(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0032862
(43) 공개일자 2025년03월07일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04B 7/185 (2006.01) *B64U 101/20* (2023.01)
G08G 5/00 (2025.01) *H04L 5/00* (2006.01)
H04L 67/12 (2022.01) *H04W 72/0446* (2023.01)
H04W 72/51 (2023.01) *H04W 72/543* (2023.01)
(52) CPC특허분류
H04B 7/18504 (2013.01)
G08G 5/20 (2025.01)
(21) 출원번호 10-2024-0066674
(22) 출원일자 2024년05월22일
심사청구일자 2024년05월22일
(30) 우선권주장
1020230114771 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
인천광역시 연수구 하모니로138번길 11, 102동 1802호 (송도동)
(74) 대리인
특허법인(유한)아이시스

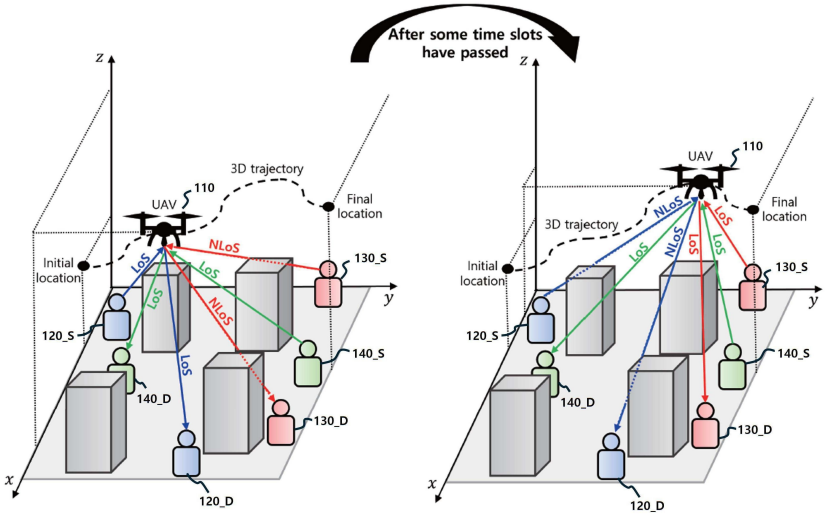
전체 청구항 수 : 총 18 항

(54) 발명의 명칭 **무인항공기 중계 직교 주파수 분할 다중 접속 네트워크에서의 하이브리드 오프라인-온라인 무인항공기 경로 설계 및 부채널 할당**

(57) 요 약

무인항공기 지원 네트워크를 운영하기 위한 기술이 개시된다. 일실시예에 있어서, 복수의 기기 쌍들 - 해당 기기 쌍에 포함된 소스 기기 및 목적지 기기는 무인항공기의 중계를 통해 OFDMA 기반 통신을 수행함 - 및 상기 무인항공기를 포함하는 시스템에서 전자 장치가 상기 무인항공기의 비행 경로 및 무선 자원 할당을 결정하는 방법은 요구 조건 - 상기 복수의 기기 쌍들 각각의 최소 요구 단대단 처리량(end-to-end throughput) 조건을 포함함 - 을 설정하는 단계; 및 상기 설정된 요구 조건을 충족하면서 상기 복수의 기기 쌍들의 단대단 처리량들의 합계를 최대화하기 위한 상기 무인항공기의 비행 경로 및 무선 자원 할당을 결정하는 단계를 포함할 수 있다.

