



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0165716
(43) 공개일자 2024년11월25일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H04W 16/18 (2009.01) H04B 17/20 (2015.01)
H04B 17/21 (2015.01) H04J 11/00 (2006.01)
H04W 24/02 (2009.01)

(52) CPC특허분류

H04W 16/18 (2013.01)
H04B 17/21 (2023.05)

(21) 출원번호 10-2023-0063202

(22) 출원일자 2023년05월16일

심사청구일자 2023년05월16일

(71) 출원인

울산과학기술원

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50

충남대학교산학협력단

대전광역시 유성구 대학로 99 (궁동, 충남대학교)

(72) 발명자

최은미

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50

문석주

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

특허법인 무한

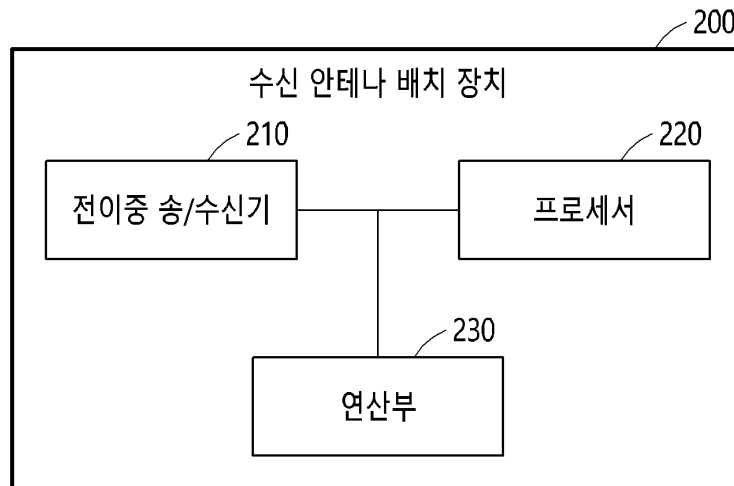
전체 청구항 수 : 총 17 항

(54) 발명의 명칭 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크에서의 전송률 극대화를 위한 수신 안테나 배치 방법 및 장치

(57) 요약

전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크에서의 전송률 극대화를 위한 수신 안테나 배치 장치 및 수신 안테나 배치 장치의 설계 방법이 개시된다. 본 발명의 일실시예에 따른, 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크에서의 전송률 극대화를 위한 수신 안테나 배치 장치는, 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크에서, 쌍을 이루어 설치되어, 궤도각운동량 다중화 기반 전이중 통신시스템을 구성하는 k개(상기 k는 자연수)의 전이중 송/수신기; 및 상기 전이중 송/수신기의 쌍과 연관되어 장착되는 L개(상기 L는 자연수)의 수신 안테나의 위치를, 단일의 송신 안테나의 위치를 고려하여 결정하는 프로세서를 포함 할 수 있다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

H04B 17/252 (2023.05)

H04J 11/005 (2013.01)

H04W 24/02 (2013.01)

(72) 발명자

정방철

대전광역시 서구 관저동로90번길 15, 103동 602호
(관저동, 관저리슈빌)

손웅

대전광역시 동구 우암로277번길 33-1(가양동)

이기훈

대전광역시 유성구 배울2로 78, 606동 402호 (관평
동, 대덕테크노밸리6단지아파트)

이영석

대전광역시 유성구 온천북로33번길 21-16, 409호
(봉명동)

명세서

청구범위

청구항 1

전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크에서, 쌍을 이루어 설치되어, 궤도각운동량 다중화 기반 전이중 통신 시스템을 구성하는 k개(상기 k는 자연수)의 전이중 송/수신기; 및

상기 전이중 송/수신기의 쌍과 연관되어 장착되는 L개(상기 L는 자연수)의 수신 안테나의 위치를, 단일의 송신 안테나의 위치를 고려하여 결정하는 프로세서

를 포함하는, 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크에서의 전송률 극대화를 위한 수신 안테나 배치 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 프로세서는,

수신 안테나 배치 기술을 적용하여, 상기 전이중 송/수신기의 모든 k쌍에 대한 상기 수신 안테나의 위치를 결정하는,

전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크에서의 전송률 극대화를 위한 수신 안테나 배치 장치.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 프로세서는,

상기 전이중 송/수신기의 쌍과 관련한 자기 간섭 채널 행렬 H_{2k}^{2k} 과 통신 채널 행렬 H_{2k-1}^{2k} , H_{2k}^{2k-1} 및 이웃하는 다른 전이중 송/수신기의 쌍과 관련한 인접 쌍 간섭 채널 행렬 $H_{2k-2}^{2k} \sim H_{2k-1}^{2k}$ 과 비대응 쌍간 간섭 채널 행렬 $H_{2k-1}^{2k} \sim H_{2k-2}^{2k}$ 을 포함하는, 채널 행렬 $H_j^{2k}(X_{2k})$ 을 작성하여, 상기 수신 안테나 배치 기술을 정의하고,

상기 채널 행렬 $H_j^{2k}(X_{2k})$ 은,

[수식 4]

$$H_j^{2k}(X_{2k}) = \begin{bmatrix} h_{j,l_1}^{2k,(r_{2k,1},\phi_{2k,1},z_{2k,1})} & h_{j,l_2}^{2k,(r_{2k,1},\phi_{2k,1},z_{2k,1})} & \dots & h_{j,l_L}^{2k,(r_{2k,1},\phi_{2k,1},z_{2k,1})} \\ h_{j,l_1}^{2k,(r_{2k,2},\phi_{2k,2},z_{2k,2})} & h_{j,l_2}^{2k,(r_{2k,2},\phi_{2k,2},z_{2k,2})} & \dots & h_{j,l_L}^{2k,(r_{2k,2},\phi_{2k,2},z_{2k,2})} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{j,l_1}^{2k,(r_{2k,L},\phi_{2k,L},z_{2k,L})} & h_{j,l_2}^{2k,(r_{2k,L},\phi_{2k,L},z_{2k,L})} & \dots & h_{j,l_L}^{2k,(r_{2k,L},\phi_{2k,L},z_{2k,L})} \end{bmatrix},$$

$$X_{2k} = [r_{2k}^T \quad \phi_{2k}^T \quad z_{2k}^T] = \begin{bmatrix} r_{2k,1} & \phi_{2k,1} & z_{2k,1} \\ r_{2k,2} & \phi_{2k,2} & z_{2k,2} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{2k,L} & \phi_{2k,L} & z_{2k,L} \end{bmatrix},$$

를 만족하여 작성되는,

-상기 X_{2k} 는, j번째 전이중 송/수신기로부터 2k번째 전이중 송/수신기의 L개의 수신안테나에 대한 상대적인 좌표이고, 상기 r_{2k} 은 2k번째 전이중 송/수신기의 L개의 수신 안테나에 대한 상대적인 radial position이며, 상기 ϕ_{2k} 는 2k번째 전이중 송/수신기의 L개의 수신 안테나에 대한 상대적인 azimuth angle이고, 상기 z_{2k} 는 2k번째

전이중 송/수신기의 L개의 수신 안테나에 대한 beam direction 방향으로 떨어진 상대적인 거리임-

전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크에서의 전송률 극대화를 위한 수신 안테나 배치 장치.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 프로세서는,

지면으로부터 이격된 전이중 송/수신기의 높이인 Height와, 지면과 평행 방향으로 전이중 송/수신기 간의 이격된 거리인 Width 로 이루어진 평면 상에, 상기 송신 안테나의 위치를 중심으로 원형의 search space를 설정하고,

상기 [수식 4]의 계산에 의해, 상기 search space 내 이면서, 중심인 송신 안테나로부터 등간격의 송신 안테나의 위치를 결정하는,

전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크에서의 전송률 극대화를 위한 수신 안테나 배치 장치.

청구항 5

제3항에 있어서,

[수식 5]

$$R = 2 \sum_{k \in \mathcal{K}} \log_2 \left| \left(I_L + \frac{1}{N_0} H_{2k-1}^{2k}(\mathbf{X}_{2k}) (H_{2k-1}^{2k}(\mathbf{X}_{2k}))^H \right) \times \left(I_L + \frac{1}{N_0} \left(\sum_{j \in \mathcal{K} \setminus k} H_{2j-1}^{2k}(\mathbf{X}_{2k}) (H_{2j-1}^{2k}(\mathbf{X}_{2k}))^H + \sum_{j \in \mathcal{K}} H_{2j}^{2k}(\mathbf{X}_{2k}) (H_{2j}^{2k}(\mathbf{X}_{2k}))^H \right) \right)^{-1} \right|.$$

를 만족하여, 상기 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크에서, 전이중 송/수신기의 모든 k쌍에서 달성하는 전송률 $S_{2k}^{(t)}$ 의 합 R을 연산하는 연산부

를 더 포함하는, 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크에서의 전송률 극대화를 위한 수신 안테나 배치 장치.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 프로세서는,

이전 시점에서 연산한 전송률 $S_{2k}^{(t-1)}$ 과 현재 시점에서 연산한 상기 전송률 $S_{2k}^{(t)}$ 와의 차이가, 사전에 정해진 기준 ε 이상이면, 상기 수신 안테나 배치 기술을 다시 적용하여, 상기 전이중 송/수신기의 모든 k쌍에 대한 상기 수신 안테나의 위치를 재결정하는,

를 포함하는, 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크에서의 전송률 극대화를 위한 수신 안테나 배치 장치.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 프로세서는,

[수식 3]

$$r_{max}(z, l_l) = \sqrt{\frac{|l_l|}{2}} w(z) = w_0 \sqrt{\frac{|l_l|}{2} \left(1 + \left(\frac{z}{z_R}\right)^2\right)},$$

에 따른 radial position $r_{max}(z, l_l)$ 을, 상기 수신 안테나의 위치로서 결정 함으로써, 상기 수신 안테나가 수신하는 궤도각운동량 신호에 대한 채널 이득과 수신신호대잡음비를 높이는,

-상기 l_l 은 $l \in L$ 번째 궤도각운동량 모드이고, 상기 z 는 빔 발산 방향으로 이격된 거리이며, 상기 w_0 는 $z=0$ 에서의 초기 빔폭(initial beam waist)이고, 상기 $z_R=(\pi^2_0)/\lambda$ 는 Rayleigh 거리이며, 상기 λ 는 송신 주파수에 대응하는 파장임-

전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크에서의 전송률 극대화를 위한 수신 안테나 배치 장치.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 프로세서는,

상기 수신 안테나가 수신하는 궤도각운동량 신호의 다중 OAM 모드에 따라, 상기 수신 안테나의 개수인 L 을 결정하는,

전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크에서의 전송률 극대화를 위한 수신 안테나 배치 장치.

청구항 9

전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크에서, 쌍을 이루어 설치되는 k 개(상기 k 는 자연수)의 전이중 송/수신기를 이용하여, 궤도각운동량 다중화 기반 전이중 통신시스템을 구성하는 단계; 및

프로세서에서, 상기 전이중 송/수신기의 쌍과 연관되어 장착되는 L 개(상기 L 는 자연수)의 수신 안테나의 위치를, 단일의 송신 안테나의 위치를 고려하여 결정하는 단계

를 포함하는, 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크에서의 전송률 극대화를 위한 수신 안테나 배치 방법.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 결정하는 단계는,

수신 안테나 배치 기술을 적용하여, 상기 전이중 송/수신기의 모든 k 쌍에 대한 상기 수신 안테나의 위치를 결정하는 단계

를 포함하는, 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크에서의 전송률 극대화를 위한 수신 안테나 배치 방법.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 결정하는 단계는,

상기 전이중 송/수신기의 쌍과 관련한 자기 간섭 채널 행렬 H^{2k}_{2k} 과 통신 채널 행렬 H^{2k}_{2k-1} , H^{2k-1}_{2k} 및 이웃하는 다른 전이중 송/수신기의 쌍과 관련한 인접 쌍 간섭 채널 행렬 $H^{2k}_2 \sim H^{2k}_{2k}$ 과 비대응 쌍간 간섭 채널 행렬 $H^{2k}_1 \sim H^{2k}_{2k-1}$ 을 포함하는, 채널 행렬 $H^j_j(X_{2k})$ 을 작성하여, 상기 수신 안테나 배치 기술을 정의하는 단계

를 더 포함하고,

상기 채널 행렬 $H_j^{2k}(X_{2k})$ 은,

[수식 4]

$$H_j^{2k}(X_{2k}) = \begin{bmatrix} h_{j,l_1}^{2k,(r_{2k,1},\phi_{2k,1},z_{2k,1})} & h_{j,l_2}^{2k,(r_{2k,1},\phi_{2k,1},z_{2k,1})} & \dots & h_{j,l_L}^{2k,(r_{2k,1},\phi_{2k,1},z_{2k,1})} \\ h_{j,l_1}^{2k,(r_{2k,2},\phi_{2k,2},z_{2k,2})} & h_{j,l_2}^{2k,(r_{2k,2},\phi_{2k,2},z_{2k,2})} & \dots & h_{j,l_L}^{2k,(r_{2k,2},\phi_{2k,2},z_{2k,2})} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{j,l_1}^{2k,(r_{2k,L},\phi_{2k,L},z_{2k,L})} & h_{j,l_2}^{2k,(r_{2k,L},\phi_{2k,L},z_{2k,L})} & \dots & h_{j,l_L}^{2k,(r_{2k,L},\phi_{2k,L},z_{2k,L})} \end{bmatrix},$$

$$X_{2k} = [r_{2k}^T \quad \phi_{2k}^T \quad z_{2k}^T] = \begin{bmatrix} r_{2k,1} & \phi_{2k,1} & z_{2k,1} \\ r_{2k,2} & \phi_{2k,2} & z_{2k,2} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{2k,L} & \phi_{2k,L} & z_{2k,L} \end{bmatrix},$$

를 만족하여 작성되는,

-상기 X_{2k} 는, j번째 전이중 송/수신기로부터 2k번째 전이중 송/수신기의 L개의 수신안테나에 대한 상대적인 좌표이고, 상기 r_{2k} 은 2k번째 전이중 송/수신기의 L개의 수신 안테나에 대한 상대적인 radial position이며, 상기 ϕ_{2k} 는 2k번째 전이중 송/수신기의 L개의 수신 안테나에 대한 상대적인 azimuth angle이고, 상기 z_{2k} 는 2k번째 전이중 송/수신기의 L개의 수신 안테나에 대한 beam direction 방향으로 떨어진 상대적인 거리임-

전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크에서의 전송률 극대화를 위한 수신 안테나 배치 방법.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 결정하는 단계는,

지면으로부터 이격된 전이중 송/수신기의 높이인 Height와, 지면과 평행 방향으로 전이중 송/수신기 간의 이격된 거리인 Width 로 이루어진 평면 상에, 상기 송신 안테나의 위치를 중심으로 원형의 search space을 설정하는 단계; 및

상기 [수식 4]의 계산에 의해, 상기 search space 내 이면서, 중심인 송신 안테나로부터 등간격의 송신 안테나의 위치를 결정하는 단계

를 더 포함하는, 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크에서의 전송률 극대화를 위한 수신 안테나 배치 방법.

