(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0090984
(43) 공개일자 2023년06월22일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04B 10/564 (2013.01) *H04B 10/079* (2013.01)
H04B 10/112 (2013.01) *H04B 10/40* (2013.01)
(52) CPC특허분류
H04B 10/564 (2013.01)
H04B 10/07953 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2022-0106405
(22) 출원일자 2022년08월24일
심사청구일자 2022년08월24일
(30) 우선권주장
1020210179775 2021년12월15일 대한민국(KR)

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
(72) 발명자
고영채
서울특별시 강남구 일원로 127, 107동 301호(일원동, 가람아파트)
차홍설
서울특별시 용산구 장문로 27, 9동 1207호(이태원동, 청화아파트)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
최윤서, 손제관

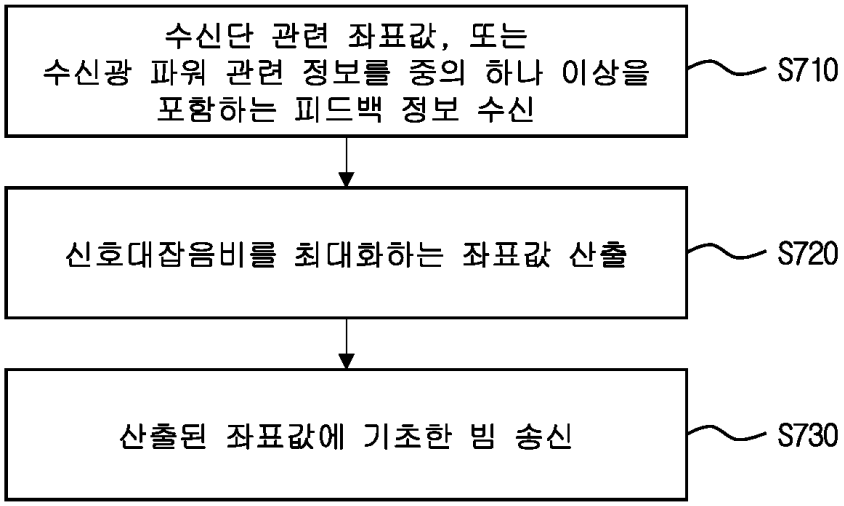
전체 청구항 수 : 총 12 항

(54) 발명의 명칭 **무선 광 통신 시스템에서 빔-포인팅 최적화 방법 및 장치**

(57) 요 약

본 개시는 무선 광 통신 시스템에서 빔-포인팅을 최적화하는 방법 및 장치에 대한 것이다. 본 개시의 일 실시예에 따른 무선 광 통신 시스템에서 빔-포인팅 최적화 방법은, 광 송신 장치의 하나 이상의 송신단 중 특정 송신단으로부터 광 수신 장치의 하나 이상의 수신단과 연관된 좌표값에 기초한 상기 하나 이상의 수신단에서의 수신광의 파워에 관련된 정보를, 상기 광 송신 장치가 상기 광 수신 장치로부터 수신하는 단계; 상기 결정된 수신광의 파워에 기초하여 신호대잡음비를 최대화하는 좌표값을 상기 광 송신 장치가 결정하는 단계; 및 상기 결정된 좌표값에 기초하여 상기 광 송신 장치가 상기 특정 송신단으로부터 빔을 상기 광 수신 장치를 향하여 송신하는 단계를 포함할 수 있다.

대 표 도 - 도7



(52) CPC특허분류
H04B 10/112 (2013.01)
H04B 10/40 (2013.01)
(72) 발명자
임병주
서울특별시 강서구 등촌로13마길 29-3, 202호(등촌동, 정우아파트)
김종민
서울특별시 성북구 보문로25길 19-6, 호인빌 402호(보문동2가)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711134472
과제번호	20210002600011001
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	정보통신기획평가원
연구사업명	방송통신산업기술개발
연구과제명	저궤도 군집 소형 위성 간 통신 기술 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	고려대학교 산학협력단
연구기간	2021.04.01 ~ 2021.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

무선 광 통신 시스템에서 빔-포인팅을 최적화하는 방법에 있어서, 상기 방법은:

광 송신 장치의 하나 이상의 송신단 중 특정 송신단으로부터 광 수신 장치의 하나 이상의 수신단과 연관된 좌표값에 기초한 상기 하나 이상의 수신단에서의 수신광의 파워에 관련된 정보를, 상기 광 송신 장치가 상기 광 수신 장치로부터 수신하는 단계;

상기 결정된 수신광의 파워에 기초하여 신호대잡음비를 최대화하는 좌표값을 상기 광 송신 장치에 의해서 결정하는 단계; 및

상기 결정된 좌표값에 기초하여 상기 광 송신 장치의 상기 특정 송신단으로부터 빔을 상기 광 수신 장치를 향하여 송신하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 하나 이상의 수신단과 연관된 좌표값은, i 번째 수신단의 중심 좌표인 (x_i,y_i)를 포함하는, 방법.

청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 하나 이상의 수신단에서의 수신광의 파워에 관련된 정보는, 상기 특정 송신단과 상기 i 번째 수신단 간의 매질 특성에 따른 파워 감쇠에 해당하는 m_i 값을 포함하는, 방법.

청구항 4

제 3 항에 있어서,

상기 좌표값을 결정하는 단계는,

상기 빔이 향하는 중심 좌표인 (x,y)의 초기값을 0으로 설정하고,

x에 대한 업데이트 값인 x^*를 고정하고 y에 대한 업데이트 값인 y^*의 최적값을 구하거나, 또는 y^*를 고정하고 x^*를 구하는 과정의 반복을 수행하고,

x^* 및 y^* 가 수렴 오차에 대한 소정의 기준값을 만족하는 경우 상기 반복을 종료하고, 반복 종료 시점에 업데이트된 x^* 및 y^*를 상기 좌표값으로 결정하는 것을 포함하는, 방법.

청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 수렴 오차는, 특정 반복 이전의 x^* 및 y^*의 값이, 상기 특정 반복에서 업데이트된 x^* 및 y^*의 값과의 각각의 차이에 해당하는, 방법.

청구항 6

제 5 항에 있어서,

상기 x^* 의 값은 아래의 수학식에 기초하여 산출되고,

$$(x^*-x_1)+\sum_{i=2}^{N} p_{i,x} q_{i,x} \exp(q_{i,x}) = 0$$

상기 수학식에서,

$$p_{i,x} = \frac{c_{i,x} \exp(d(x_i^2 - x_1^2))}{2d(x_1 - x_i)} \exp(2d(x_1 - x_i)x_i)$$

,

$$q_{i,x} = 2d(x_1 - x_i)(x^* - x_i)$$

,

$$c_{i,x} = \frac{m_i}{m_1} \exp(d(2(y_1 - y_i)y^* - (y_1^2 - y_i^2)))$$

인, 방법.

청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 y^* 의 값은 아래의 수학식에 기초하여 산출되고,

$$(y^*-y_1)+\sum_{i=2}^{N} p_{i,y} q_{i,y} \exp(q_{i,y}) = 0$$

상기 수학식에서,

$$p_{i,y} = \frac{c_{i,y} \exp(d(y_i^2 - y_1^2))}{2d(y_1 - y_i)} \exp(2d(y_1 - y_i)y_i)$$

,

$$q_{i,y} = 2d(y_1 - y_i)(y^* - y_i)$$

,

$$c_{i,y} = \frac{m_i}{m_1} \exp(d(2(x_1 - x_i)x^* - (x_1^2 - x_i^2)))$$

인, 방법.

청구항 8

제 7 항에 있어서,

$$d = -\frac{2}{w_{zeq}^2}$$

이고,

여기서,

$$w_{zeq}^2 = w_z^2 \frac{\sqrt{\pi}\, erf(v)}{2v \exp(-v^2)}, \quad erf(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-x^2}, \quad v = \frac{\sqrt{\pi}\, r_a}{\sqrt{2}\, w_z}$$

인, 방법.

청구항 9

제 8 항에 있어서,

$$w_z = w_0\left(1+\epsilon\left(\frac{\lambda z}{\pi w_0^2}\right)^2\right)^{1/2}$$ 이고,

$$\epsilon = (1+\frac{2w_0^2}{\rho_o^2(z)})$$ 인, 방법.

여기서, w_0는 z=0 에서의 빔 크기에 해당하고, λ는 빔의 파장에 해당하고,

청구항 10

제 9 항에 있어서,

$$\rho_o^2(z) = (0.55\,C_n^2 k^2 z)^{-3/5}$$

여기서, k는 광파수에 해당하고, C_n^2은 굴절 구조 매개변수에 해당하는, 방법.