대 표 도



(52) CPC특허분류
G08G 5/30 (2025.01)
H04L 5/0007 (2025.01)
H04L 67/12 (2022.05)
H04W 72/0446 (2023.01)
H04W 72/51 (2023.01)
H04W 72/543 (2023.01)
B64U 2101/20 (2023.01)

명 세 서

청구범위

청구항 1

복수의 기기 쌍들 - 해당 기기 쌍에 포함된 소스 기기 및 목적지 기기는 무인항공기의 중계를 통해 OFDMA 기반 통신을 수행함 - 및 상기 무인항공기를 포함하는 시스템에서 전자 장치가 상기 무인항공기의 비행 경로 및 무선 자원 할당을 결정하는 방법에 있어서,

요구 조건 - 상기 복수의 기기 쌍들 각각의 최소 요구 단대단 처리량 조건을 포함함 - 을 설정하는 단계; 및

상기 설정된 요구 조건을 충족하면서 상기 복수의 기기 쌍들의 단대단 처리량들의 합계를 최대화하기 위한 상기 무인항공기의 비행 경로 및 무선 자원 할당을 결정하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 시스템의 무선 자원은 N(2 이상 자연수)개의 시간 슬롯들 - 상기 시간 슬롯들 각각은 상향 링크 부슬롯 및 하향링크 부슬롯을 포함함 - 및 K(2 이상 자연수)개의 부채널들 - 적어도 하나의 부반송파를 포함함 - 을 기반으로 구성되며,

상기 무선 자원 할당을 결정하는 단계는, 상향 링크 무선 자원 - 상기 N개의 상향링크 부슬롯들 및 상기 K개의 부채널들의 조합으로 이루어짐 - 을 상기 기기 쌍들에 포함된 소스 기기의 송신에 할당하고, 하향 링크 무선 자원 - 상기 N개의 하향링크 부슬롯들 및 상기 K개의 부채널들의 조합으로 이루어짐 - 을 상기 기기 쌍들에 포함된 목적지 기기의 수신에 할당하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 3

제2항에 있어서, 상기 K개의 부채널들 각각은

미리 설정된 개수의 부반송파들로 이루어진 방법.

청구항 4

제1항에 있어서, 상기 결정하는 단계는,

상기 복수의 기기 쌍들 각각의 단대단 처리량을 예상(expected) 단대단 처리량으로 근사화하여, 상기 무인항공기의 비행 경로 및 무선 자원 할당을 결정하는 오프라인 단계; 및

상기 오프라인 단계에서 결정된 비행 경로 및 무선 자원 할당에 따라 비행 및 무선 자원 할당을 수행하되, 각 링크의 순시(instantaneous) 채널 상태 정보를 기초로 상기 무선 자원 할당을 업데이트하여, 업데이트된 무선 자원 할당을 수행하는 온라인 단계를 포함하는 방법.

청구항 5

제4항에 있어서, 상기 오프라인 단계는

확률적 가시선(Probabilistic Line of Sight) 채널 모델을 기초로 상기 예상 단대단 처리량을 산출하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 6

제4항에 있어서, 상기 오프라인 단계는

상기 예상 단대단 처리량을 각 링크가 가시선 채널 상태일 때의 단대단 처리량으로 근사화하여, 상기 무인항공기의 비행 경로 및 무선 자원 할당을 결정하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 7

제4항에 있어서, 상기 오프라인 단계는

비행 경로가 주어졌을 때의 부채널을 할당하는 제1 하위 문제 및 무선 자원 할당이 주어졌을 때 비행 경로를 최적화하는 제2 하위 문제로 나누는 단계;

상기 제1 하위 문제의 해 및 상기 제2 하위 문제의 해를 블록 좌표 하강(block, coordinate descent, BCD) 기법을 이용하여 획득하는 단계; 및

상기 획득된 제1 하위 문제의 해 및 상기 획득된 제2 하위 문제의 해를 기초로 상기 무인항공기의 비행 경로 및 무선 자원 할당을 결정하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 8

제4항에 있어서, 상기 온라인 단계는

현재 시간 슬롯 이전까지 실행된 무선 자원 할당, 현재 시간 슬롯에서 각 링크의 채널 상태 정보, 및 상기 오프라인 단계에서 결정된 무선 자원 할당을 기초로 현재 시간 슬롯에 대해 상기 복수의 기기 쌍들 적어도 일부를 위한 무선 자원을 할당하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 9

