(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2021-0085009
(43) 공개일자 2021년07월08일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G08G 5/00 (2006.01) *H04B 10/112* (2013.01)
(52) CPC특허분류
G08G 5/0052 (2013.01)
G08G 5/0069 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2019-0177599
(22) 출원일자 2019년12월30일
심사청구일자 2019년12월30일

(71) 출원인
연세대학교 산학협력단
서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)
(72) 발명자
정종문
서울특별시 용산구 이촌로 181, 104동 101호(이촌동, 한강대우아파트)
유원석
서울특별시 구로구 개봉로17길 18-6, 303호(개봉동, 노블리움)
양원식
서울특별시 서대문구 성산로17길 18-17, 514호(연희동, 리빙스톤B)
(74) 대리인
민영준

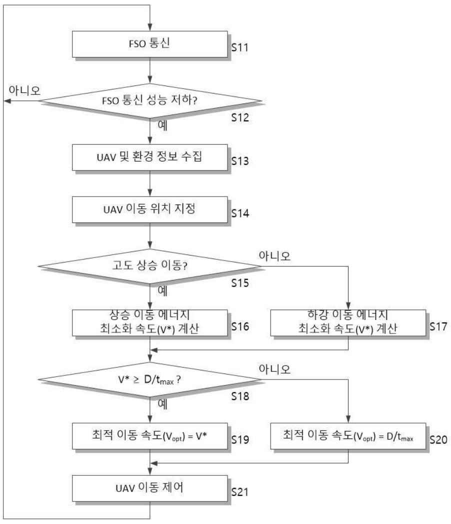
전체 청구항 수 : 총 16 항

(54) 발명의 명칭 **UAV 기반 FSO 통신 네트워크의 UAV 제어 장치 및 방법**

(57) 요 약

본 발명은 적어도 하나의 무인 항공기(이하 UAV)와 자유공간 광(FSO) 통신을 수행하는 UAV 제어 장치에 있어서, UAV가 이동해야 하는 위치를 지정하고, UAV의 지정된 위치로의 이동시, 이동 속도에 따른 수평 방향 이동에 의한 에너지 소비량과 수직 방향 이동에 의한 에너지 소비량을 계산하여, 에너지 소모를 최소화하는 에너지 최소화 속도를 계산하고, UAV가 계산된 에너지 최소화 속도로 이동하여, 미리 지정된 최대 중단 시간 이내에 지정된 위치로 이동 가능하면, 에너지 최소화 속도를 최적 이동 속도로 획득하는 UAV 기반 FSO 통신 네트워크의 UAV 제어 장치 및 방법을 제공할 수 있다.

대 표 도 - 도3



(52) CPC특허분류
H04B 10/112 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711094030
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	정보통신기획평가원(한국연구재단부설)
연구사업명	정보통신방송연구개발사업
연구과제명	무선광통신 기반 수직 이동통신 네트워크 기술 개발 (1/5)
기 여 율	1/1
과제수행기관명	연세대학교 산학협력단
연구기간	2019.04.01 ~ 2019.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

적어도 하나의 무인 항공기(이하 UAV)와 자유공간 광(FSO) 통신을 수행하는 UAV 제어 장치에 있어서, UAV가 이동해야 하는 위치를 지정하고, UAV의 지정된 위치로의 이동시, 이동 속도에 따른 수평 방향 이동에 의한 에너지 소비량과 수직 방향 이동에 의한 에너지 소비량을 계산하여, 에너지 소모를 최소화하는 에너지 최소화 속도를 계산하고, UAV가 계산된 에너지 최소화 속도로 이동하여, 미리 지정된 최대 중단 시간 이내에 지정된 위치로 이동 가능하면, 상기 에너지 최소화 속도를 최적 이동 속도로 획득하는 UAV 기반 FSO 통신 네트워크의 UAV 제어 장치.

청구항 2

제1 항에 있어서, 상기 UAV 제어 장치는

상기 UAV의 수직 방향 이동이 고도가 상승되는 상승 이동인지, 하강되는 하강 이동인지 판별하고, 상승 이동이면, 에너지 소비량을 상기 UAV의 상승 이동에 따른 상승 이동 에너지 소비량으로 계산하고, 하강 이동이면, 하강 이동 에너지 소비량으로 구분하여 계산하며, 구분되어 계산된 상승 이동 에너지 소비량과 하강 이동 에너지 소비량에 따라 상기 에너지 최소화 속도를 서로 다르게 획득하는 UAV 기반 FSO 통신 네트워크의 UAV 제어 장치.

청구항 3

제2 항에 있어서, 상기 UAV 제어 장치는

UAV가 상기 에너지 최소화 속도로 상기 최대 중단 시간 이내에 지정된 위치로의 이동할 수 없으면, 상기 최대 중단 시간까지 지정된 위치로 이동 가능한 최저 속도를 최적 이동 속도로 획득하는 UAV 기반 FSO 통신 네트워크의 UAV 제어 장치.

청구항 4

제3 항에 있어서, 상기 UAV 제어 장치는

상기 UAV의 이동 속도(V)에 따른 상승 이동 에너지 소비량을 수학식

$$E(V) = D\left\{P_0\left(\frac{1}{V}+\frac{3V\cos^2\phi}{U_{tip}^2}\right)+\frac{P_i v_0}{V^2\cos\phi}+\frac{1}{2}d_0\rho s A V^2\cos^3\phi+\frac{w}{2}\sin\phi+\frac{w}{2}\sqrt{\sin^2\phi+\frac{2w}{\rho A V^2}}\right\}$$

(여기서 P_0 은 UAV의 블레이드 프로파일 전력 성분 관련 상수, P_i 는 유도 전력 성분 관련 상수, U_{tip} 은 로터 블레이드의 팁 속도, v_0 은 UAV의 호버링 시 평균 로터 유도 속도, d_0 는 동체 항력 비, s 는 로터의 견고도, ρ 는 공기 밀도, A 는 로터 디스크 면적, w 는 UAV의 무게를 나타낸다. 그리고 ϕ는 UAV의 3차원 공간에서 지정된 위치로 지정된 궤도를 따라 이동할 때, 지표면과 평행한 수평면과 궤도가 이루는 각을 나타낸다.)에 따라 계산하고,

하강 이동 에너지 소비량을 수학식

$$E(V) = D\left\{P_0\left(\frac{1}{V}+\frac{3V\cos^2\phi}{U_{tip}^2}\right)+\frac{P_i v_0}{V^2\cos\phi}+\frac{1}{2}d_0\rho s A V^2\cos^3\phi+\frac{w}{2}\sin\phi-\frac{w}{2}\sqrt{\sin^2\phi-\frac{2w}{\rho A V^2}}\right\}$$

에 따라 계산하는 UAV 기반 FSO 통신 네트워크의 UAV 제어 장치.

청구항 5

제4 항에 있어서, 상기 UAV 제어 장치는

상기 UAV의 이동 속도 변화(dV)에 따른 에너지 소비량 변화(dE(V))가 0($\frac{dE(V)}{dV}=0$)을 만족시키는 속도를 상기 에너지 최소화 속도로 계산하는 UAV 기반 FSO 통신 네트워크의 UAV 제어 장치.

청구항 6

제4 항에 있어서, 상기 UAV 제어 장치는

상기 UAV의 이동 속도에 따른 수평 방향 이동에 의한 에너지 소비량과 수직 방향 이동에 의한 에너지 소비량을 계산하기 위해, UAV 정보 및 환경 정보를 UAV로부터 인가받거나, 별도의 통신 수단을 통해 외부 시스템으로부터 인가받아 획득하는 UAV 기반 FSO 통신 네트워크의 UAV 제어 장치.

