변환 행렬 $[\bar{I}(i,j,\theta_I^{ij})]$ 는

$i$ 및 $j$ 는 상기 채널 행렬의 행 벡터 인덱스를 의미하고, $\theta_I^{ij}$ 는 행 벡터 간의 회전각을 의미하며, $m$ 및 $n$ 은 상기 송신 빔 형성 벡터의 행과 열의 인덱스를 의미할 때, 하기의 식 1에 따라 이루어지는 것을 특징으로 하는 회전 변환 기반의 송신 빔 형성 방법.

$$\left[\bar{\mathbf{I}}\left(i,j,\theta_I^{ij}\right)\right]_{m,n}=\begin{cases}\cos\left(\theta_I^{ij}\right) & \text{if } m=n=i \text{ or } m=n=j\\ \sin\left(\theta_I^{ij}\right) & \text{if } m=i \text{ and } n=j\\ -\sin\left(\theta_I^{ij}\right) & \text{if } m=j \text{ and } n=i\\ \delta_{mn} & \text{else}\end{cases} \quad (1)$$

**청구항 4**

제 3 항에 있어서,

상기 회전각 $\theta_I^{ij}$ 는

$\bar{\mathbf{h}}_i$ 는 상기 채널 행렬의 $i$ 번째 열 벡터를 의미하고, $\bar{\mathbf{h}}_j$ 는 상기 채널 행렬의 $j$ 번째 열 벡터를 의미하며, $\bar{\mathbf{h}}_i^H$ 는 상기 $i$ 번째 열 벡터의 켤레 복소수 전치 연산 $H$ 에 의한 연산값을 의미하며, $\Re\{\cdot\}$ 는 실수값을 의

미할 때, 하기의 식 2에 의해 연산되는 것을 특징으로 하는 회전 변환 기반의 송신 빔 형성 방법.

$$\theta_I^{ij} = \mathrm{Atan}\left( \left\| \overline{\mathbf{h}}_i \right\|^2 - \left\| \overline{\mathbf{h}}_j \right\|^2 , \Re\left\{ \overline{\mathbf{h}}_i^H \overline{\mathbf{h}}_j \right\} \right) \quad (2)$$

**청구항 5**

제 1 항에 있어서,

상기 회전 변환 행렬을 생성하는 단계는

상기 결합 벡터의 첫 번째 열 벡터와 상기 열 벡터가 포함된 결합 벡터의 모든 다른 열벡터와의 내적의 허수부가 0이 되도록 외부 회전 변환 행렬을 생성하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 회전 변환 기반의 송신 빔 형성 방법.

**청구항 6**

제 5 항에 있어서,

상기 외부 회전 변환 행렬 $[\overline{O}(i,j,\theta_O{}^{ij})]$는

$i$ 및 $j$는 상기 채널 행렬의 행 벡터 인덱스를 의미하고, $\theta_O{}^{ij}$는 행 벡터 간의 회전각을 의미하며, $m$ 및 $n$은 상기 송신 빔 형성 벡터의 행과 열의 인덱스를 의미할 때, 하기의 식 3에 따라 이루어지는 것을 특징으로 하는 회전 변환 기반의 송신 빔 형성 방법.

$$\left[ \overline{\mathbf{O}}\left(i,j,\theta_O^{ij}\right) \right]_{m,n} = \begin{cases} \cos\left(\theta_O^{ij}\right) & \text{if } m=n=i \text{ or } m=n=j \\ \mathrm{j}\sin\left(\theta_O^{ij}\right) & \text{if } m=i \text{ and } n=j \text{ or } m=j \text{ and } n=i \\ \delta_{mn} & \text{else} \end{cases} \quad (3)$$

**청구항 7**

제 6 항에 있어서,

상기 회전각 $\theta_O{}^{ij}$는

$\overline{\mathbf{h}}_i$는 상기 채널 행렬의 $i$번째 열 벡터를 의미하고, $\overline{\mathbf{h}}_j$는 상기 채널 행렬의 $j$번째 열 벡터를 의미하며, $\overline{\mathbf{h}}_i^H$는 상기 $i$번째 열 벡터의 켤레 복소수 전치 연산 $H$에 의한 연산값을 의미하며, $\Im\{\cdot\}$는 허수값을 의미할 때, 하기의 식 4에 의해 연산되는 것을 특징으로 하는 회전 변환 기반의 송신 빔 형성 방법.

$$\theta_O^{ij} = \mathrm{Atan}\left( \left\| \overline{\mathbf{h}}_i \right\|^2 - \left\| \overline{\mathbf{h}}_j \right\|^2 , \Im\left\{ \overline{\mathbf{h}}_i^H \overline{\mathbf{h}}_j \right\} \right) \quad (4)$$

**청구항 8**

제 1 항에 있어서,

상기 회전 변환 행렬을 생성하는 단계는,

상기 결합 벡터의 첫 번째 열 벡터의 켤레 복소수 전치 행렬과 상기 열 벡터가 포함된 모든 다른 열벡터 간의 내적을 연산하고, 상기 내적에 따른 실수부의 크기와 상기 내적에 따른 허수부의 크기를 비교하는 단계; 및

상기 내적에 따른 실수부의 크기가 큰 경우 상기 첫 번째 열 벡터와 상기 내적을 연산한 다른 열 벡터와의 내적

의 실수부가 0이 되도록 회전 변환을 수행하고,

상기 내적에 따른 허수부의 크기가 큰 경우 상기 첫 번째 열 벡터와 상기 내적을 연산한 다른 열 벡터와의 내적의 허수부가 0이 되도록 채널 조건에 따른 회전 변환을 수행하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 회전 변환 기반의 송신 빔 형성 방법.

**청구항 9**

제 1 항에 있어서,

상기 회전 변환 행렬을 생성하는 단계는,

상기 첫 번째 열 벡터와 상기 열 벡터가 포함된 결합 벡터의 모든 다른 열벡터와의 내적의 실수부 및 허수부가 0이 되도록 복소 회전 변환 행렬을 생성하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 회전 변환 기반의 송신 빔 형성 방법.

**청구항 10**

제 9 항에 있어서,

상기 복소 회전 변환 행렬 $\overline{\mathbf{C}}\left(i,j,\theta_I^{ij},\theta_C^{ij}\right)$ 는

내부 회전 변환에 따른 내부 회전 변환 행렬 $[\overline{I}(i,j,\theta_I{}^{ij})]$ 와 외부 회전 변환에 따른 외부 회전 변환 행렬 $[\overline{O}(i,j,\theta_O{}^{ij})]$ 에 의해 형성되며,

$i$ 및 $j$ 는 상기 채널 행렬의 행 벡터 인덱스를 의미하고, $\theta_I{}^{ij}$ 내부 회전 변환에 따른 행 벡터 간의 회전각을 의미하며, $\theta_O{}^{ij}$ 는 외부 회전 변환에 따른 행 벡터 간의 회전각을 의미하며, $\theta_C{}^{ij}$ 는 복소 회전 변환에 따른 행 벡터 간의 회전각을 의미할 때, 하기의 식 5에 따라 이루어지는 것을 특징으로 하는 회전 변환 기반의 송신 빔 형성 방법.

$$\overline{\mathbf{C}}\left(i,j,\theta_{\mathrm{O}}^{ij}\right)=\overline{\mathbf{I}}\left(i,j,\theta_I^{ij}\right)\overline{\mathbf{O}}\left(i,j,\theta_C^{ij}\right) \quad (5)$$

**청구항 11**

제 10 항에 있어서,

상기 복소 회전 변환에 따른 행 벡터 간의 회전각 $\theta_O{}^{ij}$ 은

$\overline{\mathbf{h}}_i$ 는 상기 채널 행렬의 $i$ 번째 열 벡터를 의미하고, $\overline{\mathbf{h}}_j$ 는 상기 채널 행렬의 $j$ 번째 열 벡터를 의미하며, $\overline{\mathbf{h}}_i^{H}$ 는 상기 $i$ 번째 열 벡터의 켤레 복소수 전치 연산 $H$ 에 의한 연산값을 의미하며, $\Re\{\cdot\}$ 는 실수값을 의미하고 $\Im\{\cdot\}$ 는 허수값을 의미할 때, 하기의 식 6에 의해 연산되는 것을 특징으로 하는 회전 변환 기반의 송신 빔 형성 방법.