청구항 11

제 1 항에 있어서,

상기 하나 이상의 송신단의 각각은 하나의 송신 렌즈에 해당하고,

상기 하나 이상의 수신단의 각각은 하나의 수신 렌즈에 해당하는, 방법.

청구항 12

무선 광 통신 시스템에서 빔-포인팅을 최적화하는 광 송신 장치에 있어서, 상기 장치는:

프로세서;

광원;

광학계; 및

메모리를 포함하고,

상기 프로세서는,

상기 광 송신 장치의 하나 이상의 송신단 중 특정 송신단으로부터 광 수신 장치의 하나 이상의 수신단과 연관된 좌표값에 기초한 상기 하나 이상의 수신단에서의 수신광의 파워에 관련된 정보를, 상기 광 송신 장치가 상기 광 수신 장치로부터 수신하고;

상기 결정된 수신광의 파워에 기초하여 신호대잡음비를 최대화하는 좌표값을 상기 광 송신 장치에 의해서 결정하고; 및

상기 결정된 좌표값에 기초하여 상기 광 송신 장치의 상기 특정 송신단으로부터 빔을 상기 광 수신 장치를 향하여 송신하도록 설정되는, 광 송신 장치.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 개시는 무선 광 통신에 대한 것이며, 구체적으로는 무선 광 통신 시스템에서 빔-포인팅을 최적화하는 방법 및 장치에 대한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 최근 무선 통신 기술의 급속한 발전 및 모바일 데이터의 급증에 따라서 무선 주파수(RF) 기반 이동 통신에서 밀리미터 대역을 활용하는 등, RF 스펙트럼 자원이 고갈되고 있다. RF 스펙트럼을 보완 또는 대체하기 위해서 광

학 스펙트럼 대역을 이용한 무선 광 통신 기술이 연구되고 있다.

[0003] 자유 공간 광(free space optical, FSO) 통신은 무선 광 통신 기술의 일례로서, 광섬유 등의 고체 매질이 아닌 대기, 수중, 또는 진공, 우주 공간과 같은 매질에서, 렌즈와 같은 광학계를 통한 적외선, 가시광, 및 자외선 영역을 모두 통신 매체로서 활용할 수 있다. 또한, FSO와 같은 무선 광 통신 기술은 기존의 RF 통신과 다르게 주파수 사용권(또는 면허) 문제가 없고, 광통신의 장점인 고속의 통신 속도, 안전성, 보안성이 보장되는 기술이다. 장거리 비 지상 통신에서 무선 광 통신을 사용하면 적은 송신 파워로도 높은 SNR (Signal-to-Noise Ratio)을 얻을 수 있다.

[0004] 전송 속도를 보다 향상시키기 위해 다중 렌즈 기반 무선 광 통신 시스템에 대한 연구가 진행되고 있다. RF 기반 통신 시스템과 달리, FSO와 같은 무선 광 통신 시스템에서는 신호가 퍼져서 전파되지 않기 때문에, 송신 신호 빔을 어느 방향으로 전송하느냐(즉, 빔-포인팅)가 성능에 많은 영향을 미친다.

[0005] 특히, 송신단(예를 들어, 송신단의 광학계에 포함되는 렌즈)의 개수와 수신단(예를 들어, 수신단의 광학계에 포함되는 렌즈)의 개수가 동일하지 않은 경우에, 시스템 성능은 특정 송신단으로부터의 빔-포인팅을 어떤 수신단(들)을 향하게 할지에 의존하게 된다. 따라서, 송신단으로부터의 빔-포인팅을 최적화하는 방안이 요구되지만, 아직까지는 이러한 문제를 해결하기 위한 구체적인 방안이 마련되어 있지 않다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 개시의 기술적 과제는 수신단에서의 신호대잡음비를 최대화하도록 송신단으로부터의 빔 방향을 최적화하는 방법 및 장치를 제공하는 것이다.

[0007] 본 개시의 추가적인 기술적 과제는 하나의 송신단으로부터 하나 이상의 수신단으로의 빔 방향을 최적화하는 방법 및 장치를 제공하는 것이다.

[0008] 본 개시에서 이루고자 하는 기술적 과제들은 이상에서 언급한 기술적 과제들로 제한되지 않으며, 언급하지 않은 또 다른 기술적 과제들은 아래의 기재로부터 본 개시가 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0009] 본 개시의 일 양상에 따른 무선 광 통신 시스템에서 빔-포인팅 최적화 방법은, 광 송신 장치의 하나 이상의 송신단 중 특정 송신단으로부터 광 수신 장치의 하나 이상의 수신단과 연관된 좌표값에 기초한 상기 하나 이상의 수신단에서의 수신광의 파워에 관련된 정보를, 상기 광 송신 장치가 상기 광 수신 장치로부터 수신하는 단계; 상기 결정된 수신광의 파워에 기초하여 신호대잡음비를 최대화하는 좌표값을 상기 광 송신 장치가 결정하는 단계; 및 상기 결정된 좌표값에 기초하여 상기 광 송신 장치가 상기 특정 송신단으로부터 빔을 상기 광 수신 장치를 향하여 송신하는 단계를 포함할 수 있다. 여기서, 송신단은 송신 렌즈에 해당하고, 수신단은 수신 렌즈에 해당할 수 있다.

[0010] 본 개시의 추가적인 양상에 따른 무선 광 통신 시스템에서 빔-포인팅을 최적화하는 광 송신 장치에 있어서, 상기 장치는: 프로세서; 광원; 광학계; 및 메모리를 포함하고, 상기 프로세서는, 상기 광 송신 장치의 하나 이상의 송신단 중 특정 송신단으로부터 광 수신 장치의 하나 이상의 수신단과 연관된 좌표값에 기초한 상기 하나 이상의 수신단에서의 수신광의 파워에 관련된 정보를, 상기 광 송신 장치가 상기 광 수신 장치로부터 수신하고; 상기 결정된 수신광의 파워에 기초하여 신호대잡음비를 최대화하는 좌표값을 상기 광 송신 장치에 의해서 결정하고; 및 상기 결정된 좌표값에 기초하여 상기 광 송신 장치의 상기 특정 송신단으로부터 빔을 상기 광 수신 장치를 향하여 송신하도록 설정될 수 있다.

[0011] 본 개시에 대하여 위에서 간략하게 요약된 특징들은 후술하는 본 개시의 상세한 설명의 예시적인 양상일 뿐이며, 본 개시의 범위를 제한하는 것은 아니다.

발명의 효과

[0012] 본 개시에 따르면 수신단에서의 신호대잡음비를 최대화하도록 송신단으로부터의 빔 방향을 최적화하는 방법 및 장치가 제공될 수 있다.

[0013] 본 개시에 따르면 하나의 송신단으로부터 하나 이상의 수신단으로의 빔 방향을 최적화하는 방법 및 장치가 제공될 수 있다.

[0014] 본 개시에서 얻을 수 있는 효과는 이상에서 언급한 효과들로 제한되지 않으며, 언급하지 않은 또 다른 효과들은 아래의 기재로부터 본 개시가 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

[0015] 도 1은 본 개시가 적용될 수 있는 무선 광통신 시스템에서 단일 송신단과 단일 수신단 간의 송수신 환경을 설명하기 위한 도면이다.

도 2는 본 개시가 적용될 수 있는 무선 광통신 시스템에서 단일 송신단과 다중 수신단 간의 송수신 환경을 설명하기 위한 도면이다.

도 3은 본 개시에 따른 송신 빔 방향을 나타내는 도면이다.

도 4는 본 개시에 따른 송신 파워값에 따른 전송률 값을 나타내는 도면이다.

도 5는 본 개시에 따른 빔포인팅 최적화 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

도 6은 본 개시에 따른 송신 장치 및 수신 장치의 구성을 나타내는 도면이다.

도 7은 본 개시에 따른 무선 광 통신 시스템에서 빔-포인팅을 최적화하는 방법을 설명하기 위한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0016] 이하에서는 첨부한 도면을 참고로 하여 본 개시의 실시예에 대하여 본 개시가 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다. 그러나, 본 개시는 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다.

[0017] 본 개시의 실시예를 설명함에 있어서 공지 구성 또는 기능에 대한 구체적인 설명이 본 개시의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그에 대한 상세한 설명은 생략한다. 그리고, 도면에서 본 개시에 대한 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙인다.