청구항 7

제3 항에 있어서, 상기 UAV 제어 장치는

상기 UAV와 FSO 통신을 수행하고, 광 신호의 세기가 기지정된 기준 세기 이하가 되어 FSO 통신 성능의 저하가 발생되면, 상기 UAV가 이동할 위치를 지정하는 UAV 기반 FSO 통신 네트워크의 UAV 제어 장치.

청구항 8

제7 항에 있어서, 상기 UAV 제어 장치는

상기 UAV와 FSO 통신 성능의 저하가 발생되면, 상기 UAV와 RF 통신을 수행하여, 상기 UAV가 지정된 위치로 이동하도록 제어하는 UAV 기반 FSO 통신 네트워크의 UAV 제어 장치.

청구항 9

적어도 하나의 무인 항공기(이하 UAV)와 자유공간 광(FSO) 통신을 수행하는 UAV 제어 방법에 있어서,

UAV가 이동해야 하는 위치를 지정하는 단계;

상기 UAV가 지정된 위치로 이동하는 경우, 이동 속도에 따른 수평 방향 이동에 의한 에너지 소비량과 수직 방향 이동에 의한 에너지 소비량을 계산하여, 에너지 소모를 최소화하는 에너지 최소화 속도를 계산하는 단계; 및

상기 UAV가 계산된 에너지 최소화 속도로 이동하여 미리 지정된 최대 중단 시간 이내에 지정된 위치로 이동 가능하면, 상기 에너지 최소화 속도를 최적 이동 속도로 획득하는 단계를 포함하는 UAV 기반 FSO 통신 네트워크의 UAV 제어 방법.

청구항 10

제9 항에 있어서, 상기 에너지 최소화 속도를 계산하는 단계는

상기 UAV의 수직 방향 이동이 고도가 상승되는 상승 이동인지, 하강되는 하강 이동인지 판별하는 단계;

상승 이동이면, 에너지 소비량을 상기 UAV의 상승 이동에 따른 상승 이동 에너지 소비량으로 계산하고, 하강 이동이면, 하강 이동 에너지 소비량으로 구분하여 계산하는 단계; 및

구분되어 계산된 상승 이동 에너지 소비량과 하강 이동 에너지 소비량에 따라 상기 에너지 최소화 속도를 서로 다르게 획득하는 단계를 포함하는 UAV 기반 FSO 통신 네트워크의 UAV 제어 방법.

청구항 11

제10 항에 있어서, 상기 에너지 소비량으로 구분하여 계산하는 단계는

상기 UAV가 상기 에너지 최소화 속도로 상기 최대 중단 시간 이내에 지정된 위치로의 이동할 수 없으면, 상기 최대 중단 시간까지 지정된 위치로 이동 가능한 최저 속도를 최적 이동 속도로 획득하는 UAV 기반 FSO 통신 네트워크의 UAV 제어 방법.

청구항 12

제10 항에 있어서, 상기 에너지 최소화 속도를 계산하는 단계는

상기 UAV의 이동 속도(V)에 따른 상승 이동 에너지 소비량을 수학식

$$E(V)=D\left\{P_0\left(\frac{1}{V}+\frac{3V\cos^2\phi}{U_{tip}^2}\right)+\frac{P_i v_0}{V^2\cos\phi}+\frac{1}{2}d_0\rho sAV^2\cos^3\phi+\frac{w}{2}\sin\phi+\frac{w}{2}\sqrt{\sin^2\phi+\frac{2w}{\rho AV^2}}\right\}$$

(여기서 P_0 은 UAV의 블레이드 프로파일 전력 성분 관련 상수, P_i 는 유도 전력 성분 관련 상수, U_{tip} 은 로터 블레이드의 팁 속도, v_0 은 UAV의 호버링 시 평균 로터 유도 속도, d_0 는 동체 항력 비, s 는 로터의 견고도, ρ 는 공기 밀도, A 는 로터 디스크 면적, w 는 UAV의 무게를 나타낸다. 그리고 ϕ는 UAV의 3차원 공간에서 지정된 위치로 지정된 궤도를 따라 이동할 때, 지표면과 평행한 수평면과 궤도가 이루는 각을 나타낸다.)에 따라 계산하고,

하강 이동 에너지 소비량을 수학식

$$E(V)=D\left\{P_0\left(\frac{1}{V}+\frac{3V\cos^2\phi}{U_{tip}^2}\right)+\frac{P_i v_0}{V^2\cos\phi}+\frac{1}{2}d_0\rho sAV^2\cos^3\phi+\frac{w}{2}\sin\phi-\frac{w}{2}\sqrt{\sin^2\phi-\frac{2w}{\rho AV^2}}\right\}$$

에 따라 계산하는 UAV 기반 FSO 통신 네트워크의 UAV 제어 방법.

청구항 13

제12 항에 있어서, 상기 에너지 최소화 속도를 서로 다르게 획득하는 단계는

상기 UAV의 상승 이동 및 하강 이동의 이동 속도 변화(dV)에 따른 에너지 소비량 변화(dE(V))가 0($\frac{dE(V)}{dV}=0$)을 만족시키는 속도를 상기 에너지 최소화 속도로 계산하는 UAV 기반 FSO 통신 네트워크의 UAV 제어 방법.

청구항 14

제12 항에 있어서, 상기 UAV 제어 방법은

상기 UAV가 이동할 위치를 지정하는 단계 이전, 상기 UAV의 이동 속도에 따른 수평 방향 이동에 의한 에너지 소비량과 수직 방향 이동에 의한 에너지 소비량을 계산하기 위해, UAV 정보 및 환경 정보를 UAV로부터 인가받거나, 별도의 통신 수단을 통해 외부 시스템으로부터 인가받아 획득하는 단계를 더 포함하는 UAV 기반 FSO 통신 네트워크의 UAV 제어 방법.

청구항 15

제12 항에 있어서, 상기 UAV가 이동할 위치를 지정하는 단계는

상기 UAV와 FSO 통신을 수행하고, 광 신호의 세기가 기지정된 기준 세기 이하가 되어 FSO 통신 성능의 저하가 발생되면, 상기 UAV가 이동할 위치를 지정하는 UAV 기반 FSO 통신 네트워크의 UAV 제어 방법.

청구항 16

제15 항에 있어서, 상기 UAV 제어 방법은

상기 최적 이동 속도로 획득하는 단계 이후, 상기 UAV와 RF 통신을 수행하여, 상기 UAV가 지정된 위치로 이동하도록 제어하는 단계를 더 포함하는 UAV 기반 FSO 통신 네트워크의 UAV 제어 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 UAV 제어 장치 및 방법에 관한 것으로, UAV 기반 FSO 통신 네트워크의 UAV 제어 장치 및 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 자유공간 광(Free-Space Optics: 이하 FSO) 통신은 광섬유 등의 고체 매질이 아닌 대기 중에서 광을 이용하여 이루어지는 무선 광통신으로, 매우 넓은 대역폭을 통하여 초고속 통신을 제공할 수 있다는 장점이 있으나, 기존 RF 방식의 통신에 비해 LOS 민감도가 매우 높다는 단점이 있다. 따라서 FSO 통신은 대기권에서도 구름, 안개 및 난류 등에 의한 손실이 크다.