$$\theta_{\mathrm{O}}^{ij}=\mathrm{Atan}\left(\sqrt{\left\|\overline{\mathbf{h}}_i\right\|^2-\left\|\overline{\mathbf{h}}_j\right\|^2+4\Re\left\{\overline{\mathbf{h}}_i^{H}\overline{\mathbf{h}}_j\right\}},\Im\left\{\overline{\mathbf{h}}_i^{H}\overline{\mathbf{h}}_j\right\}\right) \quad (6)$$

**청구항 12**

컴퓨터 판독 가능 저장 매체에 회전 변환 기반의 송신 빔을 형성하는 프로그램이 기록되어 있고, 상기 프로그램

은,

다중입출력(Multiple Input Multiple Output:MIMO) 안테나 기반의 송신 빔 벡터 형성을 위하여 송신단의 안테나 수와 수신단의 안테나 수에 따라 채널 행렬을 구성하도록 하는 채널 행렬 구성 코드;

상기 구성된 채널 행렬과 송신 빔 형성 벡터인 회전 변환 행렬에 따라 결합 벡터를 생성하되, 상기 결합 벡터를 구성하는 복수 개의 열 벡터 중 첫 번째 열 벡터와 상기 결합 벡터에 포함된 모든 다른 열 벡터가 상호 직교하도록 회전 변환 행렬을 생성하도록 하는 회전 변환 행렬 생성 코드;

상기 결합 벡터를 구성하는 복수 개의 열 벡터 중 상기 첫 번째 열 벡터의 크기가 최대값을 가지도록 구성하도록 하는 코드; 및

상기 결합 벡터 중 첫 번째 열 벡터의 크기가 다른 열 벡터의 크기보다 가장 큰 값을 가지게 되는 상기 송신 빔 형성 벡터에 따라 상기 송신단에서 상기 수신단으로 데이터 전송을 수행하도록 하는 코드를 포함하는 컴퓨터 판독 가능 저장 매체.

**청구항 13**

제 12 항에 있어서,

상기 회전 변환 행렬 생성 코드는

상기 첫 번째 열 벡터와 상기 열 벡터가 포함된 결합 벡터의 모든 다른 열벡터와의 내적의 실수부가 0이 되도록 내부 회전 변환 행렬을 생성하도록 하는 것을 특징으로 하는 컴퓨터 판독 가능 저장 매체.

**청구항 14**

제 12 항에 있어서,

상기 회전 변환 행렬 생성 코드는,

상기 첫 번째 열 벡터와 상기 열 벡터가 포함된 결합 벡터의 모든 다른 열벡터와의 내적의 허수부가 0이 되도록 외부 회전 변환 행렬을 생성하도록 하는 것을 특징으로 하는 컴퓨터 판독 가능 저장 매체.

**청구항 15**

제 12 항에 있어서,

상기 회전 변환 행렬 생성 코드는,

상기 첫 번째 열 벡터의 켤레 복소수 전치 행렬과 상기 열 벡터가 포함된 모든 다른 열벡터 간의 내적을 연산하고, 상기 내적에 따른 실수부의 크기와 상기 내적에 따른 허수부의 크기를 비교하는 허수부 크기 비교 코드를 포함하되,

상기 내적에 따른 실수부의 크기가 큰 경우 상기 첫 번째 열 벡터와 상기 내적을 연산한 다른 열 벡터와의 내적의 실수부가 0이 되도록 회전 변환을 수행하고,

상기 내적에 따른 허수부의 크기가 큰 경우 상기 첫 번째 열 벡터와 상기 내적을 연산한 다른 열 벡터와의 내적의 허수부가 0이 되도록 채널 조건에 따른 회전 변환을 수행하도록 하는 것을 특징으로 하는 컴퓨터 판독 가능 저장 매체.

**청구항 16**

제 12 항에 있어서,

상기 회전 변환 행렬 생성 코드는,

상기 첫 번째 열 벡터와 상기 열 벡터가 포함된 결합 벡터의 모든 다른 열벡터와의 내적의 실수부 및 허수부가 0이 되도록 복소 회전 변환 행렬을 생성하도록 하는 것을 특징으로 하는 컴퓨터 판독 가능 저장 매체.

## *명 세 서*

### *발명의 상세한 설명*

## 기 술 분 야

<1> 본 발명은 다중입출력(Multiple Input Multiple Output:MIMO) 시스템에 관한 것으로서, 특히 특이값 분해(Singular Value Decomposition:SVD) 기반의 폐루프 송신 빔형성에 있어서, 회전 변환을 이용하여 빔형성 벡터를 연산하기 위한 연산의 복잡도를 줄이고, 송신단에서 필요한 채널 정보량 사이의 트레이드오프(tradeoff)를 제공할 수 있는 다중입출력에서의 회전 변환 기반의 송신 빔 형성 방법 및 이를 기록한 컴퓨터 판독 가능 저장 매체에 관한 것이다.

## 배 경 기 술

<2> 차세대 통신 시스템은 이동국들에게 고속의 대용량 데이터 송수신이 가능한 서비스들을 제공하기 위한 이동 통신 시스템 형태로 발전해 나가고 있다.

<3> 이러한 차세대 통신 시스템의 대표적인 예가 IEEE 802.16e 통신 시스템이다.

<4> 고속 대용량 데이터 송신을 위하여 차세대 통신 시스템은 데이터 전송률을 증가시키고, 송신 신뢰성을 향상시키기 위한 방식으로 송신단과 수신단에서 각각 여러개의 안테나를 사용하는 다중입출력(Multiple Input Multiple Output:MIMO) 시스템을 고려하고 있다.

<5> MIMO는 제4세대 이동통신에 적용되는 기술로 기지국과 휴대 단말기의 안테나를 2개 이상으로 늘려 데이터를 여러 경로로 전송하고, 수신단에서 각각의 경로로 수신된 신호를 검출해 간섭을 줄이고, 전송 속도를 높이고 있는 기술이다.

<6> 복수 개의 안테나로 송신과 수신을 하면, 통신 속도를 향상시킬 수 있고, 신호 간섭을 최소화할 수 있으며, 전송 용량의 증대를 이끌 수 있어 이 기술은 차세대 이동 통신의 핵심기술이라고 할 수 있다.

<7> 4세대 이동통신의 무선통신 시스템은 기존의 음성 위주의 서비스에서 벗어나 영상과 패킷의 초고속 데이터 서비스를 요구하고 있다. 이러한 초고속 멀티미디어 서비스는 현재 이용중인 주파수의 단위 주파수당 데이터 전송 속도를 극대화하여야만 한다.

<8> 이는 90년대 말부터 주파수 자원의 효율적인 사용을 위해 새로운 영역인 공간 영역을 활용한 연구가 진행되고 있다.

<9> 공간을 이용한 주파수 효율을 높이는 방식의 하나인 수신 다이버시티는 90년대 초반부터 송신 안테나에 적용되었으며, 90년대 후반에 미국의 벨 연구소의 G. J Foschini에 의해 제안된 다중입출력(MIMO) 방식은 산란체가 많은 채널 환경에서 각 전송 안테나마다 서로 독립적인 정보를 보내면 각 정보의 공간 특성이 서로 달라 같은 시간과 같은 주파수 및 같은 코드 상에 있어도 신호를 분리할 수 있다는 점에 그 장점이 있다.

<10> 즉, 다중입출력(MIMO) 시스템은 여러 개의 송신 안테나를 통해 신호를 전송하면, 각각의 안테나로부터 송신된 전파 신호는 수신측에 각각 시간과 공간 위치가 달라 분리 신호로 입력되고, 따라서 분리된 신호를 별도로 처리하여 원래의 신호를 복원할 수 있으면 데이터 전송 속도를 안테나 수에 비례하게 할 수 있다.

<11> 한편, MIMO 시스템에 있어서, 송신단 측에서 채널 정보(Channel State Information)를 이용하여 적절하게 선처리하는 폐루프 송신 빔형성 기법은 통신 시스템의 신뢰성을 향상시킬 수 있는 방식으로 큰 각광을 받고 있다. 다중 안테나 시스템 채널 정보는 각각의 송신안테나와 수신안테나의 채널 응답 정보를 행렬 형태로 저장하게 된다.