청구항 13

제11항에 있어서,

상기 수신 안테나 배치 방법은,

연산부에서,

[수식 5]

$$R = 2 \sum_{k \in \mathcal{K}} \log_2 \left| \left(I_L + \frac{1}{N_0} H_{2k-1}^{2k}(X_{2k}) \left(H_{2k-1}^{2k}(X_{2k}) \right)^H \right) \times \left(I_L + \frac{1}{N_0} \left(\sum_{j \in \mathcal{K} \setminus k} H_{2j-1}^{2k}(X_{2k}) \left(H_{2j-1}^{2k}(X_{2k}) \right)^H + \sum_{j \in \mathcal{K}} H_{2j}^{2k}(X_{2k}) \left(H_{2j}^{2k}(X_{2k}) \right)^H \right) \right)^{-1} \right|.$$

를 만족하여, 상기 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크에서, 전이중 송/수신기의 모든 k쌍에서 달성하는

전송률 $S_{2k}^{(t)}$ 의 합 R을 연산하는 단계

를 더 포함하는, 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크에서의 전송률 극대화를 위한 수신 안테나 배치 방법.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 수신 안테나 배치 방법은,

상기 프로세서에서, 이전 시점에서 연산한 전송률 $S_{2k}^{(t-1)}$ 과 현재 시점에서 연산한 상기 전송률 $S_{2k}^{(t)}$ 와의 차이가, 사전에 정해진 기준 ε 이상이면, 상기 수신 안테나 배치 기술을 다시 적용하여, 상기 전이중 송/수신 기의 모든 k쌍에 대한 상기 수신 안테나의 위치를 재결정하는 단계

를 더 포함하는, 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크에서의 전송률 극대화를 위한 수신 안테나 배치 방법.

청구항 15

제9항에 있어서,

상기 프로세서에서,

[수식 3]

$$r_{max}(z, l_l) = \sqrt{\frac{|l_l|}{2}} w(z) = w_0 \sqrt{\frac{|l_l|}{2} \left(1 + \left(\frac{z}{z_R} \right)^2 \right)},$$

에 따른 radial position $r_{max}(z, l_l)$ 을, 상기 수신 안테나의 위치로서 결정 함으로써, 상기 수신 안테나가 수신하는 궤도각운동량 신호에 대한 채널 이득과 수신신호대잡음비를 높이는 단계

-상기 l_l 은 $l \in L$ 번째 궤도각운동량 모드이고, 상기 z 는 빔 발산 방향으로 이격된 거리이며, 상기 w_0 는 $z=0$ 에서의 초기 빔폭(initial beam waist)이고, 상기 $z_R = (\pi \frac{w_0^2}{\lambda})$ 는 Rayleigh 거리이며, 상기 λ 는 송신 주파수에 대응하는 파장임-

를 더 포함하는, 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크에서의 전송률 극대화를 위한 수신 안테나 배치 방법.

청구항 16

제9항에 있어서,

상기 프로세서에서, 상기 수신 안테나가 수신하는 궤도각운동량 신호의 다중 OAM 모드에 따라, 상기 수신 안테나의 개수인 L을 결정하는 단계

를 더 포함하는, 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크에서의 전송률 극대화를 위한 수신 안테나 배치 방법.

청구항 17

제9항의 방법을 실행시키기 위한 프로그램을 기록한 컴퓨터 판독 가능한 기록매체.

발명의 설명

기술분야

- [0001] 본 발명은 궤도각운동량 다중화 기반 전이중(full duplex) 송/수신기들이 다수 존재하는 간섭 네트워크(전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크)에서, 전송률이 최대가 되는 최적 지점으로 수신 안테나를 배치하기 위한, 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크에서의 전송률 극대화를 위한 수신 안테나 배치 방법 및 장치를 제공한다.
- [0002] 궤도각운동량 다중화 기반 전이중(full duplex) 송/수신기는, 다수의 궤도각운동량(orbital angular momentum, OAM) 모드들을 기반으로 다중화(multiplexing)하여 데이터들을 송신하면서, 동시에 동일 장치에 탑재된 수신 안테나에서, 대응 쌍 송신 장치로부터의 다중화된 데이터들을 수신할 수 있다.

배경기술

- [0003] 궤도각운동량 기반의 단일 쌍 통신 장비가 존재하는 경우, 두 통신 장비간 비정렬 상태를 감지하고, 이를 안테나의 물리적인 회전을 통해 채널 품질을 향상시키기 위한 안테나 정렬 기술로는, 종래기술 1~4를 예시할 수 있다.
- [0004] 종래기술 1(한국 공개특허 10-2017-0099679, 궤도각운동량을 이용한 마이크로파 통신에서의 송수신 안테나 정렬 시스템 및 그 방법)은, 균일원형배열(unitary circular array, UCA) 기반의 궤도각운동량 통신 안테나간 비정렬 상태에서 수신감도를 모니터링하여, 물리적인 회전을 이용하여 지향성을 향상시키는 발명이다.
- [0005] 종래기술 2(한국 등록특허 10-1798105, OAM 안테나의 지향 정렬 장치)는, 균일원형배열 기반의 궤도각운동량 통신 안테나간 비정렬 상태에서, 안테나에 대한 물리적인 회전을 이용하여 지향성을 향상시키는 발명이다.
- [0006] 종래기술 3(한국 공개특허 10-2016-0091762, 궤도 각운동량을 이용한 통신에서 안테나의 위치를 보정하는 장치 및 방법)은, 균일원형배열기반의 궤도각운동량 통신 안테나간 신호의 도착시간을 계산하여 비정렬 여부를 판단하고, 이를 물리적인 회전을 통해 비정렬 상태를 보정하여 지향성을 향상시키는 발명이다.
- [0007] 종래기술 4(국제특허 011139867B2, Antenna displacement correction method and device for OAM multiplexing communication system)는, 균일원형배열기반의 궤도각운동량 통신 안테나간 채널을 완벽한 정렬 상태에서 측정(estimation)하고 비정렬 상태일때를 측정한 뒤, 이 두 값의 차이가 일정 수준 이하가 될 때까지 물리적인 회전을 통해 수정을 반복 수행하여 지향성을 향상시키는 발명이다.
- [0008] 종래기술 1 내지 종래기술 4는, 수신기에 탑재된 균일원형배열 구조의 안테나들이 고정되어 있어, 비정렬 상태에 대한 보정을 위해 물리적 회전을 통해 채널 품질을 향상시키는 기술들이다. 종래기술 1 내지 종래기술 4는, 지향성을 갖는 고유의 안테나 구조가 변하지 않은 상태에서 송신 또는 수신하고자 하는 방향만을 조정하는 기술이며, 각 수신 안테나들의 독립적인 위치 조정에 대한 기술은 아니다.
- [0009] 궤도각운동량 기반의 단일 쌍 통신 장비가 존재하는 경우, 두 통신 장비간 비정렬 상태를 감지하고, 이를 안테나의 물리적인 회전이 아닌, MIMO processing 기반의 전/후처리를 통해 각 송신 또는 수신 안테나에서의 진폭(amplitude) 또는 위상(phase) 제어를 실시하여 채널을 보상하거나 간섭을 완화시키는 기술로는, 종래기술 5, 6을 예시할 수 있다.
- [0010] 종래기술 5(한국 공개특허 10-2021-0066699, OAM 통신 시스템의 안테나 비정렬 보상 방법 및 이를 수행하는 장치)는, 균일원형배열기반의 궤도각운동량 통신 안테나간 비정렬 상태에서 비정렬에 의해 각 모드간 직교성(orthogonality)이 훼손될 경우, 이를 전처리(precoding)로 보상하는 발명이다.
- [0011] 종래기술 6(국제특허20210021053A1, OAM multiplexing communication system and inter-mode interference elimination method)은, 균일원형배열기반의 궤도각운동량 통신 안테나에서의 zero-forcing 기반으로 다중 궤도각운동량 모드 중 각 모드에 대한 송신단에서의 전처리로 송신 가중치를, 그리고 수신단에서 후처리로 수신 가중치를 조정하는 발명이다. 종래기술 6은 zero-forcing의 경우, MIMO processing에서 간섭영향을 제거할 수 있는 기술로, 궤도각운동량 모드간 간섭을 제거하기 위해 사용될 수 있다.
- [0012] 종래기술 5, 6은, 물리적 회전이 아닌 비정렬 상태에서 물리적인 회전 없이 MIMO processing 기반의 전/후처리를 통해, 각 송신 및 수신 안테나에서 진폭 또는 위상을 제어하여 채널을 보상하거나 간섭을 제거하는 기술들이다.
- [0013] 궤도각운동량기반의 전이중 통신 안테나 구조 설계에 대한 기술로는, 종래기술 7~10을 예시할 수 있다.

- [0014] 종래기술 7(국제특허등록번호 10439287, Full Duplex Using OAM)은, 다수의 균일원형배열기반 궤도각운동량 신호를 생성하여 송신하거나, 이를 이용한 궤도각운동량 신호를 수신하는 안테나 장치에 관한 것이다. 종래기술 7에서는, 전이중 궤도각운동량 통신을 위한 균일원형배열된 안테나를 포함하고 있다. 균일원형배열된 안테나는, 가장 작은 크기의 반경에 존재하는 송신부2의 배열 안테나, 중간 크기의 반경에 존재하는 수신부의 배열 안테나, 가장 큰 크기의 반경에 존재하는 송신부1의 배열 안테나로 구성될 수 있다.
- [0015] 종래기술 8(국제논문명: An orbital angular momentum-based in-band full-duplex communication system and its mode selection, 저자: Zhaoyang Zhang, 논문지정보: IEEE Communication Letters, vol.21, no.5, May 2017)은, 전이중 궤도각운동량 통신용 안테나 쌍에서 빔 동축정렬이 완벽한 경우와 어긋난 경우, 자기간섭 신호의 영향 뿐만 아니라 수신 신호의 세기를 분석한다. 종래기술 8에서, 노드1은, 11 궤도각운동량 신호를 노드2로 송신하고, 동시에 노드2는, 12 궤도각운동량 신호를 노드1로 송신한다. 이때, 전이중 통신 시스템을 고려하였기 때문에, 양측의 송신은, 동일주파수 자원을 이용하여 동시에 이루어진다. 양측의 송신시에는, 노드1이 송신한 11 궤도각운동량 신호로부터 노드1의 수신에 자기간섭신호의 영향이 발생하게 되며, 마찬가지로 노드2가 송신한 12 궤도각운동량 신호로부터 노드2의 수신에 자기간섭신호의 영향이 발생한다. 이에 따라, 각 노드의 수신신호대간섭잡음비는 낮아지고 통신품질은 저하하게 된다. 추가로, 종래기술 8은, 노드1의 빔축 상에 노드2가 존재하지만 완전히 마주보고 있지 않은 틸트가 된 상황에서의 수신 신호의 세기를 분석하고, 각 노드가 간섭을 최소화 할 수 있는 궤도각운동량 모드를 선택하는 방법도 소개하고 있다.
- [0016] 종래기술 9(국제논문명: An orbital angular momentum-based array for in-band full-duplex communications, 저자: Yi-Ming Zhang, 논문지정보: IEEE Antenna and Wireless Propagation Letters, vol.18, no.5, Mar 2019)는, 균등원형배열안테나 구조 기반의 전이중 OAM 통신용 안테나의 구조를 제안하고 있다. 종래기술 9는, 2개의 서로 다른 반경을 갖는 원형배열된 패치안테나들을 탑재하였고, 내부 원형배열안테나는 송신, 외부 원형배열안테나는 수신을 위해 존재한다. 내부 원형배열된 패치안테나들은, 각각 동일한 데이터를 포함하는 신호를 상이한 위상으로 천이시켜 송신하는데, 상기 신호를 쌍을 이루는 전이중 궤도각운동량 통신 장치에서 외부 원형배열 안테나에서 수신한다. 종래기술 9는, 역방향에 대해서도 동일한 방법으로 전이중 통신을 수행한다. 이때, 내부와 외부 원형배열 안테나들은, 서로 완벽한 격리가 어렵기 때문에, 자기간섭 신호의 영향을 받아 통신품질이 저하되는 문제가 발생하며, 종래기술 9에서는, 이에 대해 수학적 모델링하여 분석하였다.
- [0017] 종래기술 10(국제논문명: Analyses and full-duplex applications of circularly polarized OAM arrays using sequential rotated configuration, 저자: Yi-Ming Zhang, 논문지정보: IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol.66, no.12, Dec. 2018)은, 1개의 균등원형배열안테나에서 송신과 수신을 동시에 실시할 수 있는 구조를 갖는다. 예를 들면, 종래기술 10은, 송신을 위해서는 x편광된 신호를 이용하며, 수신을 위해서는 y편광된 신호(x와 90도를 이루는 신호)를 이용하여 전파영역에서의 격리성을 향상시켰다. 종래기술 10은, 각각의 편광 신호의 송신을 위한 소자와, 수신을 위한 소자를 구비한다.
- [0018] 종래기술 7 내지 10은, 궤도각운동량기반의 전이중 통신을 위한 고유의 구조를 갖는 안테나 설계에 대한 기술들이다.
- [0019] 반이중(half duplex) 통신 시스템에서는, 한번의 시간 및 주파수 자원을 이용하여 일방적인 통신 만이 가능하지만, 전이중(full duplex) 통신 시스템에서는, 한번의 시간 및 주파수 자원을 이용하여 양방향으로 통신이 가능하다.
- [0020] 이때, 전이중 통신 시스템에서의 채널 용량은, 반이중 통신 시스템에서의 채널 용량 대비 이론적으로 2배까지 달성할 수 있는 것으로 알려져 있다.
- [0021] 그러나, 전이중 통신 시스템에서는, 전이중 안테나 내부에서 발생하는 자기간섭(self-interference, SI) 신호의 영향으로, 안테나에서의 수신신호대간섭잡음비(signal to interference and noise ratio, SINR)가 크게 낮아져 전송률 저하를 야기할 수 있다.
- [0022] 또한, 이러한 전이중 통신 장비가 다수 존재하는 무선 네트워크에서는, 인접 통신 장비로부터 발생하는 간섭 영향을 추가로 받기 때문에 수신신호대간섭잡음비를 더욱 낮출 수 있으므로, 단일 쌍 대비 전체 네트워크의 전송률을 더욱 감소시킬 수 있다.
- [0023] 도 1은 단일 쌍 전이중 통신 시스템과, 다중 쌍 전이중 통신 시스템을 비교하여 보여주기 위한 도이다.
- [0024] 도 1의 (a)는, 단일 쌍 전이중 통신 시스템에서의 통신채널 및 간섭채널을 보여준다.