[0003] 이에 FSO 및 기존 mmWave 등을 사용한 유연한 통신 네트워크 구축을 위하여 무인항공기(Unmanned Aerial Vehicle: 이하 UAV)를 이용한 공중 플랫폼 기반의 수직-수평-수직으로 이루어지는 무선 백홀 네트워크가 차세대 네트워크 핵심 구조 중 하나로 꼽히고 있다.

[0004] UAV 기반으로 구축된 FSO 통신 네트워크는 LOS(Line-Of-Sight) 민감성이 높은 FSO 링크에 대하여 UAV의 이동성을 활용하여 유연한 LOS 링크를 확보할 수 있도록 하여 차세대 초고속, 고효율 통신을 위한 효과적인 솔루션으로 떠오르고 있다. 또한 UAV 기반의 FSO 통신 네트워크는 구축 비용 절감, 네트워크 커패시티 요구에 대한 대응 유연성 확보 등의 추가적인 이득이 있다.

[0005] 도 1은 무인항공기 기반 자유공간 광 통신 네트워크의 일 예를 나타낸다.

[0006] 도 1에 도시된 바와 같이, UAV 기반의 FSO 통신 네트워크에서는 기상 악화 등으로 인해 UAV와 지상 제어 시스템(Ground Control System: 이하 GSC) 사이에 LOS가 확보되지 않아 FSO 통신 성능의 저하가 발생하면, UAV를 위치를 이동시켜 LOS를 확보하여 다시 통신 네트워크를 구성한다.

[0007] 그러나 UAV는 배터리 등의 제한된 용량의 전원을 이용하여 구동되므로, 체공 시간에 한계가 있다. 따라서 FSO 통신 네트워크를 장시간 유지하기 위해서는 이동 시에 에너지 소모를 최소화하며 이동할 필요가 있다.

[0008] 한편, UAV의 이동 시 FSO 통신의 유지를 위한 PAT(Pointing, Acquisition 및 Tracking) 알고리즘이 정상적으로 작동하기 매우 어려우므로, 일시적인 FSO 통신 지원 중단이 발생된다. 그러므로 전체 네트워크 성능을 안정적으로 유지하기 위해서는 FSO 통신이 중단되는 기간인 UAV의 이동에 필요한 시간이 제한될 필요가 있다. 결과적으로 UAV 기반의 FSO 통신 네트워크에서는 UAV가 제한된 시간 내에 최소의 에너지 소모로 이동할 수 있도록 제어할 필요가 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0009] (특허문헌 0001) 한국 등록 특허 제10-2017390호 (2019.09.02. 등록)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0010] 본 발명의 목적은 UAV 기반 FSO 통신 네트워크에서 UAV가 제한된 시간 내에 에너지 소모를 최소화하여 이동할 수 있도록 하는 UAV 기반 FSO 통신 네트워크의 UAV 제어 장치 및 방법을 제공하는데 있다.

[0011] 본 발명의 다른 목적은 UAV가 3차원 공간 상에서 제한된 시간 내에 에너지 소모를 최소화하여 이동하는 최적의 속도를 계산하고, 계산된 최적의 속도로 UAV가 이동하도록 제어할 수 있는 UAV 기반 FSO 통신 네트워크의 UAV 제어 장치 및 방법을 제공하는데 있다.

과제의 해결 수단

[0012] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 UAV 기반 FSO 통신 네트워크의 UAV 제어 장치는 적어도 하나의 무인 항공기(이하 UAV)와 자유공간 광(FSO) 통신을 수행하는 UAV 제어 장치에 있어서, UAV가 이동해야 하는 위치를 지정하고, UAV의 지정된 위치로의 이동시, 이동 속도에 따른 수평 방향 이동에 의한 에너지 소비량과 수직 방향 이동에 의한 에너지 소비량을 계산하여, 에너지 소모를 최소화하는 에너지 최소화 속도를 계산하고, UAV가 계산된 에너지 최소화 속도로 이동하여, 미리 지정된 최대 중단 시간 이내에 지정된 위치로 이동 가능하면, 상기 에너지 최소화 속도를 최적 이동 속도로 획득한다.

[0013] 상기 UAV 제어 장치는 상기 UAV의 수직 방향 이동이 고도가 상승되는 상승 이동인지, 하강되는 하강 이동인지 판별하고, 상승 이동이면, 에너지 소비량을 상기 UAV의 상승 이동에 따른 상승 이동 에너지 소비량으로 계산하고, 하강 이동이면, 하강 이동 에너지 소비량으로 구분하여 계산하며, 구분되어 계산된 상승 이동 에너지 소비량과 하강 이동 에너지 소비량에 따라 상기 에너지 최소화 속도를 서로 다르게 획득할 수 있다.

[0014] 상기 UAV 제어 장치는 UAV가 상기 에너지 최소화 속도로 상기 최대 중단 시간 이내에 지정된 위치로의 이동할 수 없으면, 상기 최대 중단 시간까지 지정된 위치로 이동 가능한 최저 속도를 최적 이동 속도로 획득할 수 있다.

[0015] 상기 UAV 제어 장치는 상기 UAV의 이동 속도(V)에 따른 상승 이동 에너지 소비량을 수학식

[0016]
$$E(V)=D\left\{P_0\left(\frac{1}{V}+\frac{3V\cos^2\phi}{U_{tip}^2}\right)+\frac{P_i v_0}{V^2\cos\phi}+\frac{1}{2}d_0\rho sAV^2\cos^3\phi+\frac{w}{2}\sin\phi+\frac{w}{2}\sqrt{\sin^2\phi+\frac{2w}{\rho AV^2}}\right\}$$

[0017] (여기서 P_0 은 UAV의 블레이드 프로파일 전력 성분 관련 상수, P_i 는 유도 전력 성분 관련 상수, U_{tip} 은 로터 블레이드의 팁 속도, v_0 은 UAV의 호버링 시 평균 로터 유도 속도, d_0 는 동체 항력 비, s 는 로터의 견고도, ρ 는 공기 밀도, A 는 로터 디스크 면적, w 는 UAV의 무게를 나타낸다. 그리고 ϕ는 UAV의 3차원 공간에서 지정된 위치로 지정된 궤도를 따라 이동할 때, 지표면과 평행한 수평면과 궤도가 이루는 각을 나타낸다.)에 따라 계산하고, 하강 이동 에너지 소비량을 수학식

[0018]
$$E(V)=D\left\{P_0\left(\frac{1}{V}+\frac{3V\cos^2\phi}{U_{tip}^2}\right)+\frac{P_i v_0}{V^2\cos\phi}+\frac{1}{2}d_0\rho sAV^2\cos^3\phi+\frac{w}{2}\sin\phi-\frac{w}{2}\sqrt{\sin^2\phi-\frac{2w}{\rho AV^2}}\right\}$$

[0019] 에 따라 계산할 수 있다.

[0020] 상기 UAV 제어 장치는 상기 UAV의 이동 속도 변화(dV)에 따른 에너지 소비량 변화(dE(V))가 0($\frac{dE(V)}{dV}=0$)을 만족시키는 속도를 상기 에너지 최소화 속도로 계산할 수 있다.

[0021] 상기 UAV 제어 장치는 상기 UAV의 이동 속도에 따른 수평 방향 이동에 의한 에너지 소비량과 수직 방향 이동에 의한 에너지 소비량을 계산하기 위해, UAV 정보 및 환경 정보를 UAV로부터 인가받거나, 별도의 통신 수단을 통해 외부 시스템으로부터 인가받아 획득할 수 있다.