<12> 일반적으로, 폐루프 송신 빔형성 기법은 채널 응답 행렬의 특이값 분해(Singular Value Decomposition:SVD)의 연산을 필요로 한다.

<13> SVD 기반의 송신 빔형성 기법이 수신단 측에서의 신호대 잡음 비 측면에서 최적의 성능을 제공한다는 것이 입증되었지만, 송수신 안테나의 수가 많아질 경우, 채널 행렬의 크기가 커지면 SVD 연산의 복잡도가 크게 증가하고, 또한 폐루프 송신 빔형성에 필요한 채널 정보량도 함께 증가하는 문제점이 있다.

## 발명의 내용

### 해결 하고자하는 과제

<14> 따라서, 본 발명이 해결하고자 하는 첫 번째 기술적 과제는 특이값 분해(Singular Value Decomposition:SVD)

기반의 폐루프 송신 빔형성에 있어서, 회전 변환을 이용하여 빔형성 벡터를 연산하기 위한 연산의 복잡도를 줄이고, 송신단에서 필요한 채널 정보량 사이의 트레이드오프(tradeoff)를 제공할 수 있는 다중입출력에서의 회전 변환 기반의 송신 빔 형성 방법을 제공하는 것이다.

<15> 그리고, 본 발명이 해결하고자 하는 두 번째 기술적 과제는 상기 다중입출력에서의 회전 변환 기반의 송신 빔 형성 방법을 컴퓨터에서 실행시킬 수 있도록 프로그램으로 기록된 컴퓨터 판독 가능 저장 매체를 제공하는 것이다.

## 과제 해결수단

<16> 상기 첫 번째 과제를 해결하기 위하여 본 발명은,

<17> 다중입출력(Multiple Input Multiple Output:MIMO) 안테나 기반의 송신 빔 벡터 형성을 위하여 송신단의 안테나 수와 수신단의 안테나 수에 따라 채널 행렬을 구성하는 단계; 상기 구성된 채널 행렬과 상기 송신 빔 형성 벡터인 회전 변환 행렬에 따라 결합 벡터를 생성하되, 상기 결합 벡터를 구성하는 복수 개의 열 벡터 중 첫 번째 열 벡터와 상기 결합 벡터에 포함된 모든 다른 열 벡터가 상호 직교하도록 회전 변환 행렬을 생성하는 단계; 상기 결합 벡터를 구성하는 복수 개의 열 벡터 중 상기 첫 번째 열 벡터의 크기가 최대값을 가지도록 구성하는 단계; 및 상기 결합 벡터 중 다른 열 벡터의 크기보다 첫 번째 열 벡터의 크기가 가장 큰 값을 가지도록 구성된 상기 결합 벡터에 따라 상기 송신단에서 상기 송신 빔 형성 벡터에 따라 데이터 전송을 수행하는 단계를 포함하는 회전 변환 기반의 송신 빔 형성 방법을 제공한다.

<18> 한편, 상기 회전 변환 행렬을 생성하는 단계는, 상기 결합 벡터의 첫 번째 열 벡터와 상기 열 벡터가 포함된 결합 벡터의 모든 다른 열벡터와의 내적의 실수부가 0이 되도록 내부 회전 변환 행렬을 생성하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

<19> 아울러, 상기 내부 회전 변환 행렬 $[\bar{I}(i,j,\theta_I{}^{ij})]$는 $i$ 및 $j$는 상기 채널 행렬의 행 벡터 인덱스를 의미하고, $\theta_I{}^{ij}$는 행 벡터 간의 회전각을 의미하며, $m$ 및 $n$은 상기 송신 빔 형성 벡터의 행과 열의 인덱스를 의미할 때, 수학식

$$\left[\bar{\mathbf{I}}\left(i,j,\theta_I^{ij}\right)\right]_{m,n}=\begin{cases}\cos\left(\theta_I^{ij}\right) & \text{if } m=n=i \text{ or } m=n=j\\ \sin\left(\theta_I^{ij}\right) & \text{if } m=i \text{ and } n=j\\ -\sin\left(\theta_I^{ij}\right) & \text{if } m=j \text{ and } n=i\\ \delta_{mn} & \text{else}\end{cases}$$

에 따라 이루어지는 것을 특징으로 한다.

<20> 그리고, 상기 회전각 $\theta_I{}^{ij}$는 $\bar{\mathbf{h}}_i$는 상기 채널 행렬의 $i$번째 열 벡터를 의미하고, $\bar{\mathbf{h}}_j$는 상기 채널 행렬의 $j$번째 열 벡터를 의미하며, $\bar{\mathbf{h}}_i^H$는 상기 $i$번째 열 벡터의 켤레 복소수 전치 연산 $H$에 의한 연산값을 의미하며, $\Re\{\cdot\}$는 실수값을 의미할 때, 수학식 $\theta_I^{ij}=\mathrm{Atan}\left(\left\|\bar{\mathbf{h}}_i\right\|^2-\left\|\bar{\mathbf{h}}_j\right\|^2,\Re\left\{\bar{\mathbf{h}}_i^H\bar{\mathbf{h}}_j\right\}\right)$에 의해 연산되는 것을 특징으로 한다.

<21> 또한, 상기 회전 변환 행렬을 생성하는 단계는 상기 결합 벡터의 첫 번째 열 벡터와 상기 열 벡터가 포함된 결합 벡터의 모든 다른 열벡터와의 내적의 허수부가 0이 되도록 외부 회전 변환 행렬을 생성하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

<22> 아울러, 상기 외부 회전 변환 행렬 $[\bar{O}(i,j,\theta_O{}^{ij})]$는 $i$ 및 $j$는 상기 채널 행렬의 행 벡터 인덱스를 의미하고, $\theta_O{}^{ij}$는 행 벡터 간의 회전각을 의미하며, $m$ 및 $n$은 상기 송신 빔 형성 벡터의 행과 열의 인덱스

$$\left[\bar{\mathbf{O}}\left(i,j,\theta_O^{ij}\right)\right]_{m,n}=\begin{cases}\cos\left(\theta_O^{ij}\right) & \text{if } m=n=i \text{ or } m=n=j\\ \mathrm{j}\sin\left(\theta_O^{ij}\right) & \text{if } m=i \text{ and } n=j \text{ or } m=j \text{ and } n=i\\ \delta_{mn} & \text{else}\end{cases}$$

를 의미할 때, 수학식 에 따라 이루어지는 것을 특징으로 한다.

<23> 그리고, 상기 회전각 $\theta_O^{ij}$ 는 $\bar{\mathbf{h}}_i$ 는 상기 채널 행렬의 $i$ 번째 열 벡터를 의미하고, $\bar{\mathbf{h}}_j$ 는 상기 채널 행렬의 $j$ 번째 열 벡터를 의미하며, $\bar{\mathbf{h}}_i^H$ 는 상기 $i$ 번째 열 벡터의 켤레 복소수 전치 연산 $H$ 에 의한 연산값을 의미하며, $\Im\{\cdot\}$ 는 허수값을 의미할 때, 수학식 $\theta_O^{ij}=\mathrm{Atan}\left(\left\|\bar{\mathbf{h}}_i\right\|^2-\left\|\bar{\mathbf{h}}_j\right\|^2,\Im\left\{\bar{\mathbf{h}}_i^H\bar{\mathbf{h}}_j\right\}\right)$ 에 의해 연산되는 것을 특징으로 한다.