- [0025] 단일 쌍 전이중 통신 시스템은, 하나의 전이중 통신 장비에 대해, 자기 자신에 의한 자기 간섭 채널과, 쌍을 이루는 다른 전이중 통신 장비에 의한 통신 채널이 설정될 수 있다.
- [0026] 도 1의 (b)는, 다중 쌍 전이중 통신 시스템에서의 통신채널 및 간섭채널을 보여준다.
- [0027] 다중 쌍 전이중 통신 시스템은, 하나의 전이중 통신 장비에 대해, 자기 자신에 의한 자기 간섭 채널과, 쌍을 이루는 다른 전이중 통신 장비에 의한 통신 채널과, 및 다른 단일 쌍의 전이중 통신 시스템에 의한 인접 쌍 간섭 채널과, 비대응 쌍간 간섭 채널이 설정될 수 있다.
- [0028] 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크에서의 무선 채널에서는, 단일 쌍에서는 존재하지 않는 인접 쌍 간섭 채널과 비대응 쌍간 간섭 채널을 모두 고려해야 전체 네트워크 전송률을 향상시킬 수 있다.
- [0029] mmWave 및 THz 대역 통신은, 무선 채널 품질이 송신 및 수신 안테나간 이격거리, 빔 지향성, 송신전력, 통신거리 등의 환경적 요인에 따라 크게 좌우되며, 가시선(line-of-sight, LOS) 채널을 형성한다.
- [0030] 또한, mmWave 및 THz 대역 통신은, MIMO 안테나 기술을 함께 결합하여 사용하고 있고, 이때 형성되는 무선 채널이 가시선 채널이다(ref : D. Tse, Fundamentals of wireless communication, 1st ed, 2005).
- [0031] 향후 Beyond 5G 및 6G에서의 통신성능 향상의 목적 뿐만 아니라 유지보수비용 절감 및 확장성을 향상시키기 위해서는, mmWave 및 THz대역용 무선 백홀 기지국이 고밀집되어 설치될 것으로 전망되고 있다.
- [0032] mmWave 및 THz대역용 무선 백홀 기지국이 고밀집된 지역에서는, 궤도각운동량기반의 빔의 발산 특성으로 인해 발생하는 인접 쌍간 간섭 영향, 비대응 쌍간 간섭채널 영향을 크게 받기 때문에 전송률과 같은 통신성능 저하를 크게 야기할 것으로 예상된다.
- [0033] 그러나 거의 대부분의 종래기술들은, 모두 단일쌍 궤도각운동량 송/수신기 간의 통신 시스템에서 고정된 안테나 배치를 갖는 송/수신기들을 고려하여 고유의 안테나를 설계하는 데에 그치고 있다.
- [0034] 즉, 대부분의 종래기술들은, 아직까지 궤도각운동량 다중화 기반의 전이중 통신 시스템을 전반적으로 고려하고 있지는 않다.
- [0035] 따라서, 궤도각운동량 다중화 기반의 전이중 통신 시스템을 고려하여, 안테나의 배치를 설계하는 기술의 등장이 절실히 요구되고 있는 실정이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0036] 본 발명의 실시예는, 궤도각운동량 다중화 기반 전이중 통신시스템에 수신 안테나 배치 기술을 적용하여, 궤도각운동량 다중화 기반 전이중 통신시스템의 채널 용량 및 전송률을 향상시킬 수 있는, 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크에서의 전송률 극대화를 위한 수신 안테나 배치 방법 및 장치를 제공하는 데에 목적이 있다.
- [0037] 궤도각운동량 다중화 기반 전이중 통신시스템을 구성하는 전이중 송/수신기는, 한 번의 무선 자원의 이용으로 양방향 통신이 동시에 이루어질 수 있어, 이론적으로 반이중(half duplex) 통신 시스템 대비 최대 2배의 전송률을 달성할 수 있다.
- [0038] 또한, 본 발명의 실시예는, 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크 내에 전이중 송/수신기가 다수 설치되어, 궤도각운동량 다중화 기반 전이중 통신시스템을 구성하는 경우, 다수의 전이중 송/수신기 간 간섭영향을 고려하여, 수신 안테나를 배치 함으로써, 달성가능한 전송률을 극대화하는 것을 목적으로 한다.
- [0039] 또한, 본 발명의 실시예는, 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크의 전송품질(quality of service, QoS)을 향상시킬 수 있고, 차세대 밀리미터파(Millimeter Wave, mmWave) 또는 테라헤르츠(terahertz, THz) 대역 궤도각운동량 다중화 기반 전이중 통신시스템에 활용되는, 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크에서의 전송률 극대화를 위한 수신 안테나 배치 방법 및 장치를 제공하는 것을 목적으로 한다.
- [0040] 5G가 상용화된 현재에는, 통신 트래픽의 폭발적인 증가를 수용할 수 있도록, 수 많은 소형 셀 기지국들이 설치되고 있다.
- [0041] 또한, 본 발명의 실시예는, 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크에서의 달성가능한 전송률의 최적화 뿐만 아니라, 가시선(Line of Sight, LoS) 통신을 고려한 다양한 네트워크에 적용될 수 있는, 전이중 궤도각운동량

다중화 간섭 네트워크에서의 전송률 극대화를 위한 수신 안테나 배치 방법 및 장치를 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0042] 본 발명의 일실시예에 따른, 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크에서의 전송률 극대화를 위한 수신 안테나 배치 장치는, 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크에서, 쌍을 이루어 설치되어, 궤도각운동량 다중화 기반 전이중 통신시스템을 구성하는 k 개(상기 k 는 자연수)의 전이중 송/수신기; 및 상기 전이중 송/수신기의 쌍과 연관되어 장착되는 L 개(상기 L 는 자연수)의 수신 안테나의 위치를, 단일의 송신 안테나의 위치를 고려하여 결정하는 프로세서를 포함할 수 있다.

[0043] 또한, 본 발명의 실시예에 따른, 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크에서의 전송률 극대화를 위한 수신 안테나 배치 방법은, 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크에서, 쌍을 이루어 설치되는 k 개(상기 k 는 자연수)의 전이중 송/수신기를 이용하여, 궤도각운동량 다중화 기반 전이중 통신시스템을 구성하는 단계; 및 프로세서에서, 상기 전이중 송/수신기의 쌍과 연관되어 장착되는 L 개(상기 L 는 자연수)의 수신 안테나의 위치를, 단일의 송신 안테나의 위치를 고려하여 결정하는 단계를 포함하여 구성할 수 있다.

발명의 효과

[0044] 본 발명의 일실시예에 따르면, 궤도각운동량 다중화 기반 전이중 통신시스템에 수신 안테나 배치 기술을 적용하여, 궤도각운동량 다중화 기반 전이중 통신시스템의 채널 용량 및 전송률을 향상시킬 수 있는, 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크에서의 전송률 극대화를 위한 수신 안테나 배치 방법 및 장치를 제공할 수 있다.

[0045] 또한, 본 발명에 의해서는, 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크 내에 전이중 송/수신기가 다수 설치되어, 궤도각운동량 다중화 기반 전이중 통신시스템을 구성하는 경우, 다수의 전이중 송/수신기 간 간섭영향을 고려하여, 수신 안테나를 배치 함으로써, 달성가능한 전송률을 극대화 할 수 있다.

[0046] 또한, 본 발명에 의해서는, 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크의 전송품질(quality of service, QoS)을 향상시킬 수 있고, 차세대 밀리미터파(Millimeter Wave, mmWave) 또는 테라헤르츠(terahertz, THz) 대역 궤도각운동량 다중화 기반 전이중 통신시스템에 활용되는, 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크에서의 전송률 극대화를 위한 수신 안테나 배치 방법 및 장치를 제공할 수 있다.

[0047] 또한, 본 발명에 의해서는, 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크에서의 달성가능한 전송률의 최적화 뿐만 아니라, 가시선(Line of Sight, LoS) 통신을 고려한 다양한 네트워크에 적용될 수 있는, 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크에서의 전송률 극대화를 위한 수신 안테나 배치 방법 및 장치를 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0048] 도 1은 단일 쌍 전이중 통신 시스템과, 다중 쌍 전이중 통신 시스템을 비교하여 보여주기 위한 도이다.

도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크에서의 전송률 극대화를 위한 수신 안테나 배치 장치의 구성을 도시한 블록도이다.

도 3은 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크에 대한 시스템 모델을 표현한 도이다.

도 4는 휴리스틱 기반 수신 안테나 배치 기술에 대한 동작 절차를 설명하기 위한 도이다.

도 5는 휴리스틱 기반 수신 안테나 배치 기술에 대한 동작 절차의 순서도이다.

도 6은, 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크의 전송률을 극대화할 수 있는 휴리스틱 기반 수신 안테나 배치 기술을 설명하기 위한 도이다.

도 7은 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크의 전송률을 극대화할 수 있는 휴리스틱 기반 수신 안테나 배치 기술을 설명하기 위한 다른 도이다.

도 8은 본 발명의 일실시예에 따른, 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크에서의 전송률 극대화를 위한 수신 안테나 배치 방법을 도시한 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0049] 이하에서, 첨부된 도면을 참조하여 실시예들을 상세하게 설명한다. 그러나, 실시예들에는 다양한 변경이 가해질 수 있어서 특허출원의 권리 범위가 이러한 실시예들에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다. 실시예들에 대한 모든 변경, 균등물 내지 대체물이 권리 범위에 포함되는 것으로 이해되어야 한다.
- [0050] 실시예에서 사용한 용어는 단지 설명을 목적으로 사용된 것으로, 한정하려는 의도로 해석되어서는 안된다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서 상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0051] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 실시예가 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가지고 있다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥 상 가지는 의미와 일치하는 의미를 가지는 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.
- [0052] 또한, 첨부 도면을 참조하여 설명함에 있어, 도면 부호에 관계없이 동일한 구성 요소는 동일한 참조부호를 부여하고 이에 대한 중복되는 설명은 생략하기로 한다. 실시예를 설명함에 있어서 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 실시예의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명을 생략한다.
- [0053] 도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크에서의 전송률 극대화를 위한 수신 안테나 배치 장치의 구성을 도시한 블록도이다.
- [0054] 도 2를 참조하면, 본 발명의 일실시예에 따른, 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크에서의 전송률 극대화를 위한 수신 안테나 배치 장치(이하, '수신 안테나 배치 장치'이라 약칭함)(200)는, 전이중 송/수신기(210), 및 프로세서(220)를 포함하여 구성할 수 있다. 또한, 실시예에 따라, 수신 안테나 배치 장치(200)는, 연산부(230)를 선택적으로 추가하여 구성할 수 있다.
- [0055] 우선, 전이중 송/수신기(210)는, 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크에서, 쌍을 이루어 설치되어, 궤도각운동량 다중화 기반 전이중 통신시스템을 구성한다. 전이중 송/수신기(210)는, 송신기와 수신기가 서로 대응하여 쌍을 이루면서, 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크 상에, k 개(상기 k 는 자연수) 설치되어, 전이중 통신을 위한 궤도각운동량 다중화 기반 전이중 통신시스템을 구성하는 역할을 할 수 있다.
- [0056] 전이중 송/수신기(210)는 궤도각운동량 신호를 송신하는 송신 안테나와, 상기 궤도각운동량 신호를 수신하는 수신 안테나를 포함할 수 있다. 실시예에 따라, 송신 안테나는 송신기에 관련되어 단일 개수가 구비될 수 있다. 또한, 수신 안테나는 궤도각운동량 신호가 송출되는 OAM(궤도각운동량) 모드의 종류에 따라, 복수 개가 구비될 수 있다.
- [0057] 프로세서(220)는 상기 전이중 송/수신기(210)의 쌍과 연관되어 장착되는 L 개(상기 L 는 자연수)의 수신 안테나의 위치를, 단일의 송신 안테나의 위치를 고려하여 결정한다. 즉, 프로세서(220)는 송신 안테나에서 송출된 궤도각운동량 신호를 수신하는 수신기의 배치 위치를, 최적의 전송률이 되는, 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크 내 특정 지점으로 결정하는 역할을 할 수 있다.
- [0058] 위치를 결정해야 하는 수신 안테나의 개수 L 은, 다중 OAM 모드의 수와 관련될 수 있다. 즉, 프로세서(220)는, 상기 수신 안테나가 수신하는 궤도각운동량 신호의 다중 OAM 모드에 따라, 상기 수신 안테나의 개수인 L 을 결정할 수 있다.
- [0059] 예컨대, 궤도각운동량 신호의 다중 OAM 모드의 수가 3종이라면, 프로세서(220)는, 상기 수신 안테나의 개수인 L 을 적어도 3개 이상으로 결정 함으로써, 서로 다른 다중 OAM 모드의 궤도각운동량 신호가, 각각의 수신 안테나를 통해 독립적으로 수신되도록 할 수 있다.
- [0060] 전이중 송/수신기의 수신 안테나의 위치 결정에 있어, 프로세서(220)는, 수신 안테나 배치 기술을 적용하여, 상기 전이중 송/수신기의 모든 k 쌍에 대한 상기 수신 안테나의 위치를 결정할 수 있다. 즉 프로세서(220)는, 전이중 송/수신기의 쌍 간의 신호 전송률이 최대가 되는 위치를 특정하도록, 특징적으로 고안된 수신 안테나 배치 기술에 근거하여 수신 안테나의 위치를 결정할 수 있다.
- [0061] 프로세서(220)는, 상기 전이중 송/수신기의 쌍과 관련한 자기 간섭 채널 행렬 H_{2k}^{2k} 과 통신 채널 행렬 H_{2k-1}^{2k} , H_{2k-1}^{2k-}

1_{2k} , 및 이웃하는 다른 전이중 송/수신기의 쌍과 관련한 인접 쌍 간섭 채널 행렬 $H_{2k}^{2k} \sim H_{2k-1}^{2k}$ 과 비대응 쌍간 간섭 채널 행렬 $H_{1k}^{2k} \sim H_{2k-1}^{2k}$ 포함하는, 채널 행렬 $H_j^{2k}(X_{2k})$ 을 작성하여, 상기 수신 안테나 배치 기술을 정의할 수 있다.

[0062] 상기 자기 간섭 채널 행렬 H_{2k}^{2k} 는, 전이중 송/수신기의 대응 쌍 중, 수신기 2k에서, 자기 간섭에 따라 수신기 2k로 향하는 신호에 의해 설정되는 채널과 관련될 수 있다.

[0063] 통신 채널 행렬 H_{2k-1}^{2k} , H_{2k-1}^{2k-1} 은, 전이중 송/수신기의 대응 쌍 중, 송신기 2k-1에서 수신기 2k로 향하는 신호에 의해 설정되는 채널과, 수신기 2k에서 송신기 2k-1로 향하는 신호에 의해 설정되는 채널과 관련될 수 있다.