[0022] 상기 UAV 제어 장치는 상기 UAV와 FSO 통신을 수행하고, 광 신호의 세기가 기지정된 기준 세기 이하가 되어 FSO 통신 성능의 저하가 발생되면, 상기 UAV가 이동할 위치를 지정할 수 있다.

[0023] 상기 UAV 제어 장치는 상기 UAV와 FSO 통신 성능의 저하가 발생되면, 상기 UAV와 RF 통신을 수행하여, 상기 UAV가 지정된 위치로 이동하도록 제어할 수 있다.

[0024] 상기 다른 목적을 달성하기 위한 본 발명의 다른 실시예에 따른 적어도 하나의 무인 항공기(이하 UAV)와 자유공간 광(FSO) 통신을 수행하는 UAV 제어 방법은 UAV가 이동해야 하는 위치를 지정하는 단계; 상기 UAV가 지정된 위치로 이동하는 경우, 이동 속도에 따른 수평 방향 이동에 의한 에너지 소비량과 수직 방향 이동에 의한 에너지 소비량을 계산하여, 에너지 소모를 최소화하는 에너지 최소화 속도를 계산하는 단계; 및 상기 UAV가 계산된 에너지 최소화 속도로 이동하여 미리 지정된 최대 중단 시간 이내에 지정된 위치로 이동 가능하면, 상기 에너지 최소화 속도를 최적 이동 속도로 획득하는 단계를 포함한다.

발명의 효과

[0025] 따라서, 본 발명의 실시예에 따른 UAV 기반 FSO 통신 네트워크의 UAV 제어 장치 및 방법은 UAV가 제한된 시간 내에 에너지 소모를 최소화하여 이동할 수 있도록 하는 최적의 속도를 계산하고, 계산된 최적의 속도로 UAV가 이동하도록 제어하여 FSO 통신 네트워크가 장시간 안정적으로 유지될 수 있도록 한다.

도면의 간단한 설명

[0026] 도 1은 UAV 기반 FSO 통신 네트워크의 일 예를 나타낸다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 UAV 기반 FSO 통신 네트워크의 UAV 제어 장치의 개략적 구조를 나타낸다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 UAV 기반 FSO 통신 네트워크의 UAV 제어 방법을 나타낸다.

도 4는 본 발명의 UAV 기반 FSO 통신 네트워크의 UAV 제어 방법 적용 시 최대 중단 시간에 따른 최적의 속도 및 그에 따른 에너지 소비량을 나타낸다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0027] 본 발명과 본 발명의 동작상의 이점 및 본 발명의 실시에 의하여 달성되는 목적을 충분히 이해하기 위해서는 본 발명의 바람직한 실시예를 예시하는 첨부 도면 및 첨부 도면에 기재된 내용을 참조하여야만 한다.

[0028] 이하, 첨부한 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 설명함으로써, 본 발명을 상세히 설명한다. 그러나, 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며, 설명하는 실시예에 한정되는 것이 아니다. 그리고, 본 발명을 명확하게 설명하기 위하여 설명과 관계없는 부분은 생략되며, 도면의 동일한 참조부호는 동일한 부재임을 나타낸다.

[0029] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라, 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다. 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.

[0030] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 UAV 기반 FSO 통신 네트워크의 UAV 제어 장치의 개략적 구조를 나타낸다.

[0031] 여기서 UAV 제어 장치는 일예로 UAV 기반 FSO 통신 네트워크의 지상 제어 시스템(Ground Control System: 이하 GSC)일 수 있다.

[0032] 도 2를 참조하면, 본 실시예에 따른 UAV 제어 장치(GCS)는 통신부(100), UAV 위치 지정부(200) 및 UAV 제어부(300)를 포함할 수 있다.

[0033] 통신부(100)는 적어도 하나의 UAV(UAV)와 기지정된 방식으로 통신을 수행한다. 통신부(100)는 FSO 통신부(110)와 RF 통신부(120)를 포함할 수 있다. FSO 통신부(110)는 적어도 하나의 UAV(UAV) 각각과 대기 중에서 광 신호를 송수신하는 FSO 통신 방식으로 통신을 수행한다. FSO 통신부(110)는 UAV 제어 장치(GCS)와 적어도 하나의 UAV(UAV) 사이의 주요 통신 방식으로 기본적으로 UAV 제어 장치(GCS)는 FSO 통신부(110)를 이용하여 적어도 하나의 UAV(UAV) 각각과 통신을 수행한다. FSO 통신부(110)는 일예로 광 신호의 세기가 기지정된 기준 세기 이하로 약해지는 경우와 같이 UAV와의 FSO 통신 성능의 저하 발생시, 이를 UAV 위치 지정부(200)로 통지할 수 있다.

[0034] RF 통신부(120)는 적어도 하나의 UAV(UAV) 각각과 기지정된 주파수 대역의 RF 신호를 이용하여 통신을 수행한다. 상기한 바와 같이 FSO 통신은 LOS 민감도가 매우 높으므로, 기상 악화 등과 같은 여러 환경 요인에 의해 LOS가 확보되지 않으면 FSO 통신 성능에 저하가 발생된다. 그러므로 UAV 제어 장치(GCS)가 FOS 통신부(110)만을 구비하는 경우, LOS가 확보되지 않아 FOS 통신 성능에 저하가 발생되면, UAV(UAV)의 위치를 이동시키고자 하여도 UAV(UAV)를 제어할 수 없어 이동시킬 수 없게 되는 문제가 있다.

[0035] 이러한 문제를 방지하기 위해, 통신부(100)는 FSO 통신 성능에 저하가 발생되는 경우에, UAV(UAV)를 제어하기 위한 RF 통신부(120)를 더 구비할 수 있다. 즉 RF 통신부(120)는 UAV 제어 장치(GCS)와 적어도 하나의 UAV(UAV) 사이의 예비 통신 수단으로 이용될 수 있다. RF 통신부(120)는 데이터 전송의 목적보다 FSO 통신 성능에 저하가 발생된 경우에 UAV(UAV)를 제어하기 위해 주로 이용될 수 있으며, 이에 고속 데이터 전송을 위한 고가의 복잡한 구성을 요구하지 않을 수 있다.

[0036] UAV 위치 지정부(200)는 FSO 통신 성능 저하가 발생된 UAV가 이동할 위치를 지정한다. UAV 위치 지정부(200)는 통신부(100)의 FSO 통신부(110)로부터 FSO 통신 성능 저하가 통지되면, 주변 FSO 게이트웨이 및 다른 UAV로부터의 통신망 정보를 고려하여 UAV가 이동해야 할 위치를 지정할 수 있다. 즉 주변 FSO 통신 상황을 고려하여 새로이 이동해야할 위치를 지정할 수 있다.

[0037] UAV 제어부(300)는 UAV 위치 지정부(200)로부터 UAV가 이동해야할 위치 정보를 인가받고, UAV가 현재 위치로부터 UAV 위치 지정부(200)에 의해 지정된 위치까지 이동할 속도를 계산하고, 계산된 속도에 따라 UAV가 이동하도록 제어한다. 이때 UAV 제어부(300)는 UAV 및 환경 정보를 수집하고, 수집된 정보에 기초하여 UAV가 이동 중 에너지 소모를 최소화하면서 이동할 수 있는 속도를 계산하고, 계산된 속도에 따라 이동하도록 제어한다. 뿐만

아니라, FSO 통신의 안정성을 위해, UAV의 이동 시간이 기지정된 시간 이내에 이동하도록 함께 제어한다.

