



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2024년07월01일
(11) 등록번호 10-2680558
(24) 등록일자 2024년06월27일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04B 7/185 (2006.01) H04B 10/118 (2013.01)
H04W 16/18 (2009.01) H04W 24/02 (2009.01)
H04W 64/00 (2023.01)
(52) CPC특허분류
H04B 7/18504 (2013.01)
H04B 10/118 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2022-0132985
(22) 출원일자 2022년10월17일
심사청구일자 2022년10월17일
(65) 공개번호 10-2024-0053194
(43) 공개일자 2024년04월24일
(56) 선행기술조사문헌
KR1020210085009 A
(뒷면에 계속)

(73) 특허권자
연세대학교 산학협력단
서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)
(72) 발명자
정종문
서울특별시 용산구 이촌로87길 21, 106동 1502호 (이촌동, 이촌아파트)
최민수
서울특별시 은평구 진관3로 15-45, 1004동 703호 (진관동, 은평뉴타운 구파발)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
민영준

전체 청구항 수 : 총 20 항

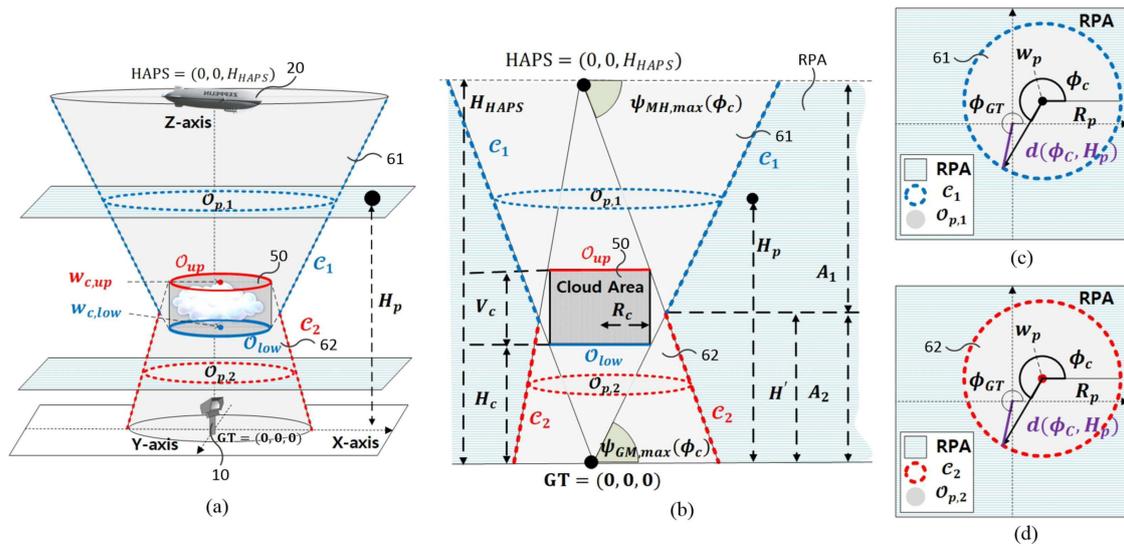
심사관 : 신상길

(54) 발명의 명칭 릴레이 UAV의 궤도 최적화 장치 및 방법

(57) 요약

개시된 실시예는 지상 터미널(이하 GT)과 고고도 플랫폼(이하 HAPS) 사이에 위치하는 장애물에 대해 수집된 정보를 기반으로 장애물 모델을 생성하여, 장애물 모델에 의해 판별되는 음영 영역과 릴레이 가능 영역을 판별하고, GT를 기준으로 장애물 모델의 중심의 상대 위치를 기반으로 GT와 HAPS 사이에서 FSO 통신을 릴레이하는 MUAV의 최적 방위각을 결정하며, 릴레이 가능 영역 중 최적 방위각에서 FSO 통신 중단 확률이 최소가 되도록 하는 MUAV의 최적 고도를 계산하여 MUAV의 최적 궤도를 결정함으로써, 구름과 같은 이동하는 장애물에 의한 음영 영역을 고려하여, 광 통신 링크를 중계하는 릴레이 UAV가 장애물을 회피하여 GT와 HAPS 사이의 LoS가 계속적으로 보장될 수 있도록 3차원에서의 궤도를 최적화하고, UAV의 에너지 소비를 저감시킬 수 있는 MUAV의 궤도 최적화 장치 및 방법을 제공한다.

대표도



- | | |
|--|--|
| (52) CPC특허분류
<i>H04W 16/18</i> (2013.01)
<i>H04W 24/02</i> (2013.01)
<i>H04W 64/003</i> (2013.01) | (56) 선행기술조사문헌
KR102067370 B1
KR1020170108262 A
JP6639468 B2
JP2018191124 A |
|--|--|

- (72) 발명자
송수은
 서울특별시 서초구 강남대로6길 60-14, 102호(양재동, 삼익빌라)
고다은
 서울특별시 서대문구 신촌로 63, 608호(창천동, 더이름)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711152632
과제번호	2019-0-00685-004
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	정보통신기획평가원
연구사업명	방송통신산업기술개발
연구과제명	무선광통신 기반 수직 이동통신 네트워크 기술 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	연세대학교 산학협력단
연구기간	2022.01.01 ~ 2022.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

하나 이상의 프로세서; 및 상기 하나 이상의 프로세서에 의해 실행되는 하나 이상의 프로그램들을 저장하는 메모리를 구비한 장치로서,

상기 프로세서는

지상 터미널(이하 GT)과 고고도 플랫폼(이하 HAPS) 사이에 위치하는 장애물에 대해 수집된 정보를 기반으로 장애물 모델을 생성하여, 상기 장애물 모델에 의해 판별되는 음영 영역과 릴레이 가능 영역을 판별하고,

상기 GT를 기준으로 하는 상기 장애물 모델의 중심의 상대 위치로부터 장애물 방위각을 계산하고, 상기 장애물 방위각을 기반으로 상기 GT와 상기 HAPS 사이에서 FSO 통신을 릴레이하는 MUAV의 최적 방위각을 결정하며,

상기 릴레이 가능 영역 중 상기 최적 방위각에서 FSO 통신 중단 확률이 최소가 되도록 하는 상기 MUAV의 최적 고도를 계산하여 상기 MUAV의 최적 궤도를 결정하는 MUAV의 궤도 최적화 장치.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 프로세서는

수집된 정보에 따라 상기 장애물 모델을 상기 장애물이 포함되는 위치 및 크기를 갖는 원기둥 형상으로 생성하는 MUAV의 궤도 최적화 장치.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 프로세서는

상기 장애물 모델에 의한 상기 GT와 상기 HAPS 각각에 대한 상기 음영 영역을 확인하고,

상기 GT의 고도와 상기 HAPS의 고도 사이의 고도 영역에서 상기 음영 영역을 제외한 나머지 영역을 상기 릴레이 가능 영역으로 판별하는 MUAV의 궤도 최적화 장치.

청구항 4

제1항에 있어서, 상기 프로세서는

상기 GT에서 조사된 광이 상기 장애물 모델에 의해 차단되는 원뿔대 형상의 제1 음영 영역과 상기 HAPS에서 조사된 광이 상기 장애물 모델에 의해 차단되는 역원뿔대 형상의 제2 음영 영역의 합으로 상기 음영 영역을 설정하는 MUAV의 궤도 최적화 장치.

청구항 5

제3항에 있어서, 상기 프로세서는

고도에 따른 상기 음영 영역과 상기 릴레이 가능 영역의 경계를 나타내는 원의 라인 상에서 상기 MUAV의 최적 궤도를 추출하는 MUAV의 궤도 최적화 장치.

청구항 6

제1항에 있어서, 상기 프로세서는

상기 MUAV의 최적 방위각(θ_{opt})을 상기 장애물 모델의 중심 위치($w_c = (x_c, y_c, h_c)$) 중 XY 평면 상의 위치(x_c, y_c)를 기반으로 수학식

$$\tan \phi_{C,opt} = \frac{y_c}{x_c}$$

을 계산되는 장애물 방위각($\theta_{c,opt}$)으로 획득하는 MUAV의 궤도 최적화 장치.

청구항 7

제6항에 있어서, 상기 프로세서는

상기 MUAV의 고도(H_M)의 상기 MUAV의 위치($q_M[n] = (d_{opt} \cos \phi_{opt}, d_{opt} \sin \phi_{opt}, H_M)$)에서 상기 음영 영역과 릴레이 가능 영역의 경계를 나타내는 원 상에 상기 GT 사이의 XY 평면 상의 거리(d_{opt})가 최소로 FSO 통신 중단 확률(P_{out})이 최소가 되도록 하는 최적 고도(H_M)를 경사 하강법에 기반하여 수학식

$$H_M^{(k+1)}[n] = H_M[n] - \eta \nabla P_{out}(H_M^{(k)}[n])$$

(여기서 k는 반복 횟수, [n]은 타임 스탬프, η 는 MUAV(30)의 고도(H_M)에 대한 스텝 사이즈, ∇ 는 FSO 통신 중단 확률(P_{out})에 대한 기울기 함수를 나타낸다.)

에 따라 반복 계산하여 획득하는 MUAV의 궤도 최적화 장치.

청구항 8

제7항에 있어서, 상기 프로세서는

상기 FSO 통신 중단 확률(P_{out})을 GM 링크 길이(d_{GM})에 따른 GM 링크 중단 확률($P_{out,GM}(d_{GM})$)과 MH 링크 길이(d_{MH})에 따른 MH 링크 중단 확률($P_{out,MH}(d_{MH})$)로 구분하여 수학식

$$\begin{aligned} P_{out} &= \mathbf{Prob}\{\min(\gamma_{GM}, \gamma_{MH}) > \gamma_{th}\} \\ &= \mathbf{Prob}\{\gamma_{GM} > \gamma_{th}\} \times \mathbf{Prob}\{\gamma_{MH} > \gamma_{th}\} \\ &= 1 - (1 - P_{out,GM}(d_{GM})) (1 - P_{out,MH}(d_{MH})) \end{aligned}$$

(여기서 γ_{GM} 은 GM 링크에 대한 순시 SNR이고, γ_{MH} 은 MH 링크에 대한 순시 SNR이며, γ_{th} 은 FSO 통신이 유지될 수 있는 SNR 임계값이다.)

으로 계산하는 MUAV의 궤도 최적화 장치.

청구항 9

제8항에 있어서, 상기 프로세서는

GM 링크 중단 확률($P_{out,GM}(d_{GM})$)과 MH 링크 중단 확률($P_{out,MH}(d_{MH})$)의 합이 1 이하인 조건에서 상기 FSO 통신 중단 확률(P_{out})을 계산하는 MUAV의 궤도 최적화 장치.

청구항 10

제8항에 있어서, 상기 프로세서는

상기 MUAV의 속도 벡터($v_M[n]$)가 최저 속도(V_{min})대한 여유 변수($\tau[n]$, 여기서 $V_{min} \leq \tau[n]$)에 대해 수학식

$$\tau[n] \leq -2\|v_M[n]\|^2 + 3(v_M^j[n])^T(2v_M[n] - v_M^j[n])$$

(여기서 $v_M^j[n]$ 는 j번째 반복 시 획득된 속도 벡터($v_M[n]$))

를 조건에서 상기 FSO 통신 중단 확률(P_{out})을 계산하는 MUAV의 궤도 최적화 장치.