[0018] 본 개시에 있어서, 어떤 구성요소가 다른 구성요소와 "연결", "결합" 또는 "접속"되어 있다고 할 때, 이는 직접적인 연결관계 뿐만 아니라, 그 중간에 또 다른 구성요소가 존재하는 간접적인 연결관계도 포함할 수 있다. 또한 어떤 구성요소가 다른 구성요소를 "포함한다" 또는 "가진다"고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 배제하는 것이 아니라 또 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.

[0019] 본 개시에 있어서, 제1, 제2 등의 용어는 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용되며, 특별히 언급되지 않는 한 구성요소들 간의 순서 또는 중요도 등을 한정하지 않는다. 따라서, 본 개시의 범위 내에서 일 실시예에서의 제1 구성요소는 다른 실시예에서 제2 구성요소라고 칭할 수도 있고, 마찬가지로 일 실시예에서의 제2 구성요소를 다른 실시예에서 제1 구성요소라고 칭할 수도 있다.

[0020] 본 개시에 있어서, 서로 구별되는 구성요소들은 각각의 특징을 명확하게 설명하기 위한 것이며, 구성요소들이 반드시 분리되는 것을 의미하지는 않는다. 즉, 복수의 구성요소가 통합되어 하나의 하드웨어 또는 소프트웨어 단위로 이루어질 수도 있고, 하나의 구성요소가 분산되어 복수의 하드웨어 또는 소프트웨어 단위로 이루어질 수도 있다. 따라서, 별도로 언급하지 않더라도 이와 같이 통합된 또는 분산된 실시예도 본 개시의 범위에 포함된다.

[0021] 본 개시에 있어서, 다양한 실시예에서 설명하는 구성요소들이 반드시 필수적인 구성요소들은 의미하는 것은 아니며, 일부는 선택적인 구성요소일 수 있다. 따라서, 일 실시예에서 설명하는 구성요소들의 부분집합으로 구성되는 실시예도 본 개시의 범위에 포함된다. 또한, 다양한 실시예에서 설명하는 구성요소들에 추가적으로 다른 구성요소를 포함하는 실시예도 본 개시의 범위에 포함된다.

[0022] 본 개시는 무선 광 통신 시스템에서 네트워크 노드들 간의 통신에 대한 것이다. 네트워크 노드는, 기지국, 단말 또는 릴레이(relay) 중의 하나 이상을 포함할 수 있다. 무선 광 통신 시스템에서는, 기지국과 단말과 같은 구조에서의 통신을 지원할 수도 있고, 디바이스와 디바이스간의 직접 통신을 지원할 수도 있으며, 기지국과 단말간

의 통신 또는 디바이스와 디바이스 간의 통신에 있어서 릴레이를 경유하는 통신을 지원할 수도 있다.

[0023] 본 개시는 무선 광 통신 시스템의 일례로서 다중-렌즈 기반 자유 공간 광(multi-lens based FSO) 통신 시스템을 대표적인 예시를 들어 설명한다. 이하의 설명에서 송신단은 송신 렌즈로 상호 대체될 수 있고, 수신단은 수신 렌즈로 상호 대체될 수 있다. 그러나, 본 개시가 적용될 수 있는 무선 광 통신 시스템은 이러한 예시로 제한되는 것은 아니며, 송신단 및 수신단의 광학계가 레이저, 반사경 등의 다양한 방식으로 구성되는 경우에도 적용될 수 있다.

[0024] 이하에서는, 다중-렌즈 기반 FSO 시스템에서의 빔-포인팅 최적화에 대한 본 개시의 실시예들에 대해서 설명한다.

[0025] 다중-렌즈 기반 무선 광 통신 시스템이 송신 렌즈 N개 및 수신 렌즈 N개로 구성되어 있으면, 송신렌즈와 수신렌즈를 일대일 매칭하여 빔 방향을 결정할 수 있다. 즉, 광 전송 매질 상의 LOS(line of sight)가 유지되는 것을 가정하면, 송신단의 개수와 수신단의 개수가 동일한 경우에는 빔 방향의 최적화가 어렵지 않다. 그러나, LOS가 유지되더라도 송신단과 수신단의 개수가 동일하지 않은 경우, 특히 송신단의 개수가 수신단의 개수보다 적은 경우에, 하나 이상의 송신단 중에서 특정(또는 각각의) 송신단의 빔 방향을, 하나 이상의 수신단이 배치된 평면상의 어떤 위치를 향하도록 결정하느냐에 따라서 전체 시스템 성능이 달라질 수 있다.

[0026] 무선 광통신을 활용한 장거리 통신 상황에서 빛이 퍼지는 특성으로 인해 다중 렌즈 기반 시스템에서 송신단과 수신단 사이의 일대일 통신은 빔 발산으로 인한 간섭으로 성능이 저하될 수 있다. 빔 발산으로 인한 간섭을 막기 위하여 다이버시티 기법을 사용하게 되면 간섭을 수신 파워로 변환할 수 있기 때문에, 무선 광통신 시스템에서는 장거리 통신 상황에서 공간 다중화보다 공간 다이버시티가 선호된다. 다이버시티 성능을 최대화하기 위하여 수신단의 어떤 위치로 빔을 전송해야 하는지를 결정하는 방안에 대해서 이하에서 설명한다.

[0027] 본 개시에 따르면, 광 송신 장치의 하나 이상의 송신단 중 특정 단일 송신단으로부터 광 수신 장치의 다중 수신단으로의 빔 방향을 최적화할 수 있다. 예를 들어, 광 수신 장치에서 임의로 배치된 다중 수신단의 좌표와, 특정 단일 송신 단에서 송신된 빔이 겪는 각각의 채널을, 광 송신 장치에서 광 수신 장치로부터 실시간으로 피드백 받을 수 있다. 광 송신 장치는 피드백받은 정보에 기초하여, 신호대잡음비(SNR)를 최대화하는 특정 송신단의 빔 정렬 방향을 예측 또는 결정할 수 있다.

[0028] 위와 같은 본 개시의 대표적인 예시는 단일 송신단 뿐만 아니라 다중 송신단으로 확장이 가능하다. 즉, 광 송신 장치의 복수의 송신단의 각각에 대한 최적의 빔 방향을, 상기 예시에 따라서 결정할 수 있다. 이에 따라, 본 개시의 예시들은 다중 렌즈 기반 무선 광통신 시스템에 적용할 수 있다. 이에 따라, 무선 광통신을 활용한 장거리 통신 상황에서 다중 렌즈 시스템의 SNR을 최대화하는 송신기의 빔 포인팅을 예측 또는 결정할 수 있다.

[0029] 나아가, 송신단의 개수가 수신단의 개수보다 많은 경우에도, 복수의 송신단에서 최적의 다이버시티 성능을 도출하기 위한 각각의 송신단의 빔 방향을 결정함에 있어서 본 개시의 예시들이 적용될 수도 있다.

[0030] 이하에서는 본 개시의 구체적인 예시들에 대해서 설명한다.

[0031] 무선 광통신 기반 시스템의 송신 단에서 전송되는 전자기파는 주로 1550㎚의 적외선 파장 대역이다. 이 파장 대역에서는 짧은 파장으로 인해 전자기파는 빛의 성질을 보인다. 송신 단에서 z 축으로 보내진 빔의 파워는 x 축, y 축에서 2차원 가우시안 분포를 가진다.

[0032] 도 1은 본 개시가 적용될 수 있는 무선 광통신 시스템에서 단일 송신단과 단일 수신단 간의 송수신 환경을 설명하기 위한 도면이다.

[0033] 도 1과 같이 1개의 송신 단과 1개의 수신 단이 하나의 쌍으로 존재하는 상황에서, 각 수신 단에서 얻어지는 파워(즉, Y)는 송신된 2차원 가우시안 빔과 수신 렌즈의 면적이 겹치는 부분의 빛의 파워에 해당하며, 수학식 1과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 1

$$Y=\int_{A_r} I_r(r,z)rdrd\theta+n$$

[0034]

[0035] 수학식 1에서 $I_r(r,z)$는 송신 빔의 (r,z) 좌표에서의 파워에 대한 확률 분포 함수이다. A_r 은 수신 렌즈가 존재하는 영역을 의미하고, n은 AWGN을 의미한다. 원통형 좌표계 상에서 수신 렌즈에 도달하는 영역 내의 빛의 파워 밀도함수를 적분하면 총 수신된 빔의 파워가 계산된다.