[0038] UAV 제어부(300)는 정보 수집부(310), 최적 속도 계산부(320) 및 UAV 이동 제어부(330)를 포함할 수 있다.

[0039] 정보 수집부(310)는 UAV가 에너지를 최소화하여 이동할 수 있는 최적의 속도를 계산하기 위한 기반 정보를 수집한다. 정보 수집부(310)는 UAV 정보와 환경 정보를 수집하여 저장한다. FSO 통신에서는 일반적으로 호버링(hovering) 가능한 로터리 윙(Rotary-wing) 타입의 UAV가 사용되므로, 여기서도 UAV는 로터리 윙 타입의 UAV인 것으로 가정한다.

[0040] 정보 수집부(310)는 UAV 정보로 UAV의 블레이드 프로파일(blade profile) 전력 성분 관련 상수(P_0), 유도 전력 성분 관련 상수(P_i), 로터 블레이드(rotor blade)의 팁 속도(U_{tip}), UAV의 호버링 시 평균 로터 유도 속도(v_0), 동체 항력 비(d_0), 로터의 견고도(s), 로터 디스크 면적(A) 및 UAV의 무게(w)를 획득하여 저장할 수 있다. UAV 정보는 UAV에 따라 미리 설정되는 정보이므로, 정보 수집부(310)는 FSO 통신을 수행하는 UAV의 종류에 따른 UAV 정보를 미리 획득하여 저장할 수 있다. 또한 UAV 제어 장치가 다양한 종류의 UAV와 FSO 통신을 수행하는 경우에 정보 수집부(310)는 UAV로부터 RF 통신 등을 이용하여, UAV 정보를 인가받아 저장할 수도 있으며, 별도의 유선 또는 무선 통신 네트워크를 이용하여 FSO 통신을 수행하는 UAV의 제조사로부터 UAV 정보를 인가받아 저장할 수도 있다.

[0041] 그리고 정보 수집부(310)는 환경 정보로 공기 밀도(ρ)를 수집할 수 있다. 공기 밀도(ρ)는 UAV가 비행 시에 추진력에 영향을 미치는 요인으로 정보 수집부(310)는 일예로 UAV에 구비된 센서에서 감지된 공기 밀도(ρ)를 전달받도록 구성될 수 있다. 그러나 UAV와의 거리가 멀지 않은 경우, 직접 공기 밀도(ρ)를 측정할 수도 있으며, 별도의 기상 정보 제공 기관으로부터 UAV가 위치한 장소의 공기 밀도(ρ)에 대한 정보를 각종 유선 또는 무선 통신 네트워크를 통해 인가받을 수도 있다.

[0042] 최적 속도 계산부(320)는 정보 수집부(310)에서 획득된 정보를 기초로 UAV가 에너지를 최소화하여 이동할 수 있는 최적의 속도를 계산한다. 일반적으로 UAV의 에너지 소비의 대부분은 추진(Propulsion) 에너지가 차지한다. 이에 UAV의 이동 시에 발생되는 소모되는 전력은 UAV의 이동 속도(V) 따른 함수로 표현될 수 있으며, 수평 이동 전력과 수직 이동 전력으로 구분될 수 있다.

[0043] UAV의 수평 이동시 수평 이동 속도(V_h)에 따라 소모되는 수평 이동 전력($P_h(V_h)$)은 수학식 1과 같이 계산될 수 있다.

수학식 1

[0044]
$$P_h(V_h) = P_0\left(1+\frac{3{V_h}^2}{U_{tip}^2}\right)+\frac{P_i v_0}{V_h}+\frac{1}{2}d_0\rho s A{V_h}^3$$

[0045] 여기서 P_0 은 UAV의 블레이드 프로파일(blade profile) 전력 성분 관련 상수, P_i 는 유도 전력 성분 관련 상수, U_{tip} 은 로터 블레이드(rotor blade)의 팁 속도, v_0 은 UAV의 호버링 시 평균 로터 유도 속도, d_0 는 동체 항력 비, s 는 로터의 견고도, ρ 는 공기 밀도, A 는 로터 디스크 면적, w 는 UAV의 무게를 나타낸다.

[0046] 수학식 1은 UAV의 이동 속도(V)가 UAV의 호버링 시 평균 로터 유도 속도(v_0)보다 매우 크다($V \gg v_0$)는 근사를 기반으로 획득될 수 있다.

[0047] 그리고 UAV의 수직 이동시, 수직 이동 속도(V_v)에 따라 소모되는 수직 이동 전력($P_v(V_v)$)은 다시 상승(asendign) 이동과 하강(desendign) 이동으로 구분될 수 있다. 이에 UAV의 수직 이동시 소모되는 수직 이동 전력($P_v(V_v)$)은 상승 이동과 하강 이동으로 구분되어 수학식 2와 같이 계산될 수 있다.

수학식 2

[0048]
$$P_v(V_v)=\begin{cases}\frac{w}{2}V_v+\frac{w}{2}\sqrt{V_v^{\,2}+\frac{2w}{\rho A}} & (ascending)\\ \frac{w}{2}V_v-\frac{w}{2}\sqrt{V_v^{\,2}-\frac{2w}{\rho A}} & (descending)\end{cases}$$

[0049] UAV의 3차원 공간에서의 필요 이동거리를 D라 할 때, UAV가 속도(V)로 지정된 위치로 이동하는 동안 요구되는 총 에너지 소비량(E(V))은 이동 시간(t = D/V) 동안의 수평 이동 속도(V_h)에 따른 전력 소비($P_h(V_h)$)와 수직 이동 속도(V_v)에 따른 전력 소비($P_v(V_v)$)의 합으로 수학식 3으로 계산될 수 있다.

수학식 3

[0050]
$$E(V)=\frac{D}{V}\{P_h(V_h)+P_v(V_v)\}$$

[0051] UAV의 3차원 공간에서 지정된 위치로 지정된 궤도를 따라 이동할 때, 지표면과 평행한 수평면과 궤도가 이루는 각을 ϕ 라 하고, UAV의 이동 속도(V)가 일정하다고 가정하면, 수평 이동 속도(V_h)와 수직 이동 속도(V_v) 각각은 V_h = Vcosϕ 및 V_v = Vsinϕ 로 계산된다. 그리고 UAV의 수직 이동시 소모되는 수직 이동 전력($P_v(V_v)$)은 상승 이동과 하강 이동으로 구분되므로, 수학식 3의 총 에너지 소비량(E(V))은 UAV가 상승 이동하는지 하강 이동하는지에 따라 수학식 4 및 5로 구분되어 계산될 수 있다.

수학식 4

[0052]
$$E(V)=D\left\{P_0\left(\frac{1}{V}+\frac{3V\cos^2\phi}{U_{tip}^2}\right)+\frac{P_i v_0}{V^2\cos\phi}+\frac{1}{2}d_0\rho sAV^2\cos^3\phi+\frac{w}{2}\sin\phi+\frac{w}{2}\sqrt{\sin^2\phi+\frac{2w}{\rho AV^2}}\right\}\quad (ascending)$$

수학식 5

[0053]
$$E(V)=D\left\{P_0\left(\frac{1}{V}+\frac{3V\cos^2\phi}{U_{tip}^2}\right)+\frac{P_i v_0}{V^2\cos\phi}+\frac{1}{2}d_0\rho sAV^2\cos^3\phi+\frac{w}{2}\sin\phi-\frac{w}{2}\sqrt{\sin^2\phi-\frac{2w}{\rho AV^2}}\right\}\quad (descending)$$

[0054] 한편, UAV가 이동하는 동안, UAV 제어 장치와 FSO 통신의 유지를 위한 PAT(Pointing, Acquisition 및 Tracking) 알고리즘이 정상적으로 작동하기 매우 어렵기 때문에 통신 중단이 발생된다. 이러한 통신 중단은 회피되어야 하는 상태이므로, 일반적으로 무선 통신 시스템에서는 요구되는 통신 품질을 유지하기 위해 통신 중단이 발생될 수 있는 최대 중단 시간(t_{max})이 미리 지정된다. 그리고 이러한 최대 중단 시간(t_{max})은 UAV의 에너지 최소화보다 우선 고려되어야 한다.