제4항에 있어서, 상기 온라인 단계는

미리 설정된 QoS 요구 조건을 충족하면서, 각 기기 쌍에 대한 온라인 예상 단대단 처리량 - 현재 시간 슬롯 이전까지 실행된 무선 자원 할당, 현재 시간 슬롯의 무선 자원 할당, 및 상기 오프라인 단계에서 결정된 현재 시간 슬롯 이후의 무선 자원 할당의 합으로 이루어짐 - 의 합계를 최대화하는 현재 시간 슬롯의 무선 자원 할당을 결정하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 10

제9항에 있어서, 상기 온라인 단계는,

현재 시간 슬롯에서 상기 QoS 요구 조건을 충족하지 않는 경우, 상기 QoS 요구 조건을 수정하는 단계; 및

상기 수정된 QoS 요구 조건을 충족하면서, 상기 각 기기 쌍에 대한 온라인 예상 단대단 처리량의 합계를 최대화하는 현재 시간 슬롯의 무선 자원 할당을 결정하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 11

제1항에 있어서,

상기 결정하는 단계는 다음의 수학식

$$(\mathrm{P0}):\ \max_{\mathbf{Q},\mathbf{A_U},\mathbf{A_D}} \frac{1}{N}\sum_{n\in\mathbb{N}}\sum_{s\in\mathbf{S}} R_{(s,d(s))}[n] \qquad (1)$$

$$s.t.\quad \frac{1}{N}\sum_{n\in\mathbb{N}} R_{(s,d(s))}[n] \geq R^{\min}_{(s,d(s))}, \forall s \qquad (1a)$$

$$\|\mathbf{q}_U[n+1]-\mathbf{q}_U[n]\| \leq \boldsymbol{\delta V}^{\max}, \forall n \in \mathbb{N}\backslash\{N\} \qquad (1b)$$

$$h_U^{\min} \leq h_U[n] \leq h_U^{\max}, \forall \mathrm{n} \in \mathrm{N} \qquad (1c)$$

$$\mathbf{q}_U[\mathbf{1}] = \mathbf{q}_I, \mathbf{q}_U[N] = \mathbf{q}_F \qquad (1d)$$

$$\sum_{s\in\mathbf{S}} \alpha^{U}_{s,k}[n] \leq \mathbf{1}, \forall k, n \qquad (1e)$$

$$\sum_{s\in\mathbf{S}} \alpha^{D}_{d(s),k}[n] \leq \mathbf{1}, \forall k, n \qquad (1f)$$

$$\alpha^{U}_{s,k}[n], \alpha^{D}_{d(s),k}[n] \in \{0,1\},\ \ \forall s, k, n \qquad (1g)$$

(여기서, s 및 $\boldsymbol{S}$는 각각 소스 기기의 인덱스, s의 집합을 나타내며, $d(s)$는 해당 소스 기기에 대응하는 목적지 기기를 나타내며, 상기 시스템은 상기 무인항공기의 단위 가동 시간(T)을 N으로 균분하여 얻어지는 시간 슬롯들