[0036] 만약 송신 빔 파워가 2차원 가우시안 분포를 가지며, 채널을 통해 수신단까지 전달되면서 감쇠를 겪는 것을 가정하면, $I_r(r,z)$ 는 수학식 2와 같이 표현할 수 있다.

수학식 2

$$I_r(r,z)=h_l\times h_a\times I_t(r,z)$$

[0037]

[0038] 수학식 2에서 h_l은 거리에 따른 파워 감쇠(pathloss)를 나타내고, $h_l=\exp(-\sigma z)$으로 표현할 수 있다. 여기서, σ는 감쇠 계수에 해당한다. 다음으로, h_a는 매질 특성(예를 들어, 대기 난류)에 따른 파워 감쇠를 나타낸다.

[0039] 한편, 2차원 가우시안 빔의 파워 분포 $I_t(r,z)$는 수학식 3과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 3

$$I_t(r,z)=\frac{2}{\pi w_z}\exp\left(-\frac{2(x^2+y^2)}{w_z^2}\right)$$

[0040]

[0041] 수학식 3에서 r=[x,y]일 때, z 위치에서 빛의 파워의 밀도 분포 함수를 알 수 있으며, z 에서의 빔의 크기 w_z는 수학식 4와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 4

$$w_z=w_0\left(1+\epsilon\left(\frac{\lambda z}{\pi w_0^2}\right)^2\right)^{1/2}$$

[0042]

[0043] 수학식 4에서 w_0는 z=0 에서의 빔 크기를 의미하며, λ는 빔의 파장을 나타낸다. ϵ는 수학식 5와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 5

$$\epsilon = (1 + \frac{2w_0^2}{\rho_o^2(z)})$$

[0044]

[0045] 수학식 5에서 $\rho^2_0(z)$는 수학식 6과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 6

$$\rho_o^2(z) = (0.55\, C_n^2 k^2 z)^{-3/5}$$

[0046]

[0047] 수학식 6에서 k는 광파수를 나타내며, C^2_n은 굴절 구조 매개변수를 나타낸다. 수학식 1 내지 수학식 6을 통해서, 수신 단에서 얻어지는 빛의 파워를 도출할 수 있다.

[0048] 수학식 1에서 h_l 및 h_a는 송신 단과 수신 단 사이에서 구해지는 상수이므로, 수학식 1은 수학식 7과 같이 변형할 수 있다.

수학식 7

$$Y = h_l \times h_a \times \int_{-r_a}^{r_a} \int_{-\sqrt{r_a^2-y^2}}^{\sqrt{r_a^2-y^2}} \frac{2}{\pi w_z} \exp\left(-\frac{2(x^2+y^2)}{w_z^2}\right) dxdy + n$$

[0049]

[0050] 수학식 7에서 r_a는 수신단 렌즈의 반지름의 길이에 해당한다. 수학식 7에서 h_l 및 h_a 이외의 나머지 구간은 $h_p(r_{dis},z)$로 정의할 수 있다. 즉, $h_p(r_{dis},z)$는, 수신 빔의 중심과 수신 렌즈의 중심 사이의 거리를 $r_{dis} = (x_t, y_t)$ 라 정의할 때, 수신 렌즈에 수신되는 빔의 파워에 해당할 수 있다. 수학식 7의 $h_p(r_{dis},z)$는 수학식 8과 같이 표현될 수 있다.

수학식 8

$$h_p(r_{dis},z) = \int_{-r_a}^{r_a} \int_{-\sqrt{r_a^2-y^2}}^{\sqrt{r_a^2-y^2}} \frac{2}{\pi w_z} \exp\left(-\frac{2(x^2+y^2)}{w_z^2}\right) dxdy$$

[0051]

[0052] 수학식 8에서 z 위치에서의 빔 크기(w_z)가 소정의 기준값 초과인 경우, 수학식 8은 근사화될 수 있다. 예를 들어, $w_z > 6r_a$ 인 경우, 수학식 8은 수학식 9와 같이 근사화될 수 있다.

수학식 9

$$h_p(r_{dis},z) \simeq A_0 \exp\left(-\frac{2\left(x_t^2+y_t^2\right)}{w_{zeq}^2}\right)$$

[0053]

[0054] 수학식 9에서 $A_0 = (erf(v))^2$, $v = \frac{\sqrt{\pi}\, r_a}{\sqrt{2}\, w_z}$, $w_{zeq}^2 = w_z^2 \frac{\sqrt{\pi}\, erf(v)}{2v \exp(-v^2)}$,

$$erf(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-x^2}$$

를 의미한다. 수학식 9에서 $r_{dis} = (x_t, y_t)$는 수신단 렌즈의 중심이 (0,0)일 때 수신되는 빔의 중점(또는, 수신 빔의 중심점과 수신단 렌즈 각각의 중심점 사이의 거리)을 의미한다. 전술한 예시에서와 같이 하나의 송신단으로부터 빔으로부터 하나의 수신단이 얻는 빛의 파워(즉, Y)가 정의될 수 있으며, 이하에서는 하나의 송신단으로부터 하나 이상의 또는 복수의 수신단에 빔 방향을 결정하는 본 개시의 예시들에 대해서 설명한다.

[0055] 도 2는 본 개시가 적용될 수 있는 무선 광통신 시스템에서 단일 송신단과 다중 수신단 간의 송수신 환경을 설명하기 위한 도면이다.

[0056] 도 2와 같이 1개의 송신 단과 N개의 수신 단으로 이루어진 SIMO(Single Input Multiple Output) 상황에서 다이버시티 기법을 사용할 경우의 신호대잡음비(SNR)를 γ_{div}라고 표현하고, γ_{div}는 수학식 10과 같이 정의될 수 있다.

수학식 10

$$\gamma_{div} = \frac{\left| \sum_{i=1}^{N} h_l h_{a,i} h_{p,i} P_t \right|^2}{No/2}$$

[0057]

[0058] 수학식 10에서 P_t는 송신단에서의 송신 파워를 의미하고, N_0는 수신단에서의 잡음 분산을 나타낸다.

[0059] 수학식 10에서 송신 렌즈와 i 번째(또는 제 i) 수신 렌즈 간의 거리는 모두 동일한 것으로 가정한다. 따라서, 하나의 송신 렌즈와 복수의 수신 렌즈 각각의 거리에 따른 파워 감쇠는 동일하게 h_l로 표시할 수 있다. 또한, $h_{a,i}$는 하나의 송신 렌즈와 i 번째 수신 렌즈 간의 매질 특성(예를 들어, 대기 난류)에 따른 파워 감쇠를 나타낸다. 또한, $h_p(r_{dis},z)$는, 수신 빔의 중심과 수신 렌즈의 중심 사이의 거리를 $r_{dis} = (x_t, y_t)$ 라 정의할 때, 수신 렌즈에 수신되는 빔의 파워에 해당할 수 있다.

[0060] 따라서, 수학식 10에서 $h_l h_{a,i} h_{p,i}$ 는 도 2와 같이 송신단에서 빔을 좌표 (x_t,y_t)를 중심으로 하는 방향으로 송신하는 경우, i 번째 수신 렌즈와 송신 빔이 겹치는 부분의 빛의 파워(즉, i 번째 수신단에서의 수신 빔의 파워)를 의미할 수 있다.

[0061] 여기서, $h_{p,i}$ 는 수학식 8 및 9에 기초하여 아래의 수학식 11 및 12와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 11

$$h_{p,i}(r_{dis},z)=\int_{-r_a}^{r_a}\int_{-\sqrt{r_a^2-y^2}}^{\sqrt{r_a^2-y^2}}\frac{2}{\pi w_z}\exp\left(-\frac{2\left((x-x_i)^2+(y-y_i)^2\right)}{w_z^2}\right)dxdy$$

[0062]

수학식 12

$$h_{p,i}(r_{dis},z)\simeq A_0\exp\left(-\frac{2\left((x_t-x_i)^2+(y_t-y_i)^2\right)}{w_{zeq}^2}\right)$$

[0063]

[0064] 수학식 11 및 12에서 x_i 및 y_i는 i 번째 수신 렌즈의 중심 좌표에 해당한다. 수학식 10에서 h_l 및 P_t 는 상수이고, 수학식 12의 형태를 활용하면, 수학식 10은 수학식 13과 같이 표현할 수 있다.

수학식 13

$$\gamma_{div}=\frac{\left|h_lP_t\sum_{i=1}^{N}m_iA_0\exp\left(-\frac{2\left((x_t-x_i)^2+(y_t-y_i)^2\right)}{w_{zeq}^2}\right)\right|^2}{No/2}$$

[0065]

[0066] 수학식 13에서 m_i는 수학식 10의 $h_{a,i}$ (즉, 하나의 송신 렌즈와 i 번째 수신 렌즈 간의 매질 특성(예를 들어, 대기 난류)에 따른 파워 감쇠)에 해당하는 상수이다.