<24> 그리고, 상기 회전 변환 행렬을 생성하는 단계는, 상기 결합 벡터의 첫 번째 열 벡터의 켤레 복소수 전치 행렬과 상기 열 벡터가 포함된 모든 다른 열벡터 간의 내적을 연산하고, 상기 내적에 따른 실수부의 크기와 상기 내적에 따른 허수부의 크기를 비교하는 단계; 및 상기 내적에 따른 실수부의 크기가 큰 경우 상기 첫 번째 열 벡터와 상기 내적을 연산한 다른 열 벡터와의 내적의 실수부가 0이 되도록 회전 변환을 수행하고, 상기 내적에 따른 허수부의 크기가 큰 경우 상기 첫 번째 열 벡터와 상기 내적을 연산한 다른 열 벡터와의 내적의 허수부가 0이 되도록 채널 조건에 따른 회전 변환을 수행하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

<25> 아울러, 상기 회전 변환 행렬을 생성하는 단계는, 상기 첫 번째 열 벡터와 상기 열 벡터가 포함된 결합 벡터의 모든 다른 열 벡터와의 내적의 실수부 및 허수부가 0이 되도록 복소 회전 변환 행렬을 생성하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

<26> 여기서, 상기 복소 회전 변환 행렬 $\bar{\mathbf{C}}\left(i,j,\theta_I^{ij},\theta_C^{ij}\right)$ 는 내부 회전 변환에 따른 내부 회전 변환 행렬 $[\bar{I}(i,j,\theta_I^{ij})]$ 와 외부 회전 변환에 따른 외부 회전 변환 행렬 $[\bar{O}(i,j,\theta_O^{ij})]$ 에 의해 형성되며, $i$ 및 $j$ 는 상기 채널 행렬의 행 벡터 인덱스를 의미하고, $\theta_I^{ij}$ 내부 회전 변환에 따른 행 벡터 간의 회전각을 의미하며, $\theta_O^{ij}$ 는 외부 회전 변환에 따른 행 벡터 간의 회전각을 의미하며, $\theta_C^{ij}$ 는 복소 회전 변환에 따른 행 벡터 간의 회전각을 의미할 때, 수학식 $\bar{\mathbf{C}}\left(i,j,\theta_{\mathbf{O}}^{ij}\right)=\bar{\mathbf{I}}\left(i,j,\theta_I^{ij}\right)\bar{\mathbf{O}}\left(i,j,\theta_C^{ij}\right)$ 에 따라 이루어지는 것을 특징으로 한다.

<27> 또한, 상기 복소 회전 변환에 따른 행 벡터 간의 회전각 $\theta_O^{ij}$ 은 $\bar{\mathbf{h}}_i$ 는 상기 채널 행렬의 $i$ 번째 열 벡터를 의미하고, $\bar{\mathbf{h}}_j$ 는 상기 채널 행렬의 $j$ 번째 열 벡터를 의미하며, $\bar{\mathbf{h}}_i^H$ 는 상기 $i$ 번째 열 벡터의 켤레 복소수 전치 연산 $H$ 에 의한 연산값을 의미하며, $\Re\{\cdot\}$ 는 실수값을 의미하고 $\Im\{\cdot\}$ 는 허수값을 의미할 때, 수학식 $\theta_{\mathbf{O}}^{ij}=\mathrm{Atan}\left(\sqrt{\left\|\bar{\mathbf{h}}_i\right\|^2-\left\|\bar{\mathbf{h}}_j\right\|^2+4\Re\left\{\bar{\mathbf{h}}_i^H\bar{\mathbf{h}}_j\right\}},\Im\left\{\bar{\mathbf{h}}_i^H\bar{\mathbf{h}}_j\right\}\right)$ 에 의해 연산되는 것을 특징으로 한다.

<28> 상기 두 번째 과제를 해결하기 위하여 본 발명은,

<29> 컴퓨터 판독 가능 저장 매체에 회전 변환 기반의 송신 빔을 형성하는 프로그램이 기록되어 있고, 상기 프로그램은, 다중입출력(Multiple Input Multiple Output:MIMO) 안테나 기반의 송신 빔 벡터 형성을 위하여 송신단의 안테나 수와 수신단의 안테나 수에 따라 채널 행렬을 구성하도록 하는 채널 행렬 구성 코드; 상기 구성된 채널

행렬과 송신 빔 형성 벡터인 회전 변환 행렬에 따라 결합 벡터를 생성하되, 상기 결합 벡터를 구성하는 복수 개의 열 벡터 중 첫 번째 열 벡터와 상기 결합 벡터에 포함된 모든 다른 열 벡터가 상호 직교하도록 회전 변환 행렬을 생성하도록 하는 회전 변환 행렬 생성 코드; 상기 결합 벡터를 구성하는 복수 개의 열 벡터 중 상기 첫 번째 열 벡터의 크기가 최대값을 가지도록 구성하도록 하는 코드; 및 상기 결합 벡터 중 첫 번째 열 벡터의 크기가 다른 열 벡터의 크기보다 가장 큰 값을 가지게 되는 상기 송신 빔 형성 벡터에 따라 상기 송신단에서 데이터 전송을 수행하도록 하는 코드를 포함하는 컴퓨터 판독 가능 저장 매체를 제공한다.

<30> 그리고, 상기 회전 변환 행렬 생성 코드는 상기 첫 번째 열 벡터와 상기 열 벡터가 포함된 결합 벡터의 모든 다른 열벡터와의 내적의 실수부가 0이 되도록 내부 회전 변환 행렬을 생성하도록 하는 것을 특징으로 한다.

<31> 아울러, 상기 회전 변환 행렬 생성 코드는, 상기 첫 번째 열 벡터와 상기 열 벡터가 포함된 결합 벡터의 모든 다른 열벡터와의 내적의 허수부가 0이 되도록 외부 회전 변환 행렬을 생성하도록 하는 것을 특징으로 한다.

<32> 그리고, 상기 회전 변환 행렬 생성 코드는, 상기 첫 번째 열 벡터의 켤레 복소수 전치 연산과 상기 열 벡터가 포함된 모든 다른 열벡터 간의 내적을 연산하고, 상기 내적에 따른 실수부의 크기와 상기 내적에 따른 허수부의 크기를 비교하는 허수부 크기 비교 코드를 포함하되, 상기 내적에 따른 실수부의 크기가 큰 경우 상기 첫 번째 열 벡터와 상기 내적을 연산한 다른 열 벡터와의 내적의 실수부가 0이 되도록 회전 변환을 수행하고, 상기 내적에 따른 허수부의 크기가 큰 경우 상기 첫 번째 열 벡터와 상기 내적을 연산한 다른 열 벡터와의 내적의 허수부가 0이 되도록 채널 조건에 따른 회전 변환을 수행하도록 하는 것을 특징으로 한다.

<33> 아울러, 상기 회전 변환 실행 코드는, 상기 첫 번째 열 벡터와 상기 열 벡터가 포함된 결합 벡터의 모든 다른 열벡터와의 내적의 실수부 및 허수부가 0이 되도록 복소 회전 변환 행렬을 생성하도록 하는 것을 특징으로 한다.

## *효 과*

<34> 본 발명에 의하면, 다중입출력에서의 송신 빔 형성에 있어서, 특이값 분해 기반의 폐루프 송신 빔형성에 있어 빔형성 벡터를 연산하기 위한 연산의 복잡도를 줄이기 위하여 회전 변환 기반의 빔형성 기법을 사용함으로써 빔형성 벡터를 연산하기 위한 연산 복잡도를 줄일 수 있을 뿐만 아니라 데이터 전송에 따른 송신단에서 필요한 채널 정보량 사이의 tradeoff를 제공할 수 있으며, 수신단에서의 신호 수신 성능을 향상시킬 수 있는 효과가 있다.

## *발명의 실시를 위한 구체적인 내용*

<35> 본 발명은 폐루프 기반의 다중 안테나 시스템 즉, 다중입출력(Multiple Input Multiple Output:MIMO) 안테나에서 송신단 측에서 높은 복잡도의 특이값 분해(Singular Value Decomposition:SVD) 연산을 필요로 하지 않는 낮은 복잡도의 회전 변환 기반의 송신 빔 형성 방법을 제안한다.

<36> 도 1은 본 발명에 적용되는 다중 입출력 통신 시스템에서의 송신단의 블록 구성도의 일 예를 도시한 것이다.

<37> 도 1을 참조하면, 본 발명에 적용되는 다중 입출력 통신 시스템에서 송신단(100)은 맵퍼(mapper)부(110), 빔 형성부(120) 및 M 개의 송신 안테나(131 내지 139)로 구성될 수 있다.

