



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0032869
(43) 공개일자 2025년03월07일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04W 16/18 (2009.01) H04B 17/309 (2015.01)
H04B 17/391 (2015.01) H04W 24/02 (2009.01)
H04W 4/029 (2018.01) H04W 84/06 (2019.01)
(52) CPC특허분류
H04W 16/18 (2013.01)
H04B 17/346 (2023.05)
(21) 출원번호 10-2024-0074188
(22) 출원일자 2024년06월07일
심사청구일자 2024년06월07일
(30) 우선권주장
1020230114842 2023년08월30일 대한민국(KR)

(71) 출원인
연세대학교 산학협력단
서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)
인천대학교 산학협력단
인천광역시 연수구 갯벌로 27, 인천대학교 이노베이션센터(송도동)
(72) 발명자
이장원
서울특별시 서대문구 연세로 50
김도엽
인천광역시 연수구 하모니로138번길 11, 102동 1802호 (송도동)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인(유한)아이시스

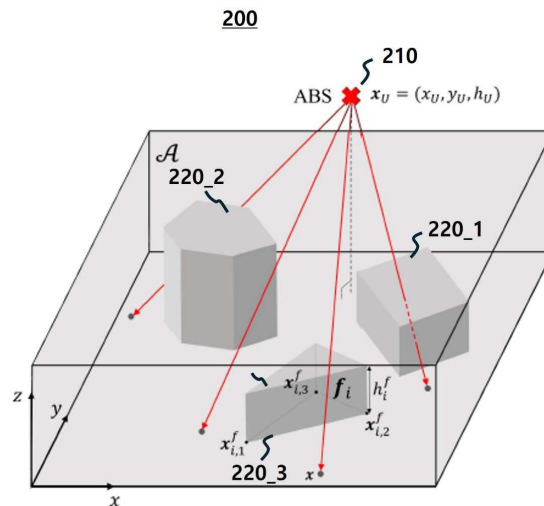
전체 청구항 수 : 총 15 항

(54) 발명의 명칭 지형지물 정보를 활용한 공중 기지국의 최적 배치

(57) 요약

무인항공기 지원 네트워크를 운영하기 위한 기술이 개시된다. 일 실시예에 있어서, 대상 공간에 위치하는 적어도 하나의 사용자 기기에 대해 통신 서비스를 제공하는 공중 기지국의 비행 경로를 전자 장치에 의해 결정하는 방법은 지형 특징 정보를 획득하는 단계; 및 상기 획득된 지형 특징 정보를 기초로 커버리지 영역을 최대화하는 비행 경로를 결정하는 단계를 포함할 수 있다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

H04B 17/391 (2015.01)

H04W 24/02 (2013.01)

H04W 4/029 (2020.05)

H04W 84/06 (2019.01)

(72) 발명자

조연우

서울특별시 양천구 목동서로 70, 218동 1406호

원종현

서울특별시 서대문구 연세로 50

명세서

청구범위

청구항 1

대상 공간에 위치하는 적어도 하나의 사용자 기기에 대해 통신 서비스를 제공하는 공중 기지국의 비행 경로를 전자 장치에 의해 결정하는 방법에 있어서,

지형 특징 정보 - 상기 대상 공간에 위치하는 적어도 하나의 지형 특징 각각에 대한 정보를 포함함 - 를 획득하는 단계; 및

상기 획득된 지형 특징 정보를 기초로 커버리지 영역 - 상기 대상 공간 중에서 미리 설정된 통신 품질 요건을 충족하는 지상 영역 - 을 최대화하는 비행 경로를 결정하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 미리 설정된 통신 품질 요건은

상기 지상 영역의 각 지상 지점과 상기 공중 기지국 간의 신호 대 잡음비가 미리 설정된 제1 임계치 이상을 가지는 것을 포함하는 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 결정하는 단계는,

커버리지 확률이 미리 설정된 제2 임계치 이상의 값을 가지게 하는 지상 영역을 최대화하는 비행 경로를 결정하는 단계를 포함하고,

상기 커버리지 확률은 상기 지상 영역의 각 지상 지점과 상기 공중 기지국 간의 신호 대 잡음비가 미리 설정된 제1 임계치 이상을 가질 확률인 방법.

청구항 4

제1항에 있어서, 상기 결정하는 단계는

요구 조건 - 상기 공중 기지국의 비행 높이 조건을 포함함 - 을 충족하면서 커버리지 확률을 최대화하는 비행 경로를 결정하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 5

제1항에 있어서, 상기 결정하는 단계는 다음의 최적화 문제

$$\underset{\mathbf{x}_U \in \mathbb{R}^3}{\text{maximize}} f_{cov}(\mathbf{x}_U; \mathbf{F})$$

$$\text{subject to } h_{\min} \leq h_U \leq h_{\max}$$

의 해를 구하여 상기 비행 경로를 결정하는 단계를 포함하고,

$\mathbf{x}_U$ 는 상기 공중 기지국의 3차원 좌표이고, $\mathbf{F}$ 는 상기 지형 특징 정보이고, h_U , $h_{\min}$, $h_{\max}$ 는 각각 상기 공중 기지국의 3차원 좌표상 높이, 최소 배치 높이, 최대 배치 높이를 나타내며, $f_{cov}(\mathbf{x}_U; \mathbf{F})$ 는 상기 공중 기지국이 $\mathbf{x}_U$ 에 배치되었을 때의 커버리지 영역을 나타내는 방법.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 커버리지 영역은 커버리지 확률이 미리 설정된 제2 임계치 이상의 값을 가지게 하는 지상 영역을 포함하고,

상기 커버리지 확률은 상기 지상 영역의 각 지상 지점과 상기 공중 기지국 간의 신호 대 잡음비가 미리 설정된 제1 임계치 이상을 가질 확률인 방법.

청구항 7

제6항에 있어서, 상기 커버리지 영역은

$$f_{cov}(\mathbf{x}_U; F) = \iint_{\mathbf{x} \in A \setminus \Omega_F} 1_{\{P_{cov}(\mathbf{x}, \mathbf{x}_U; F) \geq \mu\}} d\mathbf{x}$$

로 표현되며,

$P_{cov}(\mathbf{x}, \mathbf{x}_U; F)$ 은 상기 커버리지 확률이며,

μ 는 상기 제2 임계치이며,

Ω_F 는 대상 공간(A)에서 상기 적어도 하나의 지형 특징 각각이 차지하는 지상 영역을 나타내며,

$1_{\{\cdot\}}$ 는 중괄호 안 명제가 참이면 1, 거짓이면 0의 값을 가지는 지시 함수인 방법.

청구항 8

제1항에 있어서, 상기 지형 특징 정보는,

상기 적어도 하나의 지형 특징 각각을 사각 기둥으로 표현한 정보를 포함하는 방법.

청구항 9

제1항에 있어서, 상기 지형 특징 정보는,

상기 적어도 하나의 지형 특징 각각을 다각 기둥으로 표현한 정보를 포함하는 방법.

청구항 10

제1항에 있어서, 상기 결정하는 단계는,

상기 적어도 하나의 지형 특징 각각의 바닥면을 다각형 삼각분할 - 해당 바닥면을 하나 이상의 삼각형으로 분할함 - 을 수행하는 단계; 및

상기 다각형 삼각분할을 수행한 결과를 기초로, 상기 비행 경로를 결정하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 다각형 삼각분할을 수행한 결과를 기초로, 상기 비행 경로를 결정하는 단계는, 상기 다각형 삼각분할을 수행한 결과를 기초로, 커버리지 영역을 나타내는 목적 함수를 산술 연산에 대한 단일 적분 형태로 표현하는 단계; 및 상기 목적 함수를 최대화하는 비행 경로를 결정하는 단계를 포함하고,

상기 커버리지 영역은 주어진 비행 경로에서 커버리지 확률이 미리 설정된 제2 임계치보다 이상의 값을 가지게 하는 지상 영역이고,

상기 커버리지 확률은 상기 지상 영역의 각 지상 지점과 상기 공중 기지국 간의 채널 전력 이득이 미리 설정된 제1 임계치 이상을 가질 확률인 방법.

청구항 12

제1항에 있어서, 상기 비행 경로를 결정하는 단계는,

입자 군집 최적화(particle swarm optimization, PSO) 알고리즘을 사용하여 상기 비행 경로를 결정하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 13

제1항에 있어서,

상기 전자 장치는 상기 공중 기지국이며,

상기 방법은 상기 결정된 비행 경로에 따라 통신 서비스를 제공하는 단계를 더 포함하는 방법.

청구항 14

제1항에 있어서,

상기 전자 장치는 상기 공중 기지국과 물리적으로 분리된 기기이며,

상기 방법은 상기 결정된 비행 경로를 상기 공중 기지국에 제공하는 단계를 더 포함하는 방법.

청구항 15

대상 공간에 위치하는 적어도 하나의 사용자 기기에 대해 통신 서비스를 제공하는 공중 기지국의 비행 경로를 결정하는 전자 장치로서,

프로세서; 및

명령어를 포함하는 컴퓨터 판독가능 저장 매체를 포함하며,

상기 명령어는 상기 프로세서에 의한 실행에 응답하여, 상기 전자 장치로 하여금 청구항 1항 내지 12항 중 어느 한 항에 기재된 방법을 수행하게 하는, 전자 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 개시(disclosure)는 무인항공기 지원 네트워크를 운영하기 위한 기술에 관한 것으로, 보다 상세하게는 몇몇 실시예들은 지형지물 정보를 기초로 커버리지 영역을 최대화하는 공중 기지국의 비행 경로를 결정하는 기술에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 무인 항공기(Unmanned Aerial Vehicle, 이하 UAV)은 3차원 공간에서의 유연한 배치, 빠른 이동성, 소형 사이즈, 낮은 비용 등 많은 장점을 가지고 있어 여러 분야에서 널리 사용되고 있다. 무선 네트워크도 UAV를 이용해 네트워크 성능을 향상시킬 수 있는 분야 중 하나이다. 이러한 가능성을 바탕으로, 무선 네트워크에 UAV를 통합하는 연구가 활발히 진행되고 있으며, 이를 'UAV 지원 네트워크(UAV-enabled network)'라 한다. UAV 지원 네트워크의 일례로, UAV는 공중 기지국(Aerial Base Station, 이하 ABS) 역할을 하여 지상 기지국(Ground Base Station, 이하 GBS)과 지상 사용자(Ground User, 이하 GU) 간의 데이터를 중계할 수 있다.