청구항 11

하나 이상의 프로세서 및 상기 하나 이상의 프로세서에 의해 실행되는 하나 이상의 프로그램들을 저장하는 메모

리를 구비한 컴퓨팅 장치에 의해 수행되는 방법으로서,

지상 터미널(이하 GT)과 고고도 플랫폼(이하 HAPS) 사이에 위치하는 장애물에 대해 수집된 정보를 기반으로 장애물 모델을 생성하여, 상기 장애물 모델에 의해 판별되는 음영 영역과 릴레이 가능 영역을 판별하는 단계;

상기 GT를 기준으로 하는 상기 장애물 모델의 중심의 상대 위치로부터 장애물 방위각을 계산하고, 상기 장애물 방위각을 기반으로 상기 GT와 상기 HAPS 사이에서 FSO 통신을 릴레이하는 MUAV의 최적 방위각을 결정하는 단계; 및

상기 릴레이 가능 영역 중 상기 최적 방위각에서 FSO 통신 중단 확률이 최소가 되도록 하는 상기 MUAV의 최적 고도를 경사 하강법을 기반으로 계산하여 상기 MUAV의 최적 궤도를 결정하는 단계를 포함하는 MUAV의 궤도 최적화 방법.

청구항 12

제11항에 있어서, 상기 릴레이 가능 영역을 판별하는 단계는

수집된 정보에 따라 상기 장애물 모델을 상기 장애물이 포함되는 위치 및 크기를 갖는 원기둥 형상으로 생성하는 MUAV의 궤도 최적화 방법.

청구항 13

제11항에 있어서, 상기 릴레이 가능 영역을 판별하는 단계는

상기 장애물 모델에 의한 상기 GT와 상기 HAPS 각각의 음영 영역을 확인하고,

상기 GT의 고도와 상기 HAPS의 고도 사이의 고도 영역에서 상기 음영 영역을 제외한 나머지 영역을 상기 릴레이 가능 영역으로 설정하는 MUAV의 궤도 최적화 방법.

청구항 14

제13항에 있어서, 상기 릴레이 가능 영역을 판별하는 단계는

상기 GT에서 조사된 광이 상기 장애물 모델에 의해 차단되는 원뿔대 형상의 제1 음영 영역과 상기 HAPS에서 조사된 광이 상기 장애물 모델에 의해 차단되는 역원뿔대 형상의 제2 음영 영역의 합으로 상기 음영 영역을 설정하는 MUAV의 궤도 최적화 방법.

청구항 15

제13항에 있어서, 상기 MUAV의 최적 궤도를 결정하는 단계는

고도에 따른 상기 음영 영역과 릴레이 가능 영역의 경계를 나타내는 원의 라인 상에서 상기 MUAV의 최적 궤도를 추출하는 MUAV의 궤도 최적화 방법.

청구항 16

제11항에 있어서, 상기 최적 방위각을 결정하는 단계는

상기 MUAV의 최적 방위각(ϕ_{opt})을 장애물 모델(50)의 중심 위치($w_c = (x_c, y_c, h_c)$) 중 XY 평면 상의 위치(x_c, y_c)를 기반으로 수학식

$$\tan \phi_{C,opt} = \frac{y_c}{x_c}$$

을 계산되는 장애물 방위각($\phi_{c,opt}$)으로 획득하는 MUAV의 궤도 최적화 방법.

청구항 17

제16항에 있어서, 상기 MUAV의 최적 궤도를 결정하는 단계는

상기 MUAV의 고도(H_M)의 상기 MUAV의 위치($q_M[n] = (d_{opt} \cos \phi_{opt}, d_{opt} \sin \phi_{opt}, H_M)$)에서 상기 음영

영역과 릴레이 가능 영역의 경계를 나타내는 원 상에 상기 GT 사이의 XY 평면 상의 거리(d_{opt})가 최소로 FSO 통신 중단 확률(P_{out})이 최소가 되도록 하는 최적 고도(H_M)를 경사 하강법에 기반하여 수학식

$$H_M^{(k+1)}[n] = H_M[n] - \eta \nabla \mathcal{P}_{out}(H_M^{(k)}[n])$$

(여기서 k는 반복 횟수, [n]은 타임 스탬프, η 는 MUAV(30)의 고도(H_M)에 대한 스텝 사이즈, ∇ 는 FSO 통신 중단 확률(P_{out})에 대한 기울기 함수를 나타낸다.)

에 따라 반복 계산하여 획득하는 MUAV의 궤도 최적화 방법.

청구항 18

제17항에 있어서, 상기 MUAV의 최적 궤도를 결정하는 단계는

상기 FSO 통신 중단 확률(P_{out})을 GM 링크 길이(d_{GM})에 따른 GM 링크 중단 확률($P_{out,GM}(d_{GM})$)과 MH 링크 길이(d_{MH})에 따른 MH 링크 중단 확률($P_{out,MH}(d_{MH})$)로 구분하여 수학식

$$\begin{aligned} P_{out} &= \text{Prob}\{\min(\gamma_{GM}, \gamma_{MH}) > \gamma_{th}\} \\ &= \text{Prob}\{\gamma_{GM} > \gamma_{th}\} \times \text{Prob}\{\gamma_{MH} > \gamma_{th}\} \\ &= 1 - (1 - P_{out,GM}(d_{GM})) (1 - P_{out,MH}(d_{MH})) \end{aligned}$$

(여기서 γ_{GM} 은 GM 링크에 대한 순시 SNR이고, γ_{MH} 은 MH 링크에 대한 순시 SNR이며, γ_{th} 은 FSO 통신이 유지될 수 있는 SNR 임계값이다.)

으로 계산하는 MUAV의 궤도 최적화 방법.

청구항 19

제18항에 있어서, MUAV의 최적 궤도를 결정하는 단계는

GM 링크 중단 확률($P_{out,GM}(d_{GM})$)과 MH 링크 중단 확률($P_{out,MH}(d_{MH})$)의 합이 1 이하인 조건에서 상기 FSO 통신 중단 확률(P_{out})을 계산하는 MUAV의 궤도 최적화 방법.

청구항 20

제18항에 있어서, MUAV의 최적 궤도를 결정하는 단계는

상기 MUAV의 속도 벡터($\mathbf{v}_M[n]$)가 최저 속도(V_{min})대한 여유 변수($\tau[n]$, 여기서 $V_{min} \leq \tau[n]$)에 대해 수학식

$$\tau[n] \leq -2\|\mathbf{v}_M[n]\|^2 + 3(\mathbf{v}_M^j[n])^T(2\mathbf{v}_M[n] - \mathbf{v}_M^j[n])$$

(여기서 $\mathbf{v}_M^j[n]$ 는 j번째 반복 시 획득된 속도 벡터($\mathbf{v}_M[n]$))

를 조건에서 상기 FSO 통신 중단 확률(P_{out})을 계산하는 MUAV의 궤도 최적화 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 개시되는 실시예들은 UAV의 궤도 최적화 장치 및 방법에 관한 것으로, 무선 광통신을 사용하는 IoT 백홀망 지원을 위한 릴레이 UAV의 궤도 최적화 장치 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 사물인터넷(Internet of Things: 이하 IoT)의 혁신은 새로운 시대의 연결과 5G 초연결 시스템으로 확장되어가고 있다. 수많은 IoT 연결과 데이터 흐름은 네트워크 망에 과부하를 초래하며, 이를 위한 대안으로서 백홀망에서

무선 광통신(Free Space Optics: 이하 FSO)를 사용하는 연구가 진행되고 있다. FSO 통신은 RF(radio frequency) 통신에 비해 큰 대역폭(Bandwidth)을 통한 높은 데이터율(data rate)을 제공하고, 보안 측면에서 안정성을 보이며, 가격 효율성이 좋고, 전력 소비량이 적다는 장점이 있다. 이러한 긍정적인 측면에서 5G, 6G 등의 차세대 통신망에서 FSO 통신은 주목받고 있다.

[0003] 다만 FSO 통신은 장애물이 있으면 통과할 수 없다는 명확한 단점이 존재하며, 구름, 안개 등에도 큰 감쇠를 겪는 특성이 존재한다. 또한 전자파가 아닌 광 기반의 통신이기 때문에 송신단과 수신단 간의 정렬 및 LoS(Line of Sight)가 필수적이다.

[0004] 따라서, FSO 통신은 장애물이 많은 지상에서의 수평 통신 보다는, 이동통신 관련 국제표준기구인 3GPP에서 제안하고 있는 비지상네트워크(Non-Terrestrial Network: 이하 NTN)에 접목해 사용하려는 시도가 증가하고 있다. NTN은 고고도 플랫폼(High Altitude Platform Stations: 이하 HAPS)이나 UAV(unmanned aerial vehicle) 등의 도움을 받아 통신하는 AGN(Air-to-Ground Network) 및 위성과 통신하는 SGN(Space-to-Ground Network (SGN))으로 구성되어 있다.

[0005] 그러나 NTN 역시 지상 터미널(Ground Terminal: 이하 GT)과의 FSO 통신시 구름이라는 장애물이 존재하며, 이를 탐지하고 송수신단간의 LoS를 보장할 수 있도록 통신 링크를 우회하는 방법이 필요하다. 통신 링크 우회는 GT와 HAPS 사이에 릴레이 노드를 배치해 통신링크를 멀티 홉(multi-hop)으로 구성하는 방식을 채택할 수 있으며, 릴레이 노드로는 주로 UAV 등의 무인 비행체가 사용되고 있다. 그리고 릴레이 노드로 이용되는 UAV는 송수신단간의 LoS를 항시 보장할 수 있도록 장애물을 회피하는 최적의 궤도를 따라 이동할 수 있어야 한다.

선행기술문헌

특허문헌

[0006] (특허문헌 0001) 한국 등록 특허 제10-2415222호 (2022.06.27 등록)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 개시되는 실시예들은 광 통신 링크를 중계하는 릴레이 UAV가 구름 등의 장애물을 회피하여 GT와 HAPS 사이의 LoS가 계속적으로 보장될 수 있도록 궤도를 최적화하는 릴레이 UAV의 궤도 최적화 장치 및 방법을 제공하는데 목적이 있다.

[0008] 개시되는 실시예들은 구름의 유형에 따른 특성과 이동에 따른 음영 영역을 고려하여, 릴레이 UAV의 3차원에서의 궤도를 최적화하는 릴레이 UAV의 궤도 최적화 장치 및 방법을 제공하는데 목적이 있다.

과제의 해결 수단

[0009] 실시예에 따른 릴레이 UAV의 궤도 최적화 장치는 지상 터미널(이하 GT)과 고고도 플랫폼(이하 HAPS) 사이에 위치하는 장애물에 대해 수집된 정보를 기반으로 장애물 모델을 생성하여, 상기 장애물 모델에 의해 판별되는 음영 영역과 릴레이 가능 영역을 판별하고, 상기 GT를 기준으로 상기 장애물 모델의 중심의 상대 위치를 기반으로 상기 GT와 상기 HAPS 사이에서 FSO 통신을 릴레이하는 MUAV의 최적 방위각을 결정하며, 상기 릴레이 가능 영역 중 상기 최적 방위각에서 FSO 통신 중단 확률이 최소가 되도록 하는 상기 MUAV의 최적 고도를 계산하여 상기 MUAV의 최적 궤도를 결정한다.

[0010] 릴레이 UAV의 궤도 최적화 장치는 수집된 정보에 따라 상기 장애물 모델을 상기 장애물이 포함되는 위치 및 크기를 갖는 원기둥 형상으로 생성할 수 있다.

[0011] 릴레이 UAV의 궤도 최적화 장치는 상기 장애물 모델에 의한 상기 GT와 상기 HAPS 각각에 대한 상기 음영 영역을 확인하고, 상기 GT의 고도와 상기 HAPS의 고도 사이의 고도 영역에서 상기 음영 영역을 제외한 나머지 영역을 상기 릴레이 가능 영역으로 판별할 수 있다.

[0012] 릴레이 UAV의 궤도 최적화 장치는 상기 GT에서 조사된 광이 상기 장애물 모델에 의해 차단되는 원뿔대 형상의 제1 음영 영역과 상기 HAPS에서 조사된 광이 상기 장애물 모델에 의해 차단되는 역원뿔대 형상의 제2 음영 영역

의 함으로 상기 음영 영역을 설정할 수 있다.