<38> 여기서, 맵퍼(110)는 데이터의 비트 스트림(bit stream)을 QAM 또는 PSK 콘스텔레이션(constellation) 복소 신호로 변환하는 역할을 한다.

<39> 그리고, 빔 형성부(120)는 각 복소 데이터 신호를 입력받아 서로 다른 계수가 곱해진 M 개의 신호를 출력한다.

<40> 한편, 빔 형성부(120)에서 나온 M 개의 신호는 각각에 대응하는 M 개의 송신 안테나(131 내지 139)를 통하여 송신된다.

<41> 도 2는 본 발명에 적용되는 다중 입출력 통신 시스템에서의 수신단의 블록 구성도의 일 예를 도시한 것이다.

<42> 도 2를 참조하면, 본 발명에 적용되는 다중 입출력 통신 시스템에서 수신단(200)은 N 개의 수신 안테나(211 내지 219), 결합부(220), 검출기(230) 및 디맵퍼부(240)로 구성될 수 있다.

<43> 각 구성요소들을 살펴 보면, 상기 송신단(100)으로부터 전송된 복소 데이터 신호를 수신단(200)의 N 개의 수신 안테나(211 내지 219)에서 수신한다.

<44> 그러면, 상기 N 개의 수신 안테나(211 내지 219)에서 수신한 복소 데이터 신호는 디맵퍼(demapper)부(220)에서

상기 N 개의 신호를 입력받아 각각에 서로 다른 계수를 곱하고, 결합부(230)에서 상기 N 개의 신호에 각각의 서로 다른 계수를 곱하여 하나의 스칼라 값으로 결합시켜서 출력시킨다.

<45> 그런 다음, 검출기(230)는 상기 결합부에서 출력된 신호를 수신하여 송신단에서 어떤 신호를 전송하였는지를 검출해 낸다.

<46> 그러면, 검출기(230)에서 검출된 신호는 디맵퍼부(220)에서 비트 스트림의 데이터로 변환된다.

<47> 도 3은 본 발명에 따른 회전 변환 기반의 송신 빔 형성 방법의 흐름도이다.

<48> 도 3을 참조하면 우선, 다중입출력(Multiple Input Multiple Output:MIMO) 안테나 기반의 송신 빔 벡터 형성을 위하여 송신단의 안테나 수와 수신단의 안테나 수에 따라 채널 행렬을 구성한다(310 과정).

<49> $M_t$ 개의 송신 안테나와 $M_r$ 개의 수신 안테나를 가진 MIMO 시스템에서 채널 행렬은 상호 독립적이며, 송신기에서 전송되는 데이터 심볼 $\overline{s}$ 는 단위 놈(norm) 빔 형성 벡터 $\overline{\mathbf{w}}$ 와 곱해져 $M_t$ 차원의 복소 전송 신호 벡터 $\overline{\mathbf{X}}$ 를 형성한다.

<50> 그리고, $M_t$ 개의 송신 안테나와 $M_r$ 차원의 복소 수신 신호 벡터에 따라 채널 행렬 $\overline{H}$ 를 구성한다.

<51> 상기 채널 행렬 $\overline{H}$ 와 N 차원의 수신 신호 벡터 $\overline{y}$ 의 관계식을 표현하면 하기의 수학식 1과 같다.

*수학식 1*

<52> $$\overline{y} = \overline{H}\,\overline{x} + \overline{n}$$

<53> 한편, $\overline{n}$ 은 수신 안테나에서 발생하는 잡음들의 벡터이고, 각 구성 원소들은 상호 독립적이고, 평균은 0이며 분산이 $\sigma_n^2$ 인 정규분포를 따르는 복소 가우시안 잡음 벡터를 의미하며, 이는 코베리언스(covariance) 행렬로 $\sigma_n^2\mathbf{I}_{M_r}$ 의 값을 가지며, 여기서, $\mathbf{I}_{M_r}$ 은 크기가 $M_r$ 인 단위 행렬을 의미한다.

<54> 여기서 송신 신호 벡터 $\overline{x}$ 는 송신 신호의 빔 형성부에서 하기의 수학식 2를 통하여 생성된다.

*수학식 2*

<55> $$\overline{x} = \overline{w}\,\overline{s}$$

<56> 상기 수학식 2에서 $\overline{s}$ 는 송신단의 복소 데이터 신호이고, $\overline{w}$ 는 M 차원의 빔 형성 열 벡터이며, 여기서 송신단은 제한된 전력을 사용하여야 하므로 $\|w\|^2 = 1$ 의 조건을 부여한다.

<57> 그 다음, 상기 구성된 채널 행렬과 송신 빔 형성 벡터인 회전 변환 행렬에 따라 결합 벡터를 생성하되, 상기 결합 벡터를 구성하는 복수 개의 열 벡터 중 첫 번째 열 벡터와 상기 열 벡터가 포함된 결합 벡터의 모든 다른 열 벡터의 위상을 이용하여 회전 변환 행렬을 생성한다(320 과정).

<58> 즉, 수신단의 결합부에서는 상기 수신 신호 $\overline{y}$ 를 입력받아, 하기의 수학식 3에 따라 하나의 스칼라값으로 결합시켜 결합부 출력 신호 $\overline{z}$ 를 생성한다.

*수학식 3*

<59> $$\overline{z} = \overline{c}^{H}\overline{y}$$

<60> 상기 수학식 3에서 $\overline{c}$는 N 차원의 결합 열벡터를 의미하며, $()^{H}$에서의 $H$는 벡터의 켤레 복소수 전치(complex conjugate transpose) 연산자를 나타낸다.

<61> 여기서 채널 행렬 $\overline{H}$와 송신 빔 형성 벡터 $\overline{w}$가 주어졌을 때, 최적의 결합 벡터 $\overline{c}$는 최대 비율 결합(Maximum Ratio Combining:MRC)을 적용하며, 이를 수학적으로 도시하면, 하기의 수학식 4와 같다. 여기서 빔 형성 벡터는 본 발명의 회전 변환 행렬에 대응된다.

*수학식 4*

<62> $$\overline{c} = \overline{H}\,\overline{w}$$

<63> 수신단 측에서 상기의 수학식 4에 따라서 최대 비율 결합, MRC 결합을 적용할 경우, 결합부 출력 신호 $\overline{z}$에서의 신호대잡음비 SNR은 하기의 수학식 5와 같다.

*수학식 5*

<64> $$SNR = \frac{\sigma_s^{2} \| \overline{H}\,\overline{w} \|^{2}}{\sigma_n^{2}}$$

<65> 상기 수학식 5에서, $\sigma_s^{2}$은 사용되고 있는 신호의 콘스텔레이션(constellation) 점들의 평균 에너지이다.

<66> 따라서, 본 발명은 회전 변환에 기반하여 $\| w \|^{2} = 1$을 만족시키면서 $\| \overline{H}\,\overline{w} \|$의 값을 최대화시키는 빔 형성 벡터 $\overline{w}$인 회전 변환 행렬을 찾는 것이다.

<67> 다중입출력에서의 회전 변환 기반의 송신 빔 형성 방법은 네 가지의 회전 변환 방법을 적용할 수 있다.

<68> 첫 번째는, 회전 변환인 내부 회전 변환을 통하여 다중입출력에서의 회전 변환 기반의 송신 빔을 형성한다.

<69> 두 번째는, 회전 변환인 외부 회전 변환을 통하여 다중입출력에서의 회전 변환 기반의 송신 빔을 형성한다.

<70> 세 번째는, 채널 조건에 따라 내부 회전 변환 또는 외부 회전 변환을 선택적으로 적용하여 다중입출력에서의 회전 변환 기반의 송신 빔을 형성한다.

<71> 네 번째는, 회전 변환인 외부 회전 변환을 통하여 다중입출력에서의 회전 변환 기반의 송신 빔을 형성한다.

<72> 상기 네 가지의 회전 변환 방법에 대하여는 후술하기로 한다.

<73> 그 다음, 상기 결합 벡터를 구성하는 복수 개의 열 벡터 중 상기 첫 번째 열 벡터의 크기가 최대값을 가지도록 결합벡터를 구성한다(330 과정).

