(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0033937
(43) 공개일자 2025년03월10일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B64U 50/35 (2023.01) *B60L 53/10* (2019.01)
B64U 101/20 (2023.01) *G05D 1/46* (2024.01)
G05D 109/25 (2024.01) *H02J 50/30* (2016.01)
H02J 50/80 (2016.01) *H04W 24/08* (2009.01)
H04W 84/06 (2019.01)
(52) CPC특허분류
B64U 50/35 (2023.01)
B60L 53/10 (2019.02)
(21) 출원번호 10-2024-0094455
(22) 출원일자 2024년07월17일
심사청구일자 2024년07월17일
(30) 우선권주장
1020230114790 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
박영익
서울특별시 서대문구 연세로 50
김도엽
경상남도 창원시 마산합포구 경남대학로 7
(74) 대리인
특허법인(유한)아이시스

전체 청구항 수 : 총 20 항

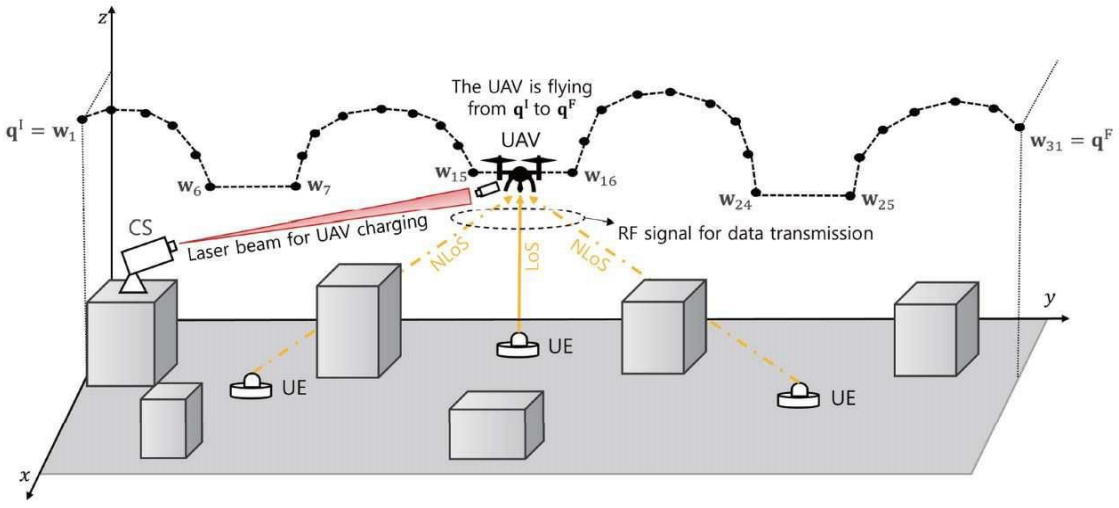
(54) 발명의 명칭 **무선 전력 전송 UAV 네트워크를 위한 하이브리드 오프라인-온라인 비행 궤적, 충전 및 사용자 스케줄링 관리**

(57) 요 약

무인항공기 지원 네트워크를 운영하기 위한 기술이 개시된다. 일실시예에 있어서, 적어도 하나의 사용자 기기 및 상기 적어도 하나의 사용자 기기 각각으로부터 데이터를 수신하는 무인항공기 및 상기 무인항공기를 무선 전력 충전하는 충전국을 포함하는 시스템에서, 전자 장치가 상기 시스템의 동작을 결정하는 방법은 제한 조건을 설정

(뒷면에 계속)

대 표 도



하는 단계; 및 상기 설정된 제한 조건을 충족하면서 상기 무인항공기의 충전에 소요되는 에너지를 최소화하는 상기 시스템의 동작을 결정하는 단계를 포함하고, 상기 제한 조건은 상기 적어도 하나의 사용자 기기 각각으로부터 수집되는 데이터의 양에 대한 제한 조건 및 상기 무인항공기가 유지해야할 최소한의 배터리 에너지 레벨 제한 조건 중 적어도 하나를 포함하고, 상기 시스템의 동작은 복수의 경로점들을 포함하는 상기 무인항공기의 경로, 상기 경로에 포함된 선분 각각에 대한 비행 시간, 상기 적어도 하나의 사용자 기기에 대한 스케줄링, 및 상기 무인항공기의 충전에 관한 스케줄링 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.

(52) CPC특허분류

G05D 1/46 (2024.01)
H02J 50/30 (2023.08)
H02J 50/80 (2023.08)
H04W 24/08 (2013.01)
H04W 84/06 (2019.01)
B64U 2101/20 (2023.01)
B64U 2201/10 (2023.01)
G05D 2109/254 (2024.01)
Y02T 50/50 (2020.08)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	2022112368
과제번호	2022112368
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	원천기술개발사업
연구과제명	[통합이지바로/위탁] 공중기 탑재형 이동통신 중계장치 3차원 최적 통신망 구성 기술 개발(2/2단계)(1/2)
과제수행기관명	한국전자기술연구원
연구기간	2023.01.01 ~ 2023.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

적어도 하나의 사용자 기기 및 상기 적어도 하나의 사용자 기기 각각으로부터 데이터를 수신하는 무인항공기 및 상기 무인항공기를 무선 전력 충전하는 충전국을 포함하는 시스템에서, 전자 장치가 상기 시스템의 동작을 결정하는 방법에 있어서,

제한 조건을 설정하는 단계; 및

상기 설정된 제한 조건을 충족하면서 상기 무인항공기의 충전에 소요되는 에너지를 최소화하는 상기 시스템의 동작을 결정하는 단계를 포함하고,

상기 제한 조건은 상기 적어도 하나의 사용자 기기 각각으로부터 수집되는 데이터의 양에 대한 제한 조건 및 상기 무인항공기가 유지해야할 최소한의 배터리 에너지 레벨 제한 조건 중 적어도 하나를 포함하고,

상기 시스템의 동작은 복수의 경로점들을 포함하는 상기 무인항공기의 경로, 상기 경로에 포함된 선분 각각에 대한 비행 시간, 상기 적어도 하나의 사용자 기기에 대한 스케줄링, 및 상기 무인항공기의 충전에 관한 스케줄링 중 적어도 하나를 포함하는 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 제한 조건은

상기 경로의 출발점과 도착점, 상기 무인항공기의 비행고도 조건, 상기 선분 각각에서의 최소 위치 변이 조건 중 적어도 하나를 더 포함하는 방법.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 시스템의 동작을 결정하는 단계는,

상기 무인항공기의 경로를 결정하는 단계;

상기 결정된 경로를 기초로 선분별 비행 시간 - 상기 경로에 포함된 선분 각각에 대한 비행 시간을 나타냄 - 을 결정하는 단계; 및

상기 결정된 경로 및 상기 결정된 선분별 비행 시간을 기초로 상기 적어도 하나의 사용자 기기에 대한 스케줄링 및 상기 충전에 관한 스케줄링을 결정하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 4

제3항에 있어서, 상기 경로를 결정하는 단계는

상기 무인항공기의 비행 전에 통계적 채널 상태 정보를 기초로 상기 경로를 결정하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 5

제4항에 있어서, 상기 경로를 결정하는 단계는

상기 통계적 채널 상태 정보를 상기 제한 조건 중 적어도 일부에 적용하여, 상기 무인항공기의 충전에 소요되는 에너지를 최소화하는 최적화 문제를 설정하고, 상기 설정된 최적화 문제의 해를 구하여 상기 경로를 결정하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 6

제5항에 있어서, 상기 설정된 최적화 문제의 해를 구하여 상기 경로를 결정하는 단계는

연속 볼록 근사 기법을 이용하여, 상기 해를 구하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 7

제3항에 있어서, 상기 선분별 비행 시간을 결정하는 단계는

상기 무인항공기의 비행 중에, 순시(instantaneous) 가시선 상태 정보 - 각 선분에서 각 사용자 기기와 무인항공기 간의 무선 링크가 가시선 상태인지 여부를 나타냄 - 를 기초로 상기 선분별 비행 시간을 실시간 결정하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 8

제7항에 있어서, 상기 선분별 비행 시간을 실시간 결정하는 단계는

상기 순시 가시선 상태 정보를 상기 제한 조건 중 적어도 일부에 적용하여, 상기 무인항공기의 충전에 소요되는 에너지를 최소화하는 최적화 문제를 설정하고, 상기 설정된 최적화 문제의 해를 구하여 상기 선분별 비행 시간을 실시간 결정하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 9

제8항에 있어서, 상기 설정된 최적화 문제의 해를 구하여 상기 선분별 비행 시간을 실시간 결정하는 단계는

상기 설정된 최적화 문제를 블록 대체 함수를 기반으로 볼록 최적화 문제로 근사화하고, 상기 근사화된 볼록 최적화 문제의 해를 구하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 10

제3항에 있어서, 상기 적어도 하나의 사용자 기기에 대한 스케줄링 및 상기 충전에 관한 스케줄링을 결정하는 단계는

상기 무인항공기의 비행 중에, 순시 채널 상태 정보 및 실현된 무인항공기 배터리 에너지 레벨을 기초로 상기 적어도 하나의 사용자 기기에 대한 스케줄링 및 상기 충전에 관한 스케줄링을 실시간 결정하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 11

제10항에 있어서, 상기 적어도 하나의 사용자 기기에 대한 스케줄링 및 상기 충전에 관한 스케줄링을 실시간 결정하는 단계는

상기 순시 채널 상태 정보 및 상기 실현된 무인항공기 배터리 에너지 레벨을 상기 제한 조건 중 적어도 일부에 적용하여, 상기 무인항공기의 충전에 소요되는 에너지를 최소화하는 최적화 문제를 설정하고, 상기 설정된 최적화 문제의 해를 구하여 상기 적어도 하나의 사용자 기기에 대한 스케줄링 및 상기 충전에 관한 스케줄링을 실시간 결정하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 12

제11항에 있어서, 상기 설정된 최적화 문제의 해를 구하여 상기 선분별 비행 시간을 실시간 결정하는 단계는

상기 설정된 최적화 문제에 대한 이진 해가 아닌 실수 해 - 상기 적어도 하나의 사용자 기기에 대한 스케줄링을 나타내는 해 및 상기 충전에 관한 스케줄링을 나타내는 해를 포함함 - 를 구하는 단계;

상기 구하여진 실수 해를 반올림 처리하여 상기 적어도 하나의 사용자 기기에 대한 스케줄링을 나타내는 이진 해 및 상기 충전에 관한 스케줄링을 나타내는 이진 해를 구하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 13

제1항에 있어서,

상기 선분 각각을 위한 비행 시간은 동일한 시간 길이를 가지는 복수의 시간 슬롯들로 분할되고,

상기 복수의 시간 슬롯들 각각은 상기 적어도 하나의 사용자 기기로부터의 데이터 전송을 위한 자원 할당에 사용되는 방법.

청구항 14

제1항에 있어서,

상기 전자 장치는 상기 무인항공기에 포함되고,

상기 방법은 상기 무인항공기의 충전에 관한 스케줄링에 대한 정보를 상기 충전국에 송신하는 단계를 더 포함하는 방법.

청구항 15

적어도 하나의 사용자 기기 및 상기 적어도 하나의 사용자 기기 각각으로부터 데이터를 수신하는 무인항공기 및 상기 무인항공기를 무선 전력 충전하는 충전국을 포함하는 시스템에서, 상기 무인항공기가 상기 시스템의 동작을 결정하는 방법에 있어서,

상기 무인항공기의 비행 전에 상기 시스템에 포함된 전자 장치로부터 복수의 경로점들을 포함하는 상기 무인항공기의 경로를 제공받는 단계; 및

상기 제공받은 경로를 기초로 비행하는 중에, 제한 조건을 충족하면서 상기 무인항공기의 충전에 소요되는 에너지를 최소화하는 상기 시스템의 동작을 결정하는 단계를 포함하고,

상기 시스템의 동작은 상기 경로에 포함된 선분 각각에 대한 비행 시간, 상기 적어도 하나의 사용자 기기에 대한 스케줄링, 및 상기 무인항공기의 충전에 관한 스케줄링 중 적어도 하나를 포함하는 방법.

청구항 16

제15항에 있어서, 상기 제공받는 경로는

상기 무인항공기의 비행 전에 통계적 채널 상태 정보를 기초로 상기 전자 장치에 의해 결정되는 방법.

청구항 17

제15항에 있어서, 상기 시스템의 동작을 결정하는 단계는,

상기 결정된 경로를 기초로 선분별 비행 시간 - 상기 경로에 포함된 선분 각각에 대한 비행 시간을 나타냄 - 을 결정하는 단계를 포함하고,

상기 선분별 비행 시간을 결정하는 단계는 상기 무인항공기의 비행 중에, 순시 가시선 상태 정보 - 각 선분에서 각 사용자 기기와 무인항공기 간의 무선 링크가 가시선 상태인지 여부를 나타냄 - 를 기초로 상기 선분별 비행 시간을 실시간 결정하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 18

제15항에 있어서,

상기 시스템의 동작을 결정하는 단계는,

상기 결정된 경로를 기초로 선분별 비행 시간 - 상기 경로에 포함된 선분 각각에 대한 비행 시간을 나타냄 - 을 결정하는 단계; 및

상기 결정된 경로 및 상기 결정된 선분별 비행 시간을 기초로 상기 적어도 하나의 사용자 기기에 대한 스케줄링 및 상기 충전에 관한 스케줄링을 결정하는 단계를 포함하고,

상기 적어도 하나의 사용자 기기에 대한 스케줄링 및 상기 충전에 관한 스케줄링을 결정하는 단계는

상기 무인항공기의 비행 중에, 순시 채널 상태 정보 및 실현된 무인항공기 배터리 에너지 레벨을 기초로 상기 적어도 하나의 사용자 기기에 대한 스케줄링 및 상기 충전에 관한 스케줄링을 실시간 결정하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 19

제15항에 있어서,

상기 무인항공기의 충전에 관한 스케줄링에 대한 정보를 상기 충전국에 송신하는 단계를 더 포함하는 방법.