[0067] 수학식 13의 다이버시티를 고려한 SNR에 대한 수학식에 기초하여, SNR을 최대화하는 수신 빔의 중심 좌표인 (x,y)는 다음과 같이 표현될 수 있다.

수학식 14

$$(x^*,y^*)=\arg\max_{(x,y)}\frac{\left|h_lP_t\sum_{i=1}^{N}m_iA_0\exp\left(-\frac{2\left((x-x_i)^2+(y-y_i)^2\right)}{w_{zeq}^2}\right)\right|^2}{No/2}$$

[0068]

수학식 15

$$x^*=\arg\max_{x}\frac{\left|h_lP_t\sum_{i=1}^{N}m_iA_0\exp\left(-\frac{2\left((x-x_i)^2+(y^*-y_i)^2\right)}{w_{zeq}^2}\right)\right|^2}{No/2}$$

[0069]

수학식 16

$$y^{*}=\arg\max_{y}\frac{\left|\ h_{l}P_{t}\sum_{i=1}^{N}m_{i}A_{0}\exp\left(-\frac{2\left((x^{*}-x_{i})^{2}+(y-y_{i})^{2}\right)}{w_{zeq}^{2}}\right)\right|^{2}}{No/2}$$

[0070]

[0071] 수학식 15의 x^{*} 및 수학식 16의 y^{*}를 최대화하는 (x,y) 쌍을 찾기 위해서, 각각 수학식의 우변을 미분하여 0이 되도록 하는 (x,y) 값을 구할 수 있다. 수학식 15 및 16을 미분한 수학식은 간략하게 다음과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 17

$$(x^{*}-x_{1})+\sum_{i=2}^{N}p_{i,x}q_{i,x}\exp\left(q_{i,x}\right)=0$$

[0072]

수학식 18

$$(y^{*}-y_{1})+\sum_{i=2}^{N}p_{i,y}q_{i,y}\exp\left(q_{i,y}\right)=0$$

[0073]

[0074] 수학식 17 및 18에서 각각의 변수는 아래와 같이 정의될 수 있다.

수학식 19

$$p_{i,x}=\frac{c_{i,x}\exp\left(d\left(x_{i}^{2}-x_{1}^{2}\right)\right)}{2d(x_{1}-x_{i})}\exp\left(2d(x_{1}-x_{i})x_{i}\right)$$

[0075]

수학식 20

$$p_{i,y}=\frac{c_{i,y}\exp\left(d\left(y_{i}^{2}-y_{1}^{2}\right)\right)}{2d(y_{1}-y_{i})}\exp\left(2d(y_{1}-y_{i})y_{i}\right)$$

[0076]

수학식 21

$$q_{i,x} = 2d(x_1 - x_i)(x^* - x_i)$$

[0077]

수학식 22

$$q_{i,y} = 2d(y_1 - y_i)(y^* - y_i)$$

[0078]

수학식 23

$$c_{i,x} = \frac{m_i}{m_1} \exp\left(d(2(y_1 - y_i)y^* - (y_1^2 - y_i^2))\right)$$

[0079]

수학식 24

$$c_{i,y} = \frac{m_i}{m_1} \exp\left(d(2(x_1 - x_i)x^* - (x_1^2 - x_i^2))\right)$$

[0080]

수학식 25

$$d = -\frac{2}{w_{zeq}^2}$$

[0081]

[0082] 결과적으로 수학식 17 및 18에 기초하여 x 및 y의 값을 구하게 되면, 도 2와 같이 수신 렌즈들이 임의로 배치되어 있는 환경에서 SNR을 최대화하는 빔 방향을 결정할 수 있다.

[0083] 수학식 17 및 18의 해는 뉴턴 방법(Newton's method)을 활용하여 계산할 수 있다. 수학식 21 내지 24를 참조하면, x^*를 구하기 위해서 y^* 값이 필요하며, y^*를 구하기 위해서 x^* 값이 필요함을 알 수 있다. 따라서, x^* 또는 y^* 중의 어느 하나를 고정하여 나머지 하나의 값을 찾은 뒤에, 찾은 값을 사용하여 다른 하나의 값을 찾는 과정의 반복(iteration)을 수행하여, 특정 수렴 오차를 만족하는 경우에 최적값을 도출한 것으로 보고 반복 수행을 종료할 수 있다. 예를 들어, 먼저 y^* 값을 0으로 고정하여 x^*의 값을 구한 뒤에, 해당 x^*의 값을 사용하여 y^*의 값을 구하고, 구한 y^*의 값을 사용하여 x^*의 값을 구하는 작업을 수렴할때까지 반복적으로 수행할 수 있다. 또는, 먼저 x^* 값을 0으로 고정하여 y^*의 값을 구한 뒤에, 해당 y^*의 값을 사용하여 x^*의 값을 구하고, 구한 x^*의 값을 사용하여 y^*의 값을 구하는 작업을 수렴할때까지 반복적으로 수행할 수 있다.

[0084] 전술한 바와 같이 단일 송신단으로부터 하나 이상의 또는 복수의 수신단으로의 최적의 빔 방향을 도출하는 방안을 다음과 같은 예시에 적용할 수 있다.

[0085] 일례로서, 무선 광통신의 성능 분석시 대표적으로 채택되는 감마-감마 채널 모델을 적용하고, 백색 가우시안 노이즈가 존재하는 경우에 대하여 시뮬레이션을 진행하였다. 먼저 감마-감마 채널 모델의 채널 h에 대한 확률 밀도 함수 $f_h(h)$는 다음과 같이 표현된다.

수학식 26

[0086]
$$f_{h_a}(h_a) = \frac{2(\alpha\beta)^{\frac{\alpha+\beta}{2}}}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)} h_a^{\frac{\alpha+\beta}{2}-1} K_{\alpha-\beta}(2\sqrt{\alpha\beta h_a})$$

[0087] 수학식 26에서 Γ()는 감마 함수(Gamma-function)을 의미하며, $K_v()$는 제2종 변형 베셀 함수를 의미하며, α 및 β는 다음과 같이 정의될 수 있다.

수학식 27

[0088]
$$\alpha = \left[\exp\left(\frac{0.49\sigma_R^2}{(1+1.11\sigma_R^{12/5})^{7/6}}\right) - 1\right]^{-1}$$

수학식 28

[0089]
$$\beta = \left[\exp\left(\frac{0.51\sigma_R^2}{(1+0.69\sigma_R^{12/5})^{5/6}}\right) - 1\right]^{-1}$$

[0090] 수학식 27 및 28에서 σ^2_{R-} 은 라이토프 분산(Rytov variance)으로 난류 강도를 의미하며, $\sigma_R^2 = 1.23k^{7/6}C_n^2 z^{11/6}$ 로 표현할 수 있다. 감마-감마 채널 모델은 σ^2_{R-} >= 0.3일 경우 만족한다.

[0091] 또한, 가우시안 노이즈 n은 평균이 0이고, 분산이 $N_0/2$ 인 가우시안 분포를 가진다. 구체적인 변수 설정값들은 표 1에 나타내었다.

표 1

[0092]

Parameter	Symbol	값
감쇠 계수	σ	0.00110622
송수신 단 사이의 거리	z	1000 [m]
noise variance	No	-174 [dBm/Hz]
수신 단 개수	N	5 [개]
사용 주파수	f	1550 [nm]
Rytov vairance (난류 강도)	σ_R^2	6
$z=0$ 에서의 빔 크기	w_o	0.0254 [m]
수신 단 렌즈 반지름	r_a	0.04 [m]
대역폭	BW	20 [GHz]
송신 파워	P_t	20,22,…,48,50
수렴 오차	e	10^{-3}

[0093] 도 3은 본 개시에 따른 송신 빔 방향을 나타내는 도면이다.

[0094] 임의의 N 개의 수신 단 좌표에 대해 본 개시의 예시들을 통해 예측한 좌표, N 개의 수신 단의 평균 좌표, 그리고 각 수신 렌즈의 중심에 빔을 송신하였을 경우의 전송률(Rate) [bps/Hz]를 비교하여 분석하였다.