[0064] 인접 쌍 간섭 채널 행렬 $H_{2k}^{2k} \sim H_{2k-1}^{2k}$ 는, 수신기 2k와 인접하는 다른 수신기들 2~2k에서, 수신기 2k로 향하는 신호에 의해 설정되는 채널과 관련될 수 있다.

[0065] 비대응 쌍간 간섭 채널 행렬 $H_{1k}^{2k} \sim H_{2k-1}^{2k}$ 은, 송신기 2k-1과 인접하는 다른 송신기들 1~2k-1에서, 수신기 2k로 향하는 신호에 의해 설정되는 채널과 관련될 수 있다.

[0066] 프로세서(220)는, [수식 4]를 만족하여, 채널 행렬 $H_j^{2k}(X_{2k})$ 을 작성할 수 있다.

[0067] [수식 4]

$$H_j^{2k}(X_{2k}) = \begin{bmatrix} h_{j,l_1}^{2k,(r_{2k,1},\phi_{2k,1},z_{2k,1})} & h_{j,l_2}^{2k,(r_{2k,1},\phi_{2k,1},z_{2k,1})} & \dots & h_{j,l_L}^{2k,(r_{2k,1},\phi_{2k,1},z_{2k,1})} \\ h_{j,l_1}^{2k,(r_{2k,2},\phi_{2k,2},z_{2k,2})} & h_{j,l_2}^{2k,(r_{2k,2},\phi_{2k,2},z_{2k,2})} & \dots & h_{j,l_L}^{2k,(r_{2k,2},\phi_{2k,2},z_{2k,2})} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{j,l_1}^{2k,(r_{2k,L},\phi_{2k,L},z_{2k,L})} & h_{j,l_2}^{2k,(r_{2k,L},\phi_{2k,L},z_{2k,L})} & \dots & h_{j,l_L}^{2k,(r_{2k,L},\phi_{2k,L},z_{2k,L})} \end{bmatrix}$$

$$X_{2k} = [r_{2k}^T \quad \phi_{2k}^T \quad z_{2k}^T] = \begin{bmatrix} r_{2k,1} & \phi_{2k,1} & z_{2k,1} \\ r_{2k,2} & \phi_{2k,2} & z_{2k,2} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{2k,L} & \phi_{2k,L} & z_{2k,L} \end{bmatrix}$$

[0068] 여기서, 상기 X_{2k} 는, j번째 전이중 송/수신기로부터 2k번째 전이중 송/수신기의 L개의 수신안테나에 대한 상대적인 좌표이고, 상기 r_{2k} 은 2k번째 전이중 송/수신기의 L개의 수신 안테나에 대한 상대적인 radial position이며, 상기 ϕ_{2k} 는 2k번째 전이중 송/수신기의 L개의 수신 안테나에 대한 상대적인 azimuth angle이고, 상기 z_{2k} 는 2k번째 전이중 송/수신기의 L개의 수신 안테나에 대한 beam direction 방향으로 떨어진 상대적인 거리일 수 있다.

[0070] 일실시예에서, 프로세서(220)는, 송신 안테나와 수신 안테나와의 상관 관계에 따른 search space을 설정하고, search space 내에서, 수신 안테나의 배치 지점이 결정되도록 할 수 있다.

[0071] 이를 위해, 프로세서(220)는, 지면으로부터 이격된 전이중 송/수신기의 높이인 Height와, 지면과 평행 방향으로 전이중 송/수신기 간의 이격된 거리인 Width 로 이루어진 평면 상에, 상기 송신 안테나의 위치를 중심으로 원형의 search space을 설정할 수 있다. 즉, 프로세서(220)는, 전이중 송/수신기가 배치되는 분포에 근거하여, Height와 Width 로 이루어지는 가상의 평면을 마련하고, 마련된 가상의 평면 상에, 송신 안테나를 원점으로 하는, 규정된 반지름의 원을 그려, search space을 설정할 수 있다.

[0072] 이후, 프로세서(220)는, 상기 [수식 4]의 계산에 의해, 상기 search space 내 이면서, 중심인 송신 안테나로부터 등간격의 송신 안테나의 위치를 결정할 수 있다. 즉, 프로세서(220)는, search space 내, 송신 안테나와 동일 거리 상에 위치하는 L개의 수신 안테나의 배치 지점을, [수식 4]의 계산을 통해 획득할 수 있다.

[0073] 실시예에 따라, 수신 안테나 배치 장치(200)는, 앞서 결정한 수신 안테나의 위치에 의해, 전이중 송/수신기의 k쌍에서 달성 가능한 전송률을 구하고, 구해진 전송률에 의거하여, 수신 안테나의 위치를 수정할지 또는 확정할지를 정할 수 있다.

[0074] 이를 위해, 수신 안테나 배치 장치(200)는, 연산부(230)를 더 포함하여 구성할 수 있다.

[0075] 연산부(230)는, [수식 5]를 만족하여, 상기 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크에서, 전이중 송/수신기의 모든 k 쌍에서 달성하는 전송률 $S_{2k}^{(t)}$ 의 합 R 을 연산할 수 있다.

[0076] [수식 5]

$$R = 2 \sum_{k \in \mathcal{K}} \log_2 \left| \times \left(I_L + \frac{1}{N_0} \left(\sum_{j \in \mathcal{K} \setminus k} H_{2j-1}^{2k}(X_{2k}) (H_{2j-1}^{2k}(X_{2k}))^H + \sum_{j \in \mathcal{K}} H_{2j}^{2k}(X_{2k}) (H_{2j}^{2k}(X_{2k}))^H \right) \right)^{-1} \right|.$$

[0077]

[0078] 즉, 연산부(230)는 수신 안테나의 위치가 정해지고, 수신 안테나를 정해진 위치에 배치하여, 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크에서, 해당 전이중 송/수신기의 쌍에서 달성하는 전송률을 연산할 수 있다.

[0079] 또한, 연산부(230)는 [수식 5]에 근거하여, 전이중 송/수신기의 모든 k 쌍에 대해 연산된 전송률 $S_{2k}^{(t)}$ 을 합산하여 합 R 을 연산하는 역할을 할 수 있다.

[0080] 이후, 프로세서(220)는, 이전 시점에서 연산한 전송률 $S_{2k}^{(t-1)}$ 과 현재 시점에서 연산한 상기 전송률 $S_{2k}^{(t)}$ 와의 차이가, 사전에 정해진 기준 ε 이상이면, 상기 수신 안테나 배치 기술을 다시 적용하여, 상기 전이중 송/수신기의 모든 k 쌍에 대한 상기 수신 안테나의 위치를 재결정할 수 있다.

[0081] 즉, 프로세서(220)는, 이전의 결정된 수신 안테나의 위치와 연관되어 연산되는 전송률과, 현재 결정된 수신 안테나의 위치와 연관되어 연산되는 전송률과의 차이가, 기준 ε 미만이면, 수신 안테나의 위치를 재결정(수정)하지 않고, 현재 결정된 수신 안테나의 위치를, 전송률이 최대가 되는 최적 지점으로 확정할 수 있다.

[0082] 다른 실시예에서, 수신 안테나 배치 장치(200)는, radial position을 수신 안테나의 위치로 결정할 수 있다.

[0083] 이를 위해, 프로세서(220)는, [수식 3]에 따른 radial position $r_{\max}(z, l_1)$ 을, 상기 수신 안테나의 위치로서 결정할 수 있다.

[0084] [수식 3]

$$r_{\max}(z, l_1) = \sqrt{\frac{|l_1|}{2}} w(z) = w_0 \sqrt{\frac{|l_1|}{2} \left(1 + \left(\frac{z}{z_R} \right)^2 \right)},$$

[0085]

[0086] 여기서, 상기 l_1 은 $1 \in \mathbb{L}$ 번째 궤도각운동량 모드이고, 상기 z 는 빔 발산 방향으로 이격된 거리이며, 상기 w_0 는 $z=0$ 에서의 초기 빔폭(initial beam waist)이고, 상기 $z_R = (\pi^2 / \lambda)$ 는 Rayleigh 거리이며, 상기 λ 는 송신 주파수에 대응하는 파장일 수 있다.

[0087] 즉, 프로세서(220)는, [수식 3]에 근거하여 radial position $r_{\max}(z, l_1)$ 을 얻고 이를 수신 안테나의 위치로서 결정함으로써, 상기 수신 안테나가 수신하는 궤도각운동량 신호에 대한 채널 이득과 수신신호대잡음비를 높일 수 있다.

[0088] 본 발명의 일실시예에 따르면, 궤도각운동량 다중화 기반 전이중 통신시스템에 수신 안테나 배치 기술을 적용하여, 궤도각운동량 다중화 기반 전이중 통신시스템의 채널 용량 및 전송률을 향상시킬 수 있는, 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크에서의 전송률 극대화를 위한 수신 안테나 배치 방법 및 장치를 제공할 수 있다.

[0089] 또한, 본 발명에 의해서는, 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크 내에 전이중 송/수신기가 다수 설치되어, 궤도각운동량 다중화 기반 전이중 통신시스템을 구성하는 경우, 다수의 전이중 송/수신기 간 간섭 영향을 고려하여, 수신 안테나를 배치함으로써, 달성가능한 전송률을 극대화할 수 있다.

- [0090] 또한, 본 발명에 의해서는, 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크의 전송품질(quality of service, QoS)을 향상시킬 수 있고, 차세대 밀리미터파(Millimeter Wave, mmWave) 또는 테라헤르츠(terahertz, THz) 대역 궤도각운동량 다중화 기반 전이중 통신시스템에 활용되는, 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크에서의 전송를 극대화를 위한 수신 안테나 배치 방법 및 장치를 제공 할 수 있다.
- [0091] 또한, 본 발명에 의해서는, 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크에서의 달성가능한 전송률의 최적화 뿐만 아니라, 가시선(Line of Sight, LoS) 통신을 고려한 다양한 네트워크에 적용될 수 있는, 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크에서의 전송률 극대화를 위한 수신 안테나 배치 방법 및 장치를 제공 할 수 있다.
- [0092] 본 발명의 수신 안테나 배치 장치(200)는, 인접 쌍간 간섭 및 비대응 쌍간 간섭 영향을 모두 고려하여, 고밀집된 지역에서 모든 전이중 송/수신기 쌍에서 달성할 수 있는 안테나 전송률의 합을 극대화 시킬 수 있다.
- [0093] 수신 안테나 배치 장치(200)는, 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크에서 이론적 모델링이 가능하다.
- [0094] 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크에는, K개의 전이중 송/수신기를 포함할 수 있다.
- [0095] K개의 전이중 송/수신기는, L개의 궤도각운동량 모드(OAM 모드) 기반의 다중화 통신을 할 수 있다. 이러한 통신 방식은, 궤도각운동량- 모드분할다중화(orbital angular momentum mode-division multiplexing, OAM-MDM)라고 한다.
- [0096] 이때, k는 전이중 송/수신기의 쌍의 참조번호이다.
- [0097] 예컨대, k=2의 전이중 송/수신기는 2k=4의 참조번호를 갖고, 이 전이중 송/수신기와 통신하는 대응쌍 전이중 송/수신기의 참조번호는 2k-1=3이 되므로, 쌍에 대한 참조번호는 $k \in K = \{1, 2, \dots, K\}$ 로 표기될 수 있다.
- [0098] 또한, 사용하는 OAM 모드의 집합은, $L = \{l_1, l_2, \dots, l_L\}$ 로 표기할 수 있다.
- [0099] 도 3은 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크에 대한 시스템 모델을 표현한 도이다.
- [0100] 도 3에서는, 전이중 송/수신기의 쌍을, 다중으로 갖는, 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크를 예시한다.
- [0101] 도 3에서, k-th transceiver pair의 수신기에는, 자기 간섭 채널 행렬 H_{2k}^{2k} , 통신 채널 행렬 H_{2k-1}^{2k} , H_{2k}^{2k-1} , 인접 쌍 간섭 채널 행렬 $H_2^{2k} \sim H_{2K}^{2k}$, 비대응 쌍간 간섭 채널 행렬 $H_1^{2k} \sim H_{2K-1}^{2k}$ 이 설정될 수 있다.
- [0102] 각 전이중 송/수신기별 채널 행렬은, $H_{(2k-1)}^{2k} \in \mathbb{C}^{L \times L}$ 로 정의되며, 시스템 모델에 대한 모든 채널을 표현할 수 있다.
- [0103] 각 전이중 송/수신기별 채널 행렬은 [수식 1]과 같이 구성될 수 있다.
- [0104] [수식 1]

$$H_j^i = \begin{bmatrix} h_{j,l_1}^{i,l_1} & h_{j,l_2}^{i,l_1} & \dots & h_{j,l_L}^{i,l_1} \\ h_{j,l_1}^{i,l_2} & h_{j,l_2}^{i,l_2} & \dots & h_{j,l_L}^{i,l_2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{j,l_1}^{i,l_L} & h_{j,l_2}^{i,l_L} & \dots & h_{j,l_L}^{i,l_L} \end{bmatrix},$$

- [0105]
- [0106] 이때, i, j는 $i, j \in K$ 로 조합될 수 있는 모든 집합의 원소이며, 채널 행렬의 각 계수는, Laguerre-Gaussian 기반 궤도각운동량 통신 신호를 고려한 가시선 채널을 따른다.
- [0107] 이러한 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크에서 전체 전이중 송/수신기의 쌍에서 달성할 수 있는 전송률

의 합은, [수식 2]와 같이 정의될 수 있다.

[수식 2]

$$R = 2 \sum_{i \in \mathcal{K}} \log_2 \left| \mathbf{I}_L + \frac{1}{N_0} \mathbf{H}_{2i-1}^{2i} (\mathbf{H}_{2i-1}^{2i})^H \left(\mathbf{I}_L + \frac{1}{N_0} \left(\sum_{j \in \mathcal{K} \setminus i} \mathbf{H}_{2j-1}^{2i} (\mathbf{H}_{2j-1}^{2i})^H + \sum_{j \in \mathcal{K}} \mathbf{H}_{2j}^{2i} (\mathbf{H}_{2j}^{2i})^H \right) \right) \right|^{-1}.$$

[수식 2]에서, 각 전이중 송/수신기가 사용하는 OAM 모드를 L개라고 정의하면, 각 전이중 송/수신기에는, L개의 OAM 모드에 대응하는 수신 안테나가, 탑재되어 있다.

따라서, 수신 안테나의 위치에 따라 채널 행렬의 각 계수들의 값이 변하기 때문에, 채널 행렬과 전체 전이중 송/수신기의 쌍에서 달성할 수 있는 전송률의 합은, 변하게 된다.

수신 안테나 배치 장치(200)는, 수신신호대잡음비를 극대화할 수 있는 수신 안테나 배치 기술을 제공할 수 있다(MaxSNR-based antenna deployment).