청구항 20

적어도 하나의 사용자 기기 및 상기 적어도 하나의 사용자 기기 각각으로부터 데이터를 수신하는 무인항공기 및 상기 무인항공기를 무선 전력 충전하는 충전국을 포함하는 시스템에서, 상기 시스템의 동작을 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 14항 중 어느 한 항에 기재된 방법을 수행하게 하는, 전자 장치.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 개시(disclosure)는 무인항공기(Unmanned Aerial Vehicle, 이하 UAV) 지원 네트워크를 운영하기 위한 기술에 관한 것으로, 보다 상세하게는 몇몇 실시예들은 무선 전력 전송 UAV 네트워크를 위한 하이브리드 오프라인-온라인 궤적, 충전 및 사용자 스케줄링 관리 기술에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] UAV는 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. 다른 일례로, UAV는 지상에 위치한 사용자 기기(User Equipment, 이하, UE)에 데이터를 송신하거나 UE로부터 데이터를 수신할 수 있다. 여기서, UE의 예로는 센서, 사용자의 무선 통신 기기 등을 들 수 있다. 일례로, UAV는 지상에 위치한 UE로부터 데이터를 수집할 수 있다.

[0003] 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.

[0004] 기존의 지상 기지국에 비해 ABS는 다음과 같은 이점을 갖고 있다.

[0005] 첫째, 높은 고도에 배치될 수 있는 능력으로 인해 지상 지점과 가시선(Line of Sight, 이하 LoS) 채널을 형성할 가능성이 높아진다. LoS 채널의 채널 전력 이득이 일반적으로 비가시선(Non-LoS, 이하 NLoS) 채널보다 높기 때문에, ABS는 우수한 통신 서비스를 제공할 수 있다.

[0006] 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. 일례로, UAV의 높은 배치 유연성을 기반으로 GBS가 과부하 상태이거나 없는 지역에서도 UAV 네트워크를 효율적으로 배치할 수 있어 이러한 지역의 UE에게 비용 효율적으로 임시 연결성을 제공해줄 수 있다.

[0007] 하지만, UAV의 높은 에너지 소모량 및 제한된 배터리 용량으로 인해, UAV 지원 네트워크는 운용시간이 굉장히 제한적이라는 한계가 있다.

[0008] 따라서, UAV의 비행 시간 및/또는 UAV 지원 네트워크의 운용 시간을 늘리기 위하여, 다양한 UAV 무선 충전 기술들이 개발되어 왔다. 특히 원거리 무선 전력 전송 UAV 무선 충전 기술 중 하나인 원거리 무선 전력 전송 기반 UAV 지원 네트워크는 충전국(Charging Station, 이하 CS)의 송신 에너지 양을 유동적으로 조절함으로써 UAV 지원 네트워크의 운용시간을 제어할 수 있고, 긴 전력 전송 가능 거리로 인해 UAV가 자유롭게 비행하면서 충전받을 수 있어 UAV 지원 네트워크의 유연한 배치가 가능할 수 있다. 이러한 장점을 활용하고자 원거리 무선 전력 전송 기반 UAV 지원 네트워크에서의 UAV 비행 궤적 및 자원 할당 동시 최적화 연구들이 진행되어 왔으나, 기존의 연구들은 현실적인 환경을 제대로 반영하지 않는 가정(예컨대, 채널이 랜덤성을 가짐에도 불구하고 채널 환경을 거리에만 의존하는 채널 모델을 사용하거나, 알고리즘의 편의를 위해 UAV 지원 네트워크의 운용시간이 정

해져 있다고 가정)을 사용하는 등의 한계가 있을 수 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 따라서, 무선 전력 전송 기반 UAV 지원 네트워크를 효율적으로 운영하기 위한 기술(예컨대, 보다 현실적인 환경에 적용 가능한 무선 전력 전송 기반 UAV 지원 네트워크에서의 비행 궤적, 충전, 및/또는 자원 할당 등의 최적화 기술)을 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0010] 본 개시의 일 양태는 적어도 하나의 사용자 기기 및 상기 적어도 하나의 사용자 기기 각각으로부터 데이터를 수신하는 무인항공기 및 상기 무인항공기를 무선 전력 충전하는 충전국을 포함하는 시스템에서, 전자 장치가 상기 시스템의 동작을 결정하는 방법에 있어서, 제한 조건을 설정하는 단계; 및 상기 설정된 제한 조건을 충족하면서 상기 무인항공기의 충전에 소요되는 에너지를 최소화하는 상기 시스템의 동작을 결정하는 단계를 포함하는 방법을 제공한다. 몇몇 실시예들에 있어서, 상기 제한 조건은 상기 적어도 하나의 사용자 기기 각각으로부터 수집되는 데이터의 양에 대한 제한 조건 및 상기 무인항공기가 유지해야할 최소한의 배터리 에너지 레벨 제한 조건 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 몇몇 실시예들에 있어서, 상기 시스템의 동작은 복수의 경로점들을 포함하는 상기 무인항공기의 경로, 상기 경로에 포함된 선분 각각에 대한 비행 시간, 상기 적어도 하나의 사용자 기기에 대한 스케줄링, 및 상기 무인항공기의 충전에 관한 스케줄링 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0011] 본 개시의 다른 양태는 적어도 하나의 사용자 기기 및 상기 적어도 하나의 사용자 기기 각각으로부터 데이터를 수신하는 무인항공기 및 상기 무인항공기를 무선 전력 충전하는 충전국을 포함하는 시스템에서, 상기 무인항공기가 상기 시스템의 동작을 결정하는 방법에 있어서, 상기 무인항공기의 비행 전에 상기 시스템에 포함된 전자 장치로부터 복수의 경로점들을 포함하는 상기 무인항공기의 경로를 제공받는 단계; 및 상기 제공받은 경로를 기초로 비행하는 중에, 제한 조건을 충족하면서 상기 무인항공기의 충전에 소요되는 에너지를 최소화하는 상기 시스템의 동작을 결정하는 단계를 포함하는 방법을 제공한다. 몇몇 실시예들에 있어서, 상기 시스템의 동작은 상기 경로에 포함된 선분 각각에 대한 비행 시간, 상기 적어도 하나의 사용자 기기에 대한 스케줄링, 및 상기 무인항공기의 충전에 관한 스케줄링 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0012] 본 개시의 또 다른 양태는 적어도 하나의 사용자 기기 및 상기 적어도 하나의 사용자 기기 각각으로부터 데이터를 수신하는 무인항공기 및 상기 무인항공기를 무선 전력 충전하는 충전국을 포함하는 시스템에서, 상기 시스템의 동작을 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 하나에 기재된 방법을 수행하게 하는, 전자 장치를 제공한다.

[0013] 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.

[0014] 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.

[0015] 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

[0016] 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.

[0017] 몇몇 실시예들에 따르면, 무선 전력 전송 기반 UAV 지원 네트워크를 효율적으로 운영하기 위한 기술이 제공될 수 있다.

[0018] 몇몇 실시예들에 따르면, 보다 현실적인 환경에 적용 가능한 무선 전력 전송 기반 UAV 지원 네트워크에서의 비행 궤적, 충전, 및/또는 자원 할당 등의 최적화 기술이 제공될 수 있다.

[0019] 몇몇 실시예들에 따르면, 하이브리드 오프라인-온라인 방식 채택을 사용하여, 무선 전력 전송 채널 및 무선 통신 채널의 랜덤성으로 인한 시스템 성능 저하가 최소화될 수 있다.

[0020] 몇몇 실시예들에 따르면, 유연한 UAV 네트워크 운용시간이 지원될 수 있다. 일례로, UAV 비행 도중, UE들의 QoS 만족도 및 UAV 배터리 에너지 레벨을 기반으로 UAV의 비행 속력을 온라인으로 조절함으로써 UAV 네트워크 운용시간이 UE들의 QoS를 보장해주면서 CS의 에너지 소모를 최소화하도록 탄력적으로 조절 가능 가능하다.

도면의 간단한 설명

[0021] 도 1은 무선 전력 전송 기반 UAV 지원 네트워크 시스템의 몇몇 실시예들을 설명하기 위한 도면이다.

도 2는 조각별 선형 궤적의 각 선분에 대한 비행 시간을 설명하기 위한 도면이다.

도 3은 조각별 선형 궤적의 /번째 선분과 시간 슬롯 간의 관계를 예시한다.

도 4는 최적화 장치가 UAV 지원 네트워크 시스템의 동작을 결정하는 몇몇 실시예들을 설명하기 위한 흐름도이다.

도 5는 하이브리드 온라인 오프라인 최적화 알고리즘의 몇몇 실시예들을 예시하는 의사 코드이다.

도 6은 본 개시의 실시예들에 따른 방법을 수행하는 전자 장치를 예시하는 블록도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0022] 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.

[0023] 한편, 본 개시에서 서술되는 용어의 의미는 다음과 같이 이해되어야 할 것이다.

[0024] "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.

[0025] 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.

[0026] 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.

[0027] 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.

[0028] 본 개시에서, 무선 전력 전송 기반을 충전되는 UAV에 의해 지원되는 네트워크 시스템, 및 해당 시스템의 동작(예컨대, 해당 시스템에 포함된 각 기기의 동작)을 포함하는 다양한 실시예들이 개시된다.

[0029] 몇몇 실시예들에 있어서, 적어도 하나의 사용자 기기 및 상기 적어도 하나의 사용자 기기 각각으로부터 데이터를 수신하는 무인항공기 및 상기 무인항공기를 무선 전력 충전하는 충전국을 포함하는 시스템에서, 전자 장치가 상기 시스템의 동작을 결정하는 방법은 제한 조건을 설정하는 단계; 상기 설정된 제한 조건을 충족하면서 상기 무인항공기의 충전에 소요되는 에너지를 최소화하는 상기 시스템의 동작을 결정하는 단계를 포함할 수 있다. 몇몇 실시예들에 있어서, 상기 제한 조건은 상기 적어도 하나의 사용자 기기 각각으로부터 수집되는 데이터의 양에 대한 제한 조건 및 상기 무인항공기가 유지해야할 최소한의 배터리 에너지 레벨 제한 조건 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 몇몇 실시예들에 있어서, 상기 시스템의 동작은 복수의 경로점들을 포함하는 상기 무인항공기의 경로, 상기 경로에 포함된 선분 각각에 대한 비행 시간, 상기 적어도 하나의 사용자 기기에 대한 스케줄링, 및 상기 무인항공기의 충전에 관한 스케줄링 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0030] 몇몇 실시예들에 있어서, 상기 제한 조건은 상기 경로의 출발점과 도착점, 상기 무인항공기의 비행고도 조건, 상기 선분 각각에서의 최소 위치 변이 조건 중 적어도 하나를 더 포함할 수 있다.

[0031] 몇몇 실시예들에 있어서, 상기 시스템의 동작을 결정하는 단계는 상기 무인항공기의 경로를 결정하는 단계; 상기 결정된 경로를 기초로 선분별 비행 시간을 결정하는 단계; 및 상기 결정된 경로 및 상기 결정된 선분별 비행 시간을 기초로 상기 적어도 하나의 사용자 기기에 대한 스케줄링 및 상기 충전에 관한 스케줄링을 결정하는 단계를 포함할 수 있다. 몇몇 실시예들에 있어서, 상기 선분별 비행 시간은 상기 경로에 포함된 선분 각각에 대한 비행 시간을 포함할 수 있다.

[0032] 몇몇 실시예들에 있어서, 상기 경로를 결정하는 단계는 상기 무인항공기의 비행 전에 통계적 채널 상태 정보를 기초로 상기 경로를 결정하는 단계를 포함할 수 있다. 몇몇 실시예들에 있어서, 상기 경로를 결정하는 단계는 상기 통계적 채널 상태 정보를 상기 제한 조건 중 적어도 일부에 적용하여, 상기 무인항공기의 충전에 소요되는 에너지를 최소화하는 최적화 문제를 설정하고, 상기 설정된 최적화 문제의 해를 구하여 상기 경로를 결정하는 단계를 포함할 수 있다. 몇몇 실시예들에 있어서, 상기 설정된 최적화 문제의 해를 구하여 상기 경로를 결정하는 단계는 연속 볼록 근사 기법을 이용하여, 상기 해를 구하는 단계를 포함할 수 있다.

[0033] 몇몇 실시예들에 있어서, 상기 선분별 비행 시간을 결정하는 단계는 상기 무인항공기의 비행 중에, 순시(instantaneous) 가시선 상태 정보를 기초로 상기 선분별 비행 시간을 실시간 결정하는 단계를 포함할 수 있다. 몇몇 실시예들에 있어서, 상기 순시 가시선 상태 정보는 각 선분에서 각 사용자 기기와 무인항공기 간의 무선 링크가 가시선 상태인지 여부를 나타낼 수 있다. 몇몇 실시예들에 있어서, 상기 선분별 비행 시간을 실시간 결정하는 단계는 상기 순시 가시선 상태 정보를 상기 제한 조건 중 적어도 일부에 적용하여, 상기 무인항공기의 충전에 소요되는 에너지를 최소화하는 최적화 문제를 설정하고, 상기 설정된 최적화 문제의 해를 구하여 상기 선분별 비행 시간을 실시간 결정하는 단계를 포함할 수 있다. 몇몇 실시예들에 있어서, 상기 설정된 최적화 문제의 해를 구하여 상기 선분별 비행 시간을 실시간 결정하는 단계는 상기 설정된 최적화 문제를 블록 대체 함수를 기반으로 볼록 최적화 문제로 근사화하고, 상기 근사화된 볼록 최적화 문제의 해를 구하는 단계를 포함할 수 있다.

[0034] 몇몇 실시예들에 있어서, 상기 적어도 하나의 사용자 기기에 대한 스케줄링 및 상기 충전에 관한 스케줄링을 결정하는 단계는 상기 무인항공기의 비행 중에, 순시 채널 상태 정보 및 실현된 무인항공기 배터리 에너지 레벨을 기초로 상기 적어도 하나의 사용자 기기에 대한 스케줄링 및 상기 충전에 관한 스케줄링을 실시간 결정하는 단계를 포함할 수 있다. 몇몇 실시예들에 있어서, 상기 적어도 하나의 사용자 기기에 대한 스케줄링 및 상기 충전에 관한 스케줄링을 실시간 결정하는 단계는 상기 순시 채널 상태 정보 및 상기 실현된 무인항공기 배터리 에너지 레벨을 상기 제한 조건 중 적어도 일부에 적용하여, 상기 무인항공기의 충전에 소요되는 에너지를 최소화하는 최적화 문제를 설정하고, 상기 설정된 최적화 문제의 해를 구하여 상기 적어도 하나의 사용자 기기에 대한 스케줄링 및 상기 충전에 관한 스케줄링을 실시간 결정하는 단계를 포함할 수 있다. 몇몇 실시예들에 있어서, 상기 설정된 최적화 문제의 해를 구하여 상기 선분별 비행 시간을 실시간 결정하는 단계는 상기 설정된 최적화 문제에 대한 이진 해가 아닌 실수 해 - 상기 적어도 하나의 사용자 기기에 대한 스케줄링을 나타내는 해 및 상기 충전에 관한 스케줄링을 나타내는 해를 포함함 - 를 구하는 단계; 및 상기 구하여진 실수 해를 반올림 처리하여 상기 적어도 하나의 사용자 기기에 대한 스케줄링을 나타내는 이진 해 및 상기 충전에 관한 스케줄링을 나타내는 이진 해를 구하는 단계를 포함할 수 있다.