[0055] 따라서 UAV는 최대 중단 시간(t_{max}) 이내에 요구되는 위치로 에너지 소모를 최소화하면서 이동해야 하며, 이는 수학식 6과 같은 최적화 문제로 정리될 수 있다.

수학식 6

[0056]
$$\underset{V}{\text{Minimize}}\ \ E(V)$$
$$\text{s.t.}\ \ \frac{D}{V} \le t_{\max}$$

[0057] UAV의 고도가 상승하는 경우와 하강하는 경우 각각에서 에너지 소비량(E(V))의 이동 속도(V)에 대한 이계도함수는 수학식 7 및 수학식 8로 계산된다.

수학식 7

[0058]
$$\frac{d^2E(V)}{dV^2} = D\left\{\frac{2P_0}{V^3} + \frac{6P_i v_0}{V^4\cos\phi} + d_0\rho s A\cos^3\phi + \frac{w^2(3\rho AV^2\sin^2\phi + 4w)}{\rho^2A^2V^6\left(\sin^2\phi + \frac{2w}{\rho AV^2}\right)\sqrt{\sin^2\phi + \frac{2w}{\rho AV^2}}}\right\} > 0$$

수학식 8

[0059]
$$\frac{d^2E(V)}{dV^2} = D\left\{\frac{2P_0}{V^3} + \frac{6P_i v_0}{V^4\cos\phi} + d_0\rho s A\cos^3\phi + \frac{w^2(3\rho AV^2\sin^2\phi - 4w)}{\rho^2A^2V^6\left(\sin^2\phi - \frac{2w}{\rho AV^2}\right)\sqrt{\sin^2\phi - \frac{2w}{\rho AV^2}}}\right\} > 0$$

[0060] 여기서 $\sin^2\phi - \frac{2w}{\rho AV^2} > 0$ 이고, $3\rho AV^2\sin^2\phi - 4w > 6w - 4w = 2w > 0$ 이다.

[0061] 수학식 7 및 8에 따르면, UAV의 고도가 상승하는 경우와 하강하는 경우 모두 에너지 소비량(E(V))의 강 볼록성(strict convexity)이 증명된다.

[0062] 따라서 수학식 6의 최적화 문제는 속도 변화(dV)에 따른 에너지 소비량 변화(dE(V))가 0인($\frac{dE(V)}{dV} = 0$)을 만족시키는 유일한 에너지 최소화 속도(V^*)를 수치계산법(Numerical method)으로 계산한 후, 에너지 최소화 속도(V^*)에 따른 UAV의 이동 시간이 최대 중단 시간(t_{max})보다 작은지 여부를 확인하여 최적 이동 속도(V_{opt})를 계산할 수 있다.

수학식 9

[0063]
$$V_{opt} = \begin{cases} V^* & \text{if } V^* \ge \dfrac{D}{t_{\max}} \\ \dfrac{D}{t_{\max}} & \text{otherwise} \end{cases}$$

[0064] 수학식 9에 따르면, 최적 속도 계산부(320)는 에너지 최소화 속도(V^*)가 UAV가 이동 거리(D)를 최대 중단 시간

(t_{max}) 동안 이동하는 최저 한계 속도(D/t_{max}) 이상인지 판별하고, 에너지 최소화 속도(V^*)가 최저 한계 속도(D/t_{max}) 이상이면, 에너지 최소화 속도(V^*)를 최적 이동 속도(V_{opt})로 획득한다. 즉 최적 속도 계산부(320)는 UAV의 이동 에너지 소모 최소화하면서, UAV가 기지정된 최대 중단 시간(t_{max}) 이내에 지정된 위치로 이동할 수 있도록 최적 이동 속도(V_{opt})를 획득한다.

[0065] 반면, 에너지 최소화 속도(V^*)가 최저 한계 속도(D/t_{max}) 미만이면, 최저 한계 속도(D/t_{max})를 UAV의 최적 이동 속도(V_{opt})로 획득한다.

[0066] UAV 이동 제어부(330)는 UAV가 최적 속도 계산부(320)에서 계산된 최적 이동 속도(V_{opt})로 UAV 위치 지정부(200)에 의해 지정된 위치로 이동하도록 UAV를 제어한다. 이때, UAV와 FSO 통신이 어려우므로, UAV 이동 제어부(330)는 RF 통신부(120)를 통해 UAV와 통신을 수행하여 UAV의 이동을 제어할 수 있다.

[0067] 결과적으로 본 실시예에 따른 UAV 제어 장치는 UAV와의 FSO 통신 성능이 저하되는 경우, UAV가 이동할 위치를 지정하고, UAV가 지정된 위치로 이동할 때, 무선 통신 시스템에 의해 제약되는 최대 중단 시간(t_{max}) 이내에 이동하면서, 에너지 소모를 최소화하면서 이동할 수 있도록 한다. 따라서 통신 안정성을 최대한 유지하면서 장시간 FSO 통신이 유지될 수 있도록 한다.

[0068] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 UAV 기반 FSO 통신 네트워크의 UAV 제어 방법을 나타낸다.

[0069] 도 2를 참조하여, 도 3의 UAV 기반 FSO 통신 네트워크의 UAV 제어 방법을 설명하면, 우선, UAV 제어 장치는 UAV와 FSO 기반 통신을 수행한다(S11). 그리고 FSO 통신을 수행하는 동안 FSO 통신 성능에 저하가 발생하는지 판별한다(S12). 일예로 광 신호의 세기가 기지정된 기준 세기 이하로 약해지면, FSO 통신 성능에 저하가 발생된 것으로 판별할 수 있다.

[0070] 만일 FSO 통신 성능 저하가 발생된 것으로 판별되면, UAV 및 환경 정보를 수집한다(S13). 여기서 UAV 정보에는 UAV의 블레이드 프로파일(blade profile) 전력 성분 관련 상수(P_0), 유도 전력 성분 관련 상수(P_i), 로터 블레이드(rotor blade)의 팁 속도(U_{tip}), UAV의 호버링 시 평균 로터 유도 속도(v_0), 동체 항력 비(d_0), 로터의 견고도(s), 로터 디스크 면적(A) 및 UAV의 무게(w)가 포함될 수 있으며, 환경 정보에는 공기 밀도(ρ)가 포함될 수 있다.

[0071] 여기서는 FSO 통신 성능 저하가 발생되면, UAV 및 환경 정보를 수집하는 것으로 설명하였으나, UAV 정보는 미리 획득되어 저장될 수 있으며, 환경 정보도 미리 획득될 수도 있다. UAV 및 환경 정보는 UAV로부터 인가받아 획득될 수도 있으나, UAV와 별개로 유/무선 네트워크를 통해, UAV 제조사나 기상청과 같은 외부 시스템으로부터 인가받아 획득할 수도 있다.