[0003] 기존의 지상 기지국에 비해 ABS는 다음과 같은 이점을 갖고 있다.

[0004] 첫째, 높은 고도에 배치될 수 있는 능력으로 인해 지상 지점과 가시선(LoS) 채널을 형성할 가능성이 높아진다. LoS 채널의 채널 전력 이득이 평균적으로 비가시선(NLoS) 채널보다 높기 때문에, ABS는 높은 성능으로 통신 서비스를 제공할 수 있다.

[0005] 둘째, ABS는 유연한 이동성을 가지고 있다. 지상 기지국의 고정된 위치와 달리, ABS의 3차원(3D) 위치는 배치 목적, 환경 요인 및 기타 고려사항에 따라 신속하게 조정될 수 있다.

[0006] 따라서 ABS 위치를 적절히 결정하는 것은 지상 지점에 효과적으로 통신 서비스를 제공할 수 있는 ABS의 능력에 영향을 미치기 때문에 필수적일 수 있다. 여기서 ABS와 지상 지점 사이에 형성된 공중-지상(A2G) 채널의 채널 조건, 즉 LoS 또는 NLoS 여부 및 전파 거리가 ABS 위치에 따라 변화하므로, ABS 위치를 결정할 때 채널 조건을 고려하는 것이 중요할 수 있다.

[0007] 따라서 이러한 특성을 고려하여 ABS 위치를 결정하는 연구가 진행되고 있다. 그러나, 대다수 연구는 과도한 가정(예컨대, 지상 사용자는 항상 LoS 환경에 있음)에 의존하거나 단순화된 모델에 의존하여, 현실적인 (practical) 환경에 적용하기 힘들다는 제약이 있을 수 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 따라서, 무인항공기 지원 네트워크를 효율적으로 운영하기 위한 기술(예컨대, 보다 현실적인 환경에서 무선 커버리지를 최대화하기 위한 ABS의 비행 경로를 결정하는 기술)을 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0009] 본 개시의 일 양태는 대상 공간에 위치하는 적어도 하나의 사용자 기기에 대해 통신 서비스를 제공하는 공중 기지국의 비행 경로를 전자 장치에 의해 결정하는 방법에 있어서, 지형 특징 정보를 획득하는 단계; 및

[0010] 상기 획득된 지형 특징 정보를 기초로 커버리지 영역 - 상기 대상 공간 중에서 미리 설정된 통신 품질 요건을 충족하는 지상 영역 - 을 최대화하는 비행 경로를 결정하는 단계를 포함하는 방법을 제공한다. 몇몇 실시예들에 있어서, 상기 지형 특징 정보는 상기 대상 공간에 위치하는 적어도 하나의 지형 특징 각각에 대한 정보를 포함할 수 있다. 몇몇 실시예들에 있어서, 상기 커버리지 영역은 상기 대상 공간 중에서 미리 설정된 통신 품질 요건을 충족하는 지상 영역일 수 있다.

[0011] 몇몇 실시예들에 있어서, 상기 미리 설정된 통신 품질 요건은 상기 지상 영역의 각 지상 지점과 상기 공중 기지국 간의 신호 대 잡음비가 미리 설정된 제1 임계치 이상을 가지는 것일 수 있다.

[0012] 몇몇 실시예들에 있어서, 상기 결정하는 단계는 커버리지 확률이 미리 설정된 제2 임계치 이상의 값을 가지게 하는 지상 영역을 최대화하는 비행 경로를 결정하는 단계를 포함하고, 상기 커버리지 확률은 상기 지상 영역의 각 지상 지점과 상기 공중 기지국 간의 신호 대 잡음비가 미리 설정된 제1 임계치 이상을 가질 확률일 수 있다.

[0013] 몇몇 실시예들에 있어서, 상기 결정하는 단계는 요구 조건을 충족하면서 커버리지 확률을 최대화하는 비행 경로를 결정하는 단계를 포함하는 방법. 상기 요구 조건은 상기 공중 기지국의 비행 높이 조건을 포함할 수 있다.

[0014] 몇몇 실시예들에 있어서, 상기 결정하는 단계는 다음의 최적화 문제

$$\underset{\mathbf{x}_U \in \mathbb{R}^3}{\text{maximize}} f_{cov}(\mathbf{x}_U; F)$$

$$\text{subject to } h_{\min} \leq h_U \leq h_{\max}$$

[0015]

[0016] 의 해를 구하여 상기 비행 경로를 결정하는 단계를 포함할 수 있다. 여기서, $\mathbf{x}_U$ 는 상기 공중 기지국의 3차원 좌표이고, F 는 상기 지형 특징 정보이고, h_U , $h_{\min}$, $h_{\max}$ 는 각각 상기 공중 기지국의 3차원 좌표상 높이, 최소 배치 높이, 최대 배치 높이를 나타내며, $f_{cov}(\mathbf{x}_U; F)$ 는 상기 공중 기지국이 $\mathbf{x}_U$ 에 배치되었을 때의 커버리지 영역을 나타낸다.

[0017] 몇몇 실시예들에 있어서, 상기 커버리지 영역은 커버리지 확률이 미리 설정된 제2 임계치 이상의 값을 가지게 하는 지상 영역을 포함하고, 상기 커버리지 확률은 상기 지상 영역의 각 지상 지점과 상기 공중 기지국 간의 신호 대 잡음비가 미리 설정된 제1 임계치 이상을 가질 확률일 수 있다. 몇몇 실시예들에 있어서, 상기 커버리지 영역은

$$f_{cov}(\mathbf{x}_U; F) = \iint_{\mathbf{x} \in A \setminus \Omega_F} \mathbf{1}_{\{P_{cov}(\mathbf{x}, \mathbf{x}_U; F) \geq \mu\}} d\mathbf{x}$$

[0018]

[0019] 로 표현될 수 있다. 여기서, $P_{cov}(\mathbf{x}, \mathbf{x}_U; F)$ 은 상기 커버리지 확률이며, μ 는 상기 제2 임계치이며, Ω_F 는 통신 서비스를 제공하고자 하는 대상 공간(A)에서 상기 적어도 하나의 지형 특징 각각이 차지하는 지상 영역을 나타내며, $\mathbf{1}_{\{\cdot\}}$ 는 중괄호 안 명제가 참이면 1, 거짓이면 0의 값을 가지는 지시 함수이다.

- [0020] 몇몇 실시예들에 있어서, 상기 지형 특징 정보는 상기 적어도 하나의 지형 특징 각각을 사각 기둥으로 표현한 정보를 포함할 수 있다.
- [0021] 몇몇 실시예들에 있어서, 상기 지형 특징 정보는 상기 적어도 하나의 지형 특징 각각을 다각 기둥으로 표현한 정보를 포함할 수 있다.
- [0022] 몇몇 실시예들에 있어서, 상기 결정하는 단계는 상기 적어도 하나의 지형 특징 각각의 바닥면을 다각형 삼각분할을 수행하는 단계; 및 상기 다각형 삼각분할을 수행한 결과를 기초로, 상기 비행 경로를 결정하는 단계를 포함할 수 있다. 몇몇 실시예들에 있어서, 상기 다각형 삼각분할은 해당 바닥면을 하나 이상의 삼각형으로 분할하는 것을 포함할 수 있다.
- [0023] 몇몇 실시예들에 있어서, 상기 다각형 삼각분할을 수행한 결과를 기초로, 상기 비행 경로를 결정하는 단계는, 상기 다각형 삼각분할을 수행한 결과를 기초로, 커버리지 영역을 나타내는 목적 함수를 산술 연산에 대한 단일 적분 형태로 표현하는 단계; 및 상기 목적 함수를 최대화하는 비행 경로를 결정하는 단계를 포함하고, 상기 커버리지 영역은 주어진 비행 경로에서 커버리지 확률이 미리 설정된 제2 임계치보다 이상의 값을 가지게 하는 지상 영역이고, 상기 커버리지 확률은 상기 지상 영역의 각 지상 지점과 상기 공중 기지국 간의 채널 전력 이득이 미리 설정된 제1 임계치 이상을 가질 확률일 수 있다.
- [0024] 몇몇 실시예들에 있어서, 상기 비행 경로를 결정하는 단계는 입자 군집 최적화(particle swarm optimization, PSO) 알고리즘을 사용하여 상기 비행 경로를 결정하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0025] 몇몇 실시예들에 있어서, 상기 전자 장치는 상기 공중 기지국이며, 상기 방법은 상기 결정된 비행 경로에 따라 통신 서비스를 제공하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0026] 몇몇 실시예들에 있어서, 상기 전자 장치는 상기 공중 기지국과 물리적으로 분리된 기기이며, 상기 방법은 상기 결정된 비행 경로를 상기 공중 기지국에 제공하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0027] 본 개시의 다른 양태는 대상 공간에 위치하는 적어도 하나의 사용자 기기에 대해 통신 서비스를 제공하는 공중 기지국의 비행 경로를 결정하는 전자 장치로서, 프로세서; 및 명령어를 포함하는 컴퓨터 판독가능 저장 매체를 포함하며, 상기 명령어는 상기 프로세서에 의한 실행에 응답하여, 상기 전자 장치로 하여금 본 개시의 실시예들 중 적어도 하나를 수행하게 하는, 전자 장치를 제공한다.
- [0028] 본 개시의 또 다른 양태는 전자 장치로서, 프로세서; 하나 이상의 하드웨어 기반 트랜시버; 및 명령어를 포함하는 컴퓨터 판독가능 저장 매체를 포함하며, 상기 명령어는 상기 프로세서에 의한 실행에 응답하여, 상기 전자 장치로 하여금 본 개시의 실시예들 중 적어도 하나를 수행하게 하는, 전자 장치를 제공한다.
- [0029] 본 개시의 또 다른 양태는 전자 장치의 프로세서로 판독 가능한 인스트럭션들(instructions)을 저장하는 비일시적 기록 매체에 있어서, 상기 인스트럭션들은, 상기 프로세서가 본 개시의 실시예들 중 적어도 하나를 수행하도록 하는 기록 매체를 제공한다.
- [0030] 본 개요는 이하의 상세한 설명에서 더 설명되는 개념들 중 선택된 것들을 단순한 형태로 소개하기 위해 제공된 것이다. 본 개요는 청구되는 발명의 주제의 핵심적인 특징 또는 본질적인 특징을 식별하도록 의도된 것이 아니며, 청구되는 발명의 주제의 범위를 제한하기 위해 사용되도록 의도된 것도 아니다. 또한, 청구되는 발명의 주제는 본 명세서의 임의의 부분에서 언급된 문제점들 중 일부 또는 전부를 해결하는 구현들로만 한정되지 않는다. 전술한 예시적인 양태들, 실시예들 및 특징들에 더하여, 추가적인 양태들, 실시예들, 및 특징들이 이하의 상세한 설명 및 도면을 참조로 명확해질 것이다.
- 발명의 효과**
- [0031] 본 개시의 몇몇 실시예들은 다음의 장점들을 포함하는 효과를 가질 수 있다. 다만, 모든 실시예들이 이를 전부 포함하여야 한다는 의미는 아니므로, 본 발명의 권리범위는 이에 의하여 제한되는 것으로 이해되어서는 아니 될 것이다.
- [0032] 몇몇 실시예들에 따르면, 지형 특징 정보를 기초로 무선 커버리지를 최대화하는 UAV 지원 네트워크가 제공될 수 있다.
- [0033] 몇몇 실시예들에 따르면, 보다 현실적인 환경(예컨대, 지형 지물이 많은 환경, 보다 현실적인 지형 특징 모델 또는 채널 모델을 사용하는 환경, 및/또는 보다 낮은 계산 복잡도의 최적화 기법)에 적용 가능한 UAV 비행 경로