전형적인 궤도각운동량 다중화 기반 전이중 통신시스템에서, 궤도각운동량 신호의 세기를 극대화할 수 있는 원통좌표계(cylindrical coordinates)에서의 radial position에 대한 이론적 계산값은, [수식 3]과 같다.

[수식 3]

$$r_{max}(z, l_l) = \sqrt{\frac{|l_l|}{2}} w(z) = w_0 \sqrt{\frac{|l_l|}{2} \left(1 + \left(\frac{z}{z_R} \right)^2 \right)},$$

이때, l_l 은 $l \in L$ 번째 궤도각운동량 모드, z 는 빔 발산 방향으로 이격된 거리, w_0 는 $z=0$ 에서의 초기 빔폭(initial beam waist)이고, $z_R = (\pi^2 / \lambda)$ 는 Rayleigh 거리이며, λ 는 송신 주파수에 대응하는 파장이다.

통신이론 관점에서, [수식 3]에서 계산한 radial position은, 해당 지점에 수신 안테나가 배치되면, l_l 궤도각운동량 모드의 신호에 대한 해당 채널의 이득을 극대화할 수 있는 위치이므로, 수신신호대잡음비를 극대화하여 전송률을 극대화할 수 있는 지점이 될 수 있다.

그러나, 궤도각운동량 모드를 사용하는 궤도각운동량 다중화 기반 전이중 통신시스템은, 모드간 간섭영향을 전혀 고려하지 않는 수신 안테나 배치 기술이므로, 다중의 전이중 송/수신기의 쌍으로 확장될 경우, 비대응쌍간 간섭영향($2k-1$)과, 인접쌍간 간섭영향($2k$) 모두 전혀 고려하지 않고 수신 안테나를 배치하게 된다.

이에 따라, 궤도각운동량 모드를 사용하는 궤도각운동량 다중화 기반 전이중 통신시스템에 의해 배치된 수신 안테나에 의해서는, 수신신호대잡음비가 낮아지고, 전송률이 저하될 수 있다.

수신 안테나 배치 장치(200)는, 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크의 전송률을 극대화할 수 있는 휴리스틱(heuristic) 기반 수신 안테나의 배치 기술을 제공할 수 있다(Heuristic-based antenna deployment).

전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크에서, 전이중 송/수신기의 궤도각운동량 모드로 송신하는 송신 안테나의 위치는, 이미 주어지는 것으로 가정한다.

수신 안테나 배치 장치(200)는, 송신 안테나가 결정된 상태에서, 수신 안테나의 위치 만을 최적하게 배치할 수 있다.

수신 안테나 배치 장치(200)는, 전이중 송/수신기에서의 수신 안테나의 배치를 다른 전이중 송/수신기에서의 수신 안테나에 미치는 영향을 고려하지 않고 실시할 수 있다. 이때, 전이중 송/수신기의 대응 쌍 간에는, 전이중 통신을 하기 때문에, 수신 안테나 배치 장치(200)는, 송신 안테나와 수신 안테나를 대칭성을 갖게 하여 위치를 정할 수 있다.

수신 안테나 배치 장치(200)는, 휴리스틱 기반 수신 안테나의 배치 기술을 통해, 각 전이중 송/수신기의 쌍 중 1개의 전이중 송/수신기에서만 수신 안테나의 위치를 분산적(distributed)으로 최적화하여 정할 수 있어, 구현

의 복잡도를 경량성 있게 낮출 수 있다.

[0125] 본 발명의 수신 안테나 배치 장치(200)는, mmWave 및 THz 대역에 적용할 수 있고, 또한 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크에서의 달성가능한 전송률을 극대화할 수 있는 수신 안테나 배치 기술을 제공할 수 있다.

[0126] 또한, 수신 안테나 배치 장치(200)는, 통신 거리 및 환경적 요인에 의해, 무선 채널 품질이 결정되는 가시선 통신 시스템에도, 수신 안테나 배치 기술을 제공할 수 있고, 셀 계획(cell planning)에 사용될 수 있는 최적화 기술로서 수신 안테나 배치 기술을 제공할 수 있다.

[0127] 수신 안테나 배치 장치(200)는, 휴리스틱 기반 수신 안테나 배치 기술을 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크에 적용할 수 있다.

[0128] 수신 안테나 배치 장치(200)는, 전이중 수신기의 수신 안테나의 배치 위치를 결정하여, 전이중 송/수신기에 대한 크기제한의 제약조건을 만족시키면서, 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크에서 달성가능한 전송률을 향상시킬 수 있다.

[0129] [수식 4]에서는, [수식 1]의 채널 행렬 H_j^i 를 기반으로, 수신 안테나 배치 장치(200)에 의한 수신 안테나 배치 기술을 설명하기 위한 채널 행렬 $H_j^{2k}(X_{2k})$ 을 정의한다.

[0130] [수식 4]

$$H_j^{2k}(X_{2k}) = \begin{bmatrix} h_{j,l_1}^{2k,(r_{2k,1},\phi_{2k,1},z_{2k,1})} & h_{j,l_2}^{2k,(r_{2k,1},\phi_{2k,1},z_{2k,1})} & \dots & h_{j,l_L}^{2k,(r_{2k,1},\phi_{2k,1},z_{2k,1})} \\ h_{j,l_1}^{2k,(r_{2k,2},\phi_{2k,2},z_{2k,2})} & h_{j,l_2}^{2k,(r_{2k,2},\phi_{2k,2},z_{2k,2})} & \dots & h_{j,l_L}^{2k,(r_{2k,2},\phi_{2k,2},z_{2k,2})} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{j,l_1}^{2k,(r_{2k,L},\phi_{2k,L},z_{2k,L})} & h_{j,l_2}^{2k,(r_{2k,L},\phi_{2k,L},z_{2k,L})} & \dots & h_{j,l_L}^{2k,(r_{2k,L},\phi_{2k,L},z_{2k,L})} \end{bmatrix},$$

$$X_{2k} = [r_{2k}^T \quad \phi_{2k}^T \quad z_{2k}^T] = \begin{bmatrix} r_{2k,1} & \phi_{2k,1} & z_{2k,1} \\ r_{2k,2} & \phi_{2k,2} & z_{2k,2} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{2k,L} & \phi_{2k,L} & z_{2k,L} \end{bmatrix},$$

[0131]

[0132] 이때 j번째 전이중 송/수신기로부터 2k번째 전이중 송/수신기의 L개의 수신안테나에 대한 상대적인 좌표정보는, X_{2k} 이다.

[0133] $r_{2k}=[r_{2k,1}, r_{2k,2}, \dots, r_{2k,L}]$ 은 2k번째 전이중 송/수신기의 L개의 수신 안테나에 대한 상대적인 radial position이다.

[0134] $\phi_{2k}=[\phi_{2k,1}, \phi_{2k,2}, \dots, \phi_{2k,L}]$ 는 2k번째 전이중 송/수신기의 L개의 수신 안테나에 대한 상대적인 azimuth angle이다.

[0135] $z_{2k}=[z_{2k,1}, z_{2k,2}, \dots, z_{2k,L}]$ 는 2k번째 전이중 송/수신기의 L개의 수신 안테나에 대한 beam direction 방향으로 떨어진 상대적인 거리이며, $z_{2k,1}=d_{TR} \quad \forall$ 이다.

[0136] 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크에서 전체 쌍에서 달성할 수 있는 전송률의 합은, [수식 5]와 같이 정의할 수 있다.

[0137] [수식 5]

$$R = 2 \sum_{k \in \mathcal{K}} \log_2 \left| \left(I_L + \frac{1}{N_0} H_{2k-1}^{2k}(X_{2k}) (H_{2k-1}^{2k}(X_{2k}))^H \right) \times \left(I_L + \frac{1}{N_0} \left(\sum_{j \in \mathcal{K} \setminus k} H_{2j-1}^{2k}(X_{2k}) (H_{2j-1}^{2k}(X_{2k}))^H + \sum_{j \in \mathcal{K}} H_{2j}^{2k}(X_{2k}) (H_{2j}^{2k}(X_{2k}))^H \right) \right)^{-1} \right|.$$

[0138]

[0139] 또한, 원통좌표계(cylindrical coordinates) 기반의 X_{2k} 를 직각좌표계(cartesian coordinates)인 X'_{2k} 로 변환하

면, X'_{2k} 는 [수식 6]으로 정의할 수 있다.

[수식 6]

$$X'_{2k} = \begin{bmatrix} x_{2k,1} & y_{2k,1} & z_{2k,1} \\ x_{2k,2} & y_{2k,2} & z_{2k,2} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{2k,L} & y_{2k,L} & z_{2k,L} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{2k,1} \\ x_{2k,2} \\ \vdots \\ x_{2k,L} \end{bmatrix}$$

도 4는 휴리스틱 기반 수신 안테나 배치 기술에 대한 동작 절차를 설명하기 위한 도이다.

도 4에서는 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크에서의 전송률을 극대화할 수 있는 휴리스틱 기반 수신 안테나 배치 기술의 동작 절차에 대한 pseudo code를 예시한다.

도 4에서와 같이, 수신 안테나 배치 장치(200)는, 이전 시점에서 연산한 전송률 $S^{(t-1)}_{2k}$ 과 현재 시점에서 연산한 상기 전송률 $S^{(t)}_{2k}$ 와의 차이가, 사전에 정해진 기준 ε 이상이면, 전이중 송/수신기의 모든 쌍 $x^{(t)}_{2k,1} \sim x^{(t)}_{2k,L}$ 에 대한 수신 안테나의 위치를 재결정(t+1)할 수 있다.

도 5는 휴리스틱 기반 수신 안테나 배치 기술에 대한 동작 절차의 순서도이다.

단계 501에서 수신 안테나 배치 장치(200)는, 수신 안테나 배치를 위한 search space set $P^{(k)}$ 를 정의할 수 있다. 수신 안테나 배치 장치(200)는, $k \in \{1, 2, \dots, K\}$ 번째 전이중 송/수신기 각각에 대해 병렬적으로 알고리즘을 수행할 수 있다.

단계 502에서 수신 안테나 배치 장치(200)는, 초기화를 수행할 수 있다. 초기화는, '1. L개의 안테나를 search space 내에 무작위로 배치 $X^{(1)}_{2k}$ ', '2. $S^{(0)}_{(2k)} = 0$, $S^{(1)}_{(2k)} = R(X^{(1)}_{2k})$ ', '3. $t=1$ '의 과정으로 수행될 수 있다.

단계 503에서 수신 안테나 배치 장치(200)는, 절대값 ' $S^{(t)}_{(2k)} - S^{(t-1)}_{(2k)}$ '가 ε 이하인지를 판단한다.

이하인 경우(단계 503에서 yes 방향), 수신 안테나 배치 장치(200)는, 종료한다.

이하가 아닌 경우(단계 503에서 No 방향), 단계 504에서 수신 안테나 배치 장치(200)는, l을 1로 초기화할 수 있다.

단계 505에서 수신 안테나 배치 장치(200)는, l이 L인지를 판단할 수 있다.

L이 L인 경우(단계 505에서 Yes 방향), 단계 506에서 수신 안테나 배치 장치(200)는, $S^{(t+1)}_{(2k)} = R(X^{(t+1)}_{2k})$ 로 업데이트 할 수 있다.

단계 507에서 수신 안테나 배치 장치(200)는, t에 t+1을 가산하여 대입할 수 있다. 이후, 수신 안테나 배치 장치(200)는, 단계 503으로 리턴할 수 있다.

L이 L이 아닌 경우(단계 505에서 No 방향), 단계 508에서 수신 안테나 배치 장치(200)는, k 번째 전이중 송/수신기에 대해 search space set $P^{(k)}$ 내에서 l 번째 수신 안테나 배치를 수정할 수 있다.

단계 509에서 수신 안테나 배치 장치(200)는, l에 l+1을 가산하여 대입할 수 있다. 이후, 수신 안테나 배치 장치(200)는, 단계 505로 리턴할 수 있다.

이하에서는, 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크의 전송률을 극대화할 수 있는 휴리스틱 기반 수신 안테나 배치 기술의 적용을 위한 입력 변수들에 대해 설명한다.

$p^{(k)}$ 는, k번째 전이중 송/수신기의 쌍에서의 수신 안테나가 놓일 수 있는 search space의 집합이다.

- [0158] search space는, 각 쌍의 전이중 송/수신기에서 송신 안테나 중심으로 현실적인 전이중 송/수신기의 크기 제약 조건을 고려하기 위해서, 특정 반경 내에서 직각 좌표계에서 등간격을 갖는 grid 형태의 점들로 주어진다.
- [0159] K개의 송신 안테나의 위치가 고정되면, 수신 안테나 배치 장치(200)는, 송신 안테나의 위치를 중심으로 하는 height와 width로 이루어진 평면에서, 특정 반경 내에서만 수신 안테나의 위치 최적화를 수행 할 수 있다.
- [0160] 최종 출력변수인 $X^* = \{X_2^*, X_4^*, \dots, X_{2K}^*\}$ 는, 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크에 존재하는 K쌍의 전이중 송/수신기에서의 최종 배치된 수신 안테나의 위치에 대한 집합이다.
- [0161] 궤도각운동량 다중화 기반 전이중 통신시스템의 특성상, 2k의 전이중 송/수신기의 수신 안테나의 위치와 송신 안테나의 위치와의 상대적인 거리는, (2k-1)의 전이중 송/수신기의 수신 안테나 위치와 송신 안테나의 위치와의 상대적인 거리와 대칭구조로 동일하다.
- [0162] 따라서, 수신 안테나 배치 장치(200)는, 2k의 전이중 송/수신기의 수신 안테나의 위치를 최적화를 한 후, 맞은 편인 (2k-1)의 전이중 송/수신기의 수신 안테나의 위치의 최적화에 그대로 적용할 수 있다.
- [0163] 변수 t는 최적화를 위한 동작 수를 세기 위한 카운터이다.
- [0164] X_{2k}^t 는 t번째 반복동작에서의 2k의 전이중 송/수신기의 L개의 수신 안테나들의 위치이다.
- [0165] X_{2k}^t 는 t=0에서 초기값으로 무작위로 배치한다.
- [0166] 달성가능한 전송률의 초기값 $S_{2k}^{(0)}$ 은 0이고, 모든 k에 대해 전부 같다.
- [0167] 이후 t번째 반복에서의 k번째 전이중 송/수신기 쌍에서의 달성가능한 전송률 S_{2k}^t 는, $X_{2k}^{(t)}$ 로 배치된 L개의 수신 안테나들의 위치에 의해 k번째 쌍에서 달성가능한 전송률 $R(x_{2k,1}^{(t)}, \dots, x_{2k,L}^{(t)})$ 이다.
- [0168] $x_{2k,1}^{(t)}$ 는 2k번째 전이중 송/수신기의 1번째 수신 안테나의 위치이다.
- [0169] 이러한 표기를 사용하여, 수신 안테나 배치 장치(200)는, 매 t번째 반복에서의 모든 K개의 전이중 송/수신기의 수신 안테나들의 위치를 전부 표기할 수 있다.
- [0170] 도 6은, 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크의 전송률을 극대화할 수 있는 휴리스틱 기반 수신 안테나 배치 기술을 설명하기 위한 도이다.
- [0171] 도 6에 도시한 바와 같이, 수신 안테나 배치 장치(200)는, Height와 Width 로 이루어진 평면 상에, 송신 안테나의 위치를 중심으로 원형의 search space을 설정할 수 있다. Height는 지면으로부터 이격된 전이중 송/수신기의 높이이고, Width는 지면과 평행 방향으로 전이중 송/수신기 간의 이격된 거리일 수 있다.
- [0172] 수신 안테나 배치 장치(200)는, [수식 4]의 계산에 의해, search space 이내면서, 중심인 송신 안테나로부터 등간격의 L개의 수신 안테나의 위치를 결정할 수 있다.
- [0173] 도 7은 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크의 전송률을 극대화할 수 있는 휴리스틱 기반 수신 안테나 배치 기술을 설명하기 위한 다른 도이다.
- [0174] 도 7의 (a)는 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크 상에, 3개의 전이중 송/수신기의 쌍이 존재하고, 각 쌍에서 OAM 모드를 다중화하여 동작하는 것을 보여준다.
- [0175] 도 7의 (b)는 본 발명에 따른 최적화 전후의 수신 안테나를 배치하는 것을 보여준다.
- [0176] 수신 안테나 배치 장치(200)는, 각 전이중 송/수신기의 쌍별로(for $k \in K$ do), 그리고 L개의 궤도각운동량 신호를 수신하는 수신 안테나 별로(while $|S^{(t)} - S^{(t-1)}| \geq \epsilon$ do) 최적의 위치를 찾을 수 있다.
- [0177] 달성가능한 전송률을 극대화하는 수신 안테나의 위치를 찾는 방법으로, 수신 안테나 배치 장치(200)는, 이전 반복수행으로 얻은 달성가능한 전송률인 $S_{2k}^{(t-1)}$ 와 이번 반복수행으로 얻은 달성가능한 전송률인 $S_{2k}^{(t)}$ 와의 차이가, 사전에 정해진 ϵ 이라는 매우 작은 수 이하인지를 확인할 수 있다.