[0035] 몇몇 실시예들에 있어서, 상기 선분 각각을 위한 비행 시간은 동일한 시간 길이를 가지는 복수의 시간 슬롯들로

분할되고, 상기 복수의 시간 슬롯들 각각은 상기 적어도 하나의 사용자 기기로부터의 데이터 전송을 위한 자원 할당에 사용될 수 있다.

[0036] 몇몇 실시예들에 있어서, 상기 전자 장치는 상기 무인항공기에 포함되고, 상기 방법은 상기 무인항공기의 충전에 관한 스케줄링에 대한 정보를 상기 충전국에 송신하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0037] 몇몇 실시예들에 있어서, 적어도 하나의 사용자 기기 및 상기 적어도 하나의 사용자 기기 각각으로부터 데이터를 수신하는 무인항공기 및 상기 무인항공기를 무선 전력 충전하는 충전국을 포함하는 시스템에서, 상기 무인항공기가 상기 시스템의 동작을 결정하는 방법은 상기 무인항공기의 비행 전에 상기 시스템에 포함된 전자 장치로부터 복수의 경로점들을 포함하는 상기 무인항공기의 경로를 제공받는 단계; 및 상기 제공받은 경로를 기초로 비행하는 중에, 제한 조건을 충족하면서 상기 무인항공기의 충전에 소요되는 에너지를 최소화하는 상기 시스템의 동작을 결정하는 단계를 포함할 수 있다. 몇몇 실시예들에 있어서, 상기 시스템의 동작은 상기 경로에 포함된 선분 각각에 대한 비행 시간, 상기 적어도 하나의 사용자 기기에 대한 스케줄링, 및 상기 무인항공기의 충전에 관한 스케줄링 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0038] 몇몇 실시예들에 있어서, 상기 제공받는 경로는 상기 무인항공기의 비행 전에 통계적 채널 상태 정보를 기초로 상기 전자 장치에 의해 결정될 수 있다.

[0039] 몇몇 실시예들에 있어서, 상기 시스템의 동작을 결정하는 단계는 상기 결정된 경로를 기초로 선분별 비행 시간을 결정하는 단계를 포함하고, 상기 선분별 비행 시간을 결정하는 단계는 상기 무인항공기의 비행 중에, 순시 가시선 상태 정보를 기초로 상기 선분별 비행 시간을 실시간 결정하는 단계를 포함할 수 있다.

[0040] 몇몇 실시예들에 있어서, 상기 시스템의 동작을 결정하는 단계는 상기 결정된 경로를 기초로 선분별 비행 시간을 결정하는 단계; 및 상기 결정된 경로 및 상기 결정된 선분별 비행 시간을 기초로 상기 적어도 하나의 사용자 기기에 대한 스케줄링 및 상기 충전에 관한 스케줄링을 결정하는 단계를 포함하고, 상기 적어도 하나의 사용자 기기에 대한 스케줄링 및 상기 충전에 관한 스케줄링을 결정하는 단계는 상기 무인항공기의 비행 중에, 순시 채널 상태 정보 및 실현된 무인항공기 배터리 에너지 레벨을 기초로 상기 적어도 하나의 사용자 기기에 대한 스케줄링 및 상기 충전에 관한 스케줄링을 실시간 결정하는 단계를 포함할 수 있다.

[0041] 몇몇 실시예들에 있어서, 상기 방법은 상기 무인항공기의 충전에 관한 스케줄링에 대한 정보를 상기 충전국에 송신하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0042] 몇몇 실시예들에 있어서, 적어도 하나의 사용자 기기 및 상기 적어도 하나의 사용자 기기 각각으로부터 데이터를 수신하는 무인항공기 및 상기 무인항공기를 무선 전력 충전하는 충전국을 포함하는 시스템에서, 상기 시스템의 동작을 결정하는 전자 장치는 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 하나에 기재된 방법을 수행하게 할 수 있다.

[0043] 이하에서는, 상술한 실시예들에 대한 설명, 또 다른 실시예들을 도면 및 수학식을 참조하여 설명하고자 한다.

[0044] 도 1은 무선 전력 전송 기반 UAV 지원 네트워크 시스템의 몇몇 실시예들을 설명하기 위한 도면이다.

[0045] 몇몇 실시예들에 있어서, 도 1에 예시된 바와 같이, UAV 지원 데이터 수집 시스템은 M(도 1의 경우 M=3)개의 UE들, 경로에 따라 비행하여, 각 UE로부터 데이터를 수집하는 UAV, 및 UAV를 무선 충전(예컨대, UAV에 레이저 빔으로 무선 전력 전송)하는 CS를 포함할 수 있다.

[0046] UE의 집합을 $\mathcal{M} = \{1, \cdots, M\}$으로 표현할 때, UE의 위치가 지상에 고정되어 있다고 가정하면, UE m의 위치는 $\mathbf{q}^m = (x^m, y^m, 0)$, CS의 위치는 $\mathbf{q}^{\mathrm{C}} = (x^{\mathrm{C}}, y^{\mathrm{C}}, h^{\mathrm{C}})$로 표현될 수 있다.

[0047] 또한, UAV의 위치가 궤적에 따라 달라질 수 있다는 점을 고려하는 경우, 순간 t에서 UAV의 위치는 $\mathbf{q}_t^{\mathrm{U}} = (x_t^{\mathrm{U}}, y_t^{\mathrm{U}}, h_t^{\mathrm{U}})$로 표현될 수 있다. UAV의 총 비행 시간을 T 로 표시하면 비행 중 3D 궤적은 $\{\mathbf{q}_t^{\mathrm{U}}, \forall t \in [0, T]\}$로 표현될 수 있다. 그러나 이러한 시간 연속적인 UAV 궤적 $\{\mathbf{q}_t^{\mathrm{U}}, \forall t \in [0, T]\}$은, 무한한 수의 UAV 위치 벡터로 구성되기 때문에, 설계하기가 어려울 수 있다. 따라서, 몇몇 실시예들에 따른 UAV 지원 네트워크 시스템은 이 문제를 해결하기 위해 UAV의 궤적과 비행 시간을 함께 최적화하는 데 광범위하게 사용되는 경로 기반 궤적 이산화(path-based trajectory discretization, 이하 TD) 기법을 활용할 수 있다. 몇몇 실시예들에 있어서, 시간 연속적인 궤적은 L개의 선분(line segment)으로 연결된 L+1 개의 경로점들(waypoints)로 구성된

조각별 선형 궤적으로 이산화될 수 있다. 몇몇 실시예들에 따른 UAV 지원 네트워크 시스템은 조각별 선형 궤적 설계를 용이하게 하기 위해 UAV의 속도는 각 선분 내에서 일정하되, 선분 마다 다르다는 가정을 사용할 수 있다. 일례로, UAV 지원 데이터 수집 시스템은, 시간 연속적인 궤적과 조각별 선형 궤적 사이의 간격을 무시할 수 있도록, L을 충분히 큰 수로 선택할 수 있다.

[0048] UAV의 비행 경로는, 도 1에 예시된 바와 같이, 출발점 $\mathbf{q}^{\mathrm{I}}$ 및 종착점 $\mathbf{q}^{\mathrm{F}}$을 포함하는 총 31(=*L*+*1*)개의 경로점들로 구성된 조각별 선형 궤적 $\mathbf{W} \triangleq \{\mathbf{w}_l,\ \forall l \in \{1,\cdots,L+1\}\}$으로 모델링될 수 있다. 이하에서 조각별 선형 궤적에 포함된 선분의 집합을 $\mathcal{L} = \{1,\cdots,L\}$로 표현한다.

[0049] 여기서, *l*번째 경로점을 $\mathbf{w}_l = (w_l^x, w_l^y, w_l^h)$라 할때, 조각별 선형 궤적의 *l*(=*1,2,…, L*) 번째 선분은 경로점 $\mathbf{w}_l$ 및 경로점 $\mathbf{w}_{l+1}$을 연결하는 경로에 대응한다.

[0050] 도 2는 조각별 선형 궤적(예컨대, 도 1에 예시된 조각별 선형 궤적)의 각 선분에 대한 비행 시간을 설명하기 위한 도면이다.

[0051] 도 2에서, τ_l는 조각별 선형 궤적의 *l*번째 선분을 UAV가 비행하는데 소요되는 시간을 나타낸다.

[0052] 한편, UAV의 비행 속도가 최대 속도 $V^{\max}$로 제한될 경우, 경로점들은 수학식 1과 같은 제한 조건을 가질 수 있다.

수학식 1

[0053] $$\|\mathbf{w}_{l+1} - \mathbf{w}_l\| \le \tau_l V^{\max},\ \forall l \in \mathcal{L}$$

[0054] 또한, UAV의 출발점, 종착점 및 비행 고도 제한으로 인해 경로점들은 수학식 2 및 수학식 3과 같은 제한 조건을 가질 수 있다.

수학식 2

[0055] $$\mathbf{w}_1 = \mathbf{q}^{\mathrm{I}},\ \mathbf{w}_{L+1} = \mathbf{q}^{\mathrm{F}}$$

수학식 3

[0056] $$h^{\min} \le w_l^h \le h^{\max},\ \forall l \in \mathcal{L}$$

[0057] 여기서, $h^{\min}$ 및 $h^{\max}$은 UAV가 데이터 수집을 위한 비행 중의 최고 비행 고도 및 최저 비행 고도를 나타낸다.

[0058] 한편, UAV가 조각별 선행 궤적을 따라 비행할 경우, 총 비행 시간(*T*)은 수학식 4와 같이 표현될 수 있다.

수학식 4

[0059] $$T = \sum_{l=1}^{L} \tau_l$$

[0060] $\sum_{i=1}^{l} \tau_i$ 을 τ_l^{sum} 로 표현하는 경우, 선분 *l* 내에서의 위치중 시간 *t*에서의 UAV의 위치($\mathbf{q}_{t,l}^{\mathrm{U}}$)는 수학식 5와 같이

표현될 수 있다.

수학식 5

[0061] $$\mathbf{q}_{t,l}^{\mathrm{U}} = \mathbf{w}_l + \left(\frac{\mathbf{w}_{l+1} - \mathbf{w}_l}{\tau_l}\right) t,\ \forall t \in \left[\tau_{l-1}^{\mathrm{sum}}, \tau_l^{\mathrm{sum}}\right],\ \forall l \in \mathcal{L}$$

[0062] 여기서 $\tau_0^{\mathrm{sum}} \triangleq 0$ 이다. 수학식 4 및 5로부터 UAV의 총 비행 시간과 궤적은 L + 1개의 경로점들 $\mathbf{W} \triangleq \{\mathbf{w}_l,\ \forall l \in \{1, \cdots, L+1\}\}$, 및 선분들 각각에 따른 비행 시간 $\mathbf{T} \triangleq \{\tau_l,\ \forall l \in \mathcal{L}\}$으로 결정될 수 있음을 알 수 있다.

[0063] 한편, 비행하는 동안, 각 UE와 UAV 간의 무선 링크(즉 UU 링크)는 UAV와 해당 UE 사이의 장애물 존재 여부에 따라 LoS 상태에서 NLoS 상태로 또는 그 반대로 동적으로 변할 수 있다. $\|\mathbf{w}_{l+1} - \mathbf{w}_l\| \leq \Delta^{\max}, \forall l \in \mathcal{L}$와 같이 각 선분 내에서 UAV 위치의 최대 변화를 $\Delta^{\max}$ 로 제한하고, UU 링크 상태는 UAV가 각 선분 내에서 비행하는 동안 일정하게 유지된다고 가정할 경우, 수학식 1의 제한 조건은 다음과 같이 표현될 수 있다.

수학식 6

[0064] $$\|\mathbf{w}_{l+1} - \mathbf{w}_l\| \leq \min(\tau_l V^{\max}, \Delta^{\max}),\ \forall l \in \mathcal{L}$$

[0065] 몇몇 실시예들에 있어서, UAV 지원 네트워크 시스템은 각 UU 링크의 채널 전력 이득은 시간에 따라 변하지만 시간 슬롯 동안 일정하게 유지되는 시간 슬롯 시스템을 사용할 수 있다. 일례로, UAV는 시간 길이 δ를 가지는 시간 슬롯을 최소 단위로 하여 UE와의 통신을 위한 자원 할당을 수행할 수 있다.

[0066] 몇몇 실시예들에 있어서, 조각별 선형 궤적의 l번째 선분은 적어도 하나의 시간 슬롯을 포함할 수 있다.

[0067] 도 3은 조각별 선형 궤적의 l번째 선분과 시간 슬롯 간의 관계를 예시한다.

[0068] 도 3에 예시된 바와 같이, l번째 선분을 따라 비행하는 연속 시간 간격인 $\left[\tau_{l-1}^{\mathrm{sum}}, \tau_l^{\mathrm{sum}}\right]$은 동일한 시간 길이 δ의 N_l 개의 시간 슬롯들로 분할되며, N_l은 $N_l = \lfloor \tau_l/\delta \rfloor$로 주어진다. 이하에서 선분 l 내의 시간 슬롯 집합을 $\mathcal{N}_l = \{1, \cdots, N_l\}$로 표현한다.

[0069] 수학식 5에 따라 선분 l의 시간 슬롯 n의 중심에 있는 UAV의 위치($\mathbf{q}_{n,l}^{\mathrm{U}}$)는 다음과 같이 표현될 수 있다.