최적화 기법이 제공될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0034]

도 1은 UAV 지원 네트워크의 몇몇 실시예들을 설명하기 위한 시스템을 예시한다.

도 2는 지형 특징에 대한 몇몇 실시예들을 설명하기 위한 도면이다.

도 3은 비행 경로 결정에 대한 몇몇 실시예들을 설명하기 위한 시스템을 예시한다.

도 4a 및 4b는 극좌표계에서 가시선 영역과 비가시선 영역에 대한 몇몇 실시예들을 설명하기 위한 도면이다.

도 5는 다각 기둥의 단일 지형 특징이 형성하는 가시선 영역 및 비가시선 영역을 설명하기 위한 도면이다.

도 6a 및 도 6b는 다각형 삼각 분할의 몇몇 실시예들을 설명하기 위한 도면이다.

도 7, 8, 및 9는 삼각 기둥 기반 지형 특징 정보를 기초로 가시선 영역 및 비가시선 영역을 결정하는 몇몇 실시예들을 설명하기 위한 도면이다.

도 10은 ABS 위치가 주어졌을 때 복수의 삼각 기둥들에 의해 FHL 상에서 가시선 영역과 비가시선 영역이 형성되는 모습을 FHL과 z축으로 이루어진 평면으로 예시한다.

도 11은 PSO 알고리즘 기반 비행 경로 결정에 대한 몇몇 실시예들을 설명하기 위한 의사 코드이다.

도 12는 본 개시의 실시예들에 따른 방법을 수행하는 전자 장치를 예시하는 블록도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0035]

본 발명에 관한 설명은 구조적 내지 기능적 설명을 위한 실시예에 불과하므로, 본 발명의 권리범위는 본문에 설명된 실시예에 의하여 제한되는 것으로 해석되어서는 아니 된다. 즉, 실시예는 다양한 변경이 가능하고 여러 가지 형태를 가질 수 있으므로 본 발명의 권리범위는 기술적 사상을 실현할 수 있는 균등물들을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 또한, 본 발명에서 제시된 목적 또는 효과는 특정 실시예가 이를 전부 포함하여야 한다거나 그러한 효과만을 포함하여야 한다는 의미는 아니므로, 본 발명의 권리범위는 이에 의하여 제한되는 것으로 이해되어서는 아니 될 것이다.

[0036]

한편, 본 개시에서 서술되는 용어의 의미는 다음과 같이 이해되어야 할 것이다.

[0037]

"제1", "제2" 등의 용어는 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하기 위한 것으로, 이들 용어들에 의해 권리범위가 한정되어서는 아니 된다. 예를 들어, 제1 구성요소는 제2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성요소도 제1 구성요소로 명명될 수 있다.

[0038]

어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "연결되어" 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결될 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 반면에, 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "직접 연결되어" 있다고 언급된 때에는 중간에 다른 구성요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다. 한편, 구성요소들 간의 관계를 설명하는 다른 표현들, 즉 "~사이에"와 "바로 ~사이에" 또는 "~에 이웃하는"과 "~에 직접 이웃하는" 등도 마찬가지로 해석되어야 한다.

[0039]

단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한 복수의 표현을 포함하는 것으로 이해되어야 하고, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 실시된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이며, 하나 또는 그 이상의 다른 특징이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

[0040]

각 단계들에 있어 식별부호(예를 들어, a, b, c 등)는 설명의 편의를 위하여 사용되는 것으로 식별부호는 각 단계들의 순서를 설명하는 것이 아니며, 각 단계들은 문맥상 명백하게 특정 순서를 기재하지 않는 이상 명기된 순서와 다르게 일어날 수 있다. 즉, 각 단계들은 명기된 순서와 동일하게 일어날 수도 있고 실질적으로 동시에 수행될 수도 있으며 반대의 순서대로 수행될 수도 있다.

[0041]

도 1은 UAV 지원 네트워크의 몇몇 실시예들을 설명하기 위한 시스템을 예시한다.

[0042]

몇몇 실시예들에 있어서, 도 1에 예시된 바와 같이, UAV 지원 네트워크(100)는 대상 공간(A)(즉, ABS가 통신 서비스를 제공하는 공간)에 위치하는 적어도 하나의 사용자 기기(User Equipment, 미도시) 및 적어도 하나의 사용자

자 기기에 통신 서비스를 제공하는 ABS(110)을 포함할 수 있다.

- [0043] 몇몇 실시예들에 있어서, 대상 공간(target space)(A)에는 적어도 하나의 지형 특징이 위치할 수 있다. 일례로, 도 1에 예시된 바와 같이, 대상 공간(A)에는 사각 기둥(rectangular prism)으로 표현된 3개의 지형 특징들(120_1, 120_2, 120_3)이 위치한다. 다른 일례로, 도 2에서 예시된 바와 같이, 적어도 하나의 지형 특징 각각은 다각 기둥(polygonal prism)으로 표현될 수 있다.
- [0044] 도 2는 지형 특징에 대한 몇몇 실시예들을 설명하기 위한 도면이다.
- [0045] 몇몇 실시예들에 있어서, 도 2에 예시된 바와 같이, UAV 지원 네트워크(200)는 대상 공간(A)에 위치하는 적어도 하나의 사용자 기기(미도시) 및 적어도 하나의 사용자 기기에 통신 서비스를 제공하는 ABS(210)을 포함할 수 있다. 도 2를 참조하면, 대상 공간(A)에 위치하는 지형 특징 각각은, 도 1에서 사각 기둥에 국한되는 것과는 달리, 다양한 다각 기둥(220_1, 220_2, 220_3)으로 표현될 수 있다.
- [0046] 몇몇 실시예들에 있어서, 전자 장치는 지형 특징 정보(F)를 기초로 커버리지 영역을 최대화하는 ABS(110 또는 210)의 비행 경로를 결정할 수 있다. 일례로, 상기 전자 장치는 ABS(110 또는 210)이며, 상기 결정된 비행 경로에 따라 통신 서비스를 제공할 수 있다. 다른 일례로, 상기 전자 장치는 상기 공중 기지국과 물리적으로 분리된 기기이며, 상기 전자 장치는 상기 결정된 비행 경로를 상기 공중 기지국에 제공하여, 상기 공중 기지국으로 하여금 상기 결정된 비행 경로에 따라 통신 서비스를 제공하도록 한다.
- [0047] 이하에서 ABS(예컨대, 110 또는 210)이 관여되는 몇몇 실시예들을, 편의상, 레이블(즉, 110 또는 120)을 생략하여 ABS로 칭하여 설명하고자 한다.
- [0048] 도 3은 비행 경로 결정에 대한 몇몇 실시예들을 설명하기 위한 시스템을 예시한다.
- [0049] 몇몇 실시예들에 있어서, 도 2에 예시된 바와 같이, 전자 장치는 지형 특징 정보(F)를 획득할 수 있다(S310). 몇몇 실시예들에 있어서, 지형 특징 정보(F)는 대상 공간(A)에 위치하는 적어도 하나의 지형 특징 각각에 대한 정보를 포함할 수 있다. 몇몇 실시예들에 있어서, 지형 특징 정보(F)는 적어도 하나의 지형 특징 각각에 대한 정보를 포함하는 지도일 수 있다.
- [0050] 몇몇 실시예들에 있어서, 도 3에 예시된 바와 같이, 전자 장치는 획득된 지형 특징 정보를 기초로 커버리지 영역을 최대화하는 비행 경로를 결정할 수 있다(S320). 몇몇 실시예들에 있어서, 커버리지 영역은 대상 공간(A) 중에서 미리 설정된 통신 품질 요건을 충족하는 지상 영역일 수 있다.
- [0051] 몇몇 실시예들에 있어서, 상기 미리 설정된 통신 품질 요건은 상기 지상 영역의 각 지상 지점과 ABS 간의 신호 대 잡음비가 미리 설정된 제1 임계치(γ_0) 이상을 가지는 것일 수 있다.
- [0052] 몇몇 실시예들에 있어서, 전자 장치는 S320 블록에서 커버리지 확률이 미리 설정된 제2 임계치(μ) 이상의 값을 가지게 하는 지상 영역을 최대화하는 비행 경로를 결정할 수 있다. 일례로, 주어진 ABS(110 또는 210)의 위치($\mathbf{x}_v$)에서 임의의 지상 지점(x)이 커버리지 확률이 미리 설정된 제2 임계치(μ) 이상의 값을 가질 경우, 해당 지상 지점(x)은 위치($\mathbf{x}_v$)에 있는 ABS(110 또는 210)에 의해 커버된다(즉, 미리 설정된 통신 품질 요건을 충족한다)고 볼 수 있다. 몇몇 실시예들에 있어서, 커버리지 확률은 상기 지상 영역의 각 지상 지점과 상기 공중 기지국 간의 신호 대 잡음비가 미리 설정된 제1 임계치(γ_0) 이상을 가질 확률일 수 있다.
- [0053] 몇몇 실시예들에 있어서, 전자 장치는 S320 블록에서 요구 조건을 충족하면서 커버리지 확률을 최대화하는 비행 경로를 결정할 수 있다. 몇몇 실시예들에 있어서, 상기 요구 조건은 ABS(110 또는 210)의 비행 높이 조건을 포함할 수 있다.
- [0054] 몇몇 실시예들에 있어서, 전자 장치는 S320 블록에서 수학적 1으로 표현되는 최적화 문제의 해를 구하여 비행 경로를 결정할 수 있다.