을 기반으로 동작되고, 상기 시간 슬롯들 각각은 시간 길이 δ를 가지되, 상향링크 부슬롯 및 다운링크 부슬롯으로 구성되고, n은 시간 슬롯의 인덱스로 1 내지 N의 자연수 값을 가지며, $\mathbb{N}$은 n의 집합을 나타내며, $R_{(s,d(s))}[n]$ 및 $R^{\min}_{(s,d(s))}$는 시간 슬롯 n에서 해당 기기 쌍의 단대단 처리량 및 해당 기기쌍의 최소 평균 요구 처리량을 나타내며, $\mathbf{q}_U[n]$은 시간 슬롯 n 에서의 상기 무인항공기의 위치, $\mathbf{Q}$는 시간 슬롯 1 내지 N에 해당하는 $\mathbf{q}_U[n]$의 집합(즉, 비행경로)을 나타내며, $\mathbf{q}_I$ 및 $\mathbf{q}_F$는 각각 상기 무인항공기의 최초 위치와 최종 위치를 나타내며, $V^{\max}$ 는 상기 무인항공기의 최대 속력을 나타내며, $h_U[n]$는 시간 슬롯 n 에서의 무인항공기의 높이를 나타내며, $h_U^{\min}$ 및 $h_U^{\max}$는 각각 무인항공기가 위치할 수 있는 최소 높이 및 최대 높이를 나타내며, k는 OFDMA 기법에서의 부채널의 인덱스로서, 1내지 K의 자연수 값을 가지며, $\alpha^U_{s,k}[n]$는 소스 기기 s로부터 상기 무인항공기로의 데이터 전송을 위해 시간 슬롯 n 및 부채널 k로 식별되는 무선 자원이 할당되었는지를 나타내는 값이며, $\mathbf{A}_U$는 n 및 k가 가질 수 있는 값들에 대한 $\alpha^U_{s,k}[n]$의 집합을 나타내며, $\alpha^D_{d(s),k}[n]$는 상기 무인항공기로부터 목적지 기기 $d(s)$로의 데이터 전송을 위해 시간 슬롯 n 및 부채널 k로 식별되는 무선 자원이 할당되었는지를 나타내는 값이며, $\mathbf{A_D}$는 n 및 k가 가질 수 있는 값들에 대한 $\alpha^D_{d(s),k}[n]$의 집합을 나타냄)으로 표현되는 문제의 해를 기초로 상기 무인항공기의 비행 경로 및 무선 자원 할당을 결정하는 단계를 포함하고,

상기 요구 조건은 상기 수학식에 있는 (1a), (1b), (1c), (1d), (1e), (1f), (1g)를 포함하는 방법.

청구항 12

제1항에 있어서, 상기 결정하는 단계는

통계적 특성을 이용하여 상기 설정된 요구 조건을 충족하면서 상기 복수의 기기 쌍들의 단대단 처리량들의 합계를 최대화하기 위한 상기 무인항공기의 비행 경로 및 무선 자원 할당을 결정하는 오프라인 단계; 및

현재 시간 슬롯에서 미리 설정된 QoS 요구 조건이 충족되는지를 확인하는 단계;

현재 시간 슬롯에서 상기 QoS 요구 조건이 충족 불가능하다고 판단되는 경우, 상기 QoS 요구 조건을 수정하는 단계; 및

상기 수정된 QoS 요구 조건에 따라 순시 채널 상태 정보를 기초로 상기 오프라인 단계에서 결정된 현재 시간 슬롯에 대한 무선 자원 할당을 조절하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 13

제1항에 있어서,

상기 전자 장치는 상기 무인항공기인 방법.

청구항 14

제1항에 있어서,

상기 전자 장치는 상기 공중 기지국과 물리적으로 분리된 기기이며,

상기 방법은 상기 결정된 비행 경로 및 무선 자원 할당에 대한 정보를 상기 무인항공기에 제공하는 단계를 더 포함하는 방법.

청구항 15

복수의 기기 쌍들 - 해당 기기 쌍에 포함된 소스 기기 및 목적지 기기는 무인항공기의 중계를 통해 OFDMA 기반 통신을 수행함 - 및 상기 무인항공기를 포함하는 시스템에서 상기 무인항공기의 동작 방법에 있어서,

상기 무인항공기의 비행 경로 및 무선 자원 할당을 설정하는 단계; 및

상기 설정된 비행 경로 및 무선 자원 할당에 따라 비행 및 상기 중계를 수행하되, 상기 설정된 무선 자원 할당

및 상기 복수의 사용자 기기 쌍들에 포함된 각각과 상기 무인항공기 간의 링크의 순시 채널 상태 정보를 기초로 상기 무선 자원 할당을 업데이트하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 16

제15항에 있어서, 상기 설정하는 단계는,

상기 복수의 기기 쌍들 각각의 단대단 처리량을 예상(expected) 단대단 처리량으로 근사화하여, 상기 무인항공기의 비행 경로 및 무선 자원 할당을 결정하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 17

제15항에 있어서, 상기 무선 자원 할당을 업데이트하는 단계는

현재 시간 슬롯에서 미리 설정된 QoS 요구 조건이 충족되는지를 확인하는 단계;