[0013] 릴레이 UAV의 궤도 최적화 장치는 고도에 따른 상기 음영 영역과 상기 릴레이 가능 영역의 경계를 나타내는 원의 라인 상에서 상기 MUAV의 최적 궤도를 추출할 수 있다.

[0014] 실시예에 따른 릴레이 UAV의 궤도 최적화 방법은 지상 터미널(이하 GT)과 고고도 플랫폼(이하 HAPS) 사이에 위치하는 장애물에 대해 수집된 정보를 기반으로 장애물 모델을 생성하여, 상기 장애물 모델에 의해 판별되는 음영 영역과 릴레이 가능 영역을 판별하는 단계; 상기 GT를 기준으로 상기 장애물 모델의 중심의 상대 위치를 기반으로 상기 GT와 상기 HAPS 사이에서 FSO 통신을 릴레이하는 MUAV의 최적 방위각을 결정하는 단계; 및 상기 릴레이 가능 영역 중 상기 최적 방위각에서 FSO 통신 중단 확률이 최소가 되도록 하는 상기 MUAV의 최적 고도를 경사 하강법을 기반으로 계산하여 상기 MUAV의 최적 궤도를 결정하는 단계를 포함한다.

발명의 효과

[0015] 따라서, 실시예에 따른 릴레이 UAV의 궤도 최적화 장치 및 방법은 구름과 같은 이동하는 장애물에 의한 음영 영역을 고려하여, 광 통신 링크를 중계하는 릴레이 UAV가 장애물을 회피하여 GT와 HAPS 사이의 LoS가 계속적으로 보장될 수 있도록 3차원에서의 궤도를 최적화할 수 있다. 또한 UAV의 에너지 소비를 저감시킬 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0016] 도 1은 FSO 통신을 사용하는 네트워크 모델의 일 예를 나타낸다.
 도 2는 일 실시예 따른 릴레이 UAV의 궤도 최적화 장치를 수행되는 동작에 따라 구분한 구성을 나타낸다.
 도 3은 도 2의 릴레이 UAV의 궤도 최적화 장치가 릴레이 가능 영역을 도출하는 개념을 설명하기 위한 도면이다.
 도 4는 일 실시예 따른 릴레이 UAV의 궤도 최적화 방법을 나타낸다.
 도 5는 일 실시예에 따른 컴퓨팅 장치를 포함하는 컴퓨팅 환경을 설명하기 위한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0017] 이하, 도면을 참조하여 일 실시예의 구체적인 실시형태를 설명하기로 한다. 이하의 상세한 설명은 본 명세서에서 기술된 방법, 장치 및/또는 시스템에 대한 포괄적인 이해를 돕기 위해 제공된다. 그러나 이는 예시에 불과하며 본 발명은 이에 제한되지 않는다.

[0018] 일 실시예들을 설명함에 있어서, 본 발명과 관련된 공지기술에 대한 구체적인 설명이 일 실시예의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략하기로 한다. 그리고, 후술되는 용어들은 본 발명에서의 기능을 고려하여 정의된 용어들로서 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 관례 등에 따라 달라질 수 있다. 그러므로 그 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다. 상세한 설명에서 사용되는 용어는 단지 일 실시예들을 기술하기 위한 것이며, 결코 제한적이어서는 안 된다. 명확하게 달리 사용되지 않는 한, 단수 형태의 표현은 복수 형태의 의미를 포함한다. 본 설명에서, "포함" 또는 "구비"와 같은 표현은 어떤 특성들, 숫자들, 단계들, 동작들, 요소들, 이들의 일부 또는 조합을 가리키기 위한 것이며, 기술된 것 이외에 하나 또는 그 이상의 다른 특성, 숫자, 단계, 동작, 요소, 이들의 일부 또는 조합의 존재 또는 가능성을 배제하도록 해석되어서는 안 된다. 또한, 명세서에 기재된 "...부", "...기", "모듈", "블록" 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어나 소프트웨어 또는 하드웨어 및 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.

[0019] 도 1은 FSO 통신을 사용하는 네트워크 모델의 일 예를 나타낸다.

[0020] 도 1에서는 일 예로 하나의 지상에 위치하는 하나의 GT(10)가 다수의 HAPS(20 ~ 22) 중 하나의 HAPS(20) 사이의 FSO 통신을 UAV(30)가 릴레이 하는 경우의 모델을 도시하였다. 도 1에 도시된 바와 같이, 지상에 위치하는 GT(10)는 주변 서비스 영역 내에 위치하는 다수의 IoT 플랫폼 기기들로부터 데이터를 수집하고, 수집된 데이터를 FSO 송신기를 이용하여 FSO 상향 링크를 통해 공중에 위치하는 하나의 HAPS(20)와 통신한다. 그리고 공중의 HAPS(20)는 다른 HAPS(21, 22)와 FSO 무선 백홀 링크를 통해 상호 통신을 수행할 수 있으며, 이에 GT(10)로부터 데이터를 수신한 HAPS(20)는 다른 HAPS(21, 22)로 데이터를 전송할 수 있다. 그리고 HAPS(20)는 다른 HAPS(21, 22)에서 전송된 데이터를 FSO 하향 링크를 통해 대응하는 지상의 GT(10)로 데이터를 전달할 수 있다.

[0021] 이때 고고도(여기서는 일 예로 20km 고도)에 위치하는 HAPS(20, 21, 22) 사이의 FSO 링크에서는 장애물이 존재

할 가능성이 거의 없으므로, HAPS(20, 21, 22) 사이에서는 직접 FSO 통신이 매우 원활하게 수행된다. 그러나 도 1와 같이, GT(10)와 HAPS(20) 사이의 직선 경로 상에는 구름과 같은 장애물이 존재할 수 있으며, FSO 통신 특성상 구름 등의 장애물은 큰 감쇠를 일으켜, GT(10)와 HAPS(20) 사이의 직접 FSO 통신이 불가능하게 한다.

[0022] 이와 같이 GT(10)와 HAPS(20) 사이의 직선 경로 장애 장애물이 존재하여 직접 FSO 통신이 불가능한 경우, 일반적으로 FSO 통신에서는 장애물을 우회하여 GT(10)와 HAPS(20)의 FSO 통신을 중계하도록 하는 UAV(30)를 이용하는 방법을 주로 사용한다. 여기서는 GT와 HAPS 사이의 FSO 통신을 중계하는 UAV를 MUAV(MALE(Medium litude long edurance) UAV) 혹은 릴레이 UAV라고 한다. MUAV는 지상의 GT(10)와 고고도의 HAPS(20) 사이의 중간 고도에 위치하며, UAV의 특성상 매우 자유로운 3차원 이동이 가능하다.

[0023] 다만 구름과 같은 장애물은 다양한 형태를 가지며, 여러 방향으로 이동할 수 있다. 따라서 MUAV(30)는 GT(10)와 HAPS(20) 사이에서 FSO 통신이 항상 원활하게 이루어질 수 있도록 장애물의 형태나 이동에 따라 다양한 위치로 이동해야 해야 한다. 특히 FSO 통신 품질을 보장할 수 있도록 최적의 궤도에 따라 이동할 수 있어야 한다.

[0024] 도 2는 일 실시예 따른 릴레이 UAV의 궤도 최적화 장치를 수행되는 동작에 따라 구분한 구성을 나타내고, 도 3은 도 2의 릴레이 UAV의 궤도 최적화 장치가 릴레이 가능 영역을 도출하는 개념을 설명하기 위한 도면이다.

[0025] 실시예에 따른 MUAV(릴레이 UAV)(30)의 궤도 최적화 장치(40)는 GT(10)에 구비될 수 있으며, 여기에서도 MUAV(30)를 위한 궤도 최적화 장치(40)가 GT(10)에 구비되는 것으로 가정하여 설명하지만, 경우에 따라서 궤도 최적화 장치(40)는 MUAV(30)나 HAPS(20)에 구비될 수도 있다.

[0026] 도 2를 참조하면, 실시예에 따른 MUAV 궤도 최적화 장치(40)는 장애물정보 획득 모듈(41), 장애물 모델링 모듈(42), 릴레이 가능 영역 판별 모듈(43) 및 최적 궤도 추출 모듈(44)을 포함할 수 있다.

[0027] 장애물 정보 획득 모듈(41)은 우선 GT(10)와 HAPS(20)의 직선 경로 상에 위치하여, GT(10)와 HAPS(20) 사이의 직접 FSO 통신을 방해할 수 있는 각종 장애물에 대한 정보를 획득한다. 여기서는 장애물이 FSO 통신을 방해하는 대표적인 장애물인 구름인 것으로 가정하여 설명한다. 그러나 실시예는 이에 한정되지 않으며 다른 장애물에 대해서도 유사하게 동작할 수 있다.

[0028] 장애물 정보 획득 모듈(41)은 FSO 통신의 장애물인 구름의 현재 위치, 이동 방향, 크기 등에 대한 정보를 수집하여 획득한다. 특히 장애물이 구름인 경우, 적란운(cumulonimbus), 적운(cumulus), 층운(stratus)과 같은 구름의 종류에 따라 감쇠 수준이 서로 상이하다. 이에 장애물 정보 획득 모듈(41)은 표 1과 같이, 구름의 종류에 대한 정보도 함께 획득할 수 있으며, 각 장애물의 특성에 따른 정보를 추가적으로 수집하여 획득할 수도 있다.

표 1

Cloud Type	Cumulus	Cumulonimbus	Stratus
Vertical Extent V_c [km]	2.0	3.0	0.6
Horizontal Extent H_c [km]	3.0	4.0	10.0
Liquid Water Content L [g/m ³]	0.6	1.0	0.29
Cloud Droplet Number Concentration N [cm ⁻³]	250	250	250
Cloud Attenuation A_c [dB/km]	99.9	139.2	62.4

[0029] 장애물 정보 획득 모듈(41)은 장애물의 종류에 따라 여러 외부 장치들로부터 장애물에 대한 정보를 수집하여 획득할 수 있으며, 장애물이 구름인 경우, 기상 정보 제공 서버 등으로부터 장애물 정보를 수집하여 획득할 수도 있다. 또한 경우에 따라서는 카메라 등과 같이 별도로 구비된 외부 장치를 이용하여 직접 장애물 정보를 수집하고 획득할 수도 있다.

[0031] 장애물 모델링 모듈(42)은 장애물 정보 획득 모듈(41)에서 획득한 장애물에 대한 정보를 기반으로 장애물을 기

하학 형상으로 모델링하여 장애물 모델(50)을 획득한다. 여기서 장애물 모델링 모듈(42)이 장애물을 기하학 형상으로 모델링하는 것은 장애물에 의해 FSO 통신이 수행되지 않는 음영 영역(shadowing area)을 용이하게 식별하여, 후술하는 FSO 통신을 위한 릴레이 가능 영역(Relaying Possible Area: RPA)를 도출할 수 있도록 하기 위함이다.

[0032] 특히 실시예에서 장애물 모델링 모듈(42)은 도 3의 (a)에 도시된 바와 같이, 장애물을 원기둥 형상으로 모델링하여 장애물 모델(50)을 획득할 수 있다. 이때 장애물 모델(50)은 장애물이 포함되는 크기로 모델링될 수 있다.

[0033] 다만 장애물이 구름인 경우, 상기한 바와 같이, 구름의 종류와 형상에 따른 위치별 두께에 따라 각 위치에서의 감쇠 수준이 서로 상이하다. 따라서 비록 장애물로서 구름이 존재하더라도 FSO 신호의 감쇠가 크지 않아 GT(10)와 HAPS(20)가 직접 FSO 통신을 수행할 수 있거나, MUAV가 위치하여 GT(10)와 HAPS(20) 사이의 FSO 통신 중계를 수행할 수 있는 경우도 있다. 즉 구름의 일부 영역의 경우, 실질적으로 FSO 통신에서의 장애물이 아닐 수도 있다. 이에 장애물 모델링 모듈(42)은 수집된 장애물 정보를 기반으로 FSO 통신이 불가능한 영역만이 장애물로서 장애물 모델(50)에 포함되도록 모델링을 수행할 수 있다.