수학식 1

$$\underset{\mathbf{x}_U \in \mathbb{R}^3}{\text{maximize}} f_{cov}(\mathbf{x}_U; F)$$

$$\text{subject to } h_{\min} \leq h_U \leq h_{\max}$$

[0055]

[0056] 수학식 1에서, $\mathbf{x}_U$ 는 ABS(110 또는 210)의 3차원 좌표이고, h_U , $h_{\min}$, $h_{\max}$ 는 각각 ABS(100)의 3차원 좌표상 높이, 최소 배치 높이, 최대 배치 높이를 나타낸다.

[0057] F 는 지형 특징 정보이고, 대상 공간(A)에 위치하는 적어도 하나의 지형 특징 각각에 대한 정보를 포함할 수 있다. 일례로, F 는 $F = \{f_i\}_{i=1}^N$ 로 표현되어 N 개의 지형특징들 각각(f_i)에 대한 정보를 포함할 수 있다.

[0058] $f_{cov}(\mathbf{x}_U; F)$ 는 ABS(110 또는 210)이 $\mathbf{x}_U$ 에 배치되었을 때의 커버리지 영역을 나타낸다.

[0059] 몇몇 실시예들에 있어서, $f_{cov}(\mathbf{x}_U; F)$ 는 수학식 2와 같이 ABS(110 또는 210)가 $\mathbf{x}_U$ 에 배치되었을 때 커버리지 확률($P_{cov}(\mathbf{x}, \mathbf{x}_U; F)$)이 미리 설정된 제2 임계치(μ) 이상의 값을 가지게 하는 지상 영역을 나타낸다.

수학식 2

$$f_{cov}(\mathbf{x}_U; F) = \iint_{\mathbf{x} \in A \setminus \Omega_F} 1_{\{P_{cov}(\mathbf{x}, \mathbf{x}_U; F) \geq \mu\}} d\mathbf{x}$$

[0060]

[0061] 수학식 2에서 Ω_F 는 대상 공간(A)에서 상기 적어도 하나의 지형 특징 각각이 차지하는 지상 영역을 나타낸다.

$1_{\{\cdot\}}$ 는 중괄호 안 문장이 참이면 1, 거짓이면 0의 값을 가지는 지시 함수이다. μ 는 상기 제2 임계치이다.

[0062] 몇몇 실시예들에 있어서, 커버리지 확률은 상기 지상 영역의 각 지상 지점과 상기 공중 기지국 간의 신호 대 잡음비가 미리 설정된 제1 임계치 이상을 가질 확률일 수 있다. 일례로, 커버리지 확률 $P_{cov}(\mathbf{x}, \mathbf{x}_U; F)$ 은 수학식 3으로 표현될 수 있다.

수학식 3

$$\begin{aligned} P_{cov}(\mathbf{x}, \mathbf{x}_U; F) &= 1_{\{\mathbf{x} \in \Omega_{LoS}(\mathbf{x}_U; F)\}} \cdot \left\{ 1 - \Phi \left(\frac{\bar{\gamma}_0 + \alpha_{LoS} + 10\eta_{LoS} \log_{10} d(\mathbf{x}, \mathbf{x}_U)}{\sigma_{LoS}} \right) \right\} \\ &+ 1_{\{\mathbf{x} \in \Omega_{NLoS}(\mathbf{x}_U; F)\}} \cdot \left\{ 1 - \Phi \left(\frac{\bar{\gamma}_0 + \alpha_{NLoS} + 10\eta_{NLoS} \log_{10} d(\mathbf{x}, \mathbf{x}_U)}{\sigma_{NLoS}} \right) \right\} \end{aligned}$$

[0063]

[0064] 수학식 3에서, $\Omega_{LoS}(\mathbf{x}_U; F)$ 는 LoS 지상 영역으로서, 주어진 조건($\mathbf{x}_U$ 및 F)에서 대상 공간(A)의 지상 영역 중 ABS(110 또는 210)과 가시선 채널을 형성하는 지상 영역을 나타낸다. $\Omega_{NLoS}(\mathbf{x}_U; F)$ 는 NLoS 지상 영역으로서, 주어진 조건($\mathbf{x}_U$ 및 F)에서 대상 공간(A)의 지상 영역 중 ABS(110 또는 210)과 비가시선 채널을 형성하는 지상 영역을 나타낸다. $d(\mathbf{x}, \mathbf{x}_U)$ 는 ABS(110 또는 210)와 지상 지점($\mathbf{x}$) 간의 거리이며, α_{LoS} 및 α_{NLoS} 는 각 영역(즉, 가

시선 영역 및 비가시선 영역)에서 $d(\mathbf{x}, \mathbf{x}_U) = 1m$ 일 때의 경로 손실(path loss)을 나타낸다. η_{LoS} 및 η_{NLoS} 는 각 영역(즉, 가시선 영역 및 비가시선 영역)에서 경로 손실 지수(path loss exponent)를 나타낸다. γ_0 는 $\gamma_0 - 10 \log_{10}(P_T/\sigma_N^2)$ 이며, P_T 및 σ_N^2 는 각각 ABS(110 또는 210)의 송신 전력 및 잡음 전력을 나타낸다. σ_{LoS}^2 및 σ_{NLoS}^2 은 각각 가시선 전파(LoS propagation)의 음영 효과(shadow fading effect)의 분산 및 비가시선 전파(NLoS propagation)의 음영 효과의 분산을 나타낸다. $\Phi(\mathbf{x})$ 는 표준 정규 확률 변수(standard normal random variable)의 누적 분포 함수(cumulative distribution function)를 나타낸다.

[0065] 데카르트 좌표계로 표현되는 수학식 2를 극좌표계 기반으로 변환하면, 수학식 1은 수학식 4로 재구성될 수 있다.

수학식 4

$$\underset{\mathbf{x}_U \in \mathbb{R}^3}{\text{maximize}} \int_{-\pi}^{\pi} \tilde{f}_{cov}(\theta, \mathbf{x}_U; F) d\theta \quad (4a)$$

$$\text{subject to } h_{\min} \leq h_U \leq h_{\max} \quad (4b)$$

$$\text{where } \tilde{f}_{cov}(\theta, \mathbf{x}_U; F) = \int_0^{\infty} 1_{\{P_{cov}(\mathbf{x}(r, \theta), \mathbf{x}_U; F) \geq \mu\}} 1_{\{\mathbf{x}(r, \theta) \in A \setminus \Omega_F\}} r dr \quad (4c)$$

[0066]

[0067] 몇몇 실시예들에 있어서, 전자 장치는 S310 블록에서 사각 기둥 기반의 지형 특징 정보를 획득하고, S320 블록에서 상기 획득된 사각 기둥 기반의 지형 특징 정보를 기초로 비행 경로를 결정할 수 있다. 다른 몇몇 실시예들에 있어서, 전자 장치는 S310 블록에서 다각 기둥 기반의 지형 특징 정보를 획득하고, S320 블록에서 상기 획득된 다각 기둥 기반의 지형 특징 정보를 후술하는 다각형 삼각 분할을 사용하여 삼각 기둥(triangular prism) 기반의 지형 특징 정보($\hat{F}$)를 생성한 후, 상기 생성된 삼각 기둥 기반의 지형 특징 정보($\hat{F}$)를 기초로 비행 경로를 결정할 수 있다. 또 다른 몇몇 실시예들에 있어서, 전자 장치는 S310 블록에서 삼각 기둥 기반의 지형 특징 정보($\hat{F}$)를 획득하고, S320 블록에서 상기 획득된 삼각 기둥 기반의 지형 특징 정보($\hat{F}$)를 기초로 비행 경로를 결정할 수 있다.

[0068] 도 4a 및 4b는 극좌표계에서 가시선 영역과 비가시선 영역에 대한 몇몇 실시예들을 설명하기 위한 도면이다.

[0069] 도 4a는 대상 공간의 지상 영역(xy 평면 영역)을 나타내며, $\bar{\mathbf{x}}_U$ 는 극좌표계의 원점으로 ABS(110 또는 210)의 xy 평면 좌표에 해당한다. 도 4a를 참조하면, 극좌표계의 원점에서 시작하여 x축과 반시계 방향으로 θ 의 각도를 이루는 반직선이 도시되어 있다. 수학식 4c에서 r 의 범위가 $[0, \infty)$ 이므로 가시선 영역과 비가시선 영역을 파악함에 있어서 반직선만 고려될 수 있다. 이하에서는 이러한 반직선을 집중-반직선(focused-half-line, FHL)이라 칭한다.

[0070] 도 4b는 단일 지형 특징을 FHL 축과 z축으로 이루어진 평면으로 잘라서 도시한 도면이다.