[0095] 도 3에서 임의의 수신 단 좌표가 주어질 때, 본 개시의 예시들을 통해 예측한 빔의 최적 위치와 수신 단 좌표의 평균 지점을 확인할 수 있다. 본 개시의 예시들은 기술은 채널 환경을 이용하여 SNR을 최대화하는 방향으로 빔을 결정하기 때문에 평균 지점과 다소 차이가 발생할 수 있다.

[0096] 도 4는 본 개시에 따른 송신 파워값에 따른 전송률 값을 나타내는 도면이다.

[0097] 도 4에서는 본 개시의 예시들을 통해 예측한 좌표, 평균 좌표, 각 수신 단 렌즈 중심 좌표에 빔을 송신하였을 때 얻어지는 전송률 값을 그래프로 확인할 수 있다. 전송률은 아래와 같이 구할 수 있다.

수학식 29

[0098]
$$C=\log_2(1+\gamma_{div})$$

[0099] 이와 같이 본 개시의 예시들을 통해서 얻은 좌표를 향하여 빔포인팅을 수행하는 경우, 우수한 성능이 얻어짐을 알 수 있다.

[0100] 도 5는 본 개시에 따른 빔포인팅 최적화 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

[0101] 단계 S510에서 광 송신 장치는 채널 감쇠 세기 및 수신 단 좌표 정보를, 광 수신 장치로부터의 피드백 정보에 기초하여 파악할 수 있다.

[0102] 단계 S520에서 광 송신 장치는 송신 빔이 향하는 중심 좌표 (x,y)의 최적화된 해를 구하기 위한 초기값을 0으로 설정할 수 있다.

[0103] 단계 S530에서 광 송신 장치는 초기값을 수학식 17에 대입하고, 단계 S540에서 뉴턴 방법을 통해 x*를 도출하여 다음 반복을 위한 x의 값(x_{next})으로 업데이트할 수 있다.

[0104] 단계 S550에서는 이전 단계에서 구한 x* 값 및 채널 정보를 수학식 18에 대입하고, 단계 S560에서 뉴턴 방법을 통해 y*를 도출하여 다음 반복을 위한 y의 값(y_{next})으로 업데이트할 수 있다.

[0105] 단계 S570에서는 x*,y* 각각에 대해서, 해당 반복의 이전값(x_{before} 및 y_{before})와 해당 반복에서 업데이트된 다음값(x_{next} 및 y_{next}) 각각의 차이가 소정의 수렴 오차(e) 미만인지 여부를 결정할 수 있다.

[0106] 수렴 오차 이상인 경우, 단계 S590에서는 해당 반복에서 업데이트된 다음값(x_{next} 및 y_{next})을 x,y의 이전값(x_{before}

및 y_{before})과 동일하게 업데이트하고, 단계 S530부터 다음 반복을 시작할 수 있다.

[0107] 수렴 오차 미만인 경우, 단계 S580에서 해당 반복에서 업데이트된 x*,y* 값이 최적의 빔 방향인 것으로 결정하고, 이를 송신 빔의 중심 좌표인 x,y로 적용하여(즉, 빔포인팅을 최적화하여) 빔을 송신할 수 있다.

[0108] 도 6은 본 개시에 따른 송신 장치 및 수신 장치의 구성을 나타내는 도면이다.

[0109] 송신 장치(600)는 프로세서(610), 광원(620), 광학계(630), 메모리(640)를 포함할 수 있다.

[0110] 프로세서(610)는 광 통신 관련 신호 처리를 수행하며, 상위계층 처리부(611) 및 물리계층 처리부(615)를 포함할 수 있다. 상위계층 처리부(611)는 송신할 광신호에 대한 변조 등의 동작을 처리할 수 있다. 물리계층 처리부(615)는 광신호를 생성 및 전송하기 위해서, 광원 구동 드라이버 및 광학계 등을 제어하는 동작을 처리할 수 있다. 프로세서(610)는 광 통신 관련 신호 처리를 수행하는 것 외에도, 송신 장치(600) 전반의 동작을 제어할 수도 있다.

[0111] 광학계(630)는 하나 이상의 렌즈를 포함할 수 있고, 복수개의 렌즈를 포함하는 경우 MIMO 송수신을 지원할 수 있다. 메모리(640)는 프로세서(610)의 연산 처리된 정보, 송신 장치(600)의 동작에 관련된 소프트웨어, 운영체제, 애플리케이션 등을 저장할 수 있으며, 버퍼 등의 구성요소를 포함할 수도 있다.

[0112] 송신 장치(600)의 프로세서(610)는 본 개시에서 설명하는 실시예들에서의 광 송신 장치의 동작을 구현하도록 설정될 수 있다.

[0113] 수신 장치(650)는 프로세서(660), 광감지기(670), 광학계(680), 메모리(690)를 포함할 수 있다.

[0114] 프로세서(660)는 광 통신 관련 신호 처리를 수행하며, 상위계층 처리부(661) 및 물리계층 처리부(665)를 포함할 수 있다. 상위계층 처리부(661)는 수신한 광신호에 복조 등의 동작을 처리할 수 있다. 물리계층 처리부(665)는 광신호를 수신 및 검출하기 위해서 광학계 및 광감지기 등을 제어하는 동작을 처리할 수 있다. 프로세서(660)는 광 통신 관련 신호 처리를 수행하는 것 외에도, 수신 장치(650) 전반의 동작을 제어할 수도 있다.

[0115] 광학계(680)는 하나 이상의 렌즈를 포함할 수 있고, 복수개의 렌즈를 포함하는 경우 MIMO 송수신을 지원할 수 있다. 메모리(690)는 프로세서(660)의 연산 처리된 정보, 수신 장치(650)의 동작에 관련된 소프트웨어, 운영체제, 애플리케이션 등을 저장할 수 있으며, 버퍼 등의 구성요소를 포함할 수도 있다.

[0116] 수신 장치(650)의 프로세서(660)는 본 개시에서 설명하는 실시예들에서의 광 수신 장치의 동작을 구현하도록 설정될 수 있다.

[0117] 송신 장치(600) 및 수신 장치(650)의 동작에 있어서 본 개시의 예시들에서 광 송신 장치(송신단)및 광 수신 장치(수신단)에 대해서 설명한 사항이 동일하게 적용될 수 있으며, 중복되는 설명은 생략한다.

[0118] 도 7은 본 개시에 따른 무선 광 통신 시스템에서 빔-포인팅을 최적화하는 방법을 설명하기 위한 도면이다.

[0119] 단계 S710에서 광 송신 장치는 광 수신 장치로부터 피드백 정보를 수신할 수 있다. 광 송신 장치는 하나 이상의 송신단(예를 들어, 하나 이상의 송신 렌즈)을 포함하고, 광 수신 장치는 하나 이상의 수신단(예를 들어, 하나 이상의 수신 렌즈)을 포함할 수 있다.

[0120] 피드백 정보는 수신단 관련 좌표값, 또는 수신광 파워 관련 정보 중이 하나 이상을 포함할 수 있다.

[0121] 수신단 관련 좌표값에 대한 정보는 (x_i,y_i)를 포함할 수 있다. 여기서, x_i 및 y_i는 i 번째 수신단의 중심 좌표에 해당한다. 이에 대한 구체적인 사항은 수학식 11 이하의 설명과 동일하므로 중복되는 설명은 생략한다.

[0122] 수신광 파워 관련 정보는 m_i를 포함할 수 있다. 여기서, m_i는 하나의 송신단과 i 번째 수신단 간의 매질 특성에 따른 파워 감쇠에 해당하는 값을 가질 수 있다. 이에 대한 구체적인 사항은 수학식 13 이하의 설명과 동일하므로 중복되는 설명은 생략한다.

[0123] 단계 S720에서 광 송신 장치는 신호대잡음비를 최대화하는 좌표값을 산출할 수 있다.

[0124] 산출되는 좌표값은 x*,y* 의 최적값(또는 최종 업데이트된 값)에 해당할 수 있다. 이에 대한 구체적인 사항은 수학식 14 이하의 설명과 동일하므로 중복되는 설명은 생략한다.

[0125] 단계 S730에서 광 송신 장치는 산출된 최적값에 기초하여 하나 이상의 송신단 중에서 특정 송신단으로부터 하나 이상의 수신단을 향하는 빔을 광 수신 장치를 향하여 송신할 수 있다. 송신 빔의 중심 좌표인 x,y를, 단계 S720

에서 산출된 x*,y* 의 최적값으로 설정(즉, 빔-포인팅)할 수 있다. 이에 따라, 송신단의 개수와 수신단의 개수가 동일하지 않은 경우에도, 시스템 성능을 최대화하는 빔 송신이 수행될 수 있다.