[0034] FSO 신호가 구름을 통과할 때, 구름에 의한 감쇠 손실(A_c)은 수학식 1과 같이 계산될 수 있다.

수학식 1

$$A_C = \frac{3.91}{V} \left(\frac{\lambda_{FSO}}{\lambda_0} \right)^{\delta_{sca}} \quad [\text{dB/km}]$$

[0035]

여기서 V 는 추정 가능한 가시성을 나타내고, 수학식 2에 따라 계산될 수 있다.

수학식 2

$$V = 1.002 (L_{WC} \times N) \quad [\text{km}]$$

[0037]

[0038] 수학식 2에서 L_{WC} 는 평균 액체 수분 함량, N 은 구름 방울 수 농도, λ_0 는 가시 범위 기준 파장(예를 들면 550nm), λ_{FSO} 는 FSO 신호의 파장(여기서는 일 예로 1550nm), δ_{sca} 는 산란 계수의 크기 분포를 나타낸다. 그리고 산란 계수의 크기 분포(δ_{sca})는 수학식 3에 따라 계산될 수 있다.

수학식 3

$$\delta_{sca} = \begin{cases} 1.6 & V \geq 50 \text{ km} \\ 1.3 & 6 < V \leq 50 \text{ km} \\ 0.16V + 0.34 & 1 < V \leq 6 \text{ km} \\ V - 0.5 & 0.5 < V \leq 1 \text{ km} \\ 0 & V \leq 0.5 \text{ km} \end{cases}$$

[0039]

[0040] 이에 장애물 모델링 모듈(42)은 장애물이 구름인 경우, 표 1과 수학식 1의 감쇠 손실(A_c)을 고려하여, 구름에 의해 실제 FSO 통신이 불가능 영역이 모두 포함하도록 원기둥 형상의 장애물 모델(50)을 모델링할 수 있다.

[0041] 장애물 모델링 모듈(42)에 의해 장애물 모델이 획득되면, 릴레이 가능 영역 판별 모듈(43)은 MUAV(30)가 GT(10)와 HAPS(20) 사이에서 FSO 통신을 수행할 수 있는 릴레이 가능 영역(RPA)을 판별하여 도출한다.

[0042] 릴레이 가능 영역 판별 모듈(43)은 GT(10)와 HAPS(20)의 위치와 장애물 모델(50)의 위치 및 크기 기반으로, 우선 음영 영역(61, 62)을 검출하고, MUAV(30)이 위치할 수 있는 모든 영역에서 검출된 음영 영역(61, 62)을 제외하여 릴레이 가능 영역(RPA)을 획득할 수 있다.

- [0043] 이때 음영 영역(61, 62)은 도 3의 (a) 및 (b)에 도시된 바와 같이, 음영 영역(61, 62)은 GT(10)와 HAPS(20) 각각에서 조사되는 광이 장애물 모델에 의해 차단되는 영역으로 확인될 수 있으며, MUAV(30)가 GT(10)와 FSO 통신을 수행할 수 없는 제1 음영 영역(61)과 MUAV(30)가 HAPS(20)와 FSO 통신을 수행할 수 없는 제2 음영 영역(62)으로 구분될 수 있다. 여기서 도 3의 (b)는 도 3의 (a)를 GT(10)와 HAPS(20)의 위치를 기준으로 절단한 XZ 평면에서의 단면도를 나타내고, 도 3의 (c)와 (d)는 임의의 고도(H_b)에 따라 절단한 XY 평면 단면도를 나타낸다.
- [0044] 제1 음영 영역(61)은 장애물 모델(50)보다 높은 임의의 고도(H_b)에서 발생하는 음영 영역으로서, GT(10)에서 조사되는 FSO 신호를 MUAV(30)가 장애물로 인해 수신할 수 없는 영역이며, GT(10)에서 장애물 모델(50) 방향으로의 투영 영역을 나타낸다. 이에 제1 음영 영역(61)은 기준으로 장애물 모델(50)의 원형 하부면(O_{low}) 가장자리 방향으로 연장되어 형성되는 역원뿔 형상 영역에서 장애물 모델(50)의 하부면보다 낮은 고도 영역을 제외한 역원뿔대 형상 영역을 나타낸다. 그리고 제2 음영 영역(62)은 장애물 모델(50)보다 낮은 임의의 고도(H_b)에 위치할 때 발생하는 음영 영역으로서, HAPS(20)에서 조사되는 FSO 신호를 MUAV(30)가 장애물로 인해 수신할 수 없는 영역이며, HAPS(20)에서 장애물 모델(50) 방향으로의 투영 영역을 나타낸다. 제2 음영 영역(62)은 HAPS(20)를 기준으로 장애물 모델(50)의 원형 상부면(O_{up}) 가장자리 방향으로 연장되어 형성되는 원뿔 형상 영역에서 장애물 모델(50)의 상부면보다 높은 고도 영역을 제외한 원뿔대 형상 영역을 나타낸다.
- [0045] 제1 음영 영역(61)이 MUAV(30)가 GT(10)와 FSO 통신을 수행할 수 없는 영역을 나타내고, 제2 음영 영역(62)이 MUAV(30)가 HAPS(20)와 FSO 통신을 수행할 수 없는 영역을 나타내므로, 제1 음영 영역(61)과 제2 음영 영역(62)의 합을 제외한 나머지 영역에 MUAV(30)가 위치한다면, MUAV(30)는 GT(10)와 HAPS(20) 양쪽 모두와 FSO 통신을 수행할 수 있다. 즉 MUAV(30)가 GT(10)와 HAPS(20) 사이에서 FSO 통신을 중계할 수 있으며, 여기서는 이를 상기한 바와 같이 통신 가능 영역(RPA)라고 한다.
- [0046] 릴레이 가능 영역 판별 모듈(43)이 통신 가능 영역(RPA)을 확인하기 위해서는 고도(H_b)에 따른 음영 영역을 확인해야 한다. 역원뿔대 형상의 제1 음영 영역(61)과 원뿔대 형상의 제2 음영 영역(62)의 형상을 고려할 때, 고도(H_b)에 따른 XY 평면 상의 음영 영역은 도 3의 (c) 및 (d)서 회색으로 도시된 같이, 모두 원(C_1, C_2)으로 나타난다. 그리고 제1 음영 영역(61)과 제2 음영 영역(62)이 교차하는 음영 중심 고도를 도 3의 (b)에 도시한 바와 같이, H' 이라고 하면, 전체 음영 영역은 음영 중심 고도(H')에서 가장 작은 크기의 원($C_1 = C_2$)이 형성되고, 고도(H_b)가 음영 중심 고도(H')보다 높아지는 경우($H_b > H'$) 및 낮아지는 경우($H_b \leq H'$) 모두 XY 평면 상의 음영 영역의 크기가 증가하는 모래 시계 형상이 된다. 즉, 고도(H_b)에 따라 음영 영역을 나타내는 원의 반지름(R_b)이 증가하게 된다.
- [0047] 이에 릴레이 가능 영역 판별 모듈(43)은 고도(H_b)가 음영 중심 고도(H')보다 높은 경우($H_b > H'$)와 음영 중심 고도(H')보다 낮은 경우($H_b \leq H'$)를 구분하여, 고도(H_b)에 따른 통신 가능 영역(RPA)을 확인해야 한다.
- [0048] 시간 간격(δ_t)에 따른 타임 스텝(n , 여기서 $n = 0, 1, 2, \dots, N$)에서의 MUAV(30)의 위치 벡터를 $\mathbf{q}_M[n]$ 이라 하고, 속도 벡터를 $\mathbf{v}_M[n]$ 이라 하면, MUAV(30)의 위치 벡터($\mathbf{q}_M[n]$)와 속도 벡터($\mathbf{v}_M[n]$)는 수학식 4 및 5로 정의될 수 있다.

수학식 4

[0049]
$$\mathbf{q}_M[n] = (x_M[n], y_M[n], z_M[n]) \quad n = 0, 1, 2, \dots, N$$

수학식 5

[0050]
$$\mathbf{v}_M[n] = \frac{\mathbf{q}_M[n+1] - \mathbf{q}_M[n]}{\delta_t} \quad n = 0, 1, 2, \dots, N$$

[0051] 수학적 식 4에서 MUAV(30)의 Z 좌표($z_M[n]$)는 MUAV(30)의 고도를 나타내므로, $H_M[n]$ 라 할 수 있다. 즉 수학적 식 4의 MUAV(30)의 위치 벡터($\mathbf{q}_M[n]$)는 $\mathbf{q}_M[n] = (x_M[n], y_M[n], H_M[n])$ 으로 표현될 수도 있다.

[0052] 따라서 GT(10)와 MUAV(30) 사이의 링크 길이(d_{GM})와 MUAV(30)와 HAPS(20)사이의 링크 길이(d_{MH})는 수학적 식 6으로 계산된다.

수학적 식 6

$$d_{GM} = \|\mathbf{q}_M[n]\| = \sqrt{d_M^2[n] + H_M^2[n]}$$

$$d_{MH} = \|w_{HAPS} - \mathbf{q}_M[n]\|$$

$$= \sqrt{d_M^2[n] + (20 - H_M[n])^2}$$

[0053]

[0054] 그리고 여기서는 편의를 위하여 GT(10)의 3차원 위치 좌표를 (0, 0, 0)으로 설정하고, HAPS(20)는 준정적(quasi-stationary)인 것으로 고려하여 GT(10)의 Z축 방향 지정된 고도(H_{HAPS} , 여기서는 일 예로 20km)의 위치 (0, 0, H_{HAPS})에 배치된 것으로 가정한다.

[0055] 따라서 GT(10)와 HAPS(20)를 잇는 직선(여기서는 Z축)으로부터 MUAV(30)의 위치까지의 수평거리(d_M)는 수학적 식 7로 계산된다.

수학적 식 7

$$d_M = \sqrt{x_M^2[n] + y_M^2[n]}$$

[0056]

[0057] 또한 도 3의 (a) 및 (b)에 도시된 바와 같이, 이동 속도($v_c = v_{x,c}, v_{y,c}, v_{z,c}$)에 따라 이동하는 장애물의 타입 스템프(n)의 위치에서 원기둥형으로 모델링된 장애물 모델(50)의 중심 좌표($w_c[n]$)를 ($x_c[n], y_c[n], H_c[n]$)라 하고, 원기둥형 장애물 모델에서 상하부면(O_{up}, O_{low})의 반지름은 R_c , 하부면(O_{low})의 고도는 H_c 이고, 장애물 모델(50)의 두께, 즉 원기둥 길이는 V_c 이라고 한다. 따라서 장애물 모델(50)에서 원형 하부면(O_{low})의 중심 좌표($w_{c,low}[n]$)는 ($x_{c,low}[n], y_{c,low}[n], H_c[n]$)이고, 원형 상부면(O_{up})의 중심 좌표($w_{c,up}[n]$)는 ($x_{c,up}[n], y_{c,up}[n], H_c[n]+V_c$)이다.

[0058] 이에 장애물 모델(50)에서 원형 하부면(O_{low})과 원형 상부면(O_{up}) 각각의 영역은 원 중심 좌표($w_{c,low}[n], w_{c,up}[n]$)에서 원 반지름(R_c)보다 가까운 모든 영역을 나타내므로 수학적 식 8과 같이 정의 될 수 있다.