- [0178] 전송률 간의 차이가 정해진 ε 이하 이면, 수신 안테나 배치 장치(200)는, k번째 전이중 송/수신기 쌍에 대한 수신 안테나들의 위치 최적화를 종료하고, 최종 위치들과 달성가능한 전송률 $S_{2k}^{(t)}$ 을 결정할 수 있다.
- [0179] 전송률 $S_{2k}^{(t)}$ 를 결정할 때, 수신 안테나 배치 장치(200)는, k번째 전이중 송/수신기의 쌍의 L개의 수신 안테나 중에서 순차적으로 1번째부터 총 L번째 수신 안테나까지 달성가능한 전송률을 극대화시키는 위치를 수신 안테나의 위치로 결정할 수 있다.
- [0180] 또한, 수신 안테나 배치 장치(200)는, 특정 1번째 수신 안테나의 위치를 결정할 때, 나머지 (L-1)개의 수신 안테나들의 위치를 고정시킨 상태에서 찾을 수 있다.
- [0181] 예를 들면, 수신 안테나 배치 장치(200)는, 1번째 수신 안테나를 제외하고 2번째부터 L번째 수신 안테나들을 이전 단계의 위치로 고정한 상태($x_{2k,2}^{(t)}, x_{2k,3}^{(t)}, \dots, x_{2k,L}^{(t)}$)에서 1번째 수신 안테나의 위치($x_{2k,1}^{(t)}$)를 해당 쌍의 k번째 search space $P^{(k)}$ 내에서만 조정하여 달성가능한 전송률을 극대화하고, 이때의 조정된 위치를 $x_{2k,1}^{(t+1)}$ 로 업데이트 할 수 있다.
- [0182] 다음으로, 수신 안테나 배치 장치(200)는, 앞에서 업데이트된 1번째 수신 안테나의 위치 $x_{2k,1}^{(t+1)}$ 와, 2번째 수신 안테나를 제외하고 3번째부터 L번째 수신 안테나들을 이전 단계의 위치로 고정한 상태($x_{2k,1}^{(t+1)}, x_{2k,3}^{(t)}, \dots, x_{2k,L}^{(t)}$)에서 2번째 수신 안테나의 위치($x_{2k,2}^{(t)}$)를 해당 쌍의 k번째 search space $P^{(k)}$ 내에서만 조정하여 달성가능한 전송률을 극대화하고, 이때의 조정된 위치를 $x_{2k,2}^{(t+1)}$ 로 업데이트 할 수 있다.
- [0183] 수신 안테나 배치 장치(200)는, 이러한 동작을 L번 반복하여, k번째 전이중 송/수신기의 쌍에서의 L개의 수신 안테나의 위치를 전부 업데이트 할 수 있다($x_{2k,1}^{(t+1)}, x_{2k,2}^{(t+1)}, \dots, x_{2k,L}^{(t+1)}$). 또한, 수신 안테나 배치 장치(200)는, 달성가능한 전송률도 함께 $S_{2k}^{(t+1)}$ 로 업데이트할 수 있다.
- [0184] 이어서, 수신 안테나 배치 장치(200)는, 이전 반복수행으로 얻은 달성가능한 전송률인 $S_{2k}^{(t)}$ 과의 차이를 계산한 후, 사전에 정해진 ε 이라는 매우 작은 수 이하로 차이가 날 경우, k번째 전이중 송/수신기 쌍에 대한 수신 안테나들의 위치를 최종 결정하며 달성가능한 전송률을 $S_{2k}^{(t+1)}$ 로 결정할 수 있다.
- [0185] 수신 안테나 배치 장치(200)는, 각 쌍들에 대해 이러한 최적화 동작을 수행하여 마치면, 모든 k에 대해서 달성가능한 전송률들을 결정할 수 있고, 전체 쌍의 달성가능한 전송률이 극대화되었을 때, 전이중 케도각운동량 다중화 간섭 네트워크의 전송률을 극대화할 수 있는 제안하는 휴리스틱 기반 수신 안테나 배치 최적화 절차를 종료할 수 있다.
- [0186] 수신 안테나 배치 장치(200)는, 케도각운동량 다중화 기반 전이중 통신시스템의 통신 기술을 mmWave 및 THz 대역에 적용하고, 전이중 케도각운동량 다중화 간섭 네트워크에서의 달성가능한 전송률을 극대화할 수 있는 수신 안테나 배치 기술을 제공할 수 있다.
- [0187] 수신 안테나 배치 장치(200)는, 수신 안테나 배치 기술을, 통신 거리 및 환경적 요인에 의해 무선 채널 품질이 결정되는 가시선 통신 시스템에도 적용하여 셀 계획(cell planning)에서의 최적화 기술로 활용할 수 있다.
- [0188] 수신 안테나 배치 장치(200)는, 단일 또는 다중 쌍 전이중 송/수신기에서의 수신 안테나 배치 모델을 제공할 수 있다.
- [0189] 수신 안테나 배치 장치(200)는, 단일 또는 다중 케도각운동량 모드를 사용할 경우의 전이중 시스템에서의 자기 간섭을 고려한 수신 안테나 배치 모델을 제공할 수 있다.
- [0190] 수신 안테나 배치 장치(200)는, 케도각운동량 모드간 간섭을 고려한 수신신호대잡음비를 극대화하기 위한 수신 안테나 배치 모델을 제공할 수 있다.
- [0191] 수신 안테나 배치 장치(200)는, 전송 쌍의 전송률을 극대화하기 위한 수신 안테나 배치 모델을 제공할 수 있다.

- [0192] 수신 안테나 배치 장치(200)는, 인접 쌍 간 간섭을 고려한 수신신호대잡음비를 극대화하기 위한 수신 안테나 배치 모델을 제공할 수 있다.
- [0193] 수신 안테나 배치 장치(200)는, 전체 쌍의 전송률을 극대화하기 위한 수신 안테나 배치 모델을 제공할 수 있다.
- [0194] 수신 안테나 배치 장치(200)는, Heuristic algorithm기반의 다중 쌍 전이중 송/수신기에서의 분산적 수신 안테나 배치 모델을 제공할 수 있다.
- [0195] 수신 안테나 배치 장치(200)는, Heuristic algorithm을 종료하기 위한 조건 결정 모델을 제공할 수 있다.
- [0196] 수신 안테나 배치 장치(200)는, 단일 궤도각운동량 모드 기반 전이중 송/수신기에서의 수신 안테나 배치를 위한 search space를 결정할 수 있다.
- [0197] 수신 안테나 배치 장치(200)는, 다중 궤도각운동량 모드 다중화 기반 전이중 송/수신기에서의 수신 안테나 배치를 위한 search space를 결정할 수 있다.
- [0198] 이하, 도 8에서는 본 발명의 실시예들에 따른 수신 안테나 배치 장치(200)의 작업 흐름을 상세히 설명한다.
- [0199] 본 실시예에 따른 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크에서의 전송률 극대화를 위한 수신 안테나 배치 방법은, 수신 안테나 배치 장치(200)에 의해 수행될 수 있다.
- [0200] 도 8은 본 발명의 일실시예에 따른, 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크에서의 전송률 극대화를 위한 수신 안테나 배치 방법을 도시한 흐름도이다.
- [0201] 우선, 수신 안테나 배치 장치(200)는, 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크에서, 쌍을 이루어 설치되는 k개(상기 k는 자연수)의 전이중 송/수신기를 이용하여, 궤도각운동량 다중화 기반 전이중 통신시스템을 구성한다(810). 단계(810)는 송신기와 수신기가 서로 대응하여 쌍을 이루면서, 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크 상에, k개(상기 k는 자연수) 설치되는 전이중 송/수신기에 의해, 전이중 통신을 위한 궤도각운동량 다중화 기반 전이중 통신시스템을 구성하는 과정일 수 있다.
- [0202] 전이중 송/수신기는 궤도각운동량 신호를 송신하는 송신 안테나와, 상기 궤도각운동량 신호를 수신하는 수신 안테나를 포함할 수 있다. 실시예에 따라, 송신 안테나는 송신기에 관련되어 단일 개수가 구비될 수 있다. 또한, 수신 안테나는 궤도각운동량 신호가 송출되는 OAM(궤도각운동량) 모드의 종류에 따라, 복수 개가 구비될 수 있다.
- [0203] 수신 안테나 배치 장치(200)의 프로세서에서, 상기 전이중 송/수신기의 쌍과 연관되어 장착되는 L개(상기 L는 자연수)의 수신 안테나의 위치를, 단일의 송신 안테나의 위치를 고려하여 결정한다(820). 단계(820)는 프로세서에 의해, 송신 안테나에서 송출된 궤도각운동량 신호를 수신하는 수신기의 배치 위치를, 최적의 전송률이 되는, 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크 내 특정 지점으로 결정하는 과정일 수 있다.
- [0204] 위치를 결정해야 하는 수신 안테나의 개수 L은, 다중 OAM 모드의 수와 관련될 수 있다. 즉, 수신 안테나 배치 장치(200)는, 상기 수신 안테나가 수신하는 궤도각운동량 신호의 다중 OAM 모드에 따라, 상기 수신 안테나의 개수인 L을 결정할 수 있다.
- [0205] 예컨대, 궤도각운동량 신호의 다중 OAM 모드의 수가 3종이라면, 수신 안테나 배치 장치(200)는, 상기 수신 안테나의 개수인 L을 적어도 3개 이상으로 결정 함으로써, 서로 다른 다중 OAM 모드의 궤도각운동량 신호가, 각각의 수신 안테나를 통해 독립적으로 수신되도록 할 수 있다.
- [0206] 전이중 송/수신기의 수신 안테나의 위치 결정에 있어, 수신 안테나 배치 장치(200)는, 수신 안테나 배치 기술을 적용하여, 상기 전이중 송/수신기의 모든 k쌍에 대한 상기 수신 안테나의 위치를 결정할 수 있다. 즉, 수신 안테나 배치 장치(200)는, 전이중 송/수신기의 쌍 간의 신호 전송률이 최대가 되는 위치를 특정하도록, 특징적으로 고안된 수신 안테나 배치 기술에 근거하여 수신 안테나의 위치를 결정할 수 있다.
- [0207] 수신 안테나 배치 장치(200)는, 상기 전이중 송/수신기의 쌍과 관련한 자기 간섭 채널 행렬 H_{2k}^{2k} 과 통신 채널 행렬 $H_{2k-1}^{2k}, H_{2k}^{2k-1}$, 및 이웃하는 다른 전이중 송/수신기의 쌍과 관련한 인접 쌍 간섭 채널 행렬 $H_2^{2k} \sim H_{2k}^{2k}$ 과 비대응 쌍간 간섭 채널 행렬 $H_1^{2k} \sim H_{2k-1}^{2k}$ 포함하는, 채널 행렬 $H_j(X_{2k})$ 을 작성하여, 상기 수신 안테나 배치 기술을 정의할 수 있다.

[0208] 상기 자기 간섭 채널 행렬 H_{2k}^{2k} 는, 전이중 송/수신기의 대응 쌍 중, 수신기 2k에서, 자기 간섭에 따라 수신기 2k로 향하는 신호에 의해 설정되는 채널과 관련될 수 있다.

[0209] 통신 채널 행렬 H_{2k-1}^{2k} , H_{2k}^{2k-1} 은, 전이중 송/수신기의 대응 쌍 중, 송신기 2K-1에서 수신기 2k로 향하는 신호에 의해 설정되는 채널과, 수신기 2K에서 송신기 2k-1로 향하는 신호에 의해 설정되는 채널과 관련될 수 있다.

[0210] 인접 쌍 간섭 채널 행렬 $H_{2k}^{2k} \sim H_{2k}^{2k}$ 는, 수신기 2k와 인접하는 다른 수신기들 2~2K에서, 수신기 2k로 향하는 신호에 의해 설정되는 채널과 관련될 수 있다.

[0211] 비대응 쌍간 간섭 채널 행렬 $H_{2k}^{2k} \sim H_{2k}^{2k}$ 은, 송신기 2k-1과 인접하는 다른 송신기들 1~2K-1에서, 수신기 2k로 향하는 신호에 의해 설정되는 채널과 관련될 수 있다.

[0212] 수신 안테나 배치 장치(200)는, [수식 4]를 만족하여, 채널 행렬 $H_j^{2k}(X_{2k})$ 을 작성할 수 있다.