[0071] 도 4b를 참조하면, 단일 지형 특징은 FHL 축에 따라 2개의 가시선 영역을 형성함을 알 수 있다.

[0072] 도 5는 다각 기둥의 단일 지형 특징이 형성하는 가시선 영역 및 비가시선 영역을 설명하기 위한 도면이다.

[0073] 도 5에는, 사각 기둥보다 좀더 복잡한 지형 특징이 도시되어 있다. 도 5를 참조하면, 지형 특징의 경계가 FHL과 만나는 횟수, 바닥면의 가장자리 수, 이 가장자리들이 x축 또는 y축과 평행한지 여부 등에 따라 가시선 영역과 비가시선 영역이 달라지므로, 좀더 복잡한 지형 특징이 주어졌을 때, 대상 공간에 대한 가시선 영역과 비가시선 영역을 구분하는 것이 어려울 수 있다.

[0074] 몇몇 실시예들에 있어서, 전자 장치는 각 지형 특징을 동일한 특성을 공유하는 여러 개의 부분-특징으로 나누고, 이 부분-특징들에 대해 가시선 영역과 비가시선 영역을 획득할 수 있다. 이를 통하여 좀더 복잡한 지형 특징이 주어졌을 때, 지형 특징을 구성하는 부분-특징들 각각에 대해 통일된 가시선/비가시선 영역 구분 기법을

적용할 수 있다. 일례로, 이러한 부분-특징들을 도출하기 위해, 모든 단순 다각형을 여러 개의 삼각형으로 분할할 수 있다는 다각형 삼각분할 기법이 사용될 수 있다. 전자 장치는 다각형 삼각분할 기법을 상술한 지형 특징 정보($\mathbf{FF}$)에 적용할 수 있다.

[0075] 도 6a 및 도 6b는 다각형 삼각 분할의 몇몇 실시예들을 설명하기 위한 도면이다.

[0076] 전자 장치는 도 6a와 같이 바닥면이 다각형인 다각 프리즘이 지형 특징($\mathbf{f}_i$)으로 주어졌을 때, 도 6a에 예시된 실선과 같이 다각형을 분할하여 4개의 삼각형들을 생성할 수 있다. 도 6b는 도 6a의 다각 기둥에 대해 다각형 삼각 분할을 수행함에 따라 생성되는 4개의 삼각 기둥을 예시한다.

[0077] 이하에서는 삼각 기둥으로 표현되는 각 지형 특징을 $\mathbf{f}_i$ 로 표기하고, 삼각 기둥 기반 지형 특징 정보를 $\mathbf{\hat{F}}$ 로 표현하여 몇몇 실시예들을 설명하고자 한다.

[0078] 도 7, 8, 및 9는 삼각 기둥 기반 지형 특징 정보를 기초로 가시선 영역 및 비가시선 영역을 결정하는 몇몇 실시예들을 설명하기 위한 도면이다.

[0079] 도 7, 도 8, 및 도 9는 ABS(110 또는 210) 위치가 주어졌을 때 하나의 삼각 기둥에 의해 FHL 상에서 가시선 영역과 비가시선 영역이 형성되는 모습을 각각 3차원으로, xy 평면으로, 및 FHL과 z축으로 이루어진 평면으로 예시한다.

[0080] 도 7 내지 도 9를 참조하면, FHL 상의 해당 지형 특징($\mathbf{f}_i$)의 가시선 영역 및 비가시선 영역은 각각 수학식 5 및 수학식 6으로 표현될 수 있다.

수학식 5

$$\tilde{\Omega}_{\text{LoS}}(\theta, \mathbf{x}_U; \mathbf{f}_i) = [0, d_{i,1}^\theta] \cup [d_{i,3}^\theta, \infty)$$

수학식 6

$$\tilde{\Omega}_{\text{NLoS}}(\theta, \mathbf{x}_U; \mathbf{f}_i) = [d_{i,2}^\theta, d_{i,3}^\theta]$$

[0083] 수학식 5 및 6에서 $d_{i,1}^\theta$ 및 $d_{i,2}^\theta$ 는 $\mathbf{x}_U$ 로부터 출발하여 FHL 상에서 지형 특징과 첫번째 및 두번째로 만나는 지점을 나타낸다.

[0084] 또한, $d_{i,3}^\theta$ 는 $d_{i,2}^\theta$ 로부터 출발하여 비가시선 영역이 끝나는 지점을 나타내며, 삼각형의 유사성을 이용하면 수학식 7과 같이 $d_{i,2}^\theta$ 로부터 구할 수 있다.

수학식 7

$$d_{i,3}^\theta = \frac{h_U}{h_U - h_i^f} \times d_{i,2}^\theta$$

[0086] 도 10은 ABS 위치가 주어졌을 때 복수의 삼각 기둥들에 의해 FHL 상에서 가시선 영역과 비가시선 영역이 형성되는 모습을 FHL과 z축으로 이루어진 평면으로 예시한다.

[0087] 도 10을 참조하면, 4개의 삼각 기둥들($\mathbf{f}_{\delta_1}, \mathbf{f}_{\delta_2}, \mathbf{f}_{\delta_3}, \mathbf{f}_{\delta_4}$)은 첫번째 엘리먼트(즉, $d_{i,1}^\theta$)의 오름 차순으로 나열되어

그에 맞게 인텍싱($\delta_1, \delta_2, \delta_3, \delta_4$)되어 있음을 알 수 있다.

[0088] 도 7, 8, 9를 통하여 설명된 원리를 활용하면, 복수의 삼각 기둥들에 의해 형성되는 가시선 영역과 비가시선 영역은 각각 수학식 8 및 수학식 9로 표현될 수 있다.

수학식 8

[0089]

$$\tilde{\Omega}_{\text{LoS}}(\theta, \mathbf{x}_U; \hat{F}) = \bigcup_{t=0}^M (\min\{\tilde{d}_{\delta_t,3}^\theta, d_{\delta_{t+1},1}^\theta\}, d_{\delta_{t+1},1}^\theta)$$

수학식 9

[0090]

$$\tilde{\Omega}_{\text{NLoS}}(\theta, \mathbf{x}_U; \hat{F}) = \bigcup_{t=0}^M (d_{\delta_t,2}^\theta, \min\{\tilde{d}_{\delta_t,3}^\theta, d_{\delta_{t+1},1}^\theta\})$$

[0091] 수학식 8 및 9에서 M은 해당 FHL 상에서 위치하는 삼각 기둥들의 개수를 나타내며, $\tilde{d}_{\delta_t,3}^\theta$ 는 수학식 10으로 표현될 수 있다.

수학식 10

[0092]

$$\tilde{d}_{\delta_t,3}^\theta = \max_{t' \leq t} d_{\delta_{t'},3}^\theta \text{ for } t = 0, 1, \dots, M, \text{ where } d_{\delta_0,3}^\theta = 0$$

[0093] 한편, 수학식 4c는 상술한 가시선 영역 및 비가시선 영역 관계식들을 활용하면 수학식 11과 같이 산술 연산으로 이루어진 식으로 표현될 수 있다.

수학식 11

[0094]

$$\begin{aligned} & \tilde{f}_{\text{cov}}(\theta, \mathbf{x}_U; F) \\ &= \sum_{t=0}^{M_{\text{LoS}}-1} \frac{1}{2} [(d_{\delta_{t+1},1}^\theta)^2 - (\tilde{d}_{\delta_t,3}^\theta)^2]^+ + \frac{1}{2} [(d_{\text{eff},\text{LoS}})^2 - (\tilde{d}_{\delta_{M_{\text{LoS}},3}}^\theta)^2]^+ \\ &+ \sum_{t=1}^{M_{\text{NLoS}}-1} \frac{1}{2} [(\min\{\tilde{d}_{\delta_t,3}^\theta, d_{\delta_{t+1},1}^\theta\})^2 - (d_{\delta_t,2}^\theta)^2]^+ \\ &+ \frac{1}{2} [(\min\{\tilde{d}_{\delta_{M_{\text{NLoS}},3}}^\theta, d_{\text{eff},\text{NLoS}}\})^2 - (d_{\delta_{M_{\text{NLoS}},2}}^\theta)^2]^+ \end{aligned}$$

[0095] 수학식 11에서 $d_{\text{eff},\text{LoS}}$ 및 $d_{\text{eff},\text{NLoS}}$ 은 수학식 12로, M_{LoS} 및 M_{NLoS} 은 수학식 13으로 주어진다.

수학식 12

$$d_{\text{eff,LoS}}(\theta, \mathbf{x}_U) = \min\{R_{\text{max}}(\theta, \mathbf{x}_U), R_{\text{cov,LoS}}(\theta, \mathbf{x}_U)\},$$

$$d_{\text{eff,NLoS}}(\theta, \mathbf{x}_U) = \min\{R_{\text{max}}(\theta, \mathbf{x}_U), R_{\text{cov,NLoS}}(\theta, \mathbf{x}_U)\},$$

$$\text{where } R_{\text{cov,LoS}}(\theta, \mathbf{x}_U) = \sqrt{\exp\left[\frac{(\sigma_{\text{LoS}}\Phi^{-1}(1-\mu) - \bar{\gamma}_0 - \alpha_{\text{LoS}}) \cdot 2\ln 10}{10\eta_{\text{LoS}}}\right]} - h_U^2,$$

$$R_{\text{cov,NLoS}}(\theta, \mathbf{x}_U) = \sqrt{\exp\left[\frac{(\sigma_{\text{NLoS}}\Phi^{-1}(1-\mu) - \bar{\gamma}_0 - \alpha_{\text{NLoS}}) \cdot 2\ln 10}{10\eta_{\text{LoS}}}\right]} - h_U^2$$

[0096]

[0097] 수학식 12에서 $R_{\text{max}}(\theta, \mathbf{x}_U)$ 는 $\bar{\mathbf{x}}_U$ 로부터 FHL을 따라 대상 공간의 끝점까지의 거리를 나타낸다.