수학식 7

[0070] $$\mathbf{q}_{n,l}^{\mathrm{U}} = \mathbf{w}_l + \left(\frac{\mathbf{w}_{l+1} - \mathbf{w}_l}{N_l}\right) \cdot \left(n - \frac{1}{2}\right),\ \forall n \in \mathcal{N}_l, \forall l \in \mathcal{L}$$

[0071] 이하에서 각 선분 내 시간 슬롯의 중심에 있는 UAV 위치의 집합을 $\mathbf{Q}^{\mathrm{U}} \triangleq \{\mathbf{q}_{n,l}^{\mathrm{U}},\ \forall n \in \mathcal{N}_l,\ \forall l \in \mathcal{L}\}$ 로 표현한다.

[0072] 한편, 수학식 7을 사용하면, 선분 l의 시간 슬롯 n에서 UAV와 UE m 사이의 UU 링크의 채널 전력 이득($h^{\mathrm{UU},m}(\mathbf{q}_{n,l}^{\mathrm{U}})$)은 다음과 같이 표현될 수 있다.

수학식 8

[0073]
$$h^{\mathrm{UU},m}(\mathbf{q}^{\mathrm{U}}_{n,l}) = \begin{cases} \dfrac{\beta_0 \left|\tilde{h}^{\mathrm{UU},m}_{n,l}\right|^2}{\|\mathbf{q}^{\mathrm{U}}_{n,l} - \mathbf{q}^m\|^{\alpha_{\mathrm{LoS}}}}, & \text{if the link state between the UAV and UE } m \text{ is LoS within line segment } l, \\ \dfrac{\mu_0\beta_0 \left|\tilde{h}^{\mathrm{UU},m}_{n,l}\right|^2}{\|\mathbf{q}^{\mathrm{U}}_{n,l} - \mathbf{q}^m\|^{\alpha_{\mathrm{NLoS}}}}, & \text{if the link state between the UAV and UE } m \text{ is NLoS within line segment } l, \end{cases}$$

[0074] 여기서 β_0 는 기준 거리 1m에서의 채널 전력 이득, α_{LoS} 는 LoS 상태에서의 경로 손실 지수(path-loss exponent), α_{NLoS} 는 NLoS 상태에서의 경로 손실 지수, μ_0 는 NLoS 상태에서의 추가 신호 감쇠 요소(attenuation factor), $\tilde{h}^{\mathrm{UU},m}_{n,l}$ 는 선분 l의 시간 슬롯 n에서의 소규모 페이딩 계수(small-scale fading coefficient)를 나태난다.

[0075] 수학식 8을 이용하면, 선분 l의 시간 슬롯 n에서의 데이터 전송률(UE m으로부터 UAV까지)은 다음과 같이 표현될 수 있다.

수학식 9

[0076]
$$R^m(\mathbf{q}^{\mathrm{U}}_{n,l}) = W\log_2\left(1 + \frac{P^m h^{\mathrm{UU},m}(\mathbf{q}^{\mathrm{U}}_{n,l})}{WN_0}\right)$$

[0077] 여기서 W 는 채널 대역폭, P^m 는 UE m 의 송신 전력, N_0 은 잡음 스펙트럼 밀도이다.

[0078] 몇몇 실시예들에 있어서, UAV 지원 네트워크 시스템은 다중 접속 기법으로 TDMA를 사용할 수 있다. 일례로, 수학식 10으로 주어지는 이진 변수 $\alpha^m_{n,l}$ 를 도입하여, UE 스케줄링을 위한 시간 슬롯 할당을 $\mathbf{A} = \{\alpha^m_{n,l}, \forall m \in \mathcal{M}, \forall n \in \mathcal{N}_l, \forall l \in \mathcal{L}\}$ 로 표현할 수 있다.

수학식 10

[0079]
$$\alpha^m_{n,l} = \begin{cases} 1, & \text{if UE } m \text{ is scheduled to transmit data at time slot } n \text{ of line segment } l \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases}$$

[0080] 몇몇 실시예들에 있어서, UAV 지원 네트워크 시스템은 각 시간 슬롯에 최대 하나의 UE만 데이터를 전송할 수 있도록 하기 위해 수학식 11과 같은 UE 스케줄링 제한 조건을 사용할 수 있다.

수학식 11

[0081]
$$\sum_{m=1}^{M} \alpha^m_{n,l} \le 1, \forall n \in \mathcal{N}_l, \forall l \in \mathcal{L}$$

[0082] 수학식 9 및 10으로 UE m 로부터 선분 l의 시간 슬롯 n 동안 수집된 데이터의 양은 다음과 같이 표현될 수

있다.

수학식 12

[0083] $$D^m\left(\mathbf{q}_{n,l}^{\mathrm{U}}, \alpha_{n,l}^m\right) = \delta R^m\left(\mathbf{q}_{n,l}^{\mathrm{U}}\right)\alpha_{n,l}^m$$

[0084] 몇몇 실시예들에 있어서, UAV 지원 네트워크 시스템은 수학식 13과 같이 $D^{m,\min}$(즉, UE m으로부터 수집되는 데이터의 최소 요구량)을 충족시키는 QoS 요구 사항을 사용할 수 있다.

수학식 13

[0085] $$\sum_{l=1}^{L}\sum_{n=1}^{N_l} D^m\left(\mathbf{q}_{n,l}^{\mathrm{U}}, \alpha_{n,l}^m\right) \geq D^{m,\min},\ \forall m \in \mathcal{M}$$

[0086] 몇몇 실시예들에 있어서, UAV 지원 네트워크 시스템은 에너지 효율적인 UAV 충전을 위해, 'CS가 각 시간 슬롯을 사용하여 UAV를 충전할지 여부'를 동적으로 제어할 수 있는 동적 UAV 충전 스케줄링 기법을 사용할 수 있다.

[0087] 일례로, 수학식 14로 주어지는 이진 변수 $\beta_{n,l}$를 도입하여, UAV 충전 스케줄링에 대한 시간 슬롯 할당을 $\mathbf{B} = \{\beta_{n,l}, \forall n \in \mathcal{N}_l, \forall l \in \mathcal{L}\}$로 표현할 수 있다.

수학식 14

[0088] $$\beta_{n,l} = \begin{cases} 1, & \text{if time slot } n \text{ of line segment } l \text{ is used for UAV charging} \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases}$$

[0089] $\beta_{n,l} = 1$인 경우, CS의 송신 전력은 선분 l의 시간 슬롯 n 동안 고정된 값인 P^{C}로 설정되고, 그렇지 않은 경우(즉, $\beta_{n,l} = 0$), CS의 송신 전력은 선분l의 시간 슬롯 n 동안 0으로 설정된다.

[0090] 수학식 14를 이용하면, CS의 선분 l의 시간 슬롯 n 동안의 충전 에너지 소비(charging energy consumption)는 다음과 같이 표현될 수 있다.

수학식 15

[0091] $$E^{\mathrm{C}}(\beta_{n,l}) = \delta\beta_{n,l}P^{\mathrm{C}}$$

[0092] 몇몇 실시예들에 있어서, CS와 UAV 사이의 무선 링크(CS-to-UAV, 이하 CU 링크)에서 무선 전력(예컨대, 레이저 빔)이 전파될 수 있다. CU 링크의 채널 전력 이득이 각 시간 슬롯 내에서 일정하게 유지되지만 시간 슬롯에 따라 달라질 수 있다고 가정할 경우, 선분 l의 시간 슬롯 n 에서 CU 링크의 채널 전력 이득은 다음과 같이 표현될 수 있다.

수학식 16

[0093] $$h^{\mathrm{CU}}\left(\mathbf{q}_{n,l}^{\mathrm{U}}\right) = \exp\left(-\alpha_0\|\mathbf{q}_{n,l}^{\mathrm{U}} - \mathbf{q}^{\mathrm{C}}\|\right)\tilde{h}_{n,l}^{\mathrm{A}}\tilde{h}_{n,l}^{\mathrm{P}}$$

[0094] 여기서 α_0는 m^{-1} 단위의 매체 감쇠 계수(medium attenuation coefficient)이고, $\tilde{h}^{\mathrm{A}}_{n,l}$는 선분 l의 시간 슬롯 n에서의 대기 난기류 효과 계수(atmospheric turbulence effect coefficient)이고, $\tilde{h}^{\mathrm{P}}_{n,l}$는 선분 l의 시간 슬롯 n에서의 포인팅 오차(pointing error)를 고려한 기하학적 손실(geometrical loss)을 나타낸다.

[0095] 수학식 15 및 16을 이용하여, 선분 l의 시간 슬롯 n 동안 UAV가 CS로부터 하베스트한 에너지의 양은 다음과 같이 표현될 수 있다.

수학식 17

[0096] $$E^{\mathrm{H}}\left(\mathbf{q}^{\mathrm{U}}_{n,l},\beta_{n,l}\right)=\lambda_0 h^{\mathrm{CU}}\left(\mathbf{q}^{\mathrm{U}}_{n,l}\right)E^{\mathrm{C}}(\beta_{n,l})$$

[0097] 여기서 $\lambda_0\in(0,1)$는 하베스팅 효율을 나타낸다.

[0098] 회전익(rotary-wing) UAV의 비행 전력 소비(propulsion power consumption) 모델을 사용하여 UAV의 에너지 소비를 표현하고, UAV가 각 선분 안에서 동일 속도로 비행하는 것을 고려하는 경우, 선분 l 의 비행 전력 소비는 다음과 같다.

수학식 18

[0099] $$P^{\mathrm{F}}(\mathbf{w}_{l+1},\mathbf{w}_l,\tau_l)=P^{\mathrm{B}}\left(1+\frac{3\|\mathbf{w}^{\mathrm{2D}}_{l+1}-\mathbf{w}^{\mathrm{2D}}_{l}\|^2}{U_0^2\tau_l^2}\right)+\frac{1}{2}d_0\rho_0 s_0 A_0\frac{\|\mathbf{w}^{\mathrm{2D}}_{l+1}-\mathbf{w}^{\mathrm{2D}}_{l}\|^3}{\tau_l^3}$$
$$+P^{\mathrm{I}}\sqrt{\sqrt{1+\frac{\|\mathbf{w}^{\mathrm{2D}}_{l+1}-\mathbf{w}^{\mathrm{2D}}_{l}\|^4}{4v_0^4\tau_l^4}}-\frac{\|\mathbf{w}^{\mathrm{2D}}_{l+1}-\mathbf{w}^{\mathrm{2D}}_{l}\|^2}{2v_0^2\tau_l^2}}+W^{\mathrm{U}}\max\left(\frac{w^h_{l+1}-w^h_l}{\tau_l},0\right)$$

[0100] 여기서 $\mathbf{w}^{\mathrm{2D}}_l$는 경로점 l 의 수평 위치(즉, $\mathbf{w}^{\mathrm{2D}}_l=(x_l,y_l)$)이고, P^{B}는 호버링 상태의 블레이드 프로파일 전력(blade profile power)이며, U_0는 로터 블레이드의 속도이고, d_0는 동체 항력비(fuselage drag ratio)이고, ρ_0는 공기 밀도, s_0는 로터 견고도(rotor solidity)이고, A_0는 원판 면적(disc area)이고, P^{I}는 호버링 상태의 유도 전력, v_0는 호버링 상태의 평균 로터 유도 속도, W^{U}는 무인항공기의 무게를 나타낸다.

[0101] 수학식 18을 사용하면, 선분 l의 각 시간 슬롯 동안 UAV의 비행 에너지 소비량은 $\delta P^{\mathrm{F}}(\mathbf{w}_{l+1},\mathbf{w}_l,\tau_l)$로 주어진다.

[0102] 선분 l의 시간 슬롯 n이 끝날 때 UAV 배터리 에너지 레벨은 다음과 같이 표현될 수 있다.

수학식 19

[0103] $$B\left(\mathbf{w}_{l+1},\mathbf{w}_l,\tau_l,\mathbf{q}^{\mathrm{U}}_{n,l},\beta_{n,l}\right)=\min\left(B^{\mathrm{sto}}_{n,l}-\delta P^{\mathrm{F}}(\mathbf{w}_{l+1},\mathbf{w}_l,\tau_l)+E^{\mathrm{H}}\left(\mathbf{q}^{\mathrm{U}}_{n,l},\beta_{n,l}\right),B^{\max}\right)$$

[0104] 여기서 $B^{\max}$는 UAV의 배터리에 저장할 수 있는 최대 에너지 양이고, $B^{\mathrm{sto}}_{n,l}$ 는 선분 l의 시간 슬롯 n이 시작될 때 UAV의 배터리에 저장된 에너지 양이다. 수학식 19에서 $B^{\mathrm{sto}}_{n,l}$는 다음과 같이 주어진다.

수학식 20

[0105]
$$B_{n,l}^{\text{sto}} = \begin{cases} B^{\text{I}}, & \text{if } n = 1 \text{ and } l = 1, \\ B\left(\mathbf{w}_l, \mathbf{w}_{l-1}, \tau_{l-1}, \mathbf{q}_{N_{l-1},l-1}^{\text{U}}, \beta_{N_{l-1},l-1}\right), & \text{if } n = 1 \text{ and } l \neq 1, \\ B\left(\mathbf{w}_{l+1}, \mathbf{w}_l, \tau_l, \mathbf{q}_{n-1,l}^{\text{U}}, \beta_{n-1,l}\right), & \text{otherwise,} \end{cases}$$

[0106] 여기서 B^{I}는 초기 UAV 배터리 에너지 레벨이다.

[0107] 몇몇 실시예들에 있어서, UAV 지원 네트워크 시스템은 비행 시간 동안 UAV 배터리가 다 소모되지 않도록 하기 위한 UAV 배터리 에너지 레벨 제한 조건을 사용할 수 있다. 일례로, UAV 배터리 에너지 레벨 제한 조건은 수학식 21로 표현될 수 있다.

수학식 21

[0108]
$$B\left(\mathbf{w}_{l+1}, \mathbf{w}_l, \tau_l, \mathbf{q}_{n,l}^{\text{U}}, \beta_{n,l}\right) \geq B^{\min}, \ \forall n \in \mathcal{N}_l, \forall l \in \mathcal{L}$$

[0109] 여기서 $B^{\min}$는 최소 드론 배터리 에너지 레벨, 즉 드론의 배터리에 저장해야 하는 최소 에너지 양을 나타낸다.

[0110] 몇몇 실시예들에 있어서, UAV 지원 네트워크 시스템은 비행 중 총 충전 에너지 소비를 최소화하면서 UE의 QoS 요구사항을 만족시키기 위해, 조각별 선형 궤적($\mathbf{W}$)와 선분 비행 시간($\mathbf{T}$), UE 스케줄링($\mathbf{A}$), 및 UAV 충전 스케줄링($\mathbf{B}$)을 공동 최적화할 수 있다. 일례로, UAV 지원 네트워크 시스템은 다음의 식으로 표현되는 최적화 문제의 해를 구하여, 공동 최적화를 수행할 수 있다.