<74> 이는 상기의 수학식 4에 따라서 최대 비율 결합, MRC 결합을 적용할 경우, 결합부 출력 신호 $\overline{z}$에서의 신호대잡음비 SNR은 상기의 수학식 5와 같이 연산되게 된다.

<75> 여기서, 열 벡터가 상기 결합 벡터에서 최대값을 가지도록 구성되는 경우, 결합부 출력 신호 $\overline{z}$에서의 신호대잡음비 SNR이 최대가 되도록 하고, 상기 결합 벡터에서 최대값을 가지는 열 벡터를 선택하는데 있어서 연산의

편의를 위하여 상기 결합 벡터를 구성하는 복수 개의 열 벡터 중 상기 첫 번째 열 벡터의 크기가 최대값이 되도록 구성할 수 있다.

<76> 마지막으로, 상기 결합 벡터 중 첫 번째 열 벡터의 크기가 다른 열 벡터의 크기보다 가장 큰 값을 가지도록 구성된 결합 벡터에 따라 상기 송신단에서 상기 수신단으로 데이터 전송을 수행한다(340 과정).

<77> 한편, 전술한 320 과정에서 언급한 본 발명에 따른 내부 회전 변환 행렬을 수학식으로 표현하면 하기의 수학식 6과 같다. 이는 상기 송신 빔 형성 벡터 $\overline{w}$에 대응된다.

*수학식 6*

$$\bar{I}(i,j,\theta_I^{ij}) = \begin{bmatrix} 1 & \cdots & 0 & \cdots & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ 0 & \cdots & \cos(\theta_I^{ij}) & \cdots & \sin(\theta_I^{ij}) & \cdots & 0 \\ \vdots & & \vdots & \ddots & \vdots & & \vdots \\ 0 & \cdots & -\sin(\theta_I^{ij}) & & \cos(\theta_I^{ij}) & \cdots & 0 \\ \vdots & & \vdots & & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & 0 & \cdots & 0 & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

<78>

<79> 상기 수학식 6의 회전식을 일반화하면 하기의 수학식 7과 같다.

*수학식 7*

$$[\bar{I}(i,j,\theta_I^{ij})]_{m,n} =$$

$$\begin{cases} \cos(\theta_I^{ij}) & \text{if} \quad m=n=i \text{ or } m=n=j \\ \sin(\theta_I^{ij}) & \text{if} \quad m=i \text{ or } n=j \\ -\sin(\theta_I^{ij}) & \text{if} \quad m=j \text{ or } n=i \\ \delta_{mn} & else \end{cases}$$

<80>

<81> 여기서, 행렬 $[\bar{I}(i,j,\theta_I^{ij})]_{m,n}$는 행렬 $\bar{I}$의 $m$행 $n$열 원소를 나타내고, $\delta_{mn}$은 $m$과 $n$이 같을 때에만 1이고, 다르면 0인 크로네커 델타(Kronecker delta) 함수를 의미한다. 한편, 회전각 $\theta_I^{ij}$는 하기의 수학식 8에 의해 연산 된다.

*수학식 8*

$$\theta_I^{ij} = \text{Atan}\left( \left\| \bar{\mathbf{h}}_i \right\|^2 - \left\| \bar{\mathbf{h}}_j \right\|^2 , \Re\left\{ \bar{\mathbf{h}}_i^H \bar{\mathbf{h}}_j \right\} \right)$$

<82>

<83> 여기서, $\|\cdot\|$는 벡터의 놈(norm) 값을 의미하고, $\Re\{\cdot\}$은 복소수의 실수부를 의미한다. 또한 $\bar{\mathbf{h}}_i$ 및 $\bar{\mathbf{h}}_j$는 $\bar{\mathbf{H}}$의 $i$ 번째 및 $j$ 번째 열벡터를 의미하고, 함수 $\text{Atan}(\cdot,\cdot)$는 하기의 수학식 9와 같이 정의된다.

*수학식 9*

$$\mathrm{Atan}(a,b) = \tan^{-1}\left(\frac{a-\sqrt{a^2+4b^2}}{2a}\right)$$

<84>

<85> 한편, 내부 회전 변환 행렬 $\bar{\mathbf{I}}\left(i,j,\theta_I^{ij}\right)$가 적용된 결합 벡터를 $\bar{\mathbf{H}}_e$ 라고 하면, 상기 결합 벡터는 $\bar{\mathbf{H}}_e = \bar{\mathbf{H}}\bar{\mathbf{I}}\left(i,j,\theta_I^{ij}\right)$로 표현할 수 있고, $i$번째 및 $j$ 번째 열벡터에 대하여 $\bar{\mathbf{h}}_{e,i}$와 $\bar{\mathbf{h}}_{e,j}$의 내적의 실수부가 0이 된다.

<86> 그리고, 수학식 9에 따른 $\left\|\bar{\mathbf{h}}_{e,i}\right\|^2$의 값은 커지면서, $\left\|\bar{\mathbf{h}}_{e,j}\right\|^2$의 값은 작아지는 성질을 가지게 된다. 여기서, $\bar{\mathbf{h}}_{e,i}$는 $\bar{\mathbf{H}}_e$의 $i$번째 열벡터를 의미하며, $\bar{\mathbf{h}}_{e,j}$는 $\bar{\mathbf{H}}_e$의 $j$ 번째 열벡터를 의미한다.

<87> 상기 수학식 6 및 수학식 7에 따른 내부 회전 변환은 회전각을 필요로 하면서 두 열벡터의 내적의 실수부를 0으로 만들기 때문에 $\left\|\bar{\mathbf{h}}_{e,i}\right\|^2$의 값을 최대로 만들 수 있다.

<88> 그 다음으로, 두 번째의 회전 변환인 외부 회전 변환 행렬을 수학식으로 표현하면 하기의 수학식 10과 같다.

*수학식 10*

$$\left[\bar{\mathbf{O}}\left(i,j,\theta_O^{ij}\right)\right]_{m,n} = \begin{cases} \cos\left(\theta_O^{ij}\right) & \text{if } m=n=i \text{ or } m=n=j \\ \mathrm{j}\sin\left(\theta_O^{ij}\right) & \text{if } m=i \text{ and } n=j \text{ or } m=j \text{ and } n=i \\ \delta_{mn} & \text{else} \end{cases}$$

<89>

<90> 상기 수학식 10에서 외부 회전각 $\theta_O^{ij}$는 하기의 수학식 11에 의해 연산될 수 있다.

*수학식 11*

$$\theta_O^{ij} = \mathrm{Atan}\left(\left\|\bar{\mathbf{h}}_i\right\|^2 - \left\|\bar{\mathbf{h}}_j\right\|^2, \Im\left\{\bar{\mathbf{h}}_i^H \bar{\mathbf{h}}_j\right\}\right)$$

<91>

<92> 전술한 바와 같이, 상기 수학식 11에서 $\|\cdot\|$는 벡터의 놈(norm) 값을 의미하고, $\Im\{\cdot\}$은 복소수의 허수부를 의미한다. 또한 $\bar{\mathbf{h}}_i$ 및 $\bar{\mathbf{h}}_j$는 $\bar{\mathbf{H}}$의 $i$번째 및 $j$ 번째 열벡터를 의미하고, 함수 $\mathrm{Atan}(\cdot,\cdot)$는 상기의 수학식 9와 같이 정의된다.

<93> 한편, 외부 회전 변환 행렬 $\bar{\mathbf{O}}\left(i,j,\theta_O^{ij}\right)$가 적용된 결합 벡터를 $\bar{\mathbf{H}}_e$ 라고 하면, 상기 결합 벡터는 $\bar{\mathbf{H}}_e = \bar{\mathbf{H}}\bar{\mathbf{O}}\left(i,j,\theta_O^{ij}\right)$로 표현할 수 있고, $i$번째 및 $j$ 번째 열벡터에 대하여 $\bar{\mathbf{h}}_{e,i}$와 $\bar{\mathbf{h}}_{e,j}$의 내적의 허수부가 0이 된다.