수학식 13

$$M_{\text{LoS}}(\theta, \mathbf{x}_U; \hat{F}) = \max\{t \in \mathbb{Z} | d_{\delta_t,1}^\theta \leq d_{\text{eff,LoS}}(\theta, \mathbf{x}_U)\},$$

$$M_{\text{NLoS}}(\theta, \mathbf{x}_U; \hat{F}) = \max\{t \in \mathbb{Z} | d_{\delta_t,1}^\theta \leq d_{\text{eff,NLoS}}(\theta, \mathbf{x}_U)\}$$

[0098]

[0099] 몇몇 실시예들에 있어서, 전자 장치는 S320 블록에서 다각형 삼각분할을 수행한 결과를 기초로, 커버리지 영역을 나타내는 목적 함수를 산술 연산에 대한 단일 적분 형태로 표현한 후, 상기 목적 함수를 최대화하는 최대화하는 비행 경로를 결정할 수 있다. 일례로, 수학식 11을 수학식 4에 적용하여, 커버리지 영역을 나타내는 목적 함수를 산술 연산에 대한 단일 적분 형태로 표현한 후, 각 비행 경로에 대하여 $(-\pi, \pi]$ 에 대한 단일 적분의 값을 구하여, 최적의 비행 경로를 구할 수 있다.

[0100] 몇몇 실시예들에 있어서, 전자 장치는 S320 블록에서 입자 군집 최적화(particle swarm optimization, PSO) 알고리즘을 사용하여 비행 경로를 결정할 수 있다.

[0101] 도 11은 PSO 알고리즘 기반 비행 경로 결정에 대한 몇몇 실시예들을 설명하기 위한 의사 코드이다.

[0102] 전자 장치는, 초기 설정으로, 입자 군집 $\mathcal{S}$ 에 속하는 각 입자 i 에 대해 현재 위치 벡터 $\mathbf{x}_i$ 를 생성하고, 현재 속도 벡터 $\mathbf{v}_i$ 를 0 벡터로 설정하고, 그에 따라 현재까지의 개별 최적 위치(individual best-so-far position) 벡터 $\mathbf{x}_i^P$ 를 $\mathbf{x}_i$ 로 설정한다(라인 1 내지 라인 5). 여기서, $\mathcal{A}$ 는 대상 공간 $\mathcal{A}$ 의 지상 영역이며, 현재 위치 벡터 $\mathbf{x}_i$ 는 $\mathcal{A}$ 및 높이 구간 $[h_{\min}, h_{\max}]$ 으로 정해지는 공간에서 랜덤 생성된다.

[0103] 전자 장치는 설정된 여러 $\mathbf{x}_i^P$ 중에서 커버리지 영역을 최대로 하는 $\mathbf{x}_i^P$ 를 전역 최적 위치 벡터 $\mathbf{x}^G$ 의 값으로 설정한다(라인 6 내지 7).

[0104] 전자 장치는 입자 군집 $\mathcal{S}$ 에 속하는 각 입자 i 에 대해 현재 속도 벡터 $\mathbf{v}_i$ 업데이트, 현재 위치 벡터 $\mathbf{x}_i$ 업데이트, 개별 최적 위치 벡터 $\mathbf{x}_i^P$ 업데이트, 및 전역 최적 위치 벡터 $\mathbf{x}^G$ 업데이트를 종료 조건(termination condition)이 충족될 때까지 반복 수행한다(라인 8 내지 18). 여기서 의사코드에서 언급되는 수학식 14 내지 16은 아래와 같다.

수학식 14

$$v_i^{(t+1)} = wv_i^{(t)} + c_1 u_1 \circ (x_i^p - x_i^{(t)}) + c_2 u_2 \circ (x^G - x_i^{(t)})$$

[0105]

[0106]

수학식 14에서 윗첨자 t 는 반복 횟수(iteration)을 나타내며, w , c_1 , c_2 는 각각 관성 가중치(inertia weight), 인지 요소(cognitive component), 사회적 요소(social component)로 칭해지는 제어 파라미터들이다. u_1 및 u_2 는 $[0,1]$ 의 범위내에서 균일 분포를 이루는 서로 독립적인 확률 벡터(random vector)이다. 연산자 $\circ$ 는 하다마드 곱(Hadamard product)를 나타낸다.

수학식 15

$$v_{i,j}^{(t+1)} = \begin{cases} v_{i,j}^{(t+1)}, & \text{if } v_{i,j}^{(t+1)} \in [-v_j^{max}, v_j^{max}], \\ -v_j^{max}, & \text{if } v_{i,j}^{(t+1)} < -v_j^{max}, \\ v_j^{max}, & \text{otherwise} \end{cases}$$

[0107]

[0108]

수학식 15는 입자가 탐색 공간 밖으로 이동하는 것을 방지하기 위해, 최대속도 벡터 v_j^{max} 를 도입한 것으로, 최대속도 벡터의 값은 소정 범위(예컨대, 탐색 공간의 범위의 10 내지 20%의 범위) 내의 값으로 설정될 수 있다. 수학식 15에서 $v_{i,j}^{(t+1)}$ 는 $v_i^{(t+1)}$ 의 j 번째 성분을 나타낸다.

수학식 16

$$x_i^{(t+1)} = x_i^{(t)} + v_i^{(t+1)}$$

[0109]

[0110]

반복 수행 후의 최적 위치 벡터 x^G 는 수학식 1의 최적화 문제의 해가 될 수 있다.

[0111]

도 12는 본 개시의 실시예들에 따른 방법을 수행하는 전자 장치를 예시하는 블록도이다. 도 12에서는 전자 장치(1200)를 하나의 물리적인 장치처럼 설명하고 있으나, 실시예에 따라 전자 장치(1200)는 복수의 장치들이 연동된 형태(예컨대, 분산 컴퓨팅)로 구현될 수도 있다.

[0112]

몇몇 실시예에 있어서, 전자 장치(1200)는 도 12에 도시된 바와 같이 메모리(1210), 프로세서(1220), 통신 모듈(1230)을 포함할 수 있다. 다른 몇몇 실시예에 있어서, 입출력 인터페이스(1240), 기타 유닛 중 전부 또는 일부를 더 포함할 수 있다. 일례로, 실시예들을 수행하는 전자 장치(1200)가 무인 항공기인 경우, 비행 수단 등의 유닛을 더 포함할 수 있다.

[0113]

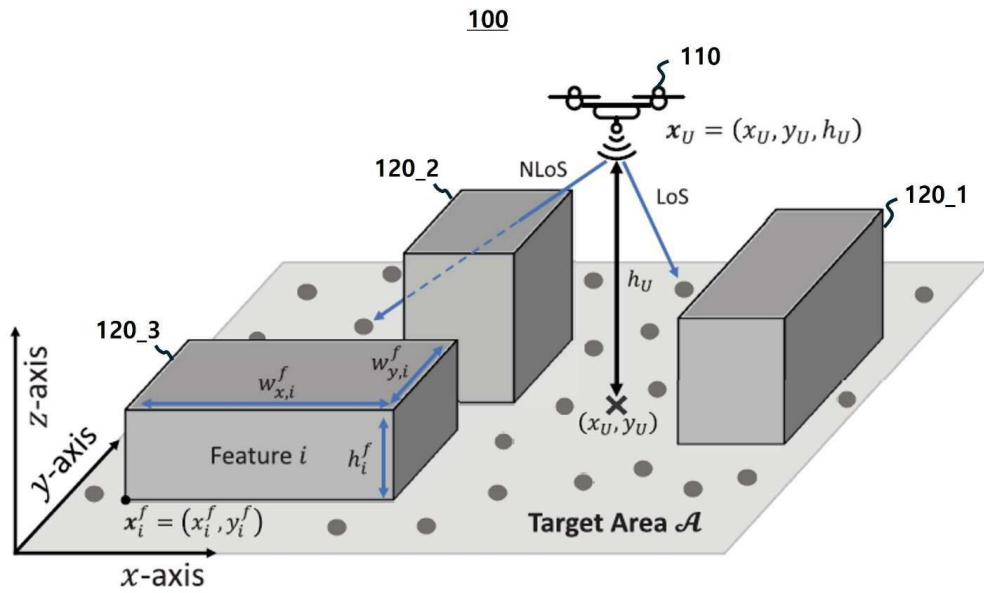
메모리(1210)는 전자 장치(예컨대, 컴퓨터)에서 판독 가능한 기록매체로서, RAM(random access memory), ROM(read only memory) 및 디스크 드라이브와 같은 비소멸성 대용량 기록장치(permanent mass storage device)를 포함할 수 있다. 여기서 ROM과 비소멸성 대용량 기록장치는 메모리(1210)와 분리되어 별도의 영구 저장 장치로서 포함될 수도 있다. 또한, 메모리(1210)에는 운영체제와 적어도 하나의 프로그램 코드(일례로 본 개시의 실시예들에 따른 방법을 수행하도록 전자 장치(1200)가 포함하는 기록매체에 저장되어 전자 장치(1200)를 제어하기 위한 컴퓨터 프로그램과 같은 프로그램)가 저장될 수 있다. 이러한 소프트웨어 구성요소들은 메모리(1210)와는 별도의 전자 장치에서 판독 가능한 기록매체로부터 로딩될 수 있다. 이러한 별도의 전자 장치에서 판독 가능한 기록매체는 플로피 드라이브, 디스크, 테이프, DVD/CD-ROM 드라이브, 메모리 카드 등의 전자 장치에서 판독 가능한 기록매체를 포함할 수 있다. 다른 실시예에서 소프트웨어 구성 요소들은 전자 장치에서 판독 가능한 기록매체가 아닌 통신 모듈(1230)을 통해 메모리(1210)에 로딩될 수도 있다.