수학식 22

[0111]
$$\begin{aligned} (\text{P0}): \min_{\mathbf{W},\mathbf{T},\mathbf{A},\mathbf{B},\mathbf{Q}^{\text{U}}} & \sum_{l=1}^{L} \sum_{n=1}^{N_l} E^{\text{C}}(\beta_{n,l}) && (22) \\ \text{s.t.} \quad & (2), (3), (6), (7), (11), (13), (21), \\ & \alpha_{n,l}^m \in \{0,1\}, \ \forall n \in \mathcal{N}_l, \forall l \in \mathcal{L}, \forall m \in \mathcal{M}, && (22a) \\ & \beta_{n,l} \in \{0,1\}, \ \forall n \in \mathcal{N}_l, \forall l \in \mathcal{L}. && (22b) \end{aligned}$$

[0112] 선분 내 시간 슬롯의 중심에서의 무인항공기의 위치($\mathbf{Q}^{\text{U}}$)는 문제(P0)의 공식화를 용이하게 하기 위해 보조 변수로 도입되었다.

[0113] 이러한 공동 최적화는 전자 장치(예컨대, 컴퓨팅 장치)에 의해 수행될 수 있으며, 이러한 전자 장치는 UAV 지원 네트워크 시스템에 포함될 수 있다. 일례로, 전자 장치는 UAV, CS에 해당 기능을 지원하는 모듈로 포함되거나, 별도의 장치(도 1에 미도시)로 구현될 수 있다.

[0114] 몇몇 실시예들에 있어서, 해당 전자 장치는 독립적으로 최적화를 수행할 수 있다. 다른 몇몇 실시예들에 있어서, UAV 지원 데이터 수집 시스템의 타 장치와의 정보 수집을 통하여 최적화를 수행할 수 있다.

[0115] 이하에서는 이러한 전자 장치를 최적화 장치로 표현하여 몇몇 실시예들을 설명하고자 한다.

[0116] 한편, 문제 P0의 최적 해를 구하는 것은, 각 선분의 시간 슬롯 수가 비행 시간에 따라 달라지는 점, 완벽한 채널 상태 정보(channel state information, 이하 CSI)를 사전에 얻기는 힘들다는 점 등을 고려할 때, 어려울 수 있다.

[0117] 따라서, 몇몇 실시예들에 따른 최적화 장치는 오프라인 경로점 설계 단계(phase), 온라인 속도 제어 단계, 및 온라인 스케줄링 단계를 포함하는 하이브리드 오프라인-온라인 알고리즘을 사용하여 공동 최적화를 수행할 수 있다.

[0118] 도 4는 최적화 장치가 UAV 지원 네트워크 시스템의 동작을 결정하는 몇몇 실시예들을 설명하기 위한 흐름도이다.

[0119] 몇몇 실시예들에 있어서, 도 4에 예시된 바와 같이, 최적화 장치는 오프라인 경로점 설계 블록을 수행할 수 있다(S410). 일례로, 최적화 장치는 경로점 설계 블록을 수행하여, 궤적 $\mathbf{W} \triangleq \{\mathbf{w}_l,\ \forall l \in \{1,\cdots,L+1\}\}$을 생성할 수 있다(S410).

[0120] 몇몇 실시예들에 있어서, 최적화 장치는 수학식 23으로 표현되는 최적화 문제 P1의 해를 구하여, 궤적 $\mathbf{W} \triangleq \{\mathbf{w}_l,\ \forall l \in \{1,\cdots,L+1\}\}$을 생성할 수 있다.

수학식 23

[0121]
$$
\begin{aligned}
(\mathrm{P1}):\ &\min_{\mathbf{W},\mathbf{T},\mathbf{T}^{\mathrm{D}},\mathbf{T}^{\mathrm{C}},\hat{\mathbf{Q}}^{\mathrm{U}}} \sum_{l=1}^{L} \tau_l^{\mathrm{C}} P^{\mathrm{C}} \\
&\text{s.t.} \quad (2),\,(3),\,(6), \\
&\qquad \hat{\mathbf{q}}_l^{\mathrm{U}} = (\hat{x}_l^{\mathrm{U}}, \hat{y}_l^{\mathrm{U}}, \hat{h}_l^{\mathrm{U}}) = \frac{\mathbf{w}_l + \mathbf{w}_{l+1}}{2},\ \forall l \in \mathcal{L}, && \text{(23a)} \\
&\qquad \sum_{m=1}^{M} \tau_l^{\mathrm{D},m} \le \tau_l,\ \forall l \in \mathcal{L}, && \text{(23b)} \\
&\qquad \sum_{l=1}^{L} \tilde{D}^m\left(\hat{\mathbf{q}}_l^{\mathrm{U}}, \tau_l^{\mathrm{D},m}\right) \ge D^{\min,m}, \forall m \in \mathcal{M}, && \text{(23c)} \\
&\qquad \tau_l^{\mathrm{C}} \le \tau_l,\ \forall l \in \mathcal{L}, && \text{(23d)} \\
&\qquad \min\left(B^{\mathrm{I}} - \sum_{i=1}^{l} \hat{E}^{\mathrm{F}}(\mathbf{w}_{i+1}, \mathbf{w}_i, \tau_i) + \sum_{i=1}^{l} \hat{E}^{\mathrm{H}}(\hat{\mathbf{q}}_i^{\mathrm{U}}, \tau_i^{\mathrm{C}}), B^{\max}\right) \ge B^{\min},\ \forall l \in \mathcal{L} && \text{(23e)}
\end{aligned}
$$

[0122] 수학식 23에서 $\tau_l^{\mathrm{D},m}$는 UAV가 선분 l에 따라 비행할 때, UE m에 의해 사용된 데이터 송신 시간을 나타낸다. 또한, $\tilde{D}^m\left(\hat{\mathbf{q}}_l^{\mathrm{U}}, \tau_l^{\mathrm{D},m}\right)$는 선분 l에서 UE m으로부터 수집되는 것으로 예측되는 데이터량을 나타내며, 이는 수학식 24로 주어지는 해당 선분의 예상 데이터전송률($\hat{R}^m(\hat{\mathbf{q}}_l^{\mathrm{U}})$)을 근사화한 것으로서, 수학식 24에서 지배적인 성분인 LoS 성분(우측변의 첫번째 성분)만을 취하여 구할 수 있다.

수학식 24

[0123]
$$
\hat{R}^m(\hat{\mathbf{q}}_l^{\mathrm{U}}) = \hat{P}^{\mathrm{LoS},m}(\hat{\mathbf{q}}_l^{\mathrm{U}})\hat{R}^{\mathrm{LoS},m}(\hat{\mathbf{q}}_l^{\mathrm{U}}) + \left(1 - \hat{P}^{\mathrm{LoS},m}(\hat{\mathbf{q}}_l^{\mathrm{U}})\right)\hat{R}^{\mathrm{NLoS},m}(\hat{\mathbf{q}}_l^{\mathrm{U}})
$$

[0124] 수학식 24에서 $\hat{P}^{\mathrm{LoS},m}(\hat{\mathbf{q}}_l^{\mathrm{U}})$는 선분 l에서 UAV와 UE m간의 UU 링크가 LoS 상태일 확률을 나타내며, 비행 전에 통계적으로 미리 계산될 수 있으며, $\hat{R}^{\mathrm{LoS},m}(\hat{\mathbf{q}}_l^{\mathrm{U}})$는 선분 l에서 UAV와 UE m간의 UU 링크가 LoS 상태일 때의 예측 데이터 전송률로 수학식 25로 주어진다.

수학식 25

[0125]
$$\hat{R}^{\mathrm{LoS},m}\left(\hat{\mathbf{q}}_l^{\mathrm{U}}\right) = W\log_2\left(1+\frac{P^m\hat{h}^{\mathrm{UU,LoS},m}\left(\hat{\mathbf{q}}_l^{\mathrm{U}}\right)}{WN_0}\right)$$

[0126] 수학식 25에서, $\hat{h}^{\mathrm{UU,LoS},m}\left(\hat{\mathbf{q}}_l^{\mathrm{U}}\right)$는 선분 l에서 UAV와 UE m간의 UU 링크가 LoS 상태일 때 UU 링크의 대규모 채널 전력 이득(large-scale channel power gain)으로, 수학식 26으로 주어진다.

수학식 26

[0127]
$$\hat{h}^{\mathrm{UU,LoS},m}\left(\hat{\mathbf{q}}_l^{\mathrm{U}}\right) = \frac{\beta_0}{\|\hat{\mathbf{q}}_l^{\mathrm{U}}-\mathbf{q}^m\|^{\alpha_{\mathrm{LoS}}}}$$

[0128] 즉, 최적화 문제 P1은 수학식 24 내지 26과 같이 통계적 CSI로 구성되며, 순시(instantaneous) CSI를 필요로 하지 않는다.

[0129] 한편, 최적화 문제 P1은 비볼록 최적화 문제(non-convex optimization problem)이므로, 해를 구하기 어려울 수 있다. 따라서, 문제 P1을 휴리스틱하게 해결하기 위해, 몇몇 실시예들에 따른 최적화 장치는 비볼록 최적화 문제를 근사된 볼록 최적화 문제로 반복적으로 해결하는데 널리 사용되는 연속 볼록 근사(successive convex approximation,이하 SCA) 기법을 활용하여, 최적화 문제 P1의 해를 구할 수 있다.

[0130] 다시 도 4를 참조하면, 몇몇 실시예들에 있어서, UAV는, 도 4에 예시된 바와 같이, 출발점(l=0)에서 비행을 시작할 수 있다(S420). 일례로, UAV는, 오프라인 경로점 설계 블록에서 생성된 궤적에 따라, 비행을 시작할 수 있다.

[0131] 몇몇 실시예들에 있어서, UAV의 비행이 시작되면, 도 4에 예시된 바와 같이, 최적화 장치는 선분 인덱스 l를 1로 설정하여(S425), 온라인 속도 제어 블록(S430)으로 진입할 수 있다.

[0132] 몇몇 실시예들에 있어서, 도 4에 예시된 바와 같이, 최적화 장치는 선분 l의 속도를 결정할 수 있다(S430). 일례로, 최적화 장치는 온라인 속도 제어 블록을 수행하여, 해당 선분의 속도($V^{\mathrm{on}}(\tau_{l^{\mathrm{on}}}^{\mathrm{on}})$ 및 시간 슬롯 개수 ($N_{l^{\mathrm{on}}}=\left\lfloor\frac{\tau_{l^{\mathrm{on}}}^{\mathrm{on}}}{\delta}\right\rfloor$) 를 결정할 수 있다. 몇몇 실시예들에 있어서, 최적화 장치는 수학식 27의 최적화 문제 P2의 해를 구하여, 해당 선분의 속도($V^{\mathrm{on}}(\tau_{l^{\mathrm{on}}}^{\mathrm{on}})$) 및 시간 슬롯 개수 ($N_{l^{\mathrm{on}}}=\left\lfloor\frac{\tau_{l^{\mathrm{on}}}^{\mathrm{on}}}{\delta}\right\rfloor$) 를 결정할 수 있다.

수학식 27

[0133]
$$\begin{aligned}
(\mathrm{P2}):\ &\min_{\mathbf{T}_{l^{\mathrm{on}}},\mathbf{T}_{l^{\mathrm{on}}}^{\mathrm{D}},\mathbf{T}_{l^{\mathrm{on}}}^{\mathrm{C}}}\ \sum_{l=l^{\mathrm{on}}}^{L}\tau_l^{\mathrm{C}}P^{\mathrm{C}}\\
&\text{s.t.}\quad \sum_{l=1}^{l^{\mathrm{on}}-1}\check{D}_l^{\mathrm{past},m}+\check{D}_{l^{\mathrm{on}}}^{\mathrm{on},m}\left(\tau_{l^{\mathrm{on}}}^{\mathrm{D},m}\right)+\sum_{l=l^{\mathrm{on}}+1}^{L}\check{D}_l^{\mathrm{future},m}\left(\tau_l^{\mathrm{D},m}\right)\geq D^{\min,m},\forall m\in\mathcal{M}, \quad (27a)\\
&\min\left(B_{l^{\mathrm{on}}}-\sum_{i=l^{\mathrm{on}}}^{l}\check{E}_i^{\mathrm{F}}(\tau_i)+\sum_{i=l^{\mathrm{on}}}^{l}\check{E}_i^{\mathrm{H}}\left(\tau_i^{\mathrm{C}}\right),B^{\max}\right)\geq B^{\min},\forall l\in\{l^{\mathrm{on}},\cdots,L\}, \quad (27b)\\
&\sum_{m=1}^{M}\tau_l^{\mathrm{D},m}\leq\tau_l,\ \forall l\in\{l^{\mathrm{on}},\cdots,L\}, \quad (27c)\\
&\tau_l^{\mathrm{C}}\leq\tau_l,\ \forall l\in\{l^{\mathrm{on}},\cdots,L\}, \quad (27d)\\
&\tau_l\geq\frac{\|\mathbf{w}_{l+1}^{\mathrm{off}}-\mathbf{w}_l^{\mathrm{off}}\|}{V^{\max}},\ \forall l\in\{l^{\mathrm{on}},\cdots,L\}. \quad (27e)
\end{aligned}$$

[0134] 수학식 27에서 $\mathbf{T}_{l^{\mathrm{on}}}$는 현재 및 미래 선분에 대한 선분 비행 시간들의 집합을 나타내며,

$\mathbf{T}_{l^{\text{on}}} \triangleq \{\tau_l \geq 0, \forall l \in \{l^{\text{on}}, \cdots, L\}\}$로 표현될 수 있다. $\mathbf{T}^{\text{D}}_{l^{\text{on}}}$는 현재 및 미래 선분에서 UE가 사용한 데이터 전송 시간의 집합을 나타내며, $\mathbf{T}^{\text{D}}_{l^{\text{on}}} \triangleq \{\tau_l^{\text{D},m} \geq 0,\ \forall m \in \mathcal{M}, \forall l \in \{l^{\text{on}}, \cdots, L\}\}$로 표현될 수 있다. $\mathbf{T}^{\text{C}}_{l^{\text{on}}}$는 현재 및 미래 선분에서 CS가 UAV를 충전하는 시간들의 집합을 나타내며, $\mathbf{T}^{\text{C}}_{l^{\text{on}}} \triangleq \{\tau_l^{\text{C}} \geq 0, \forall l \in \{l^{\text{on}}, \cdots, L\}\}$로 표현될 수 있다.