<94> 그리고, 수학식 11에 따른 $\left\|\bar{\mathbf{h}}_{e,i}\right\|^2$의 값은 커지면서, $\left\|\bar{\mathbf{h}}_{e,j}\right\|^2$의 값은 작아지는 성질을 가지게 된다. 여기서, $\bar{\mathbf{h}}_{e,i}$는 $\bar{\mathbf{H}}_e$의 $i$번째 열벡터를 의미하며, $\bar{\mathbf{h}}_{e,j}$는 $\bar{\mathbf{H}}_e$의 $j$ 번째 열벡터를 의미한다.

<95> 이와 같이 상기 수학식 10 및 수학식 11에 따른 회전 변환은 회전각을 필요로 하면서 두 열벡터의 내적의 허수부를 0으로 만들기 때문에 $\left\|\bar{\mathbf{h}}_{e,i}\right\|^2$ 의 값을 최대로 만들 수 있다.

<96> 상술한 바와 같이, 내부 회전 변환과 외부 회전 변환은 두 열벡터의 내적의 실수부나 허수부만을 없애기 때문에 $\left\|\bar{\mathbf{h}}_{e,i}\right\|^2$ 의 값을 최대화시키는 데에 한계가 있다.

<97> 여기서, $\left\|\bar{\mathbf{h}}_{e,i}\right\|^2$ 의 값을 더욱 증가시키기 위하여 하기의 수학식 12에 따른 복소 회전 변환을 정의할 수 있다.

<98> 여기서, 복소 회전 변환은 내부 회전 변환 행렬과 외부 회전 변환 행렬을 모두 적용하는 것으로써, 송신 채널에서 필요로 하는 연산량이 많아질 수 있으나, 이는 상기 연산에 필요한 연산 장치의 마이크로 프로세서의 성능과 메모리의 가용량이 우수한 경우, 정확한 신호 검출을 위하여 채널 상태에 따라 다양하게 적용가능하다.

*수학식 12*

<99>
$$\bar{\mathbf{C}}\left(i,j,\theta_I^{ij},\theta_C^{ij}\right)=\bar{\mathbf{I}}\left(i,j,\theta_I^{ij}\right)\bar{\mathbf{O}}\left(i,j,\theta_C^{ij}\right)$$

<100> 수학식 12에서 볼 수 있는 바와 같이 복소 회전 변환 행렬 $\bar{\mathbf{C}}\left(i,j,\theta_I^{ij},\theta_C^{ij}\right)$ 는 내부 회전 변환 행렬 $\bar{\mathbf{I}}\left(i,j,\theta_I^{ij}\right)$ 과 외부 회전 변환 행렬을 동시에 적용한다.

<101> 이와 같이, 내부 회전 변환 행렬과 외부 회전 변환 행렬을 모두 사용함으로써 $\bar{\mathbf{h}}_{e,i}$ 및 $\bar{\mathbf{h}}_{e,j}$의 두 열벡터의 내적의 실수부와 허수부 모두를 0으로 만들수 있기 때문에 상술한 $\left\|\bar{\mathbf{h}}_{e,i}\right\|^2$ 의 값을 최대화시킬 수 있다.

<102> 한편 본 발명은 송신단에서 채널 행렬 $\bar{\mathbf{H}}$ 을 알 수 있도록 송신단 위주로 구성한 것으로 본 발명에 의하면 상기의 세 가지의 회전 변환에 기반한 송신 빔 형성 방법에 의해 연산의 복잡도를 줄일 수 있다.

<103> 한편, 다른 관점으로, 일반적으로 채널 행렬 $\bar{\mathbf{H}}$ 의 정보를 수신단에서 알 수 있도록 구성하는 경우, 상기 연산의 복잡도를 줄일 수 있을 뿐만 아니라, 수신단에서 송신단으로 전송하는 채널 상태 정보(Channel Estimation Information)을 줄일 수 있으므로 수신단에서 송신단으로 전송하는 채널 상태 정보에 대한 피드백 양을 줄일 수 있는 부가적인 성능 향상을 꾀할 수 있다.

<104> 상술한 바와 같이, 상기의 세 가지의 회전 변환에 기반한 송신 빔 형성 방법을 알고리즘으로 표현하면 도 4와 같다.

<105> 도 4를 참조하면, 채널 행렬$\bar{\mathbf{H}}$ 의 조건과 관련하여 결합 벡터의 첫 번째 열 벡터와 $k$번째 열 벡터 사이의 회전 변환을 취함으로써, 상기 $k$ 번째의 열벡터의 크기를 포기하는 대신 첫 번째 열벡터의 크기를 최대화하는데에 그 목적이 있다.

<106> 여기서, $k$ 값은 2에서 $M_t$까지 총 $M_t-1$ 개의 값에 대하여 도 4에 도시된 알고리즘이 순환된다.

<107> 상기 도 4에서, TYPE 1의 경우, 채널 조건과 무관하게 항상 첫 번째 열벡터와 $k$번째 열벡터 사이에 내부 회전 변환을 취함으로써, 첫 번째 열벡터를 크게 만들 수 있다.

<108> 이와는 달리, TYPE 3의 경우, 첫 번째 열벡터와 $k$번째 열벡터 사이에 복소 회전 변환을 취함으로써 첫 번째 열벡터를 최대한 크게 만들 수 있다.

<109> 반면에 TYPE2는 시스템의 복잡도와 송신단에서 필요로 하는 채널 정보량을 줄이기 위하여 채널 조건에 따라 내

부회전변환과 외부회전변환 중 한 가지를 선택하여 적용하는 방법이다.

<110> 상기 도 4에 따른 알고리즘을 이용하여 본 발명에서 제안하는 회전 변환 기반의 송신 빔 형성 기법을 정리할 수 있다.

<111> 도 5는 본 발명에 따른 회전 변환 기반의 송신 빔 형성 방법의 성능을 비교한 그래프이다.

<112> 도 5를 참조하면, 그래프(510)는 내부 회전 변환 행렬에 따른 회전 변환 기반의 송신 빔 형성 방법(TYPE1)의 BER 별 신호대 잡음비를 나타낸 것이고, 그래프(520)은 채널 조건에 따른 회전 기반의 송신 빔 형성 방법(TYPE2)의 BER 별 신호대 잡음비를 나타낸 것이고, 그래프(530)은 복소 회전 변환 행렬에 따른 회전 변환 기반의 송신 빔 형성 방법(TYPE3)의 BER 별 신호대 잡음비를 나타낸 것이다.

<113> 여기서, TYPE1, TYPE2, TYPE3로 갈수록 연산의 복잡도 및 송신단에서 필요한 채널 정보량이 많아지지만 그만큼 좋은 성능을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

<114> 한편, 본 발명에 따른 회전 변환 기반의 송신 빔 형성 방법은 컴퓨터에 의하여 소프트웨어로 인하여 저장될 수 있다. 소프트웨어로 실행될 때, 본 발명의 구성 수단들은 필요한 작업을 실행하는 코드 세그먼트들이다. 프로그램 또는 코드 세그먼트들은 프로세서 판독 가능 매체에 저장되거나 전송 매체 또는 통신망에서 반송파와 결합된 컴퓨터 데이터 신호에 의하여 전송될 수 있다.

<115> 컴퓨터가 읽을 수 있는 저장매체는 컴퓨터 시스템에 의하여 읽혀질 수 있는 데이터가 저장되는 모든 종류의 기록 장치를 포함한다. 컴퓨터가 읽을 수 있는 저장매체의 예로는 ROM, RAM, CD-ROM, DVD±ROM, DVD-RAM, 자기 테이프, 플로피 디스크, 하드 디스크(hard disk), 광데이터 저장장치 등이 있다. 또한, 컴퓨터가 읽을 수 있는 저장매체는 네트워크로 연결된 컴퓨터 장치에 분산되어 분산방식으로 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드가 저장되고 실행될 수 있다.

<116> 본 발명은 도면에 도시된 일 실시예를 참고로 하여 설명하였으나 이는 예시적인 것에 불과하며 당해 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 실시예의 변형이 가능하다는 점을 이해할 것이다. 그러나, 이와 같은 변형은 본 발명의 기술적 보호범위내에 있다고 보아야 한다. 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호범위는 첨부된 특허청구범위의 기술적 사상에 의해서 정해져야 할 것이다.