수학적 식 8

$$O_{low} = \{\|\mathcal{O}_{low} - w_{c,low}\| < R_c, H = H_c\}$$

$$O_{up} = \{\|\mathcal{O}_{up} - w_{c,up}\| < R_c, H = H_c + V_c\}$$

[0059]

[0060] 그리고 고도(H_p)에 따른 장애물 모델(50)에 의한 음영 영역의 중심(w_p)은 수학적 식 9와 같이 계산될 수 있다.

수학식 9

$$w_p[n] = \begin{cases} \frac{H_{HAPS} - H_p}{H_{HAPS} - (H_c + V_c)} w_{c,low}[n] & H_p \leq H' \\ \frac{H_p}{H_c} w_{c,low}[n] & H_p > H' \end{cases}$$

[0061]

[0062] 한편, 도 3의 (c)는 고도(H_p)가 음영 중심 고도(H')보다 높은 경우($H_p > H'$)의 XY 평면 상의 음영 영역($O_{p,1}$)을 나타내고, 도 3의 (d)는 고도(H_p)가 음영 중심 고도(H')보다 낮은 경우($H_p \leq H'$)의 XY 평면 상의 제2 음영 영역($O_{p,1}$)을 나타낸다.

[0063] 도 3의 (a) 내지 (d)를 참조하면, GT(10)와 HAPS(20) 사이에 위치하는 장애물 모델(50)에 의한 전체 음영 영역(O_p)은 수학식 10으로 정의될 수 있다.

수학식 10

$$O_p = O_{p,1} \cup O_{p,2}$$

where

$$O_{p,1} = \left\{ \|O_{p,1} - w_p\| < R_p, H_p \geq H' \right\}$$

$$O_{p,2} = \left\{ \|O_{p,2} - w_p\| < R_p, H_p < H' \right\}$$

[0064]

[0065] 그리고 릴레이 가능 영역(RPA)은 전체 음영 영역(O_p)을 제외한 나머지 모든 영역이고, 이를 고도(H_p)가 음영 중심 고도(H')에 따라 높은지 또는 낮은지에 따라 제1 및 제2 릴레이 가능 영역(A_1, A_2)로 구분하면 수학식 11과 같이 정의될 수 있다.

수학식 11

$$RPA = A_1 \cup A_2$$

where

$$A_1 = \left\{ \|A_1 - w_p\| \geq R_p, H_p \geq H' \right\}$$

$$A_2 = \left\{ \|A_2 - w_p\| \geq R_p, H_p < H' \right\}$$

[0066]

[0067] 또한 M 전체 음영 영역(O_p)에서 고도(H_p)에 따라 XY 평면 상에 나타나는 음영 원(C) 원주 또한 제1 및 제2 음영 영역(61, 62)에 따라 제1 원(C_1)과 제2 원(C_2)으로 구분되어 수학식 12와 같이 정의될 수 있다.

수학식 12

$$\mathcal{C} = \mathcal{C}_1 \cup \mathcal{C}_2$$

where

$$\mathcal{C}_1 = \left\{ \|C_1 - w_p\| = R_p, H_p \geq H' \right\}$$

$$\mathcal{C}_2 = \left\{ \|C_2 - w_p\| = R_p, H_p < H' \right\}$$

[0068]

[0069]

릴레이 가능 영역 판별 모듈(43)에 의해 릴레이 가능 영역(RPA)이 판별되면, 최적 궤도 추출 모듈(44)이 MUAV(30)의 최적 궤도를 계산하여 추출한다. 최적 궤도 추출 모듈(44)은 MUAV(30)의 방위각을 최적화하기 위한 방위각 최적화 모듈(45) 및 MUAV(30)의 고도(H_M)를 최적화하기 위한 고도 최적화 모듈(46)을 포함할 수 있다.

[0070]

릴레이 가능 영역 판별 모듈(43)이 전체 음영 영역(O_p)과 고도(H_p)에 따른 릴레이 가능 영역(RPA)을 분석하여, 최적 궤도를 추출하기 위해서는 우선 GT(10)와 HAPS(20)에 대한 양각(elevation angle)과 부각(depression angle) 및 방위각이 정의되어야 한다.

[0071]

GT(10)로부터 MUAV(30)가 n 타임 스템프($[n]$)에서의 위치($q_M[n] = x_M[n], y_M[n], H_M[n]$)에 따른 고도(H_M)까지의 양각(ψ_{GM})은 수학식 13으로 계산될 수 있다.

수학식 13

$$\psi_{GM} = \arctan \left(\frac{H_M[n]}{d_M[n]} \right)$$

[0072]

[0073]

GT(10)의 양각(ψ_{GM})에는 최대 양각($\psi_{GM,max}$)이 존재하며, 이에 MUAV(30)의 고도(H_M)가 음영 중심 고도(H') 이상인지 여부에 따라 수학식 13은 수학식 14로 다시 정리될 수 있다.

수학식 14

$$\begin{cases} \psi_{GM} \leq \tan^{-1} \left(\frac{H_M}{H_{HAPS} - H_M} \psi_{GM,max} \right) & H_M \leq H' \\ \psi_{GM} \leq \psi_{GM,max} & H_M > H' \end{cases}$$

[0074]

[0075]

이때 GT(10)가 제1 음영 영역($O_{p,1}$)을 회피하기 위해 요구되는 최대 양각($\psi_{GM,max}$)은 장애물의 위치에 따른 장애물 방위각(ϕ_c)과 제1 음영 영역($O_{p,1}$)의 반지름(R_p)에 따라 변화되며, 수학식 15와 같이 계산될 수 있다.

수학식 15

$$\psi_{GM,max} = \tan^{-1} \left(\frac{H_M}{\sqrt{(x_M[n] + R_p \cos \phi_c)^2 + (y_M[n] + R_p \sin \phi_c)^2}} \right)$$

[0076]

[0077] 한편 HAPS(20)로부터 MUAV(30)가 위치할 임의의 고도(H_M)까지의 부각(ψ_{MH})은 수학식 16으로 계산될 수 있다.

수학식 16

[0078]
$$\psi_{MH} = \arctan \left(\frac{H_{HAPS} - H_M[n]}{d_M[n]} \right)$$

[0079] GT(10)에 대한 최대 양각($\psi_{GM,max}$)과 유사하게 HAPS(20)에 대한 최대 부각($\psi_{MH,max}$)은 MUAV(30)의 고도(H_M)가 음영 중심 고도(H') 이상인지 여부에 따라 수학식 17과 정리될 수 있다.

수학식 17

[0080]
$$\begin{cases} \psi_{MH} \leq \psi_{MH,max} & H_M \leq H' \\ \psi_{MH} \leq \tan^{-1} \left(\frac{H_M}{H_{HAPS} - H_M} \psi_{GM,max} \right) & H_M > H' \end{cases}$$

[0081] 따라서 HAPS(20)가 제2 음영 영역($O_{p,2}$)을 회피하기 위해 요구되는 최대 양각($\psi_{GM,max}$)은 장애물의 위치에 따른 장애물 방위각(ϕ_c)과 제2 음영 영역($O_{p,2}$)의 반지름(R_p)에 따라 변화되며, 수학식 18과 같이 계산될 수 있다.

수학식 18

[0082]
$$\psi_{MH,max} = \tan^{-1} \left(\frac{20 - (H_M + V_C)}{\sqrt{(x_M[n] + R_p \cos \phi_c)^2 + (y_M[n] + R_p \sin \phi_c)^2}} \right)$$

[0083] 수학식 15 및 18에 따르면, GT(10)로부터 MUAV(30) 사이의 양각(ψ_{GM})과 HAPS(20)와 MUAV(30) 사이의 부각(ψ_{MH})은 모두 장애물 방위각(ϕ_c)에 관련된 함수이다. 여기서 장애물 방위각(ϕ_c)은 임의의 고도(H_p)에 따른 XY 평면을 기준으로 하는 2차원 좌표에서의 장애물 중심 위치에 대한 방위각으로 정의되며 $[0, 2\pi]$ 의 범위를 갖는다.

[0084] 한편, GT(10)로부터 MUAV(30) 방향의 방위각을 GT 방위각(ϕ_{GT})라 하고, GT 방위각(ϕ_{GT})은 수학식 19로 계산될 수 있다.

수학식 19

[0085]
$$\phi_{GT} = \tan^{-1} \left(\frac{y_M[n]}{x_M[n]} \right)$$

[0086] 이와 같은 FSO 통신 시스템에서 MUAV(30)의 경로를 최적화하기 위해 여기서는 최적화 목적 함수(P_{out})가 우선 설정한다. 실제에서 최적화 목적 함수(P_{out})는 FSO 신호가 중단되는 FSO 통신 중단 확률로 정의되며, 따라서 FSO 통신 중단 확률(P_{out})을 최소화할 수 있는 MUAV(30)의 경로가 최적화 경로라 할 수 있다.

[0087] FSO 통신 중단 확률(P_{out})을 설정하기 위해, 우선 FSO 통신에서 송신단과 수신단 사이의 신호대 잡음비(SNR)를

분석한다.

[0088] 송신단(예를 들면 GT(10))에서 전송되어 수신단(예를 들면 MUAV(30))로 수신된 FSO 신호는 포토 디텍터(photodetector: PD)에서 검출되어 전류로 변환된다. 이때 광 검출기에서 검출되는 수신 FSO 신호(r)는 수학식 20으로 표현될 수 있다.

수학식 20

[0089]
$$r = hs + n$$

[0090] 여기서 h 는 총 채널 계수, s 는 평균 광 파워(average optical power, P_t)를 갖고 전송된 심볼, n 은 분산(σ_n^2)을 갖는 신호 의존 제로 평균 가우스 잡음(signal-dependent zero-mean Gaussian noise)을 나타낸다.

[0091] 그리고 수학식 20의 수신 FSO 신호(r)에 대한 순시 SNR(instantaneous SNR)(γ)은 수학식 21로 정의된다.

수학식 21

[0092]
$$\gamma = \frac{R^2 h^2 P^2}{\sigma_n^2}$$

[0093] 여기서 P 는 전송 전력을 나타내고, R 은 입사광의 전력(P_t)에 대한 광전류 신호의 비율로 계산되는 포토 디텍터(PD)의 응답성을 나타내며, σ_n^2 열 잡음 분산을 나타낸다.

[0094] 상기한 최적화 목적 함수인 FSO 통신 중단 확률(P_{out})은 수학식 19에 따라 계산되는 순시 SNR(γ)이 SNR 임계값(γ_{th})을 만족시키지 못하는 경우의 확률로 정의될 수 있으며, 순시 SNR(γ)의 확률 밀도 함수(probability density function: PDF)($f_\gamma(\gamma)$)는 채널 계수(h)에 대한 단조 증가 함수이고, 이에 FSO 통신 중단 확률(P_{out})은 채널 계수(h)의 확률 밀도 함수(PDF)($f_h(h)$)로 수학식 22와 같이 표현될 수 있다.

수학식 22

[0095]
$$P_{out} = \int_0^{\gamma_{th}} f_\gamma(\gamma) d\gamma = \int_0^{h_{th}} f_h(h) dh$$

[0096] 여기서 γ_{th} 는 SNR 임계값, h_{th} 는 채널 임계값을 나타낸다.

[0097] 다만 실시예에서는 MUAV(30)가 GT(10)에서 전송된 FSO 신호를 HAPS(20)로 릴레이 전달하는 경우를 가정하였으므로, MUAV(30)의 릴레이에 따른 중단간 SNR(γ)은 수학식 23과 같이 GT(10)와 MUAV(30) 사이의 링크인 GM 링크에 대한 순시 SNR(γ_{GM}) 및 MUAV(30)와 HAPS(20) 사이의 링크인 MH 링크에 대한 순시 SNR(γ_{MH}) 중 작은 값으로 결정될 수 있다.