[0135] 또한, 수학식 27에서 $\check{D}_l^{\text{past},m}$는 과거 선분에서 UE m로부터의 데이터 수집량 실현치(즉, 실제로 수집한 데이터의 양)를 나타낸다. $\hat{D}_{l^{\text{on}}}^{\text{on},m}\left(\tau_{l^{\text{on}}}^{\text{D},m}\right)$는 현재 선분에서 UE m로부터의 데이터 수집량 추정치를 나타내며, 수학식 28로 주어진다. $\check{D}_l^{\text{future},m}\left(\tau_l^{\text{D},m}\right)$는 미래 선분에서 UE m로부터의 데이터 수집량 예측치를 나타내며, 수학식 29로 주어진다.

수학식 28

[0136] $$\hat{D}_{l^{\text{on}}}^{\text{on},m}\left(\tau_{l^{\text{on}}}^{\text{D},m}\right) = \tau_{l^{\text{on}}}^{\text{D},m} \check{R}_{l^{\text{on}}}^{\text{on},m}$$

수학식 29

[0137] $$\check{D}_l^{\text{future},m}\left(\tau_l^{\text{D},m}\right) = \tau_l^{\text{D},m} \check{R}_l^{\text{future},m},\ \forall l \in \{l^{\text{on}}+1, \cdots, L\}$$

[0138] 수학식 28에서 $\check{R}_{l^{\text{on}}}^{\text{on},m}$는 선분 l^{on}에서 대규모 채널 이득 기반 데이터 전송률(large-scale channel gain-based data rate)(UE m으로부터 UAV로의 데이터 전송률)로, 수학식 30으로 주어진다.

수학식 30

[0139] $$\check{R}_{l^{\text{on}}}^{\text{on},m} = s_{l^{\text{on}}}^{m} \hat{R}^{\text{LoS},m}\left(\mathbf{q}_{l^{\text{on}}}^{\text{U,off}}\right) + (1 - s_{l^{\text{on}}}^{m}) \hat{R}^{\text{NLoS},m}\left(\mathbf{q}_{l^{\text{on}}}^{\text{U,off}}\right)$$

[0140] 수학식 30에서 $s_{l^{\text{on}}}^{m}$는 현재 선분 l^{on}에서 UE m와 UAV 간의 UU 링크가 LoS 상태이면 1, 그렇지 않으면 0의 값을 가지는 변수로, UAV의 현재 선분 l^{on} 시작 시점에서 이미 알 수 있는 값이다. 즉, $s_{l^{\text{on}}}^{m}$는 순시 LSI(instantaneous knowledge of whether a link state is LoS or NLoS)라 볼 수 있다.

[0141] 수학식 29에서 $\check{R}_l^{\text{future},m}$은 미래 선분 l에서 UE m으로부터 UAV로의 데이터 전송률 예측치로서, 수학식 31로 주어진다.

수학식 31

[0142] $$\check{R}_l^{\text{future},m} = \hat{P}^{\text{LoS},m}\left(\mathbf{q}_l^{\text{U,off}}\right) \hat{R}^{\text{LoS},m}\left(\mathbf{q}_l^{\text{U,off}}\right) + \left(1 - \hat{P}^{\text{LoS},m}\left(\mathbf{q}_l^{\text{U,off}}\right)\right) \hat{R}^{\text{NLoS},m}\left(\mathbf{q}_l^{\text{U,off}}\right)$$

[0143] 수학식 27에서 $B_{l^{\text{on}}}$는 현재 선분 l^{on} 시작 시점에서의 UAV 배터리 에너지 레벨 실현치(즉, 해당 시점의 실제 UAV 배터리 에너지 레벨)를 나타내며, $\check{E}_i^{\text{F}}(\tau_i)$는 해당 선분에서의 비행 에너지 소비(propulsion energy consumption)를 나타내며, $\check{E}_i^{\text{H}}(\tau_i^{\text{C}})$는 해당 선분에서 UAV에 의해 하베스트되는 에너지 예측치(expected amount of energy harvested)propulsion energy consumption)를 나타낸다.

[0144] 한편, 최적화 문제 P2는 27b의 제한 조건 때문에 비볼록 최적화 문제로, 해를 구하기 어려울 수 있다. 그러나, 27b의 비볼록 함수 $\breve{E}_l^{\mathrm{F}}(\tau_l), \forall l \in \{l^{\mathrm{on}}, \cdots, L\}$를 수학식 32로 주어지는 볼록 대체 함수(convex surrogate function)로 대체하면, 최적화 문제 P2는 수학식 33으로 주어지는 볼록 최적화 문제로 근사화될 수 있다.

수학식 32

[0145]
$$\breve{E}_l^{\mathrm{F,ub}}(\tau_l) = P^{\mathrm{B}}\left(\tau_l + \frac{3\|\mathbf{w}_{l+1}^{\mathrm{2D,off}} - \mathbf{w}_l^{\mathrm{2D,off}}\|^2}{U_0^2\tau_l}\right) + \frac{d_0\rho_0 s_0 A_0\|\mathbf{w}_{l+1}^{\mathrm{2D,off}} - \mathbf{w}_l^{\mathrm{2D,off}}\|^3}{2\tau_l^2} + P^{\mathrm{I}}\tau_l + W^{\mathrm{U}}\max\left(w_{l+1}^{h,\mathrm{off}} - w_l^{h,\mathrm{off}}, 0\right),$$

[0146] 여기서, $\mathbf{w}_l^{\mathrm{2D,off}} = (w_l^{x,\mathrm{off}}, w_l^{y,\mathrm{off}})$ 이다.

수학식 33

[0147]
$$\text{(P2.1)}: \min_{\mathbf{T}_{l^{\mathrm{on}}}, \mathbf{T}^{\mathrm{D}}_{l^{\mathrm{on}}}, \mathbf{T}^{\mathrm{C}}_{l^{\mathrm{on}}}} \sum_{l=l^{\mathrm{on}}}^{L} \tau_l^{\mathrm{C}} P^{\mathrm{C}}$$

$$\text{s.t.} \quad \text{(27a), (27c), (27d), (27e)}$$

$$\min\left(B_{l^{\mathrm{on}}} - \sum_{i=l^{\mathrm{on}}}^{l} \breve{E}_i^{\mathrm{F,ub}}(\tau_i) + \sum_{i=l^{\mathrm{on}}}^{l} \breve{E}_i^{\mathrm{H}}(\tau_i^{\mathrm{C}}), B^{\max}\right) \geq B^{\min}, \forall l \in \{l^{\mathrm{on}}, \cdots, L\} \quad \text{(33a)}$$

[0148] 최적화 문제 P2.1은 CVX-Mosek와 같은 최적화 솔버로 쉽게 해결할 수 있다.

[0149] 다시 도 4를 참조하면, 몇몇 실시예들에 있어서, 해당 선분의 속도 및 시간 슬롯 개수를 결정되면, 도 4에 예시된 바와 같이, 최적화 장치는 해당 선분의 시간 슬롯 인덱스를 1로 설정하여(S440), 온라인 스케줄링 블록(S450)으로 진입할 수 있다.

[0150] 몇몇 실시예들에 있어서, 도 4에 예시된 바와 같이, 최적화 장치는 해당 선분의 해당 시간 슬롯을 위한 UE 스케줄링 및 UAV 충전 스케줄링을 수행할 수 있다(S450). 일례로, 최적화 장치는 온라인 스케줄링 블록을 수행하여, 해당 선분의 해당 시간 슬롯에 대한 UE 스케줄링 정보($\alpha_{n^{\mathrm{on}},l^{\mathrm{on}}}^{m,\mathrm{on}}$) 및 UAV 충전 스케줄링 정보($\beta_{n^{\mathrm{on}},l^{\mathrm{on}}}^{\mathrm{on}}$)를 결정하고, UAV는 그 결정된 정보에 따라 해당 UE로부터의 데이터 수집 및 UAV 충전을 수행할 수 있다. 몇몇 실시예들에 있어서, 최적화 장치는 수학식 34의 최적화 문제의 해를 구하여, 해당 시간 슬롯에 대한 UE 스케줄링 정보($\alpha_{n^{\mathrm{on}},l^{\mathrm{on}}}^{m,\mathrm{on}}$) 및 UAV 충전 스케줄링 정보($\beta_{n^{\mathrm{on}},l^{\mathrm{on}}}^{\mathrm{on}}$)를 결정할 수 있다.

수학식 34

$$
\begin{aligned}
(\mathrm{P3}): \min_{\mathbf{A}_{n^{\mathrm{on}},l^{\mathrm{on}}},\mathbf{B}_{n^{\mathrm{on}},l^{\mathrm{on}}},\mathbf{T}^{\mathrm{D}}_{l^{\mathrm{on}}+1},\mathbf{T}^{\mathrm{D}}_{l^{\mathrm{on}}+1}} \quad & \sum_{n=n^{\mathrm{on}}}^{N_{l^{\mathrm{on}}}} \delta\beta_{n,l^{\mathrm{on}}} P^{\mathrm{C}} + \sum_{l=l^{\mathrm{on}}+1}^{L} \tau_l^{\mathrm{C}} P^{\mathrm{C}} \\
\text{s.t.} \quad & D^{\mathrm{total},m}_{n^{\mathrm{on}},l^{\mathrm{on}}}(\mathbf{A}_{n^{\mathrm{on}},l^{\mathrm{on}}}, \mathbf{T}^{\mathrm{D}}_{l^{\mathrm{on}}+1}) \geq D^{\min,m}, \forall m \in \mathcal{M}, && \text{(33a)} \\
& \min\left(B_{n^{\mathrm{on}},l^{\mathrm{on}}} - \sum_{i=n^{\mathrm{on}}}^{n} E^{\mathrm{F}}_{i,l^{\mathrm{on}}} + \sum_{i=n^{\mathrm{on}}}^{n} \bar{E}^{\mathrm{H}}_{i,l^{\mathrm{on}}}(\beta_{i,l^{\mathrm{on}}}), B^{\max}\right) \geq B^{\min}, \ \forall n \in \{n^{\mathrm{on}}, \cdots, N_{l^{\mathrm{on}}}\}, && \text{(33b)} \\
& \min\left(B_{n^{\mathrm{on}},l^{\mathrm{on}}} - \sum_{n=n^{\mathrm{on}}}^{N_{l^{\mathrm{on}}}} E^{\mathrm{F}}_{n,l^{\mathrm{on}}} + \sum_{n=n^{\mathrm{on}}}^{N_{l^{\mathrm{on}}}} \bar{E}^{\mathrm{H}}_{n,l^{\mathrm{on}}}(\beta_{i,l^{\mathrm{on}}}) - \sum_{j=l^{\mathrm{on}}+1}^{l} \bar{E}^{\mathrm{F}}_{j} + \sum_{j=l^{\mathrm{on}}+1}^{l} \bar{E}^{\mathrm{H}}_{j}(\tau^{\mathrm{C}}_{j}), B^{\max}\right) \geq B^{\min}, \\
& \qquad\qquad \forall l \in \{l^{\mathrm{on}}+1, \cdots, L\}, && \text{(33c)} \\
& \alpha^{m}_{n,l^{\mathrm{on}}} \in \{0,1\}, \ \forall m \in \mathcal{M}, \ \forall n \in \{n^{\mathrm{on}}, \cdots, N_{l^{\mathrm{on}}}\}, && \text{(33d)} \\
& \beta_{n,l^{\mathrm{on}}} \in \{0,1\}, \ \forall n \in \{n^{\mathrm{on}}, \cdots, N_{l^{\mathrm{on}}}\}, && \text{(33e)} \\
& \sum_{m=1}^{M} \alpha^{m}_{n,l^{\mathrm{on}}} \leq 1, \ \forall n \in \{n^{\mathrm{on}}, \cdots, N_{l^{\mathrm{on}}}\}, && \text{(33f)} \\
& \sum_{m=1}^{M} \tau^{\mathrm{D},m}_{l} \leq \tilde{\tau}^{\mathrm{on}}_{l}, \ \forall l \in \{l^{\mathrm{on}}+1, \cdots, L\}, && \text{(33g)} \\
& \tau^{\mathrm{C}}_{l} \leq \tilde{\tau}^{\mathrm{on}}_{l}, \ \forall l \in \{l^{\mathrm{on}}+1, \cdots, L\}. && \text{(33h)}
\end{aligned}
$$

[0151]

[0152] 수학식 34에서 $D^{\mathrm{total},m}_{n^{\mathrm{on}},l^{\mathrm{on}}}(\mathbf{A}_{n^{\mathrm{on}},l^{\mathrm{on}}}, \mathbf{T}^{\mathrm{D}}_{l^{\mathrm{on}}+1})$ 는 UAV가 전체 비행 시간 동안 UE m으 로부터 수집된 총 데이터 량으로, 수학식 35로 주어진다.

수학식 35

$$
\begin{aligned}
D^{\mathrm{total},m}_{n^{\mathrm{on}},l^{\mathrm{on}}}(\mathbf{A}_{n^{\mathrm{on}},l^{\mathrm{on}}}, \mathbf{T}^{\mathrm{D}}_{l^{\mathrm{on}}+1}) = & \sum_{l=1}^{l^{\mathrm{on}}-1} \bar{D}^{\mathrm{past},m}_{l} + \sum_{n=1}^{n^{\mathrm{on}}-1} \bar{D}^{\mathrm{past},m}_{n,l^{\mathrm{on}}} + D^{\mathrm{on},m}_{n^{\mathrm{on}},l^{\mathrm{on}}}(\alpha^{m}_{n^{\mathrm{on}},l^{\mathrm{on}}}) \\
& + \sum_{n=n^{\mathrm{on}}+1}^{N_{l^{\mathrm{on}}}} \bar{D}^{\mathrm{future},m}_{n,l^{\mathrm{on}}}(\alpha^{m}_{n,l^{\mathrm{on}}}) + \sum_{l=l^{\mathrm{on}}+1}^{L} \bar{D}^{\mathrm{future},m}_{l}(\tau^{\mathrm{D},m}_{l})
\end{aligned}
$$

[0153]

[0154] 수학식 35에서 $\bar{D}^{\mathrm{past},m}_{n,l^{\mathrm{on}}}$ 은 현재 선분 중 현재 시간 슬롯 이전까지 UE m로부터의 데이터 수집량 실현치를 나타낸다. $D^{\mathrm{on},m}_{n^{\mathrm{on}},l^{\mathrm{on}}}(\alpha^{m}_{n^{\mathrm{on}},l^{\mathrm{on}}})$ 는 현재 선분의 현재 시간 슬롯에서 UE m로부터의 데이터 수집량 추정치를 나타내며, 수학식 36으로 주어진다.