[0213] [수식 4]

$$H_j^{2k}(X_{2k}) = \begin{bmatrix} h_{j,l_1}^{2k,(r_{2k,1},\phi_{2k,1},z_{2k,1})} & h_{j,l_2}^{2k,(r_{2k,1},\phi_{2k,1},z_{2k,1})} & \dots & h_{j,l_L}^{2k,(r_{2k,1},\phi_{2k,1},z_{2k,1})} \\ h_{j,l_1}^{2k,(r_{2k,2},\phi_{2k,2},z_{2k,2})} & h_{j,l_2}^{2k,(r_{2k,2},\phi_{2k,2},z_{2k,2})} & \dots & h_{j,l_L}^{2k,(r_{2k,2},\phi_{2k,2},z_{2k,2})} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{j,l_1}^{2k,(r_{2k,L},\phi_{2k,L},z_{2k,L})} & h_{j,l_2}^{2k,(r_{2k,L},\phi_{2k,L},z_{2k,L})} & \dots & h_{j,l_L}^{2k,(r_{2k,L},\phi_{2k,L},z_{2k,L})} \end{bmatrix},$$

$$X_{2k} = [r_{2k}^T \quad \phi_{2k}^T \quad z_{2k}^T] = \begin{bmatrix} r_{2k,1} & \phi_{2k,1} & z_{2k,1} \\ r_{2k,2} & \phi_{2k,2} & z_{2k,2} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{2k,L} & \phi_{2k,L} & z_{2k,L} \end{bmatrix},$$

[0214]

[0215] 여기서, 상기 X_{2k} 는, j번째 전이중 송/수신기로부터 2k번째 전이중 송/수신기의 L개의 수신안테나에 대한 상대적인 좌표이고, 상기 r_{2k} 은 2k번째 전이중 송/수신기의 L개의 수신 안테나에 대한 상대적인 radial position이며, 상기 ϕ_{2k} 는 2k번째 전이중 송/수신기의 L개의 수신 안테나에 대한 상대적인 azimuth angle이고, 상기 z_{2k} 는 2k번째 전이중 송/수신기의 L개의 수신 안테나에 대한 beam direction 방향으로 떨어진 상대적인 거리일 수 있다.

[0216] 일실시예에서, 수신 안테나 배치 장치(200)는, 송신 안테나와 수신 안테나와의 상관 관계에 따른 search space을 설정하고, search space 내에서, 수신 안테나의 배치 지점이 결정되도록 할 수 있다.

[0217] 이를 위해, 수신 안테나 배치 장치(200)는, 지면으로부터 이격된 전이중 송/수신기의 높이인 Height와, 지면과 평행 방향으로 전이중 송/수신기 간의 이격된 거리인 Width로 이루어진 평면 상에, 상기 송신 안테나의 위치를 중심으로 원형의 search space을 설정할 수 있다. 즉, 수신 안테나 배치 장치(200)는, 전이중 송/수신기가 배치되는 분포에 근거하여, Height와 Width로 이루어지는 가상의 평면을 마련하고, 마련된 가상의 평면 상에, 송신 안테나를 원점으로 하는, 규정된 반지름의 원을 그려, search space을 설정할 수 있다.

[0218] 이후, 수신 안테나 배치 장치(200)는, 상기 [수식 4]의 계산에 의해, 상기 search space 내 이면서, 중심인 송신 안테나로부터 등간격의 송신 안테나의 위치를 결정할 수 있다. 즉, 수신 안테나 배치 장치(200)는, search space 내, 송신 안테나와 동일 거리 상에 위치하는 L개의 수신 안테나의 배치 지점을, [수식 4]의 계산을 통해 획득할 수 있다.

[0219] 실시예에 따라, 수신 안테나 배치 장치(200)는, 앞서 결정한 수신 안테나의 위치에 의해, 전이중 송/수신기의 k쌍에서 달성 가능한 전송률을 구하고, 구해진 전송률에 의거하여, 수신 안테나의 위치를 수정할지 또는 확정할지를 정할 수 있다.

[0220] 이를 위해, 수신 안테나 배치 장치(200)의 연산부에서, [수식 5]를 만족하여, 상기 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크에서, 전이중 송/수신기의 모든 k쌍에서 달성하는 전송률 $S_{2k}^{(1)}$ 의 합 R을 연산할 수 있다.

[0221] [수식 5]

$$R = 2 \sum_{k \in \mathcal{K}} \log_2 \left| \left(I_L + \frac{1}{N_0} \left(\sum_{j \in \mathcal{K} \setminus k} H_{2j-1}^{2k}(X_{2k}) (H_{2j-1}^{2k}(X_{2k}))^H + \sum_{j \in \mathcal{K}} H_{2j}^{2k}(X_{2k}) (H_{2j}^{2k}(X_{2k}))^H \right) \right) \right|^{-1}.$$

[0222]

[0223] 즉, 수신 안테나 배치 장치(200)는, 수신 안테나의 위치가 정해지고, 수신 안테나를 정해진 위치에 배치하여, 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크에서, 해당 전이중 송/수신기의 쌍에서 달성하는 전송률을 연산할 수 있다.

[0224] 또한, 수신 안테나 배치 장치(200)는, [수식 5]에 근거하여, 전이중 송/수신기의 모든 k쌍에 대해 연산된 전송률 $S_{2k}^{(t)}$ 을 합산하여 합 R을 연산할 수 있다.

[0225] 이후, 수신 안테나 배치 장치(200)는, 이전 시점에서 연산한 전송률 $S_{2k}^{(t-1)}$ 과 현재 시점에서 연산한 상기 전송률 $S_{2k}^{(t)}$ 와의 차이가, 사전에 정해진 기준 ε 이상이면, 상기 수신 안테나 배치 기술을 다시 적용하여, 상기 전이중 송/수신기의 모든 k쌍에 대한 상기 수신 안테나의 위치를 재결정할 수 있다.

[0226] 즉, 수신 안테나 배치 장치(200)는, 이전의 결정된 수신 안테나의 위치와 연관되어 연산되는 전송률과, 현재 결정된 수신 안테나의 위치와 연관되어 연산되는 전송률과의 차이가, 기준 ε 미만이면, 수신 안테나의 위치를 재결정(수정) 하지 않고, 현재 결정된 수신 안테나의 위치를, 전송률이 최대가 되는 최적 지점으로 확정 할 수 있다.

[0227] 다른 실시예에서, 수신 안테나 배치 장치(200)는, radial position을 수신 안테나의 위치로 결정할 수 있다.

[0228] 이를 위해, 수신 안테나 배치 장치(200)는, [수식 3]에 따른 radial position $r_{\max}(z, l_1)$ 을, 상기 수신 안테나의 위치로서 결정할 수 있다.

[0229] [수식 3]

$$r_{\max}(z, l_1) = \sqrt{\frac{|l_1|}{2}} w(z) = w_0 \sqrt{\frac{|l_1|}{2} \left(1 + \left(\frac{z}{z_R} \right)^2 \right)},$$

[0230]

[0231] 여기서, 상기 l_1 은 $1 \in L$ 번째 궤도각운동량 모드이고, 상기 z 는 빔 발산 방향으로 이격된 거리이며, 상기 w_0 는 $z=0$ 에서의 초기 빔폭(initial beam waist)이고, 상기 $z_R = (\pi^2_0)/\lambda$ 는 Rayleigh 거리이며, 상기 λ 는 송신 주파수에 대응하는 파장일 수 있다.

[0232] 즉, 수신 안테나 배치 장치(200)는, [수식 3]에 근거하여 radial position $r_{\max}(z, l_1)$ 을 얻고 이를 수신 안테나의 위치로서 결정 함으로써, 상기 수신 안테나가 수신하는 궤도각운동량 신호에 대한 채널 이득과 수신신호대잡음비를 높일 수 있다.

[0233] 본 발명의 일실시예에 따르면, 궤도각운동량 다중화 기반 전이중 통신시스템에 수신 안테나 배치 기술을 적용하여, 궤도각운동량 다중화 기반 전이중 통신시스템의 채널 용량 및 전송률을 향상시킬 수 있는, 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크에서의 전송률 극대화를 위한 수신 안테나 배치 방법 및 장치를 제공 할 수 있다.

[0234] 또한, 본 발명에 의해서는, 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크 내에 전이중 송/수신기가 다수 설치되어, 궤도각운동량 다중화 기반 전이중 통신시스템을 구성하는 경우, 다수의 전이중 송/수신기 간 간섭영향을 고려하여, 수신 안테나를 배치 함으로써, 달성가능한 전송률을 극대화 할 수 있다.

[0235] 또한, 본 발명에 의해서는, 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크의 전송품질(quality of service, QoS)을 향상시킬 수 있고, 차세대 밀리미터파(Millimeter Wave, mmWave) 또는 테라헤르츠(terahertz, THz) 대역 궤도

각운동량 다중화 기반 전이중 통신시스템에 활용되는, 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크에서의 전송률 극대화를 위한 수신 안테나 배치 방법 및 장치를 제공 할 수 있다.

[0236] 또한, 본 발명에 의해서는, 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크에서의 달성가능한 전송률의 최적화 뿐만 아니라, 가시선(Line of Sight, LoS) 통신을 고려한 다양한 네트워크에 적용될 수 있는, 전이중 궤도각운동량 다중화 간섭 네트워크에서의 전송률 극대화를 위한 수신 안테나 배치 방법 및 장치를 제공 할 수 있다.

[0237] 실시예에 따른 수신 안테나 배치 장치의 설계 방법은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 상기 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체에 기록되는 프로그램 명령은 실시예를 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 기록 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(magnetic media), CD-ROM, DVD와 같은 광기록 매체(optical media), 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광 매체(magneto-optical media), 및 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다. 상기된 하드웨어 장치는 실시예의 동작을 수행하기 위해 하나 이상의 소프트웨어 모듈로서 작동하도록 구성될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다.

[0238] 소프트웨어는 컴퓨터 프로그램(computer program), 코드(code), 명령(instruction), 또는 이들 중 하나 이상의 조합을 포함할 수 있으며, 원하는 대로 동작하도록 처리 장치를 구성하거나 독립적으로 또는 결합적으로(collectively) 처리 장치를 명령할 수 있다. 소프트웨어 및/또는 데이터는, 처리 장치에 의하여 해석되거나 처리 장치에 명령 또는 데이터를 제공하기 위하여, 어떤 유형의 기계, 구성요소(component), 물리적 장치, 가상 장치(virtual equipment), 컴퓨터 저장 매체 또는 장치를 저장할 수 있다. 소프트웨어는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템 상에 분산되어서, 분산된 수신 안테나 배치 장치의 설계 방법으로 저장되거나 실행될 수도 있다. 소프트웨어 및 데이터는 하나 이상의 컴퓨터 판독 가능 기록 매체에 저장될 수 있다.

[0239] 이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 도면에 의해 설명되었으나, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기를 기초로 다양한 기술적 수정 및 변형을 적용할 수 있다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 수신 안테나 배치 장치의 설계 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 시스템, 구조, 장치, 회로 등의 구성요소들이 설명된 수신 안테나 배치 장치의 설계 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다.

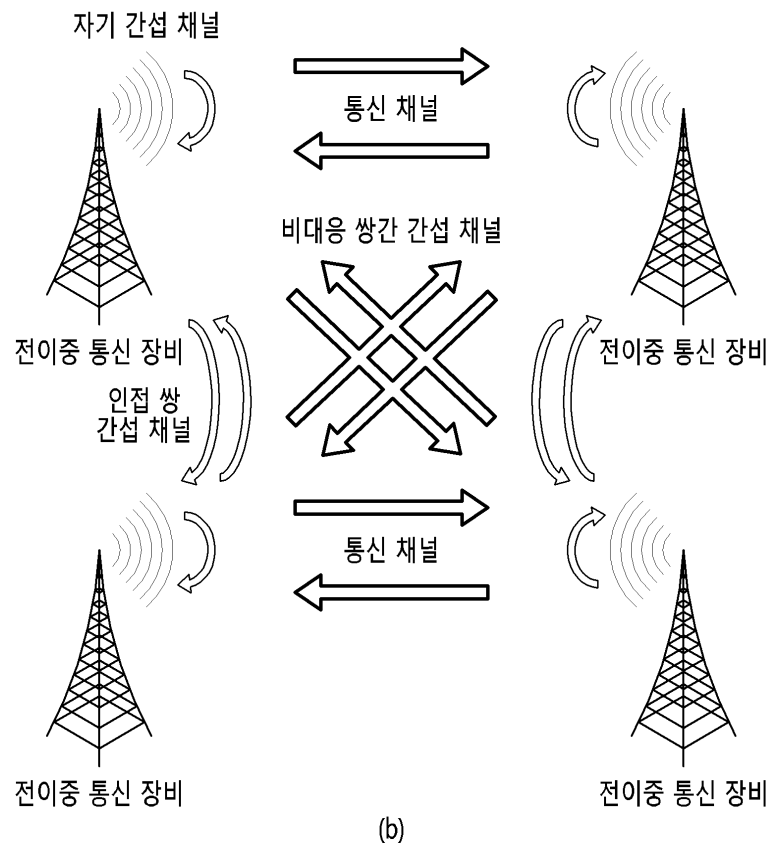
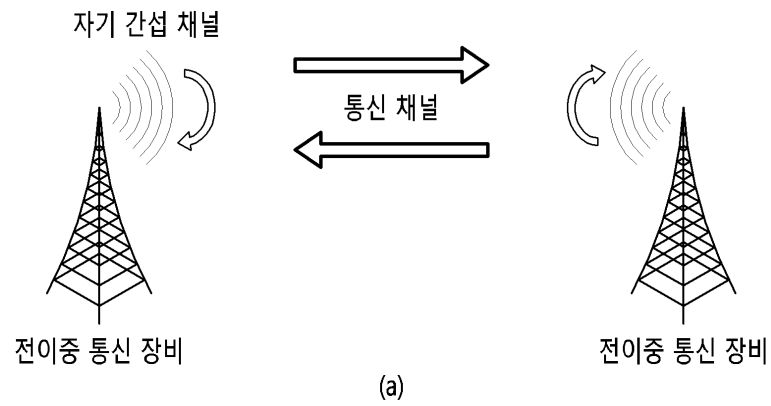
[0240] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 청구범위의 범위에 속한다.