수학식 23

[0098]
$$\gamma = \min(\gamma_{GM}, \gamma_{MH})$$

[0099] 그러므로 MUAV(30)의 릴레이에 따른 GT(10)와 HAPS(20) 사이에서 FSO 통신 중단 확률(P_{out})은 수학적 식 24로 표현될 수 있다.

수학적 식 24

$$\begin{aligned}
 P_{out} &= \text{Prob}\{\min(\gamma_{GM}, \gamma_{MH}) > \gamma_{th}\} \\
 &= \text{Prob}\{\gamma_{GM} > \gamma_{th}\} \times \text{Prob}\{\gamma_{MH} > \gamma_{th}\} \\
 &= 1 - (1 - P_{out,GM}(d_{GM})) (1 - P_{out,MH}(d_{MH}))
 \end{aligned}$$

[0100]

[0101] (여기서 $P_{out,GM}(d_{GM})$ 는 GM 링크 길이(d_{GM})에 따른 GM 링크 중단 확률과 $P_{out,MH}(d_{MH})$ MH 링크 길이(d_{MH})에 따른 MH 링크 중단 확률을 나타낸다.)

[0102] 따라서 MUAV(30)의 경로 최적화 문제는 수학적 식 24의 FSO 통신 중단 확률(P_{out})이 지정된 조건 하에서 최소가 되도록 하는 MUAV(30)의 위치($q_M[n]$)를 계산하는 것으로 수학적 식 25와 같이 정리될 수 있다.

수학적 식 25

$$\begin{aligned}
 \min_{d_{GM}, d_{MH}} \quad & \mathcal{P}_{out} \\
 \text{subject to} \quad & \mathbf{q}_M[n] \in \mathcal{RPA} \\
 & 0 \leq H_M[n] \leq H_{HAPS} \\
 & V_{min} \leq \|v_M[n]\| \leq V_{max}
 \end{aligned}$$

[0103]

[0104] 수학적 식 25에서 제1 조건($q_M[n] \in RPA$)은 MUAV(30)의 위치($q_M[n]$)가 릴레이 가능 영역(RPA)에 포함되어야 함을 나타내고, 제2 조건($0 \leq H_M[n] \leq H_{HAPS}$)은 MUAV(30)의 고도($H_M[n]$)가 GT(10)의 고도(0)와 HAPS(20)의 고도(H_{HAPS}) 사이이어야 함을 의미하며, 제3 조건($V_{min} \leq \|v_M[n]\| \leq V_{max}$)은 MUAV(30)의 속도 벡터($v_M[n]$)는 MUAV(30)의 최소 속도(V_{min})와 최대 속도(V_{max}) 사이이어야 함을 의미한다.

[0105] 수학적 식 25을 계산하기 위해서는 수학적 식 24의 GM 링크 중단 확률($P_{out,GM}(d_{GM})$)과 MH 링크 중단 확률($P_{out,MH}(d_{MH})$)을 알아야 하며, GM 링크 중단 확률($P_{out,GM}(d_{GM})$)과 MH 링크 중단 확률($P_{out,MH}(d_{MH})$)은 GM 링크와 MH 링크에 대한 순시 SNR(γ_{GM}, γ_{MH})로부터 도출될 수 있다.

[0106] 수학적 식 23으로부터 GM 링크에 대한 순시 SNR(γ_{GM})은 수학적 식 21를 기반으로 수학적 식 26으로 계산될 수 있다.

수학적 식 26

$$r_{GM} = \frac{R_M^2 h_{GM}^2 P_G^2}{\sigma_{GM}^2} P_{LoS}^{GM2}$$

[0107]

[0108] 여기서 R_M 은 MUAV(30)의 포토 디텍터(PD) 응답성, h_{GM} 은 GM 링크의 채널 계수, P_G 는 GT(10)의 FSO 신호 전송 전력, σ_{GM}^2 은 GM 링크 열 잡음 분산을 나타낸다. 그리고 P_{LoS}^{GM} 는 GM 링크의 LOS 확률로서, 수학적 식 27로 계산될 수 있다.

수학식 27

$$P_{LoS}^{GM} = \frac{1}{1 + \beta \exp(\alpha(\psi_{GM}[n] - \beta))}$$

[0109]

[0110] 여기서 α , β 는 해당 지역의 도시화에 따른 상수이다.

[0111] 유사하게 수학식 23에서 MH 링크에 대한 순시 SNR(γ_{MH})은 수학식 21를 기반으로 수학식 28로 계산될 수 있다.

수학식 28

$$\gamma_{MH} = \frac{R_H^2 h_{MH}^2 P_M^2 P_{LoS}^{MH}}{\sigma_{MH}^2}$$

[0112]

[0113] 여기서 R_H 은 HAPS(20)의 포토 디텍터(PD) 응답성, h_{MH} 은 MH 링크의 채널 계수, P_M 은 MUAV(30)의 FSO 신호 전송 전력, σ_{MH}^2 은 MH 링크의 열 잡음 분산을 나타낸다. P_{LoS}^{MH} 는 MH 링크의 LOS 확률이지만, GM 링크와 달리 MH 링크에서는 별도의 인프라가 존재하지 않으므로 무시할 수 있다. 즉 MH 링크의 LOS 확률(P_{LoS}^{MH})을 1로 계산할 수 있다.

[0114] 이에 수학식 24의 GM 링크 중단 확률($P_{out,GM}(d_{GM})$)과 MH 링크 중단 확률($P_{out,MH}(d_{MH})$)은 각각 수학식 29 및 30으로 계산될 수 있다.

수학식 29

$$P_{out,GM}(d_{GM}) = B_{GM} \left(\frac{w_{z,GM}^2}{2r_{a,GM}^2} h_{th,GM} \right)^{B_{GM}} \times \exp(2\sigma_{R,GM}^2 (B_{GM}^2 + B_{GM}) + B_{GM} L_{sca,GM} d_{GM})$$

[0115]

[0116] 여기서 $h_{th,GM} = \sqrt{\sigma_{GM}^2 \gamma_{th}} / R_{GM} P_G P_{LoS}^{GM}$ 는 GM 링크의 채널 임계값이고, σ_{GM}^2 은 GM 링크의 열 잡음 분산, $r_{a,GM}$ 은 GM 링크의 FSO 신호의 빔 반경, $\sigma_{R,GM}^2$ 는 GM 링크에서 FSO 신호의 빔 분산, $L_{sca,GM}$ 은 GM 링크의 산란 계수(Scattering coefficient)이며, $w_{z,GM}$ 은 GM 링크의 거리가 z km 일때의 빔 분산이고, B_{GM} 은 계산의 편의를 위해 $B_{GM} = w_{z,GM}^2 / 4\sigma_{R,GM}^2$ 로 계산되는 상수이다.(정의 기재 부탁드립니다.)

수학식 30

$$P_{out,MH}(d_{MH}) = B_{MH} \left(\frac{w_{z,MH}^2}{2r_{a,MH}^2} h_{th,MH} \right)^{B_{MH}} \times \exp(2\sigma_{R,MH}^2 (B_{MH}^2 + B_{MH}) + B_{MH} L_{sca,MH} d_{MH})$$

[0117]

[0118] 여기서 $h_{th,MH} = \sqrt{\sigma_{MH}^2 \gamma_{th}} / (R_{MH} P_G P_{LoS}^{MH})$ 는 MH 링크의 채널 임계값이고, σ_{MH}^2 은 MH 링크의 열 잡음 분산, $r_{a,GM}$ 은 GM 링크의 FSO 신호의 빔 반경, $\sigma_{R,MH}^2$ 는 FSO 신호의 빔 분산, $L_{sca,MH}$ 은 MH 링크의 산란 계수이며, $w_{z,MH}$ 는 GM 링크의 거리가 z km 일때의 빔 분산이고, B_{GM} 은 계산의 편의를 위해 $B_{MH} = w_{z,MH}^2 / 4\sigma_{R,MH}^2$ 으로 계산되는 상수이다.

[0119] 따라서 수학적 식 29 및 30을 수학적 식 24에 반영하여, 수학적 식 25의 문제를 해결해야 한다. 다만 수학적 식 24는 넢컨 벡스(Non-Convex) 문제로서 수학적 식 25의 해가 용이하게 도출되지 않는다.

[0120] 따라서 수학적 식 25를 컨벡스 문제로 변형시킬 필요가 있다. 이를 위해 우선 수학적 식 31와 같이 GM 링크 중단 확률($P_{out,GM}(d_{GM})$)과 MH 링크 중단 확률($P_{out,MH}(d_{MH})$)의 합이 1 이하인 조건을 추가한다.

수학적 식 31

[0121]
$$P_{out,GM}(d_{GM}) + P_{out,MH}(d_{MH}) \leq 1$$

[0122] 수학적 식 31의 조건이 추가되면, 수학적 식 24의 FSO 통신 중단 확률(P_{out}) 자체는 컨벡스(Convex)를 만족하게 된다. 그러나 수학적 식 24의 제3 조건($V_{min} \leq \|v_M[n]\| \leq V_{max}$)에서 하한을 나타내는 MUAV(30)의 속도 벡터($v_M[n]$)는 MUAV(30)의 최소 속도(V_{min}) 이상이어야 한다는 조건에 의해 넢컨벡스(Non-Convex) 집합이 발생할 수 있다. 이를 해소하기 위해, MUAV(30)의 속도 벡터($v_M[n]$)의 하한에 대한 여유 변수(slack variable)($\tau[n]$, 여기서 $V_{min} \leq \tau[n]$)을 추가로 설정함으로써, MUAV(30)의 속도 벡터($v_M[n]$)의 하한 조건을 수학적 식 32로 변형시킬 수 있으며, 수학적 식 32에서 MUAV(30)의 속도 벡터($v_M[n]$)는 반복 연산으로 계산될 수 있다.

수학적 식 32

[0123]
$$\tau[n] \leq -2\|v_M[n]\|^2 + 3(v_M^j[n])^T(2v_M[n] - v_M^j[n])$$

[0124] (여기서 $v_M^j[n]$ 는 j번째 반복 시 획득된 속도 벡터($v_M[n]$))

[0125] 한편, MUAV(30)가 고도(H_M)에 따라 음영 원(C)의 원주, 즉 제1 원(C_1)과 제2 원(C_2) 상에 위치할 때 최대 SNR을 획득할 수 있다고 고려할 수 있다.

[0126] 수학적 식 13에 따른 GM 링크의 양각(ψ_{GM})과 수학적 식 16에 따른 MH 링크의 부각(ψ_{MH}) 기반으로, MUAV(30)의 고도(H_M)에 따른 XY 평면에서의 수평 거리(d_M)는 수학적 식 7 뿐만 아니라 수학적 식 33과 같이 표현될 수 있다.

수학적 식 33

[0127]
$$d_M[n] = \frac{H_M[n]}{\tan \psi_{GM}} = \frac{H_{HAPS} - H_M}{\tan \psi_{MH}}$$

[0128] 수학적 식 7 및 33으로부터 MUAV(30)의 고도(H_M)가 음영 중심 고도(H') 이상($H_M \geq H'$)인 경우에서 GT(10)과 MUAV(30) 사이의 XY 평면 상의 거리($d_{GM}[n]$)는 각각 수학적 식 34로 표현될 수 있다.

수학적 식 34

[0129]
$$\begin{aligned} d_{GM}[n] &= \sqrt{d_M^2[n] + H_M^2[n]} \\ &= \sqrt{H_M^2[n] (1 + \cot^2(\psi_{GM}))} \\ &= H_M[n] \csc(\psi_{GM}[n]) \end{aligned}$$

[0130] 이때, GM 링크의 양각(ψ_{GM})의 범위는 $(0, \psi_{GM,max})$ 이며, GM 링크의 양각(ψ_{GM})에 대한 편미분은 수학식 35와 같이 계산된다.