수학식 36

$$
D^{\mathrm{on},m}_{n^{\mathrm{on}},l^{\mathrm{on}}}(\alpha^{m}_{n^{\mathrm{on}},l^{\mathrm{on}}}) = \delta\alpha^{m}_{n^{\mathrm{on}},l^{\mathrm{on}}} R^{\mathrm{on},m}_{n^{\mathrm{on}},l^{\mathrm{on}}}
$$

[0155]

[0156] 수학식 36에서 $R^{\mathrm{on},m}_{n^{\mathrm{on}},l^{\mathrm{on}}}$ 는 현재 선분의 현재 시간 슬롯에서 UE m로부터의 데이터 전송률로 순시 CSI가 포함되는 수학식 37로 주어진다.

수학식 37

$$
R^{\mathrm{on},m}_{n^{\mathrm{on}},l^{\mathrm{on}}} = W \log_2\left(1 + \frac{P^{m} h^{\mathrm{UU},m}_{n^{\mathrm{on}},l^{\mathrm{on}}}}{W N_0}\right)
$$

[0157]

[0158] 수학식 35에서 $\bar{D}^{\text{future},m}_{n,l^{\text{on}}}(\alpha^m_{n,l^{\text{on}}})$는 현재 선분의 나머지 시간 슬롯에서 UE m로부터의 데이터 수집량 예측치를 나타내며, 수학식 38로 주어진다.

수학식 38

[0159] $$\bar{D}^{\text{future},m}_{n,l^{\text{on}}}(\alpha^m_{n,l^{\text{on}}}) = \delta\alpha^m_{n,l^{\text{on}}}\bar{R}^{\text{future},m}_{n,l^{\text{on}}},\ \forall n \in \{n^{\text{on}}+1\cdots, N_{l^{\text{on}}}\}$$

[0160] 수학식 37에서 $\bar{R}^{\text{future},m}_{n,l^{\text{on}}}$는 현재 선분의 나머지 시간 슬롯에서 UE m로부터의 데이터 전송률 예측치로 수학식 39로 주어진다.

수학식 39

[0161] $$\begin{aligned}\bar{R}^{\text{future},m}_{n,l^{\text{on}}} =& s^m_{l^{\text{on}}} W\log_2\left(1+\frac{P^m\beta_0}{WN_0\|\mathbf{q}^{\text{U}}_{n,l^{\text{on}}}-\mathbf{q}^m\|^{\alpha_{\text{LoS}}}}\right)\\ &+(1-s^m_{l^{\text{on}}})W\log_2\left(1+\frac{P^m\mu_0\beta_0}{WN_0\|\mathbf{q}^{\text{U}}_{n,l^{\text{on}}}-\mathbf{q}^m\|^{\alpha_{\text{NLoS}}}}\right),\ \forall n\in\{n^{\text{on}}+1,\cdots,N_{l^{\text{on}}}\}\end{aligned}$$

[0162] 수학식 35에서 $\check{D}^{\text{future},m}_{l}\left(\tau^{\text{D},m}_{l}\right)$는 현재 선분의 이후의 선분에서 UE m로부터의 데이터 수집량 예측치를 나타내며, 수학식 40으로 주어진다.

수학식 40

[0163] $$\check{D}^{\text{future},m}_{l}\left(\tau^{\text{D},m}_{l}\right) = \tau^{\text{D},m}_{l}\check{R}^{\text{future},m}_{l},\ \forall l\in\{l^{\text{on}}+1,\cdots,L\}$$

[0164] 수학식 40에서 $\bar{R}^{\text{future},m}_{n,l^{\text{on}}}$는 현재 선분의 이후의 선분에서 UE m로부터의 데이터 전송률 예측치로 수학식 41로 주어진다.

수학식 41

[0165] $$\check{R}^{\text{future},m}_{l} = \hat{P}^{\text{LoS},m}\left(\mathbf{q}^{\text{U,off}}_{l}\right)\hat{R}^{\text{LoS},m}\left(\mathbf{q}^{\text{U,off}}_{l}\right)+\left(1-\hat{P}^{\text{LoS},m}\left(\mathbf{q}^{\text{U,off}}_{l}\right)\right)\hat{R}^{\text{NLoS},m}\left(\mathbf{q}^{\text{U,off}}_{l}\right)$$

[0166] 수학식 34에서 $E^{\text{F}}_{n,l^{\text{on}}}$는 현재 선분의 현재 및 미래 시간 슬롯 동안 UAV의 비행 에너지 소비로, 수학식 42로 주어진다.

수학식 42

[0167] $$E^{\text{F}}_{n,l^{\text{on}}} = \delta P^{\text{F}}\left(\mathbf{w}^{\text{off}}_{l^{\text{on}}+1},\mathbf{w}^{\text{off}}_{l^{\text{on}}},\tau^{\text{on}}_{l^{\text{on}}}\right),\ \forall n\in\{n^{\text{on}}\cdots,N_{l^{\text{on}}}\}$$

[0168] 수학식 34에서 $\bar{E}^{\text{H}}_{n,l^{\text{on}}}(\beta_{i,l^{\text{on}}})$는 현재 선분의 현재 및 미래 시간 슬롯에서 UAV가 하베스트하는 에너지 하베스트량 예측치로, 수학식 43으로 주어진다.

수학식 43

[0169] $$\bar{E}^{\mathrm{H}}_{n,l^{\mathrm{on}}}(\beta_{n,l^{\mathrm{on}}}) = \delta\lambda_0 \bar{h}^{\mathrm{CU}}_{n,l^{\mathrm{on}}} \beta_{n,l^{\mathrm{on}}} P^{\mathrm{C}}$$

[0170] 수학식 43에서 $\bar{h}^{\mathrm{CU}}_{n,l^{\mathrm{on}}}$는 현재 선분의 현재 및 미래 시간 슬롯에서 CU 링크의 채널 전력 이득 예측치이다.

[0171] 수학식 34에서 $\bar{E}^{\mathrm{F}}_{j}$는 현재 선분의 이후의 선분에서의 UAV의 비행 에너지 소비 로, 수학식 44로 주어진다.

수학식 44

[0172] $$\bar{E}^{\mathrm{F}}_{l} = \tilde{\tau}^{\mathrm{on}}_{l} P^{\mathrm{F}}\left(\mathbf{w}^{\mathrm{off}}_{l+1}, \mathbf{w}^{\mathrm{off}}_{l}, \tilde{\tau}^{\mathrm{on}}_{l}\right)$$

[0173] 수학식 44에서 $\tilde{\tau}^{\mathrm{on}}_{l}$는 온라인 속도 제어 블록(S430)에서 얻어진 현재 선분의 선분 비행 시간을 나타낸다.

[0174] 수학식 34에서 $\bar{E}^{\mathrm{H}}_{j}(\tau^{\mathrm{C}}_{j})$는 현재 선분의 이후 선분에서 UAV가 하베스트하는 에너지 하베스트량 예측치로, 수학식 45로 주어진다.

수학식 45

[0175] $$\bar{E}^{\mathrm{H}}_{l}(\tau^{\mathrm{C}}_{l}) = \lambda_0 \hat{h}^{\mathrm{CU}}\left(\mathbf{q}^{\mathrm{U,off}}_{l}\right) \tau^{\mathrm{C}}_{l} P^{\mathrm{C}}$$

[0176] 한편, 문제 P3은 제한 조건 33d 및 33e로 인해 정수 프로그래밍(integer programming) 문제이므로, 실시간으로 해를 구하기는 어려울 수 있다. 따라서, 몇몇 실시예들에 있어서, 최적화 장치는 이러한 제한 조건을 수학식 46 및 47과 같이 완화하여, 수학식 48로 주어지는 볼록 최적화 문제 P3.1로 변형할 수 있다.

수학식 46

[0177] $$0 \le \alpha^{m}_{n,l^{\mathrm{on}}} \le 1, \ \forall m \in \mathcal{M}, \ \forall n \in \{n^{\mathrm{on}}, \cdots, N_{l^{\mathrm{on}}}\}$$

수학식 47

[0178] $$0 \le \beta_{n,l^{\mathrm{on}}} \le 1, \ \forall n \in \{n^{\mathrm{on}}, \cdots, N_{l^{\mathrm{on}}}\}$$

수학식 48

[0179] $$\text{(P3.1)}: \min_{\mathbf{A}_{n^{\mathrm{on}},l^{\mathrm{on}}}, \mathbf{B}_{n^{\mathrm{on}},l^{\mathrm{on}}}, \mathbf{T}^{\mathrm{D}}_{l^{\mathrm{on}}+1}, \mathbf{T}^{\mathrm{D}}_{l^{\mathrm{on}}+1}} \sum_{n=n^{\mathrm{on}}}^{N_{l^{\mathrm{on}}}} \delta\beta_{n,l^{\mathrm{on}}} P^{\mathrm{C}} + \sum_{l=l^{\mathrm{on}}+1}^{L} \tau^{\mathrm{C}}_{l} P^{\mathrm{C}}$$
$$\text{s.t.} \quad \text{(33a), (33b), (33c), (46), (47), (33f), (33g), (33h)}$$

[0180] 최적화 문제 P3.1은 CVX-Mosek와 같은 최적화 솔버로 쉽게 해결할 수 있다.

[0181] 몇몇 실시예들에 있어서, 최적화 장치는 문제 P3.1의 해 $\mathbf{A}^{*}_{n^{\mathrm{on}},l^{\mathrm{on}}}$ 및 $\mathbf{B}^{*}_{n^{\mathrm{on}},l^{\mathrm{on}}}$를 구한 후, 해당 해를 반올림

(round) 처리하여, 제한 조건 33d, 33e을 충족시키는 이진(binary) 해를 구할 수 있다. 일례로, 최적화 장치는 $\mathbf{A}^{*}_{n^{\text{on}},l^{\text{on}}}$에 속하는 $\alpha^{m,*}_{n^{\text{on}},l^{\text{on}}}, \forall m \in \mathcal{M}$, to 0 or 1 를 수학식 49와 같이 반올림 처리하여 이진 해를 구하고, $\mathbf{B}^{*}_{n^{\text{on}},l^{\text{on}}}$에 속하는 $\beta^{*}_{n^{\text{on}},l^{\text{on}}}$ 를 수학식 50과 같이 반올림 처리하여 이진 해를 구할 수 있다.

수학식 49

[0182]
$$\alpha^{m^*,*}_{n^{\text{on}},l^{\text{on}}} = 1,$$
$$\alpha^{m,*}_{n^{\text{on}},l^{\text{on}}} = 0, \ \forall m \neq m^*$$
$$\text{where } m^* = \text{argmax}_m \, \alpha^{m,*}_{n^{\text{on}},l^{\text{on}}}$$

수학식 50

[0183]
$$\beta^{*}_{n^{\text{on}},l^{\text{on}}} = \left\lfloor \beta^{*}_{n^{\text{on}},l^{\text{on}}} + \frac{1}{2} \right\rfloor$$

[0184] 다시 도 4를 참조하면, 몇몇 실시예들에 있어서, 해당 선분의 해당 시간 슬롯에 대한 온라인 스케줄링이 완료되면, 도 4에 예시된 바와 같이, 최적화 장치는 해당 선분의 모든 시간 슬롯에 대한 온라인 스케줄링 수행여부를 판단할 수 있다(S460).

[0185] 몇몇 실시예들에 있어서, 도 4에 예시된 바와 같이, 최적화 장치는 해당 선분의 모든 시간 슬롯에 대한 온라인 스케줄링이 수행되었으면(S460), 모든 선분에 대한 온라인 스케줄링 수행 여부를 판단하는 블록(S470)로 진입하고, 그렇지 않으면(S460), 시간 슬롯 인덱스를 증가시켜(S465), 다음 시간 슬롯 처리를 위한 온라인 스케줄링 블록(S450)으로 복귀할 수 있다.

[0186] 몇몇 실시예들에 있어서, 도 4에 예시된 바와 같이, 최적화 장치는 모든 선분에 대해 온라인 스케줄링이 수행되었으면(S470), 최적화 및 UAV의 비행이 종료되고(S480), 그렇지 않으면(S470), 선분 인덱스를 증가시켜(S475), 다음 선분 처리를 위한 온라인 속도 제어 블록(S430)으로 복귀할 수 있다.

[0187] 도 5는 하이브리드 온라인 오프라인 최적화 알고리즘의 몇몇 실시예들을 예시하는 의사 코드이다.

[0188] 몇몇 실시예들에 있어서, 도 5에 예시된 바와 같이, 최적화 장치는, 비행이 시작되기 전에, 경로점($\mathbf{W}^{\text{off}}$)을 결정할 수 있다(라인 1). 일례로, 최적화 장치는, UU 링크와 CU 링크의 통계적 CSI를 기반으로 경유점을 결정할 수 있다. 몇몇 실시예들에 있어서, 이러한 경로점 결정 방식은 도 4에 예시된 오프라인 경로점 설계 블록(S410)에 대응할 수 있다.

[0189] 몇몇 실시예들에 있어서, 도 5에 예시된 바와 같이, 최적화 장치는, 비행 중인 UAV가 각 선분($l^{\text{on}} \in \{1, \cdots, L\}$)의 시작점에 도달할 때마다, 현재 선분 l^{on}에 대한 UAV의 속도($V^{\text{on}}(\tau^{\text{on}}_{l^{\text{on}}})$)를 실시간 결정할 수 있다(라인 3). 일례로, 최적화 장치는 UU 링크의 순시 LSI와 실현된 UAV 배터리 에너지 레벨을 기반으로 현재 선분 l^{on}에 대한 UAV의 속도를 실시간 결정할 수 있다. 몇몇 실시예들에 있어서, 이러한 UAV 속도 결정 방식은 도 4에 예시된 온라인 속도 제어 블록(S430)에 대응할 수 있다.