## 도면의 간단한 설명

<117> 도 1은 본 발명에 적용되는 다중 입출력 통신 시스템에서의 송신단의 블록 구성도의 일 예를 도시한 것이다.

<118> 도 2는 본 발명에 적용되는 다중 입출력 통신 시스템에서의 수신단의 블록 구성도의 일 예를 도시한 것이다.

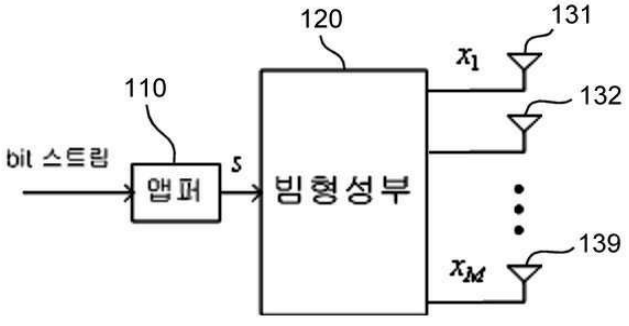
<119> 도 3은 본 발명에 따른 회전 변환 기반의 송신 빔 형성 방법의 흐름도이다.

<120> 도 4는 본 발명에 따른 회전 변환 기반의 송신 빔 형성 방법의 알고리즘을 도시한 것이다.

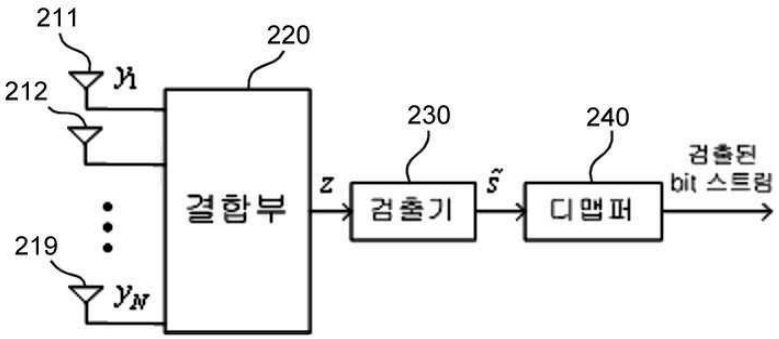
<121> 도 5는 본 발명에 따른 회전 변환 기반의 송신 빔 형성 방법의 성능을 비교한 그래프이다.

## 도면

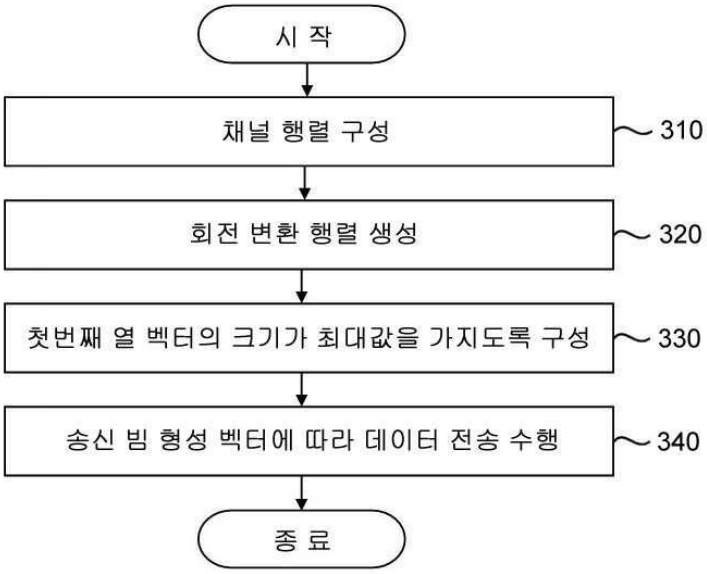
### 도면1



도면2


211
220
212
$y_1$
230
240
검출된
bit 스트림
결합부
$z$
검출기
$\tilde{s}$
디맵퍼
219
$y_N$

도면3


시 작
채널 행렬 구성
310
회전 변환 행렬 생성
320
첫번째 열 벡터의 크기가 최대값을 가지도록 구성
330
송신 빔 형성 벡터에 따라 데이터 전송 수행
340
종 료

도면4

$$\left[\bar{\mathbf{F}}_{1k}, \phi_1, \phi_2\right] = \text{FUNCTION1}\left(k, \bar{\mathbf{H}}, \text{TYPE}\right)$$

if TYPE $= 1$

$\bar{\mathbf{F}}_{1k} = \bar{\mathbf{I}}\left(1, k, \theta_I^{1k}\right)$

$\phi_1 = \theta_I^{1k}$

elseif TYPE $== 2$

if $\left|\Re\left\{\bar{\mathbf{h}}_i^H \bar{\mathbf{h}}_j\right\}\right| \geq \left|\Im\left\{\bar{\mathbf{h}}_i^H \bar{\mathbf{h}}_j\right\}\right|$

$\bar{\mathbf{F}}_{1k} = \bar{\mathbf{I}}\left(1, k, \theta_I^{1k}\right)$

$\phi_1 = \theta_I^{1k}$

else

$\bar{\mathbf{F}}_{1k} = \bar{\mathbf{O}}\left(1, k, \theta_O^{1k}\right)$

$\phi_1 = \theta_O^{1k} + \pi$ with modulo $2\pi$ addition

end

elseif TYPE $== 3$

$\bar{\mathbf{F}}_{1k} = \bar{\mathbf{C}}\left(i, j, \theta_I^{1k}, \theta_C^{1k}\right)$

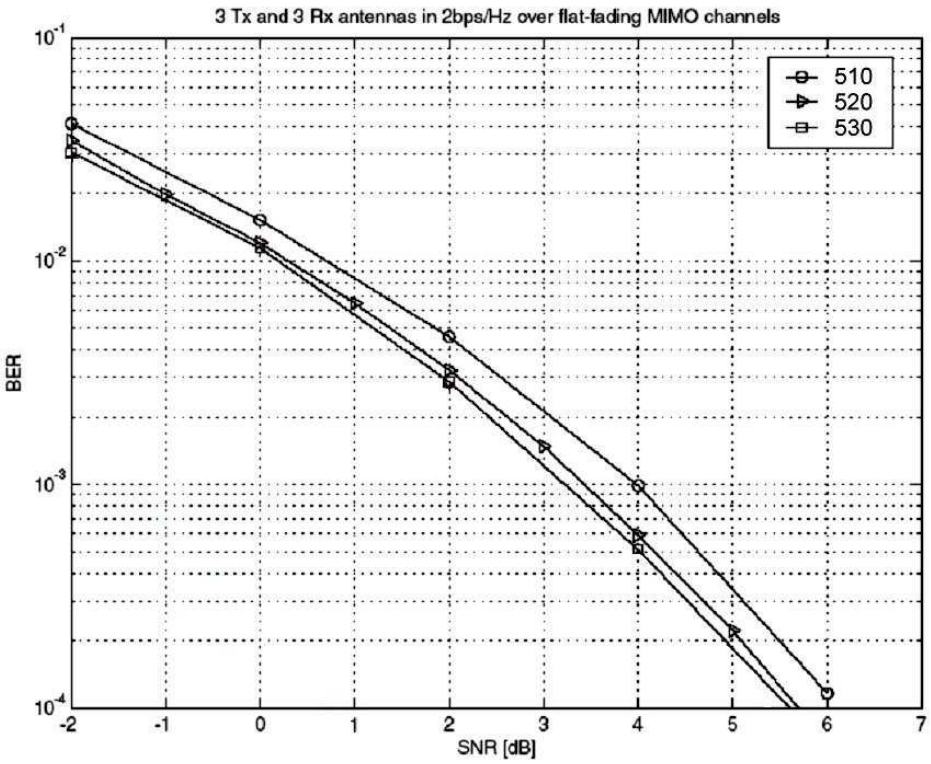
$\phi_1 = \theta_I^{1k}$

$\phi_2 = \theta_C^{1k}$

end

end

도면5


3 Tx and 3 Rx antennas in 2bps/Hz over flat-fading MIMO channels
BER
SNR [dB]
510
520
530
10^-1
10^-2
10^-3
10^-4
-2
-1
0
1
2
3
4
5
6
7