- [0114] 프로세서(1220)는 기본적인 산술, 로직 및 입출력 연산을 수행함으로써, 컴퓨터 프로그램과 같은 프로그램의 명령을 처리하도록 구성될 수 있다. 명령은 메모리(1210) 또는 통신 모듈(1230)에 의해 프로세서(1220)로 제공될 수 있다. 예를 들어 프로세서(1220)는 메모리(1210)에 로딩된 프로그램 코드에 따라 수신되는 명령을 실행하도록 구성될 수 있다. 보다 구체적인 예로, 프로세서(1220)는 메모리(1210)에 로딩된 컴퓨터 프로그램의 코드에 따른 명령을 순차적으로 실행하여 본 개시의 실시예에 따른 무인항공기 지원 네트워크 관련 처리(예컨대, 비행 경로 결정)를 수행할 수 있다. 통신 모듈(1230)은 컴퓨터 네트워크와 같은 통신 네트워크를 통해 다른 물리적인 기기들과 서로 통신하기 위한 기능을 제공할 수 있다. 일례로, 전자 장치(1200)의 프로세서(1220)가 본 실시예의 프로세스 일부를 수행하고, 통신 네트워크의 다른 물리적인 기기(예컨대, 미도시된 다른 컴퓨터와 같은 전자 장치)가 나머지 프로세스를 수행하면서, 그 처리 결과를 통신 네트워크와 통신 모듈(1230)을 통해 교환하는 방식으로 본 개시의 실시예를 수행할 수도 있다.
- [0115] 입출력 인터페이스(1240)는 입출력 장치(1250)와의 인터페이스를 위한 수단일 수 있다. 예를 들어, 입출력 장치(1250)에서 입력 장치는 키보드 또는 마우스 등의 장치를, 그리고 출력 장치는 디스플레이나 스피커와 같은 장치를 포함할 수 있다. 도 12에서 입출력 장치(1250)는 전자 장치(1200)와 별도의 장치로 표현되었으나, 실시예에 따라 입출력 장치(1250)가 전자 장치(1200)에 포함되도록 전자 장치(1200)가 구현될 수도 있다.
- [0116] 이상에서 설명된 장치는 하드웨어 구성요소, 소프트웨어 구성요소, 및/또는 하드웨어 구성요소 및 소프트웨어 구성요소의 조합으로 구현될 수 있다. 예를 들어, 실시예들에서 설명된 장치 및 구성요소는, 프로세서, 컨트롤러, ALU(arithmetic logic unit), 디지털 신호 프로세서(digital signal processor), 마이크로컴퓨터, FPGA(field programmable gate array), PLU(programmable logic unit), 마이크로프로세서, 또는 명령(instruction)을 실행하고 응답할 수 있는 다른 어떠한 장치와 같이, 하나 이상의 범용 컴퓨터 또는 특수 목적 컴퓨터를 이용하여 구현될 수 있다. 전자 장치(1200)는 운영 체제(OS) 및 상기 운영 체제 상에서 수행되는 하나 이상의 소프트웨어 어플리케이션을 수행할 수 있다. 또한, 전자 장치(1200)는 소프트웨어의 실행에 응답하여, 데이터를 접근, 저장, 조작, 처리 및 생성할 수도 있다. 이해의 편의를 위하여, 전자 장치(1200)는 하나가 사용되는 것으로 설명된 경우도 있지만, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는, 전자 장치(1200)가 복수 개의 처리 요소(processing element) 및/또는 복수 유형의 처리 요소를 포함할 수 있음을 알 수 있다. 예를 들어, 전자 장치(1200)는 복수 개의 프로세서 또는 하나의 프로세서 및 하나의 컨트롤러를 포함할 수 있다. 또한, 병렬 프로세서(parallel processor)와 같은, 다른 처리 구성(processing configuration)도 가능하다.
- [0117] 소프트웨어는 컴퓨터 프로그램(computer program), 코드(code), 명령(instruction), 또는 이들 중 하나 이상의 조합을 포함할 수 있으며, 원하는 대로 동작하도록 전자 장치(1200)를 구성하거나 독립적으로 또는 결합적으로(collectively) 전자 장치(1200)를 명령할 수 있다. 소프트웨어 및/또는 데이터는, 전자 장치(1200)에 의하여 해석되거나 전자 장치(1200)에 명령 또는 데이터를 제공하기 위하여, 어떤 유형의 기계, 구성요소(component), 물리적 장치, 컴퓨터 저장 매체 또는 장치에 구체화(embodiment)될 수 있다. 소프트웨어는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템 상에 분산되어서, 분산된 방법으로 저장되거나 실행될 수도 있다. 소프트웨어 및 데이터는 하나 이상의 컴퓨터 판독 가능 기록 매체에 저장될 수 있다.
- [0118] 실시예에 따른 방법은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 이때, 매체는 컴퓨터로 실행 가능한 프로그램을 계속 저장하거나, 실행 또는 다운로드를 위해 임시 저장하는 것일 수도 있다. 또한, 매체는 단일 또는 수 개의 하드웨어가 결합된 형태의 다양한 기록수단 또는 저장수단일 수 있는데, 어떤 컴퓨터 시스템에 직접 접속되는 매체에 한정되지 않고, 네트워크 상에 분산 존재하는 것일 수도 있다. 매체의 예시로는, 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체, CD-ROM 및 DVD와 같은 광 기록 매체, 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광 매체(magneto-optical medium), 및 ROM, RAM, 플래시 메모리 등을 포함하여 프로그램 명령어가 저장되도록 구성된 것이 있을 수 있다. 또한, 다른 매체의 예시로, 어플리케이션을 유통하는 앱 스토어나 기타 다양한 소프트웨어를 공급 내지 유통하는 사이트, 서버 등에서 관리하는 기록매체 내지 저장매체도 들 수 있다.
- [0119] 이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기의 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 시스템, 구조, 장치, 회로 등의 구성요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다.
- [0120] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

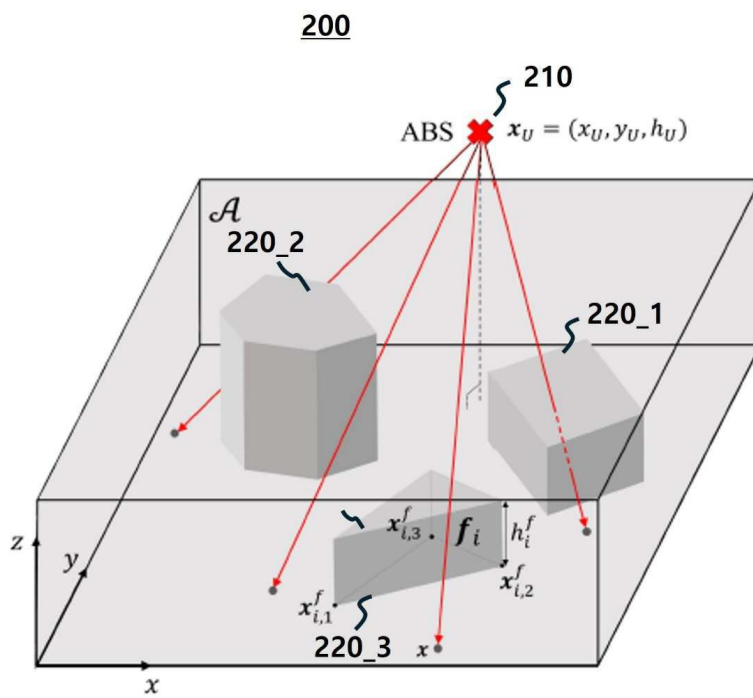
다.