[0126] 예를 들어, 하나의 송신단(또는 렌즈)으로부터의 송신 빔(의 중심)을 특정 좌표를 향하도록 포인팅하기 위해서, 짐벌-기반(gimbal-based) ATP (Advanced Targeting Pod) 방식이 적용될 수 있다. 예를 들어, 모터에 의해서 제어되는 기계적 로터리 짐벌을 사용하여, 2-축 또는 3-축 동작이 가능하고, 패닝(pan) 및 틸팅(tilt) 동작을 수행할 수 있다. 또한, 동작의 각도 범위가 넓어서, 지상-위성간, 또는 위성-위성간 FSO 통신에 적용될 수 있다. 고속 스티어링 미러(FSM)을 이용함으로써, 포인팅 분해도(resolution)에 따른 각도 조절을 제공할 수 있다.

[0127] 본 개시의 예시적인 방법들은 설명의 명확성을 위해서 동작의 시리즈로 표현되어 있지만, 이는 단계가 수행되는 순서를 제한하기 위한 것은 아니며, 필요한 경우에는 각각의 단계가 동시에 또는 상이한 순서로 수행될 수도 있다. 본 개시에 따른 방법을 구현하기 위해서, 예시하는 단계에 추가적으로 다른 단계를 포함하거나, 일부의 단계를 제외하고 나머지 단계를 포함하거나, 또는 일부의 단계를 제외하고 추가적인 다른 단계를 포함할 수도 있다.

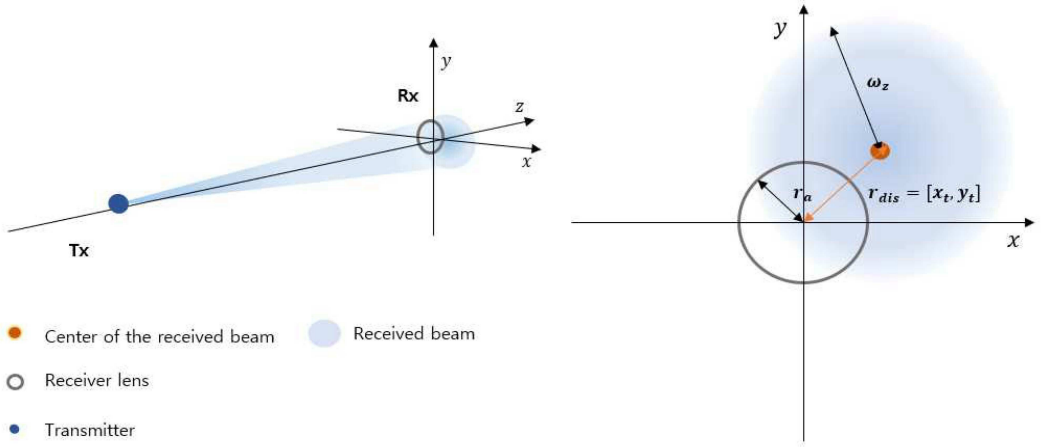
[0128] 본 개시의 다양한 실시예는 모든 가능한 조합을 나열한 것이 아니고 본 개시의 대표적인 양상을 설명하기 위한 것이며, 다양한 실시예에서 설명하는 사항들은 독립적으로 적용되거나 또는 둘 이상의 조합으로 적용될 수도 있다.

[0129] 또한, 본 개시의 다양한 실시예는 하드웨어, 펌웨어(firmware), 소프트웨어, 또는 그들의 결합 등에 의해 구현될 수 있다. 하드웨어에 의한 구현의 경우, 하나 또는 그 이상의 ASICs(Application Specific Integrated Circuits), DSPs(Digital Signal Processors), DSPDs(Digital Signal Processing Devices), PLDs(Programmable Logic Devices), FPGAs(Field Programmable Gate Arrays), 범용 프로세서(general processor), 컨트롤러, 마이크로 컨트롤러, 마이크로 프로세서 등에 의해 구현될 수 있다.

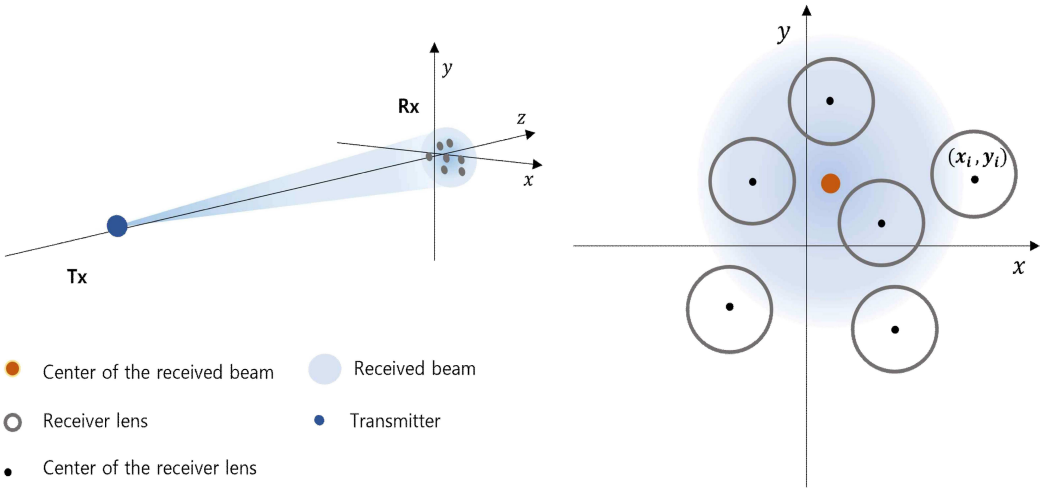
[0130] 본 개시의 범위는 다양한 실시예의 방법에 따른 동작이 장치 또는 컴퓨터 상에서 실행되도록 하는 소프트웨어 또는 머신-실행가능한 명령들(예를 들어, 운영체제, 애플리케이션, 펌웨어(firmware), 프로그램 등), 및 이러한 소프트웨어 또는 명령 등이 저장되어 장치 또는 컴퓨터 상에서 실행 가능한 비-일시적 컴퓨터-판독가능 매체(non-transitory computer-readable medium)를 포함한다.