수학식 35

[0131]
$$\frac{\partial d_{GM}}{\partial \psi_{GM}} = \frac{-H_M}{\sin(\psi_{GM}) \tan(\psi_{GM})} < 0$$

[0132] 여기서 GM 링크의 양각(ψ_{GM})이 $0 < \psi_{GM} < \pi/2$ 이므로, $\sin(\psi_{GM}) > 0$ 이고, $\cos(\psi_{GM}) > 0$ 이다. 따라서 GM 링크의 양각(ψ_{GM})의 편미분은 음수 값이며, GT(10)과 MUAV(30) 사이의 XY 평면 상의 거리($d_{GM}[n]$)는 GM 링크의 양각(ψ_{GM})에 대한 감소 함수로서, GT(10)의 최대 양각($\psi_{GM,max}$)인 경우에 최소값을 갖는다. 그리고 이는 MUAV(30)와 HAPS(20) 사이의 XY 평면 상의 거리($d_{MH}[n]$)에서도 동일하게 적용되며, 따라서 MUAV(30)의 고도(H_M)가 음영 중심 고도(H') 이상($H_M \geq H'$)인 경우에 최대 SNR을 획득하기 위해서는 제1 원(C_1)의 라인만을 고려하면 된다.

[0133] 유사하게 MUAV(30)의 고도(H_M)가 음영 중심 고도(H') 미만($H_M < H'$)인 경우, 최대 SNR을 획득하기 위해서는 제2 원(C_2)의 라인만을 고려하면 된다.

[0134] 그리고 제1 원(C_1)과 제2 원(C_2)에서도 최대 SNR을 획득하기 위한 MUAV(30)의 위치를 획득하기 위해서는 우선 고도(H_p)에 따른 GT(10)와의 릴레이 가능 영역(RPA)의 중심 사이의 XY 평면 상의 거리($d(\phi_C, H_p)$)를 수학식 36과 같이 정의한다.

수학식 36

[0135]
$$d(\phi_C, H_p) = \sqrt{(x_p + R_p \cos \phi_C)^2 + (y_p + R_p \sin \phi_C)^2}$$

[0136] 이에 수학식 36을 최소화하는 최적 장애물 방위각($\phi_{C,opt}$)은 수학식 37에 따라 계산될 수 있다.

수학식 37

[0137]
$$\phi_{C,opt} = \arg \min_{\phi_C} d(\phi_C, H_p)$$

[0138] 그리고 수학식 37을 만족하는 최적 장애물 방위각($\phi_{C,opt}$)은 수학식 38로 계산된다.

수학식 38

[0139]
$$\tan \phi_{C,opt} = \frac{y_C}{x_C}$$

[0140] 수학식 38에서는 MUAV(30)의 고도(H_M)에 관계없이 최적 장애물 방위각($\phi_{C,opt}$)이 계산됨을 알 수 있다. 그리고 수학식 19의 GT(10)로부터 MUAV(30) 방향의 GT 방위각(ϕ_{GT})의 최적값, 즉 최적 GT 방위각($\phi_{GT,opt}$)은 수학식 38의 최적 장애물 방위각($\phi_{C,opt}$)과 동일하다.

[0141] 수학식 38에 따라 최적 GT 방위각($\phi_{GT,opt}$)이 결정되면, MUAV(30)는 GT 방위각(ϕ_{GT}) 방향에 위치해야 하므로, 방위각 최적화 모듈(45)은 수학식 38을 기반으로 최적 GT 방위각($\phi_{GT,opt}$)을 계산한다.

[0142] 그리고 수학식 4의 MUAV(30)의 위치($q_M[n]$)는 수학식 39로 다시 표현될 수 있다.

수학식 39

[0143]
$$q_M[n] = (d_{opt} \cos \phi_{opt}, d_{opt} \sin \phi_{opt}, H_M)$$

[0144] 여기서 d_{opt} 는 MUAV(30)의 고도(H_M)에서 GT(10)와 MUAV(30) 사이의 XY 평면 상의 최소 거리로서, 수학식 40으로 표현될 수 있다.

수학식 40

[0145]
$$d_{opt} = d(\phi_{GT,opt}, H_M)$$

[0146] (여기서 $d(\cdot)$ 는 수학식 36과 같이 계산되는 거리 함수이다.)

[0147] 이에 고도 최적화 모듈(46)은 수학식 24의 FSO 통신 중단 확률(P_{out})을 최소화하는 수학식 25의 해를 도출하기 위해, 경사하강법(Gradient descent algorithm)에 기반하여 수학식 41을 반복 계산함으로써, 최적의 MUAV(30)의 고도(H_M)를 추출한다.

수학식 41

[0148]
$$H_M^{(k+1)}[n] = H_M[n] - \eta \nabla \mathcal{P}_{out}(H_M^{(k)}[n])$$

[0149] 여기서 k 는 반복 횟수, n 는 MUAV(30)의 고도(H_M)에 대한 스텝 사이즈를 나타내고, ∇ 는 기울기 함수를 나타낸다.

[0150] 결과적으로 실시예의 릴레이 UAV의 궤도 최적화 장치는 장애물 정보를 획득하여, 장애물을 원기둥 형상의 장애물 모델로 모델링하며, GT(10)와 HAPS(20)에서 장애물 모델을 향해 투영하여 생성되는 음영 영역(61, 62)을 제외한 나머지 영역을 릴레이 가능 영역(RPA)로 설정한다. 그리고 음영 영역(61, 62)과 릴레이 가능 영역(RPA)의 경계를 나타내는 원(C_1, C_2) 상에서 GT(10)와의 XY 평면 상의 거리를 최소로 하는 최적 GT 방위각($\phi_{GT,opt}$)을 장애물 모델(50)의 중심 위치($w_c = (x_c, y_c, h_c)$) 중 XY 평면 상의 위치(x_c, y_c)를 기반으로 수학식 38에 따라 계산한다. 그리고 최적 GT 방위각($\phi_{GT,opt}$)에 따라 수학식 39로 나타나는 MUAV(30)의 위치($q_M[n]$)에서 MUAV(30)의 최적 고도(H_M)를 경사하강법을 기반으로 수학식 41에 따라 반복 계산하여 획득함으로써, MUAV(30)의 최적 궤도를 도출한다.

[0151] 도시된 실시예에서, 각 구성들은 이하에 기술된 것 이외에 상이한 기능 및 능력을 가질 수 있고, 이하에 기술되지 것 이외에도 추가적인 구성을 포함할 수 있다. 또한, 일 실시예에서, 각 구성은 물리적으로 구분된 하나 이상의 장치를 이용하여 구현되거나, 하나 이상의 프로세서 또는 하나 이상의 프로세서 및 소프트웨어의 결합에 의해 구현될 수 있으며, 도시된 예와 달리 구체적 동작에 있어 명확히 구분되지 않을 수 있다.

[0152] 그리고 도 2에 도시된 MUAV의 궤도 최적화 장치는 하드웨어, 펌웨어, 소프트웨어 또는 이들의 조합에 의해 로직 회로 내에서 구현될 수 있고, 범용 또는 특정 목적 컴퓨터를 이용하여 구현될 수도 있다. 장치는 고정배선형(Hardwired) 기기, 필드 프로그램 가능한 게이트 어레이(Field Programmable Gate Array, FPGA), 주문형 반도체(Application Specific Integrated Circuit, ASIC) 등을 이용하여 구현될 수 있다. 또한, 장치는 하나 이상의 프로세서 및 컨트롤러를 포함한 시스템온칩(System on Chip, SoC)으로 구현될 수 있다.

- [0153] 뿐만 아니라 MUAV의 궤도 최적화 장치는 하드웨어적 요소가 마련된 컴퓨팅 장치 또는 서버에 소프트웨어, 하드웨어, 또는 이들의 조합하는 형태로 탑재될 수 있다. 컴퓨팅 장치 또는 서버는 각종 기기 또는 유무선 통신망과 통신을 수행하기 위한 통신 모뎀 등의 통신장치, 프로그램을 실행하기 위한 데이터를 저장하는 메모리, 프로그램을 실행하여 연산 및 명령하기 위한 마이크로프로세서 등을 전부 또는 일부 포함한 다양한 장치를 의미할 수 있다.
- [0154] 도 4는 일 실시예 따른 MUAV의 궤도 최적화 방법을 나타낸다.
- [0155] 도 1 내지 도 3을 참조하여 도 4의 MUAV의 궤도 최적화 방법을 설명하면 우선 장애물 정보를 수집한다(71). 여기서 장애물 정보는 GT(10)와 HAPS(20) 사이에 위치하여 GT(10)와 HAPS(20)가 직접 FSO 통신을 수행하지 못하도록 FSO 신호를 차단하는 구름 등의 장애물에 대한 위치, 크기 및 이동 속도 등에 대한 정보를 획득한다. 그리고 장애물이 구름인 경우, 구름의 종류에 대한 정보도 획득할 수 있다.
- [0156] 장애물 정보가 획득되면, 획득된 장애물 정보를 기반으로 장애물을 모델링하여 장애물 모델을 생성한다(72). 실시예에서는 장애물을 위치 및 크기에 따라 장애물이 포함되는 크기와 위치에 원기둥 형상으로 모델링하여 장애물 모델을 생성할 수 있다.
- [0157] 장애물 모델이 생성되면, GT(10)와 HAPS(20) 각각 조사되는 광이 장애물 모델에 의해 차단되는 영역인 음영 영역(61, 62)을 분석하고, GT(10)의 고도와 HAPS(20)의 고도(H_{HAPS}) 사이의 영역 중 분석된 음영 영역(61, 62)을 제외한 나머지 영역을 MUAV가 FSO 통신을 릴레이 할 수 있는 릴레이 가능 영역(RPA)으로 설정한다(73).
- [0158] 이때 음영 영역(61, 62)은 GT(10)와 HAPS(20)의 위치와 장애물 모델(50)의 위치 및 크기 기반으로 확인되고, MUAV(30)가 GT(10)와 FSO 통신을 수행할 수 없는 제1 음영 영역(61)과 MUAV(30)가 HAPS(20)와 FSO 통신을 수행할 수 없는 제2 음영 영역(62)으로 구분되어 각각 원뿔대 형상으로 획득될 수 있다.
- [0159] 이에 전체 음영 영역은 제1 음영 영역(61)과 제2 음영 영역(62)이 교차하는 음영 중심 고도(H') 가장 작은 크기의 원($C_1 = C_2$)이 형성되고, 고도(H_p)가 음영 중심 고도(H')보다 높아지는 경우($H_p > H'$) 및 낮아지는 경우($H_p \leq H'$) 모두 XY 평면 상의 음영 영역의 크기가 증가하는 모래 시계 형상으로 획득되며, GT(10)의 고도와 HAPS(20)의 고도(H_{HAPS}) 사이의 고도를 갖는 모든 영역 중 음영 영역을 제외한 나머지 영역이 릴레이 가능 영역(RPA)로 설정된다.
- [0160] 음영 영역과 릴레이 가능 영역(RPA)이 확인되면, 장애물 모델(50)의 중심 위치 좌표($w_c = (x_c, y_c, h_c)$) 중 XY 평면 상의 위치(x_c, y_c)를 기반으로 최적 장애물 방위각($\theta_{c,opt}$)을
- $$\tan \phi_{C,opt} = \frac{y_c}{x_c}$$
- 에 따라 계산하고, 계산된 최적 장애물 방위각($\theta_{c,opt}$)을 MUAV(30)의 최적 궤도에 대한 방위각으로 계산하여 획득한다(74).
- [0161] 그리고 FSO 신호가 중단되는 확률을 나타내는 FSO 통신 중단 확률(P_{out})이 최소가 되도록 하는 MUAV(30)의 고도(H_M)를 경사 하강법을 기반으로 수학적 41에 따라 반복 계산하여 추출한다(75).
- [0162] 여기서 FSO 통신 중단 확률(P_{out})은 수학적 24와 같이 GM 링크 길이(d_{GM})에 따른 GM 링크 중단 확률($P_{out,GM}(d_{GM})$)과 MH 링크 길이(d_{MH})에 따른 MH 링크 중단 확률($P_{out,MH}(d_{MH})$)로 구분되어 계산될 수 있으며, GM 링크 중단 확률($P_{out,GM}(d_{GM})$)과 MH 링크 중단 확률($P_{out,MH}(d_{MH})$)은 각각 수학적 29 및 수학적 30에 따라 계산될 수 있다.
- [0163] 도 4에서는 각각의 과정을 순차적으로 실행하는 것으로 기재하고 있으나 이는 예시적으로 설명한 것에 불과하고, 이 분야의 기술자라면 본 발명의 실시예의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 도 4에 기재된 순서를 변경하여 실행하거나 또는 하나 이상의 과정을 병렬적으로 실행하거나 다른 과정을 추가하는 것으로 다양하게 수정 및 변형하여 적용 가능하다.
- [0164] 도 5는 일 실시예에 따른 컴퓨팅 장치를 포함하는 컴퓨팅 환경을 설명하기 위한 도면이다.
- [0165] 도시된 실시예에서, 각 구성 요소들은 이하에 기술된 것 이외에 상이한 기능 및 능력을 가질 수 있고, 이하에 기술되지 않은 것 이외에도 추가적인 구성 요소를 포함할 수 있다. 도시된 컴퓨팅 환경(80)은 컴퓨팅 장치(81)를 포함하여, 도 4에 도시된 MUAV의 궤도 최적화 방법을 수행할 수 있다. 일 실시예에서, 컴퓨팅 장치(81)는 도 2에 도시된 MUAV의 궤도 최적화 장치에 포함된 하나 이상의 구성 요소일 수 있다.