도면

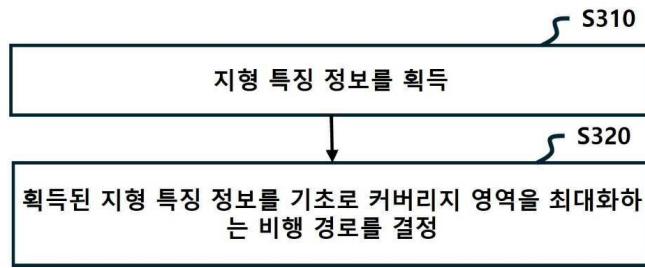
도면1



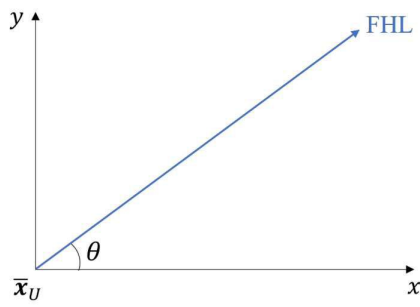
도면2



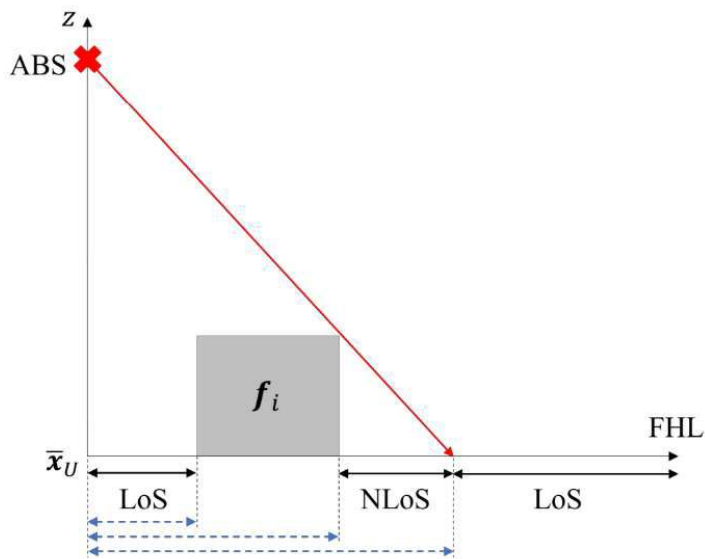
도면3



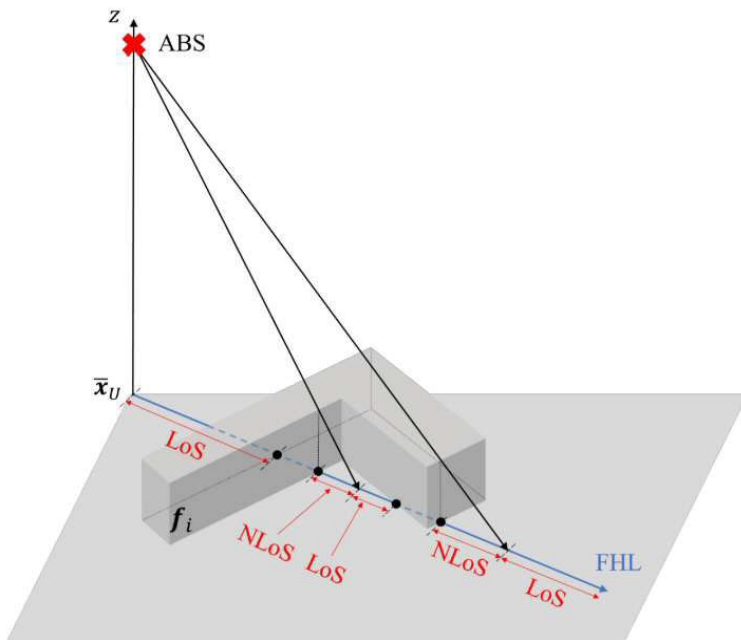
도면4a



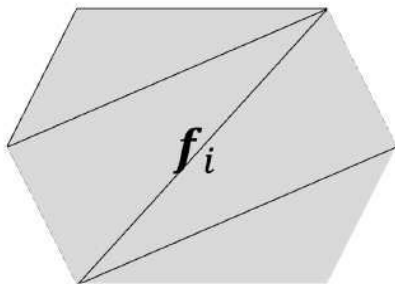
도면4b



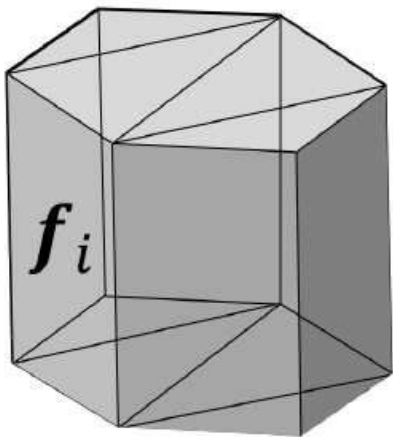
도면5



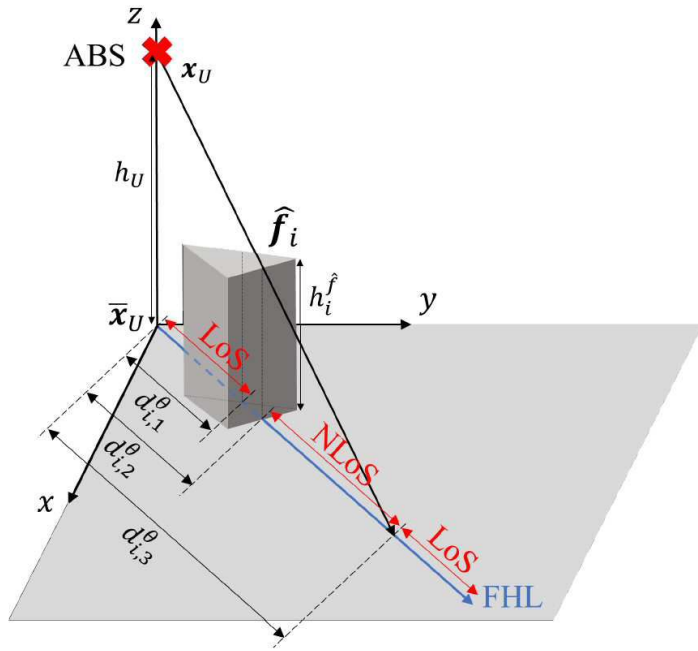
도면6a



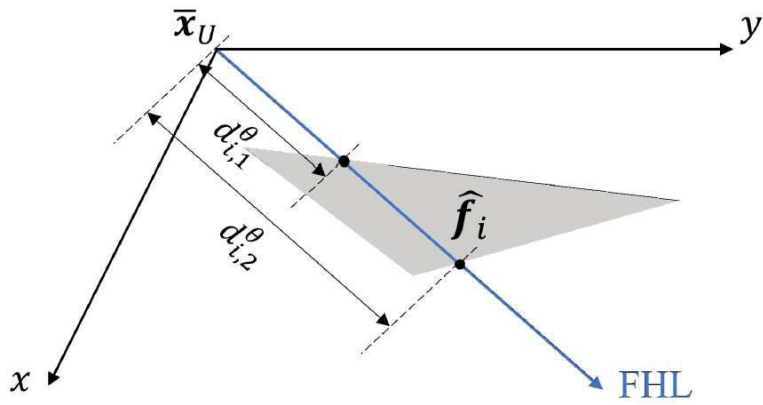
도면6b



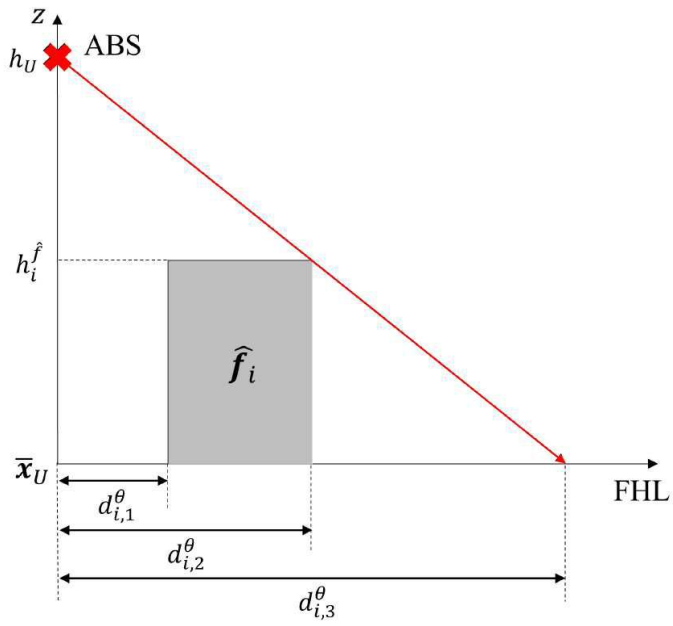
도면7



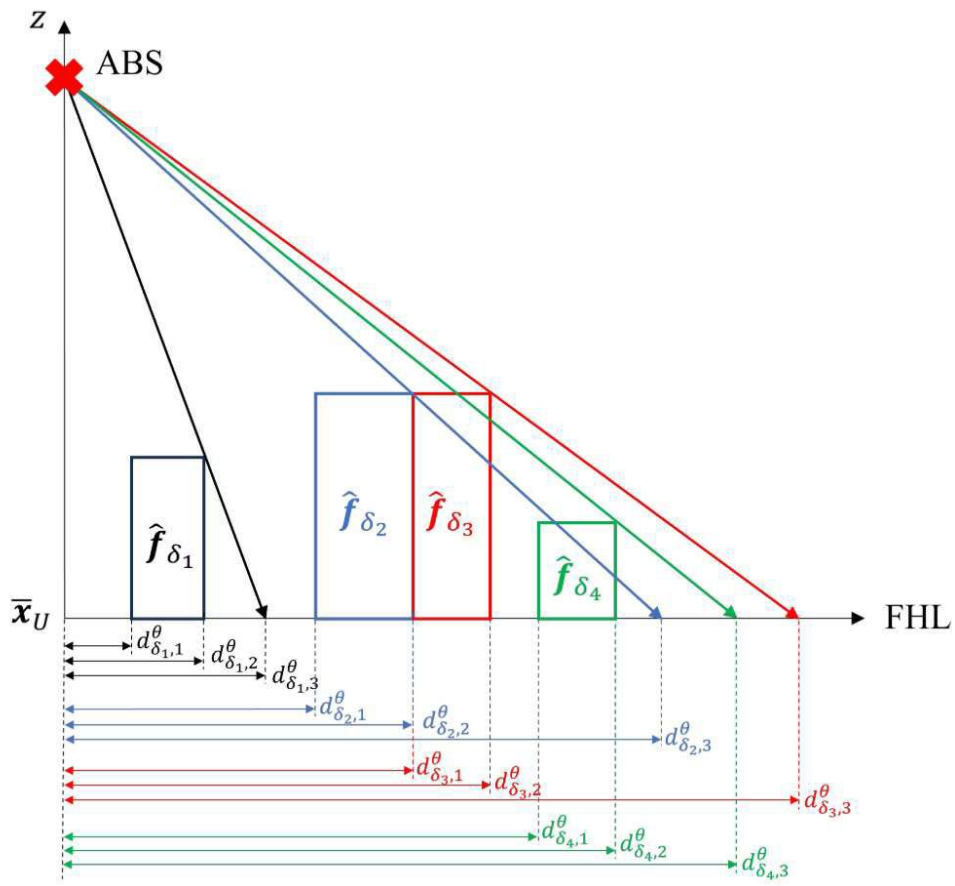
도면8



도면9



도면10



도면11

Algorithm 1: Polygonal Feature-Aware ABS Placement (FA-poly)

```

1 for each particle  $i \in \mathcal{S}$  do
2   Randomly generate  $x_i$  within  $\mathcal{A}' \times [h_{\min}, h_{\max}]$ .
3   Set  $v_i = 0$ .
4    $x_i^P \leftarrow x_i$ .
5 end
6  $j \leftarrow \operatorname{argmax}_{i \in \mathcal{S}} f_{\text{cov}}(x_i^P; \mathcal{F})$ .
7  $x^G \leftarrow x_j^P$ .
8 repeat
9   for each particle  $i \in \mathcal{S}$  do
10    Update  $v_i$  using (14) and (15).
11    Update  $x_i$  using (16).
12    if  $f_{\text{cov}}(x_i; \mathcal{F}) > f_{\text{cov}}(x_i^P; \mathcal{F})$  then
13       $x_i^P \leftarrow x_i$ .
14    end
15  end
16   $j \leftarrow \operatorname{argmax}_{i \in \mathcal{S}} f_{\text{cov}}(x_i^P; \mathcal{F})$ .
17   $x^G \leftarrow x_j^P$ .
18 until the termination condition is met
19 return  $x^G$ 

```

도면12