부호의 설명

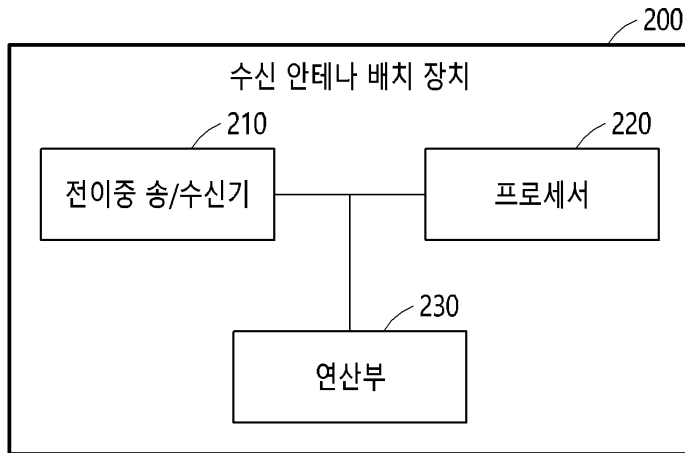
[0241] 200 : 수신 안테나 배치 장치
210 : 전이중 송/수신기
220 : 프로세서
230 : 연산부

도면

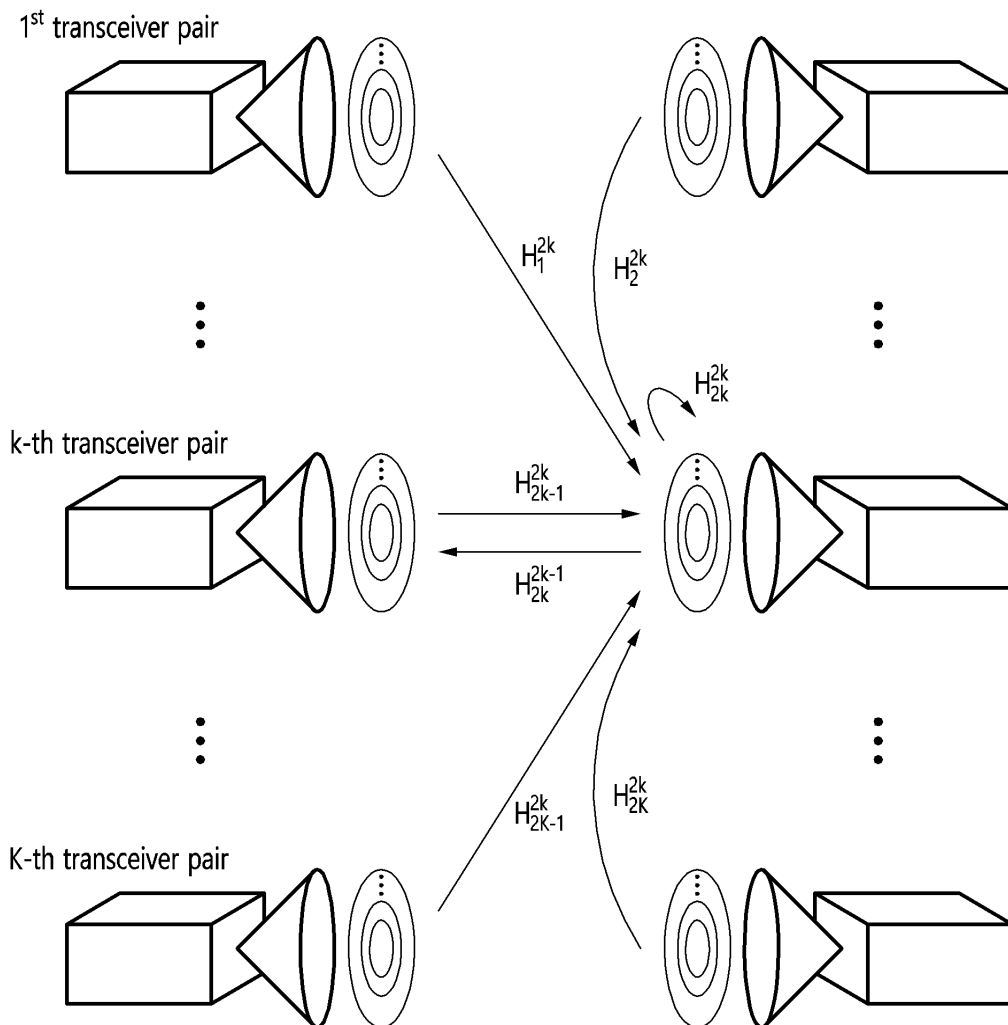
도면1



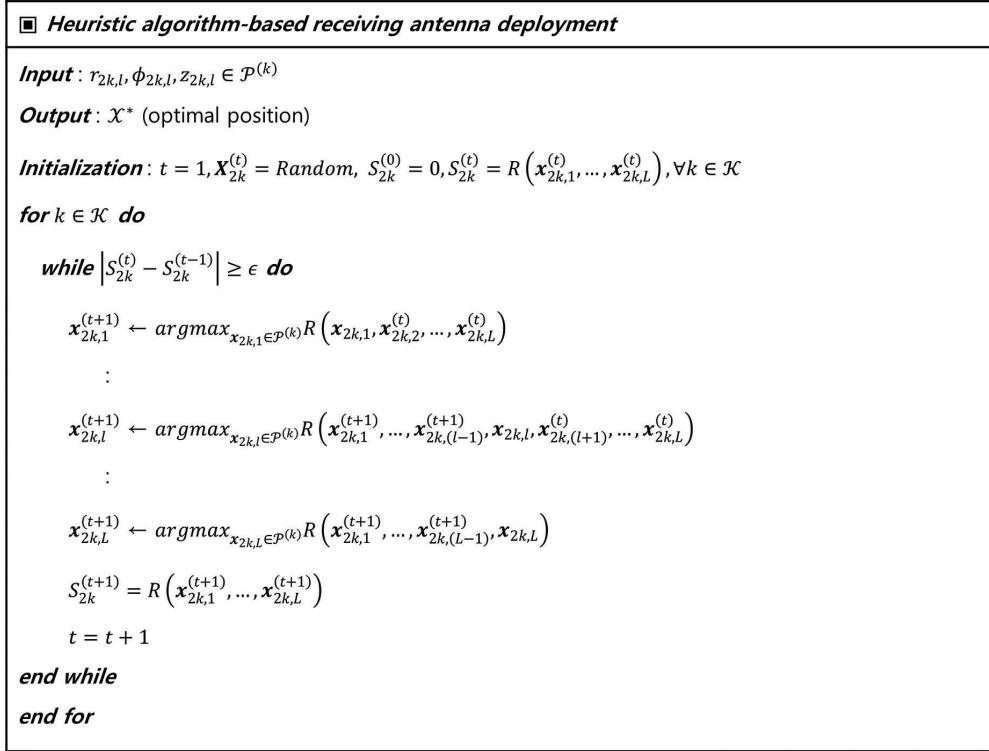
도면2



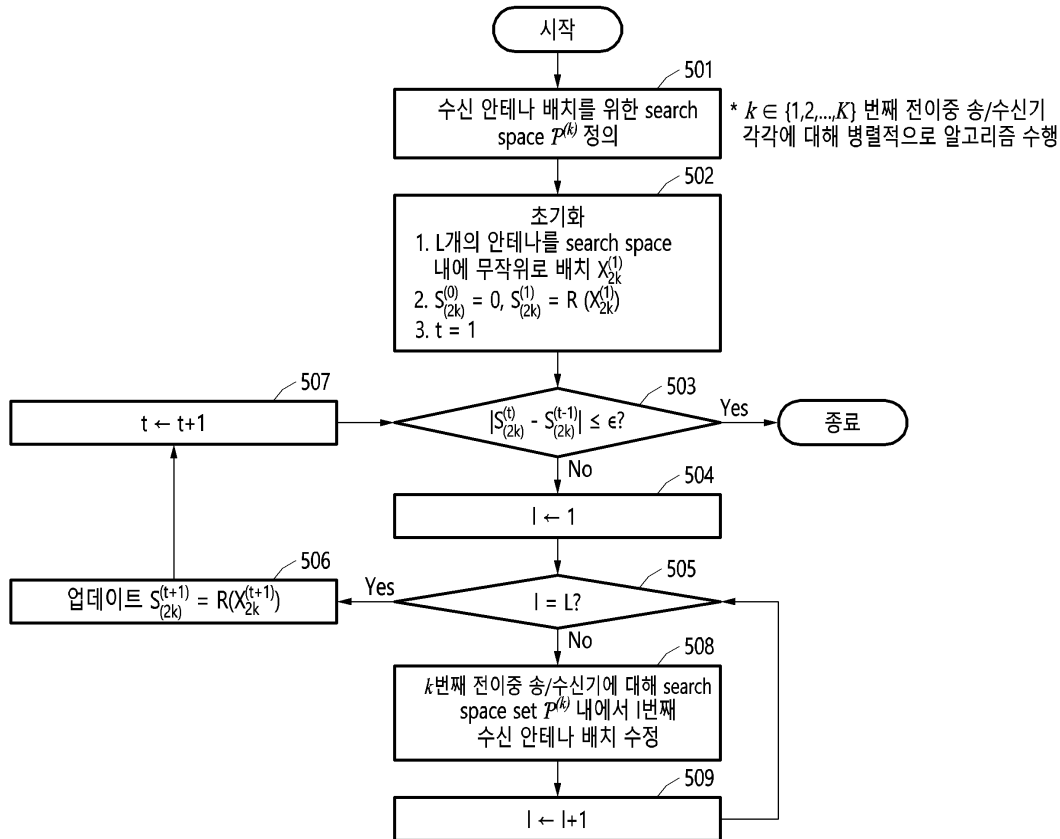
도면3



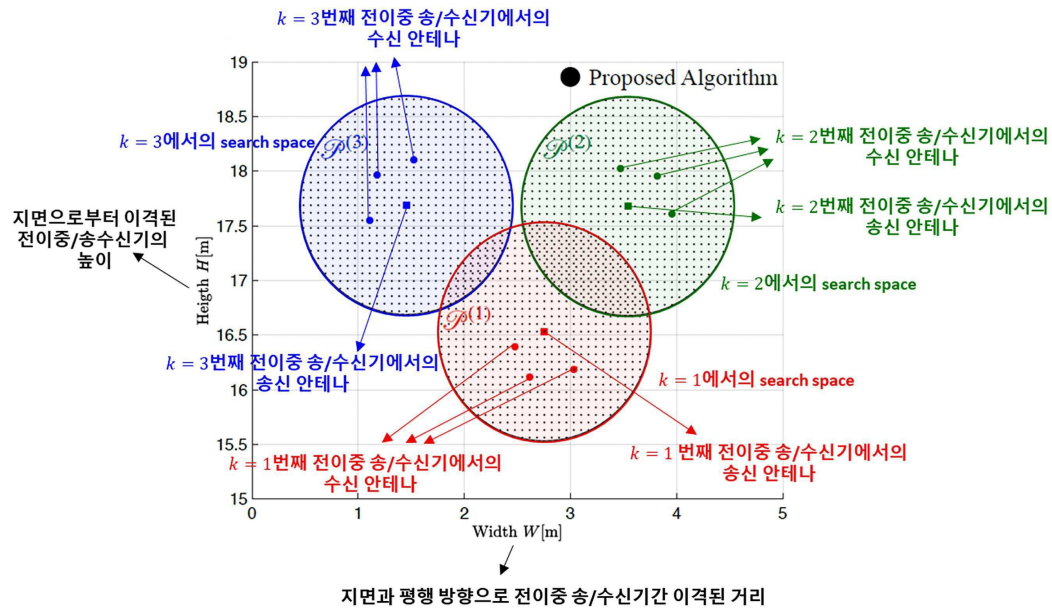
도면4



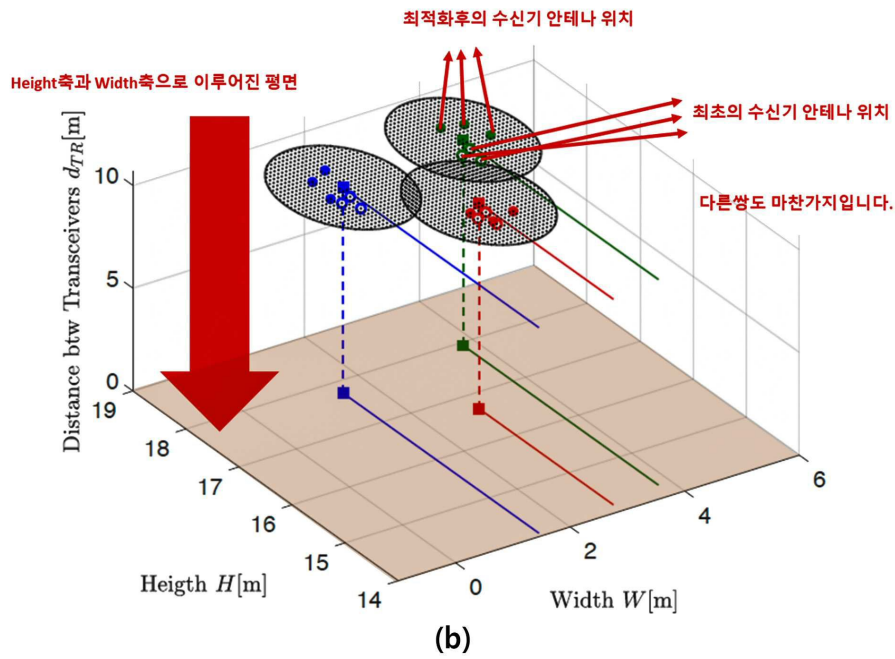
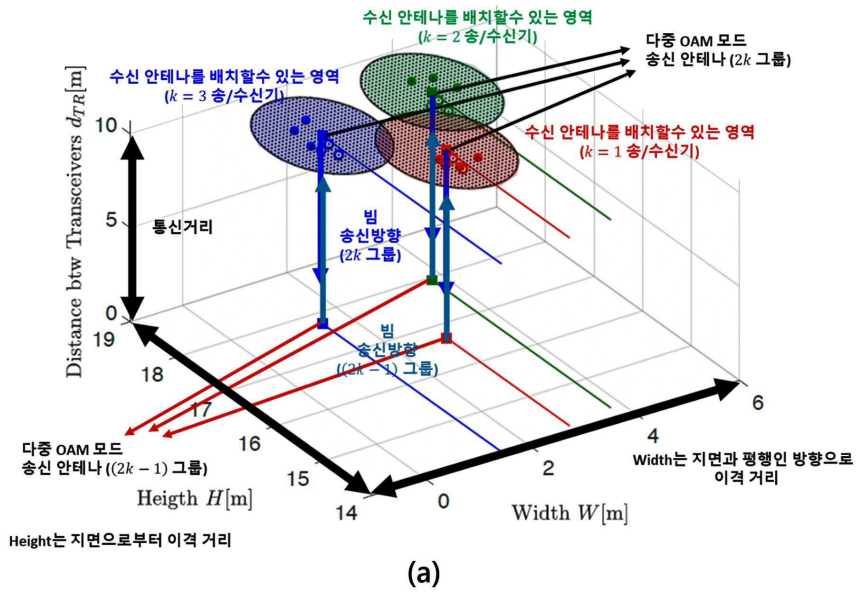
도면5



도면6



도면7



도면8