상기 QoS 요구 조건이 충족 불가능하다고 판단되는 경우, 상기 설정된 QoS 요구 조건을 수정하는 단계; 및

상기 수정된 QoS 요구 조건에 따라 순시 채널 상태 정보를 기초로 상기 오프라인 단계에서 결정된 현재 시간 슬롯에 대한 무선 자원 할당을 조절하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 18

복수의 기기 쌍들 - 해당 기기 쌍에 포함된 소스 기기 및 목적지 기기는 무인항공기의 중계를 통해 OFDMA 기반 통신을 수행함 - 및 상기 무인항공기를 포함하는 시스템에서 상기 무인항공기의 비행 경로 및 무선 자원 할당을 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

기 술 분 야

[0001] 본 개시(disclosure)는 무인항공기 지원 네트워크를 운영하기 위한 기술에 관한 것으로, 보다 상세하게는 몇몇 실시예들은 중계 기능을 수행하는 무인항공기의 비행 경로, OFDMA 기반 무선 자원 할당을 최적화하는 기술에 관한 것이다.

배 경 기 술

[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. 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 중계하거나, 지상 사용자(Ground User, 이하 GU) 간의 통신을 중계할 수 있다.

[0003] 이러한 연구 결과에도 불구하고 UAV 지원 네트워크는 실제 통신 시스템으로 동작되기 위해서는 개선할 사항이 있다. 일례로, UAV의 비행 경로, 무선 자원 할당(예컨대, OFDMA 기반 무선 자원 할당)에 대한 최적화 및 이러한 최적화를 실제 상황(예컨대, 주어진 채널 정보의 한계, 계산량 조건 등)에서 수행 가능한 알고리즘이 필요할 수 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 따라서, 무인항공기 지원 네트워크를 효율적으로 운영하기 위한 기술(예컨대, 중계 기능을 수행하는 무인항공기의 비행 경로, OFDMA 기반 무선 자원 할당을 최적화하는 기술)을 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0005] 본 개시의 일 양태는 복수의 기기 쌍들 - 해당 기기 쌍에 포함된 소스 기기 및 목적지 기기는 무인항공기의 중계를 통해 OFDMA 기반 통신을 수행함 - 및 상기 무인항공기를 포함하는 시스템에서 전자 장치가 상기 무인항공기의 비행 경로 및 무선 자원 할당을 결정하는 방법에 있어서, 요구 조건 - 상기 복수의 기기 쌍들 각각의 최소 요구 단대단 처리량(end-to-end throughput) 조건을 포함함 - 을 설정하는 단계; 및 상기 설정된 요구 조건을 충족하면서 상기 복수의 기기 쌍들의 단대단 처리량들의 합계를 최대화하기 위한 상기 무인항공기의 비행 경로 및 무선 자원 할당을 결정하는 단계를 포함하는 방법을 제공한다.

[0006] 몇몇 실시예들에 있어서, 상기 시스템의 무선 자원은 N(2 이상 자연수)개의 시간 슬롯들 - 상기 시간 슬롯들 각각은 상향 링크 부슬롯 및 하향링크 부슬롯을 포함함 - 및 K(2 이상 자연수)개의 부채널들 - 적어도 하나의 부반송파를 포함함 - 을 기반으로 구성될 수 있다. 몇몇 실시예들에 있어서, 상기 무선 자원 할당을 결정하는 단계는, 상향 링크 무선 자원 - 상기 N개의 상향링크 부슬롯들 및 상기 K개의 부채널들의 조합으로 이루어짐 - 을 상기 기기 쌍들에 포함된 소스 기기의 송신에 할당하고, 하향 링크 무선 자원 - 상기 N개의 하향링크 부슬롯들 및 상기 K개의 부채널들의 조합으로 이루어짐 - 을 상기 기기 쌍들에 포함된 목적지 기기의 수신에 할당하는 단계를 포함할 수 있다.