[0072] UAV 및 환경 정보가 수집되면, UAV를 이동시키고자 하는 UAV 이동 위치를 지정한다(S14). UAV 이동 위치는 주변 FSO 게이트웨이 및 다른 UAV로부터의 통신망 정보를 고려하여 지정될 수 있다.

[0073] UAV의 이동 위치가 지정되면, 현재 위치로부터 지정된 위치로의 UAV 이동이 고도 상승이 필요한 상승 이동인지 아니면, 하강 이동인지 판별한다(S15).

[0074] 만일 상승 이동으로 판별되면, 수학식 4에 따라 상승 이동 에너지 소비량(E(V))을 계산하고, 수학식 7과 같이 계산된 상승 이동 에너지 소비량(E(V))의 이동 속도(V)에 대한 변화량에 따라 에너지 최소화 속도(V^*)를 계산한다(S16).

[0075] 반면 하강 이동으로 판별되면, 수학식 5에 따라 하강 이동 에너지 소비량(E(V))을 계산하고, 수학식 8과 같이 계산된 하강 이동 에너지 소비량(E(V))의 이동 속도(V)에 대한 변화량에 따라 에너지 최소화 속도(V^*)를 계산한다(S17).

[0076] 그리고 계산된 에너지 최소화 속도(V^*)가 UAV가 이동 거리(D)를 최대 중단 시간(t_{max}) 동안 이동하는 최저 한계 속도(D/t_{max}) 이상인지 판별한다(S18). 만일 에너지 최소화 속도(V^*)가 최저 한계 속도(D/t_{max}) 이상이면, 에너

지 최소화 속도(V^*)를 최적 이동 속도(V_{opt})로 획득한다(S19). 그러나 에너지 최소화 속도(V^*)가 최저 한계 속도(D/t_{max}) 미만이면, 최저 한계 속도(D/t_{max})를 UAV의 최적 이동 속도(V_{opt})로 획득한다(S20).

[0077] UAV의 최적 이동 속도(V_{opt})가 획득되면, 최적 이동 속도(V_{opt})로 지정된 위치로 이동하도록 UAV를 제어한다(S21).

[0078] 도 4는 본 발명의 UAV 기반 FSO 통신 네트워크의 UAV 제어 방법 적용 시 최대 중단 시간에 따른 최적의 속도 및 그에 따른 에너지 소비량을 나타낸다.

[0079] 도 4를 참조하면, UAV의 최대 중단 시간(t_{max})이 충분히 여유로운 경우, 본 실시예의 UAV 제어 방법에 따른 UAV의 이동 속도는 도 4의 그래프에서 우측에 나타난 바와 같이, 속도에 따른 에너지 소비 함수의 강 볼록성(Strict Convexity)에 의해 최적의 유일한 속도 값으로 맞춰지며, 이 때 에너지 소비량이 최소가 됨을 알 수 있다. 한편, 도 4의 좌측에서는 최대 중단 시간(t_{max})이 충분히 여유롭지 않아 에너지 소비 함수를 최소화하는 속도 값을 포함할 수 없으므로 제약 조건을 만족시키는 속도 값의 집합의 경계에서 최적의 속도 및 상응하는 UAV 에너지 소비량이 도출된다. 이는 본 실시예가 시간 제약조건을 적극적으로 활용하여 UAV 에너지 소비를 최소화할 수 있음을 보여준다.

[0080] 본 발명에 따른 방법은 컴퓨터에서 실행시키기 위한 매체에 저장된 컴퓨터 프로그램으로 구현될 수 있다. 여기서 컴퓨터 판독가능 매체는 컴퓨터에 의해 액세스 될 수 있는 임의의 가용 매체일 수 있고, 또한 컴퓨터 저장 매체를 모두 포함할 수 있다. 컴퓨터 저장 매체는 컴퓨터 판독가능 명령어, 데이터 구조, 프로그램 모듈 또는 기타 데이터와 같은 정보의 저장을 위한 임의의 방법 또는 기술로 구현된 휘발성 및 비휘발성, 분리형 및 비분리형 매체를 모두 포함하며, ROM(판독 전용 메모리), RAM(랜덤 액세스 메모리), CD(컴팩트 디스크)-ROM, DVD(디지털 비디오 디스크)-ROM, 자기 테이프, 플로피 디스크, 광데이터 저장장치 등을 포함할 수 있다.

[0081] 본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다.

[0082] 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 청구범위의 기술적 사상에 의해 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