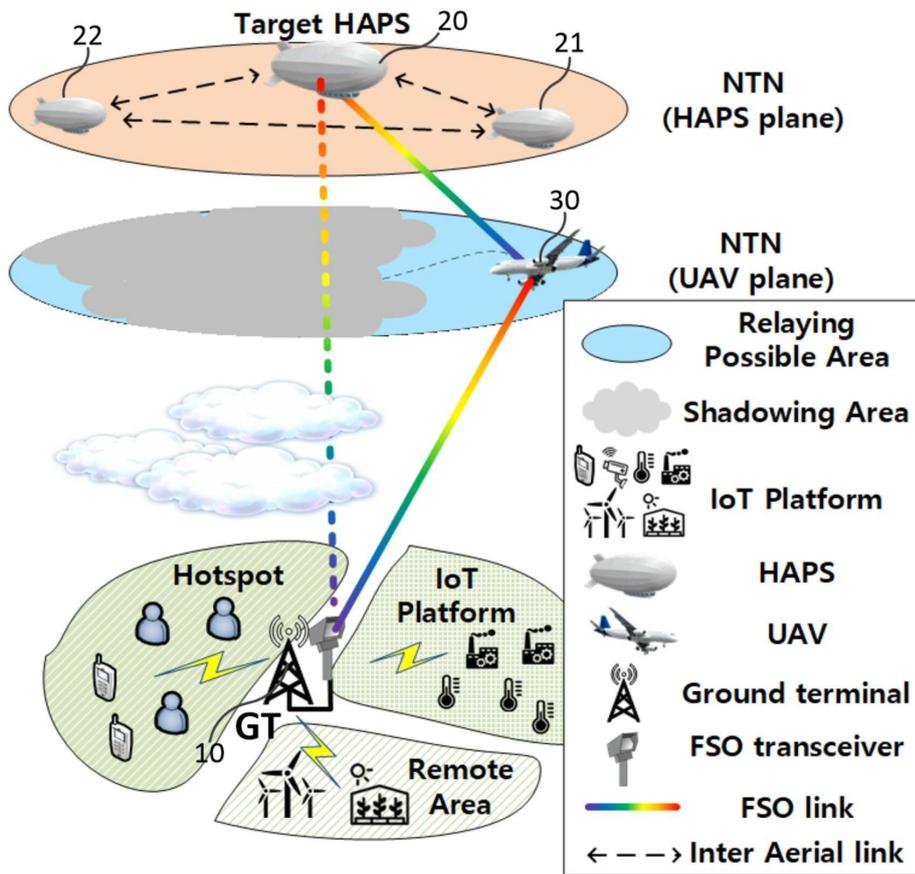
- [0166] 컴퓨팅 장치(81)는 적어도 하나의 프로세서(82), 컴퓨터 판독 가능 저장매체(83) 및 통신 버스(85)를 포함한다. 프로세서(82)는 컴퓨팅 장치(81)로 하여금 앞서 언급된 예시적인 실시예에 따라 동작하도록 할 수 있다. 예컨대, 프로세서(82)는 컴퓨터 판독 가능 저장매체(83)에 저장된 하나 이상의 프로그램들(84)을 실행할 수 있다. 상기 하나 이상의 프로그램들(84)은 하나 이상의 컴퓨터 실행 가능 명령어를 포함할 수 있으며, 상기 컴퓨터 실행 가능 명령어는 프로세서(82)에 의해 실행되는 경우 컴퓨팅 장치(81)로 하여금 예시적인 실시예에 따른 동작들을 수행하도록 구성될 수 있다.
- [0167] 통신 버스(85)는 프로세서(82), 컴퓨터 판독 가능 저장매체(83)를 포함하여 컴퓨팅 장치(81)의 다른 다양한 구성 요소들을 상호 연결한다.
- [0168] 컴퓨팅 장치(81)는 또한 하나 이상의 입출력 장치(88)를 위한 인터페이스를 제공하는 하나 이상의 입출력 인터페이스(86) 및 하나 이상의 통신 인터페이스(87)를 포함할 수 있다. 입출력 인터페이스(86) 및 통신 인터페이스(87)는 통신 버스(85)에 연결된다. 입출력 장치(88)는 입출력 인터페이스(86)를 통해 컴퓨팅 장치(81)의 다른 구성 요소들에 연결될 수 있다. 예시적인 입출력 장치(88)는 포인팅 장치(마우스 또는 트랙패드 등), 키보드, 터치 입력 장치(터치패드 또는 터치스크린 등), 음성 또는 소리 입력 장치, 다양한 종류의 센서 장치 및/또는 촬영 장치와 같은 입력 장치, 및/또는 디스플레이 장치, 프린터, 스피커 및/또는 네트워크 카드와 같은 출력 장치를 포함할 수 있다. 예시적인 입출력 장치(88)는 컴퓨팅 장치(81)를 구성하는 일 구성 요소로서 컴퓨팅 장치(81)의 내부에 포함될 수도 있고, 컴퓨팅 장치(81)와는 구별되는 별개의 장치로 컴퓨팅 장치(81)와 연결될 수도 있다.
- [0169] 이상에서 대표적인 실시예를 통하여 본 발명에 대하여 상세하게 설명하였으나, 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 청구범위의 기술적 사상에 의해 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

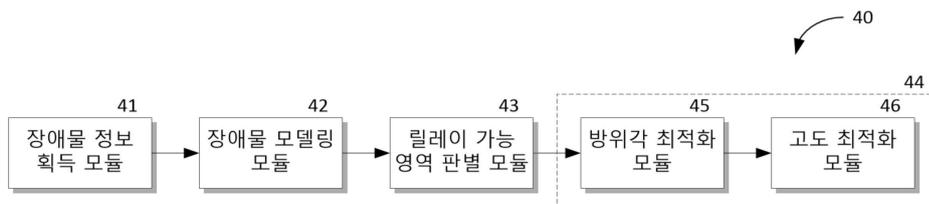
- [0170] 40: MUAV 궤도 최적화 장치 41: 장애물정보 획득 모듈
- 42: 장애물 모델링 모듈 43: 릴레이 가능 영역 판별 모듈
- 44: 최적 궤도 추출 모듈 45: 방위각 최적화 모듈
- 46: 고도 최적화 모듈

도면

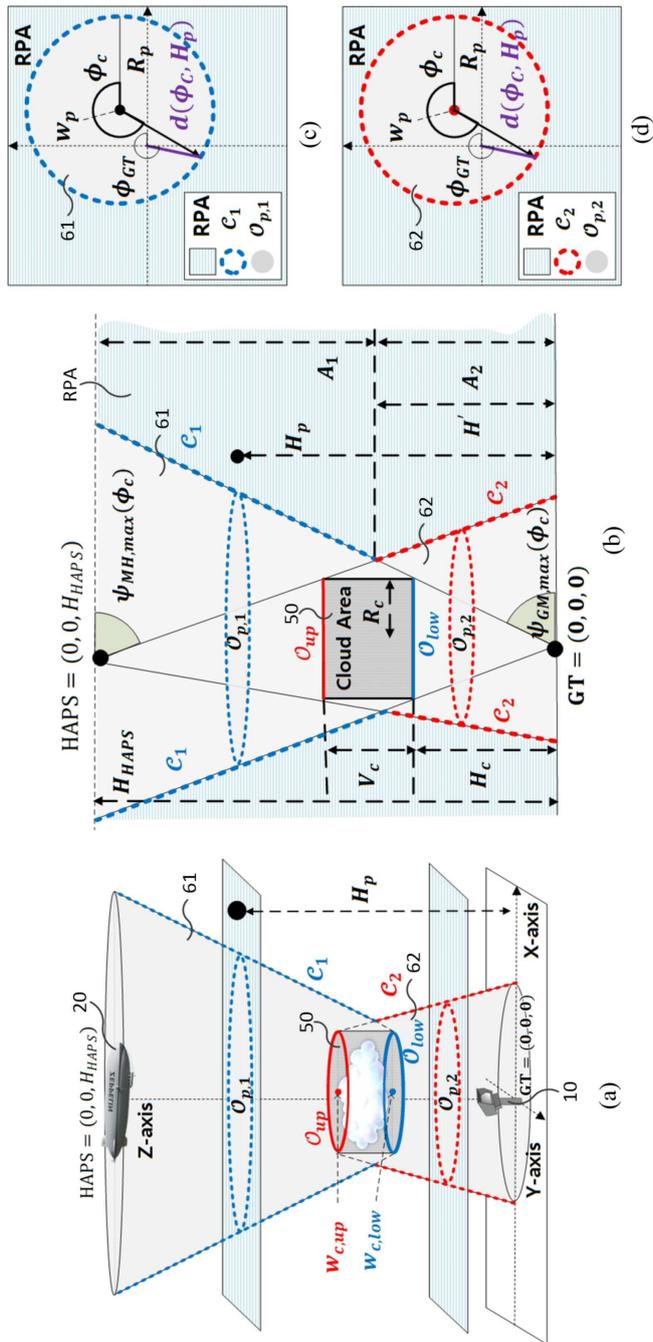
도면1



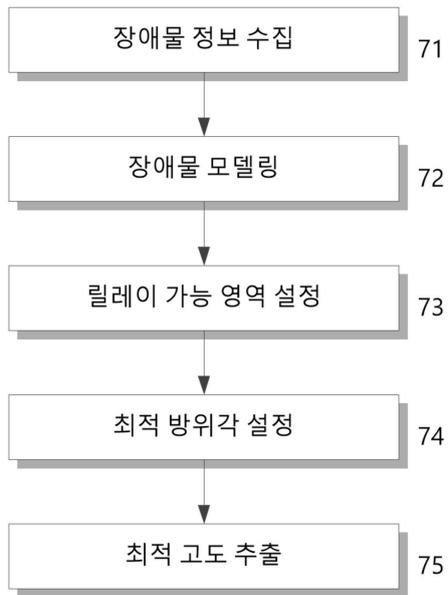
도면2



도면3



도면4



도면5