도면

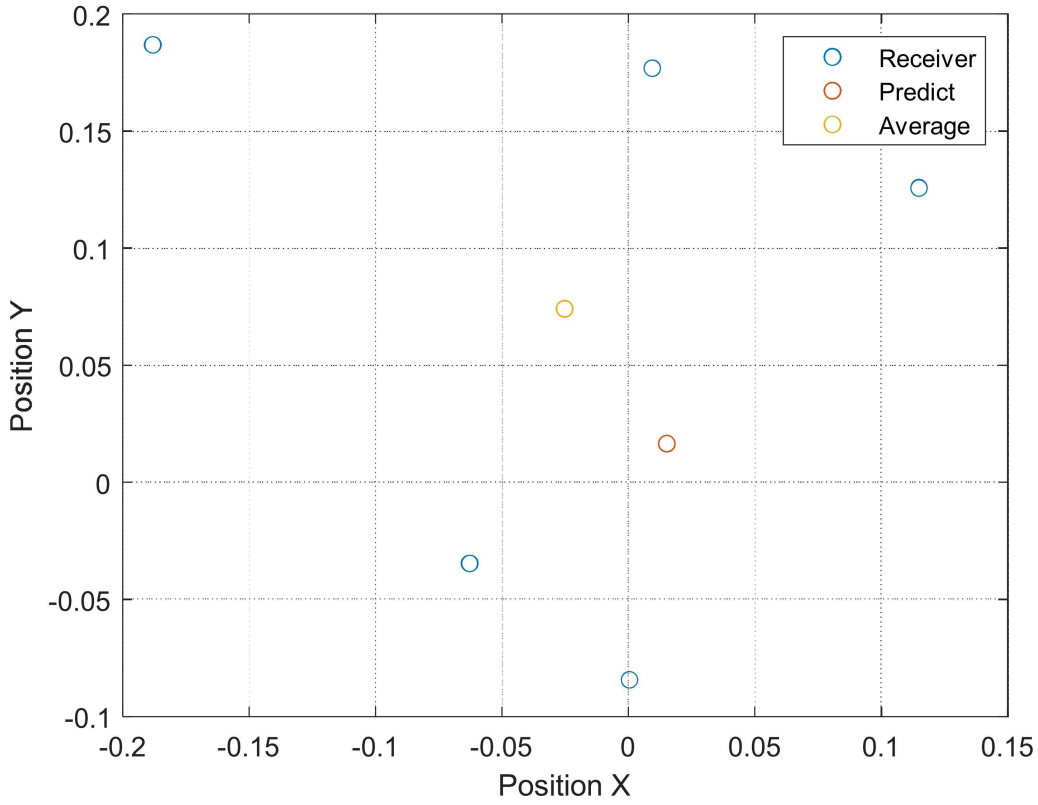
도면1



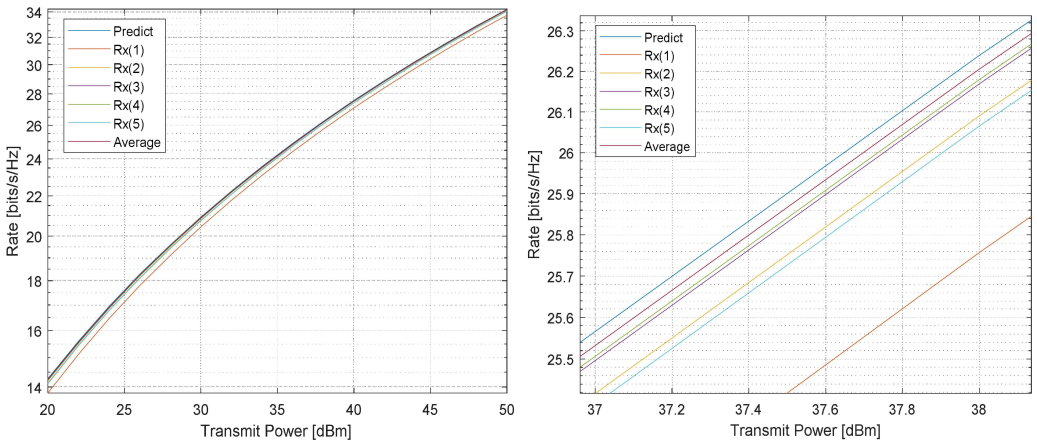
도면2


Rx
Tx
y
z
x
Center of the received beam
Received beam
Receiver lens
Transmitter
Center of the receiver lens
(x_i, y_i)

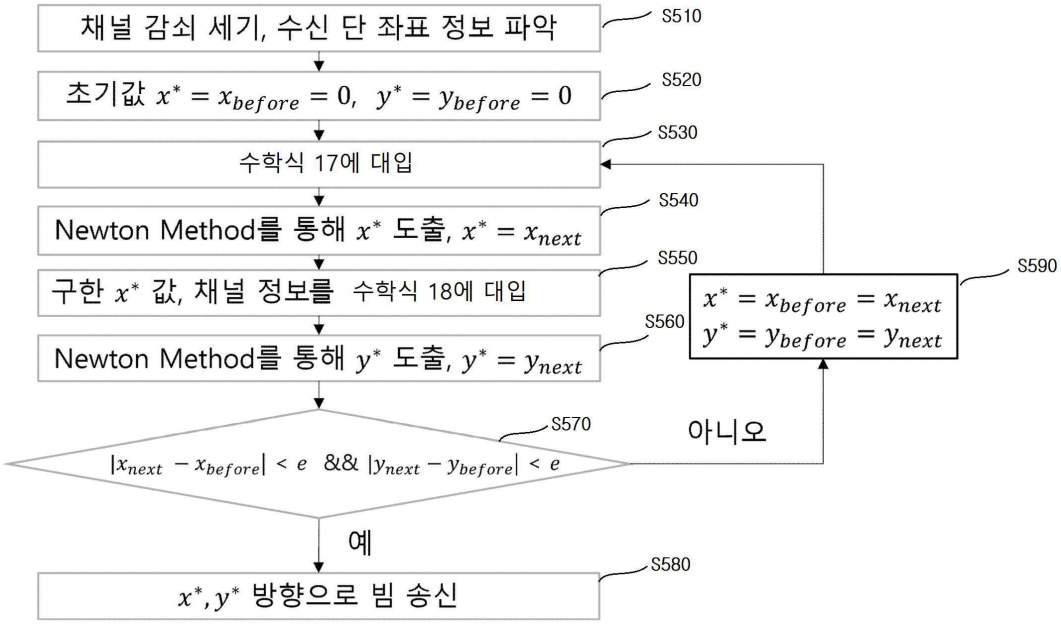
도면3


Receiver
Predict
Average
Position Y
Position X
0.2
0.15
0.1
0.05
0
-0.05
-0.1
-0.2
-0.15
-0.1
-0.05
0
0.05
0.1
0.15

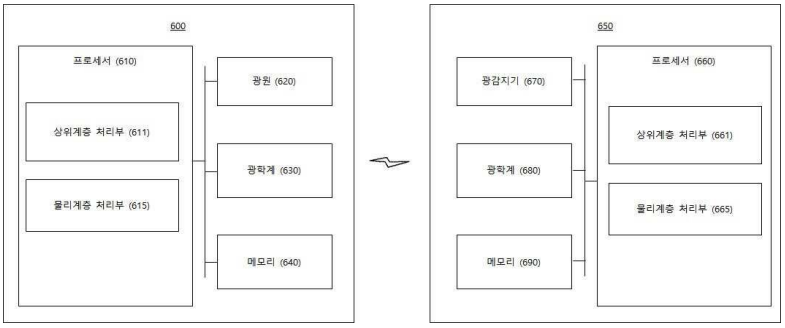
도면4


Predict
Rx(1)
Rx(2)
Rx(3)
Rx(4)
Rx(5)
Average
Rate [bits/s/Hz]
Transmit Power [dBm]
Predict
Rx(1)
Rx(2)
Rx(3)
Rx(4)
Rx(5)
Average
Rate [bits/s/Hz]
Transmit Power [dBm]

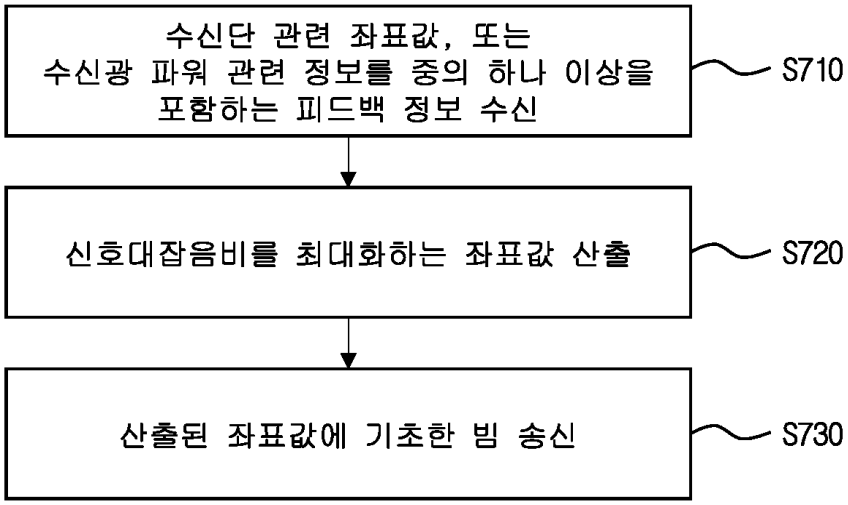
도면5


채널 감쇠 세기, 수신 단 좌표 정보 파악
S510
초기값 $x^* = x_{before} = 0,\ y^* = y_{before} = 0$
S520
수학식 17에 대입
S530
Newton Method를 통해 x^* 도출, $x^* = x_{next}$
S540
구한 x^* 값, 채널 정보를 수학식 18에 대입
S550
Newton Method를 통해 y^* 도출, $y^* = y_{next}$
S560
$|x_{next} - x_{before}| < e$ && $|y_{next} - y_{before}| < e$
S570
아니오
$x^* = x_{before} = x_{next}$
$y^* = y_{before} = y_{next}$
S590
예
x^*, y^* 방향으로 빔 송신
S580

도면6


600
프로세서 (610)
상위계층 처리부 (611)
물리계층 처리부 (615)
광원 (620)
광학계 (630)
메모리 (640)
650
광감지기 (670)
광학계 (680)
메모리 (690)
프로세서 (660)
상위계층 처리부 (661)
물리계층 처리부 (665)

도면7


수신단 관련 좌표값, 또는
수신광 파워 관련 정보를 중의 하나 이상을
포함하는 피드백 정보 수신
S710
신호대잡음비를 최대화하는 좌표값 산출
S720
산출된 좌표값에 기초한 빔 송신
S730