[0083] UAV: 무인 항공기 GCS: 지상 제어 시스템

100: 통신부 110: FSO 통신부

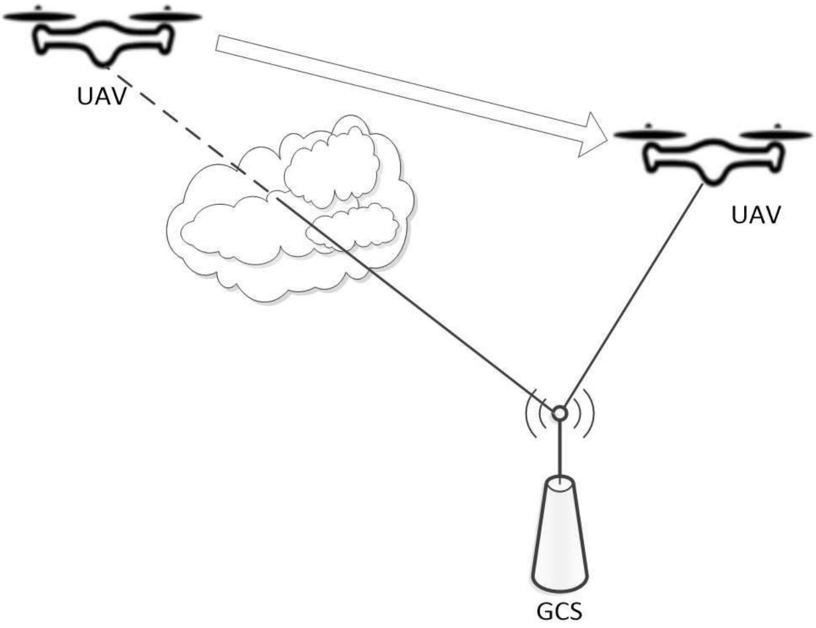
120: RF 통신부 200: UAV 위치 지정부

300: UAV 제어부 310: 정보 수집부

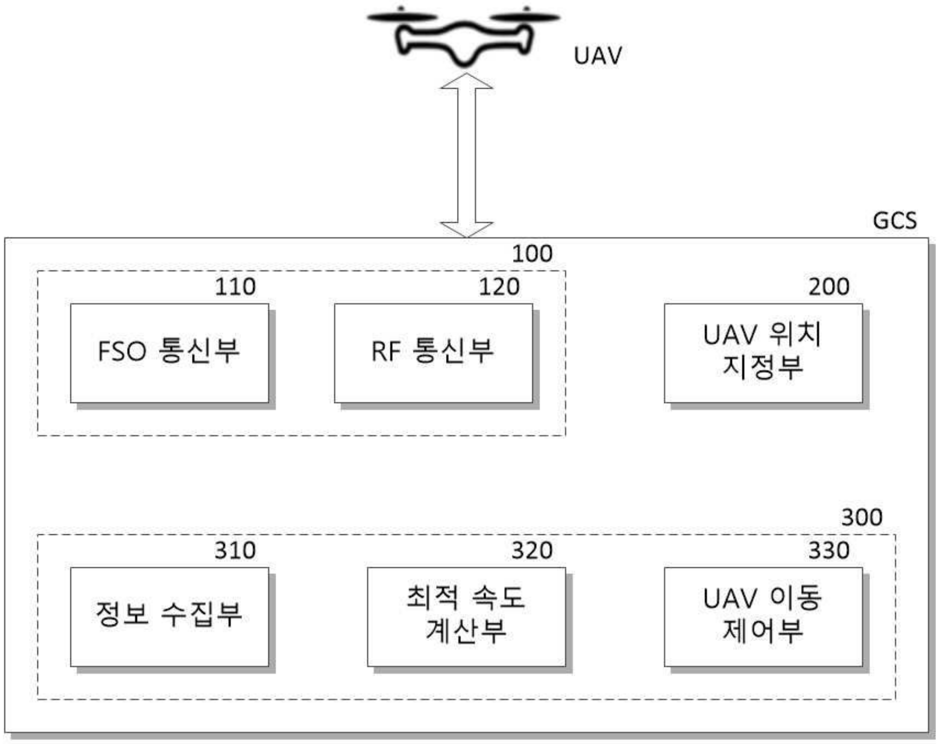
320: 최적 속도 계산부 330: UAV 이동 제어부

도면

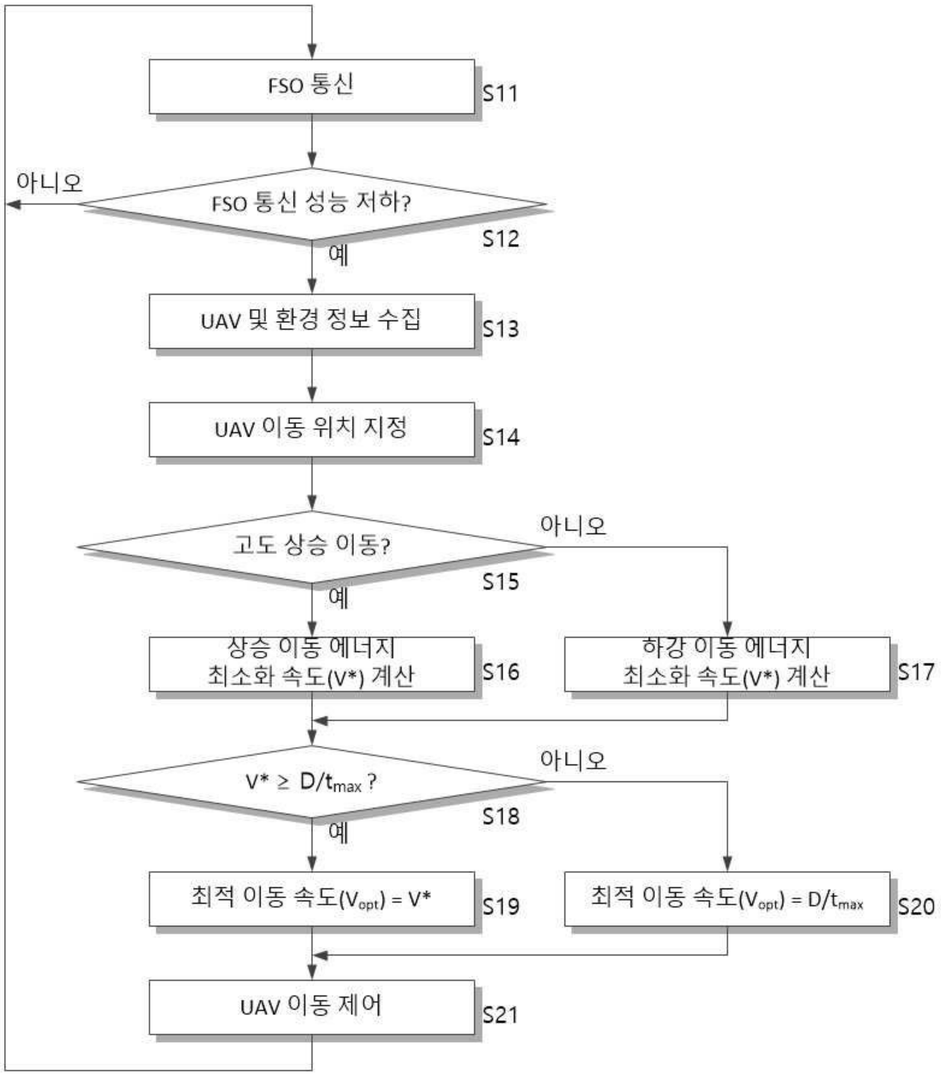
도면1


UAV
UAV
GCS

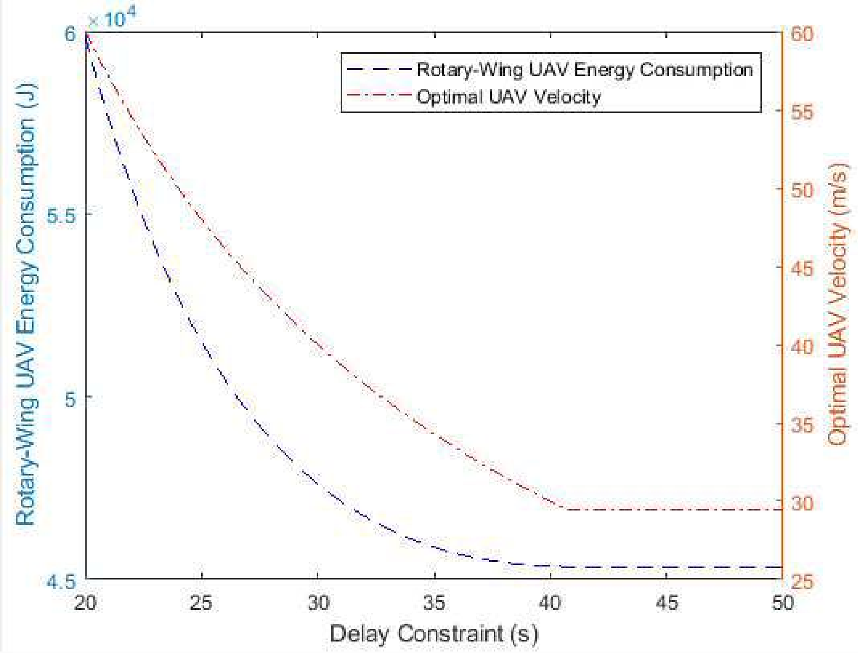
도면2


UAV
GCS
100
110
120
200
FSO 통신부
RF 통신부
UAV 위치
지정부
300
310
320
330
정보 수집부
최적 속도
계산부
UAV 이동
제어부

도면3


FSO 통신
S11
아니오
FSO 통신 성능 저하?
S12
예
UAV 및 환경 정보 수집
S13
UAV 이동 위치 지정
S14
아니오
고도 상승 이동?
S15
예
상승 이동 에너지 최소화 속도(V*) 계산
S16
하강 이동 에너지 최소화 속도(V*) 계산
S17
아니오
V* ≥ D/t_max ?
S18
예
최적 이동 속도(V_opt) = V*
S19
최적 이동 속도(V_opt) = D/t_max
S20
UAV 이동 제어
S21

도면4


×10^4
Rotary-Wing UAV Energy Consumption
Optimal UAV Velocity
Rotary-Wing UAV Energy Consumption (J)
Optimal UAV Velocity (m/s)
Delay Constraint (s)
6
5.5
5
4.5
60
55
50
45
40
35
30
25
20
25
30
35
40
45
50