[0190] 몇몇 실시예들에 있어서, 도 5에 예시된 바와 같이, 최적화 장치는, UAV가 각 선분($l^{\text{on}} \in \{1, \cdots, L\}$) 내를 비행하는 동안, 해당 선분의 매 시간 슬롯 ($n^{\text{on}} \in \{1, \cdots, N_{l^{\text{on}}}\}$)에서 UE 스케줄링($\alpha^{m,\text{on}}_{n^{\text{on}},l^{\text{on}}}, \forall m \in \mathcal{M}$) 및 UAV 충전 스케줄링($\beta^{\text{on}}_{n^{\text{on}},l^{\text{on}}}$)을 실시간 결정할 수 있다(라인 4 내지 6). 일례로, 최적화 장치는 해당 UU 링크의 순시 CSI와 해당 시간 슬롯의 실현된 UAV 배터리 에너지 레벨을 기반으로 UE 스케줄링 및 UAV 충전 스케줄링을 결정할 수 있다. 몇몇 실시예들에 있어서, 이러한 UE 스케줄링 및 UAV 충전 스케줄링 결정 방식은 도 4에 예시된 온라인 스케줄링 블록(S450)에 대응할 수 있다.

[0191] 하이브리드 오프라인-온라인 알고리즘의 몇몇 실시예들에 따르면, 각 단계에서 이용 가능한 세 가지 정보(통계적 CSI; 순시 LSI; 순시 CSI 및 실현된 UAV 배터리 에너지 레벨)를 활용함으로써, UE의 QoS 요구 사항을 충족하면서 비행 전반의 총 충전 에너지 소비를 크게 최소화할 수 있다.

[0192] 도 6은 본 개시의 실시예들에 따른 방법을 수행하는 전자 장치를 예시하는 블록도이다. 도 6에서는 전자 장치(600)를 하나의 물리적인 장치처럼 설명하고 있으나, 실시예에 따라 전자 장치(600)는 복수의 장치들이 연동된 형태(예컨대, 분산 컴퓨팅)로 구현될 수도 있다.

[0193] 몇몇 실시예들에 있어서, 전자 장치(600)는 도 6에 도시된 바와 같이 메모리(610), 프로세서(620), 통신 모듈(630)을 포함할 수 있다. 다른 몇몇 실시예들에 있어서, 입출력 인터페이스(640), 기타 유닛 중 전부 또는 일부를 더 포함할 수 있다. 일례로, 실시예들을 수행하는 전자 장치(600)가 무인항공기인 경우, 비행 수단 등의 유닛을 더 포함할 수 있다.

[0194] 메모리(610)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(610)와 분리되어 별도의 영구 저장 장치로서 포함될 수도 있다. 또한, 메모리(610)에는 운영체제와 적어도 하나의 프로그램 코드(일례로 본 개시의 실시예들에 따른 방법을 수행하도록 전자 장치(600)가 포함하는 기록매체에 저장되어 전자 장치(600)를 제어하기 위한 컴퓨터 프로그램과 같은 프로그램)가 저장될 수 있다. 이러한 소프트웨어 구성요소들은 메모리(610)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(630)을 통해 메모리(610)에 로딩될 수도 있다.

[0195] 프로세서(620)는 기본적인 산술, 로직 및 입출력 연산을 수행함으로써, 컴퓨터 프로그램과 같은 프로그램의 명령을 처리하도록 구성될 수 있다. 명령은 메모리(610) 또는 통신 모듈(630)에 의해 프로세서(620)로 제공될 수 있다. 예를 들어 프로세서(620)는 메모리(610)에 로딩된 프로그램 코드에 따라 수신되는 명령을 실행하도록 구성될 수 있다. 보다 구체적인 예로, 프로세서(620)는 메모리(610)에 로딩된 컴퓨터 프로그램의 코드에 따른 명령을 순차적으로 실행하여 본 개시의 실시예에 따른 UAV 지원 네트워크 시스템에 포함된 기기 전부 또는 일부의 동작에 대한 결정(예컨대, UAV 비행 경로 결정, UAV 충전 등)를 수행할 수 있다. 통신 모듈(630)은 컴퓨터 네트워크와 같은 통신 네트워크를 통해 다른 물리적인 기기들과 서로 통신하기 위한 기능을 제공할 수 있다. 일례로, 전자 장치(600)의 프로세서(620)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(630)을 통해 교환하는 방식으로 본 개시의 실시예를 수행할 수도 있다.

[0196] 입출력 인터페이스(640)는 입출력 장치(650)와의 인터페이스를 위한 수단일 수 있다. 예를 들어, 입출력 장치(650)에서 입력 장치는 키보드 또는 마우스 등의 장치를, 그리고 출력 장치는 디스플레이나 스피커와 같은 장치를 포함할 수 있다. 도 6에서 입출력 장치(650)는 전자 장치(600)와 별도의 장치로 표현되었으나, 실시예에 따라 입출력 장치(650)가 전자 장치(600)에 포함되도록 전자 장치(600)가 구현될 수도 있다.

[0197] 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(600)는 운영 체제(OS) 및 상기 운영 체제 상에서 수행되는 하나 이상의 소프트웨어 어플리케이션을 수행할 수 있다. 또한, 전자 장치(600)는 소프트웨어의 실행에 응답하여, 데이터를 접근, 저장, 조작, 처리 및 생성할 수도 있다. 이해의 편의를 위하여, 전자 장치(600)는 하나가 사용되는 것으로 설명된 경우도 있지만, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는, 전자 장치(600)가 복수 개의 처리 요소 (processing element) 및/또는 복수 유형의 처리 요소를 포함할 수 있음을 알 수 있다. 예를 들어, 전자 장치(600)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.

[0198] 소프트웨어는 컴퓨터 프로그램(computer program), 코드(code), 명령(instruction), 또는 이들 중 하나 이상의 조합을 포함할 수 있으며, 원하는 대로 동작하도록 전자 장치(600)를 구성하거나 독립적으로 또는 결합적으로

(collectively) 전자 장치(600)를 명령할 수 있다. 소프트웨어 및/또는 데이터는, 전자 장치(600)에 의하여 해석되거나 전자 장치(600)에 명령 또는 데이터를 제공하기 위하여, 어떤 유형의 기계, 구성요소(component), 물리적 장치, 컴퓨터 저장 매체 또는 장치에 구체화(embody)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.

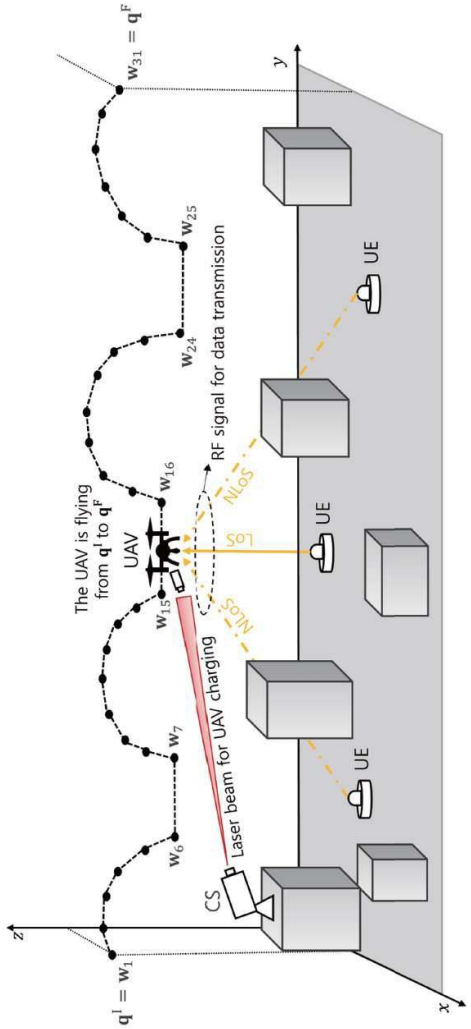
[0199] 실시예에 따른 방법은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 이때, 매체는 컴퓨터로 실행 가능한 프로그램을 계속 저장하거나, 실행 또는 다운로드를 위해 임시 저장하는 것일 수도 있다. 또한, 매체는 단일 또는 수 개의 하드웨어가 결합된 형태의 다양한 기록수단 또는 저장수단일 수 있는데, 어떤 컴퓨터 시스템에 직접 접속되는 매체에 한정되지 않고, 네트워크 상에 분산 존재하는 것일 수도 있다. 매체의 예시로는, 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 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.

[0200] 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.

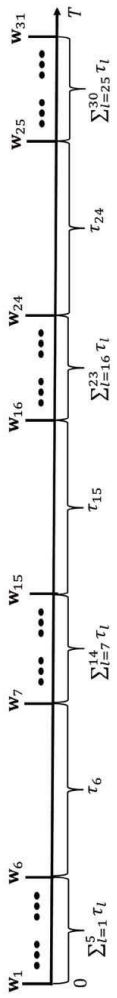
[0201] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

도면

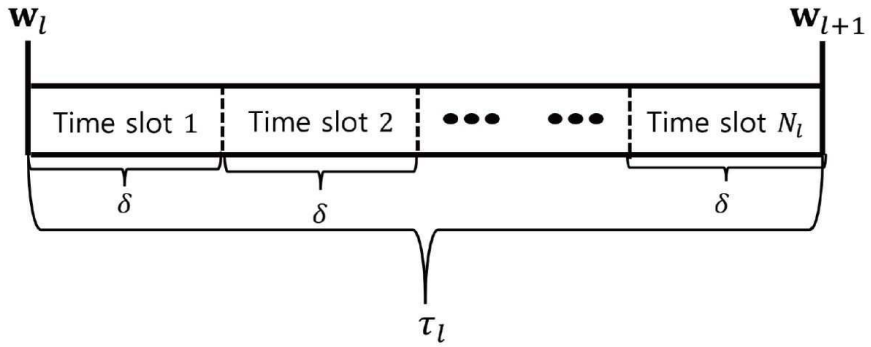
도면1


$w_{31} = q^F$
w_{25}
w_{24}
w_{16}
w_{15}
w_7
w_6
$q^I = w_1$
The UAV is flying from q^I to q^F
UAV
RF signal for data transmission
SoTN
LoS
NLoS
Laser beam for UAV charging
CS
UE
UE
UE
y
z
x

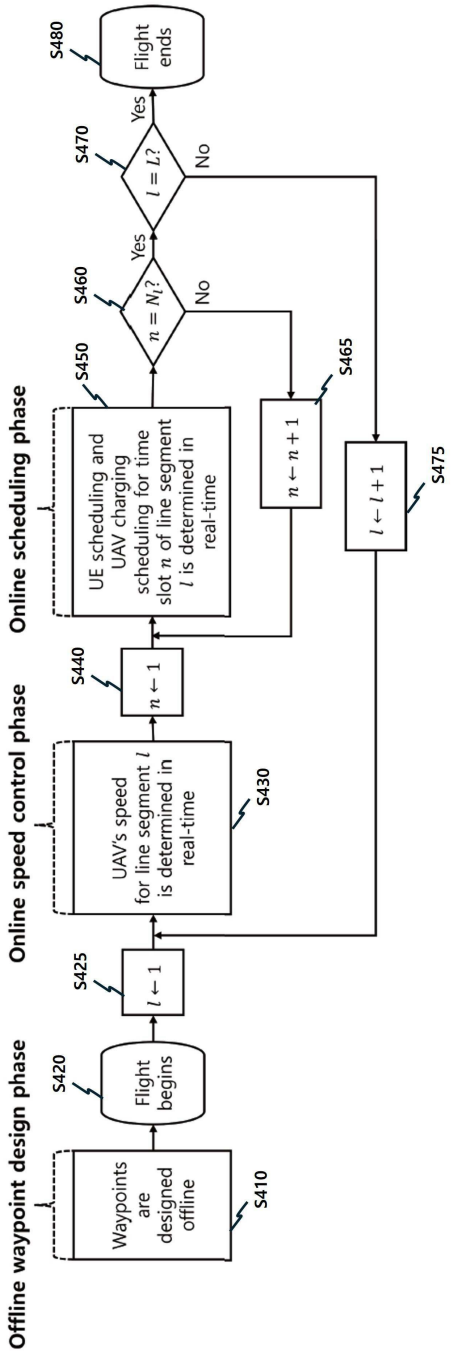
도면2


T
$\mathbf{w}_{31}$
$\mathbf{w}_{25}$
$\mathbf{w}_{24}$
$\mathbf{w}_{16}$
$\mathbf{w}_{15}$
$\mathbf{w}_{7}$
$\mathbf{w}_{6}$
$\mathbf{w}_{1}$
$\sum_{l=25}^{30}\tau_l$
τ_{24}
$\sum_{l=16}^{23}\tau_l$
τ_{15}
$\sum_{l=7}^{14}\tau_l$
τ_6
$\sum_{l=1}^{5}\tau_l$
0

도면3


$\mathbf{w}_l$
$\mathbf{w}_{l+1}$
Time slot 1
Time slot 2
Time slot N_l
δ
δ
δ
τ_l

도면4


Offline waypoint design phase
Online speed control phase
Online scheduling phase
S410
Waypoints are designed offline
S420
Flight begins
S425
$l \leftarrow 1$
S430
UAV's speed for line segment l is determined in real-time
S440
$n \leftarrow 1$
S450
UE scheduling and UAV charging scheduling for time slot n of line segment l is determined in real-time
S460
$n = N_l$?
Yes
No
S465
$n \leftarrow n + 1$
S470
$l = L$?
Yes
No
S475
$l \leftarrow l + 1$
S480
Flight ends

Hybrid Offline-Online Algorithm

/* Offline Waypoint Design Phase */

Determine the waypoints, $\mathbf{W}^{\text{off}}$

/* Online Phases: Online Speed Control Phase and Online Scheduling Phase */

for $l^{\text{on}} = 1$ to L **do**

  Determine the speed of the UAV for the current line segment l^{on}, $V^{\text{on}}(\tau_{l^{\text{on}}}^{\text{on}})$

  for $n^{\text{on}} = 1$ to $N_{l^{\text{on}}}$ **do**

    Determine UE scheduling and UAV charging scheduling for the current time slot n^{on} of line segment l^{on}, $\alpha_{n^{\text{on}},l^{\text{on}}}^{m,\text{on}}, \forall m \in \mathcal{M}$, and $\beta_{n^{\text{on}},l^{\text{on}}}^{\text{on}}$

  end

end

공개특허 10-2025-0033937

도면6