[0007] 몇몇 실시예들에 있어서, 상기 K개의 부채널들 각각은 미리 설정된 개수의 부반송파들로 이루어질 수 있다.

[0008] 몇몇 실시예들에 있어서, 상기 결정하는 단계는, 상기 복수의 기기 쌍들 각각의 단대단 처리량을 예상(expected) 단대단 처리량으로 근사화하여, 상기 무인항공기의 비행 경로 및 무선 자원 할당을 결정하는 오프라인 단계; 및 상기 오프라인 단계에서 결정된 비행 경로 및 무선 자원 할당에 따라 비행 및 무선 자원 할당을 수행하되, 각 링크의 순시(instantaneous) 채널 상태 정보를 기초로 상기 무선 자원 할당을 업데이트하여, 업데이트된 무선 자원 할당을 수행하는 온라인 단계를 포함할 수 있다.

[0009] 몇몇 실시예들에 있어서, 상기 오프라인 단계는 확률적 가시선(Probabilistic Line of Sight) 채널 모델을 기초로 상기 예상 단대단 처리량을 산출하는 단계를 포함할 수 있다.

[0010] 몇몇 실시예들에 있어서, 상기 오프라인 단계는 상기 예상 단대단 처리량을 각 링크가 가시선 채널 상태일 때의 단대단 처리량으로 근사화하여, 상기 무인항공기의 비행 경로 및 무선 자원 할당을 결정하는 단계를 포함할 수 있다.

[0011] 몇몇 실시예들에 있어서, 상기 오프라인 단계는 비행 경로가 주어졌을 때의 부채널을 할당하는 제1 하위 문제 및 무선 자원 할당이 주어졌을 때 비행 경로를 최적화하는 제2 하위 문제로 나누는 단계; 상기 제1 하위 문제의 해 및 상기 제2 하위 문제의 해를 블록 좌표 하강(block, coordinate descent, BCD) 기법을 이용하여 획득하는 단계; 및 상기 획득된 제1 하위 문제의 해 및 상기 획득된 제2 하위 문제의 해를 기초로 상기 무인항공기의 비행 경로 및 무선 자원 할당을 결정하는 단계를 포함할 수 있다.

[0012] 몇몇 실시예들에 있어서, 상기 온라인 단계는 현재 시간 슬롯 이전까지 실행된 무선 자원 할당, 현재 시간 슬롯에서 각 링크의 채널 상태 정보, 및 상기 오프라인 단계에서 결정된 무선 자원 할당을 기초로 현재 시간 슬롯에 대해 상기 복수의 기기 쌍들 적어도 일부를 위한 무선 자원을 할당하는 단계를 포함할 수 있다.

[0013] 몇몇 실시예들에 있어서, 상기 온라인 단계는 미리 설정된 QoS 요구 조건을 충족하면서, 각 기기 쌍에 대한 온라인 예상 단대단 처리량 - 현재 시간 슬롯 이전까지 실행된 무선 자원 할당, 현재 시간 슬롯의 무선 자원 할당, 및 상기 오프라인 단계에서 결정된 현재 시간 슬롯 이후의 무선 자원 할당의 합으로 이루어짐 - 의 합계를 최대화하는 현재 시간 슬롯의 무선 자원 할당을 결정하는 단계를 포함할 수 있다.

[0014] 몇몇 실시예들에 있어서, 상기 온라인 단계는, 현재 시간 슬롯에서 상기 QoS 요구 조건을 충족하지 않는 경우, QoS 요구 조건을 수정하는 단계; 및 상기 수정된 QoS 요구 조건을 충족하면서, 상기 각 기기 쌍에 대한 온라인 예상 단대단 처리량의 합계를 최대화하는 현재 시간 슬롯의 무선 자원 할당을 결정하는 단계를 포함할 수 있다.

[0015] 몇몇 실시예들에 있어서, 상기 결정하는 단계는 다음의 수학식

$$(\mathrm{P0}):\ \max_{\mathbf{Q},\mathbf{A_U},\mathbf{A_D}} \frac{1}{N}\sum_{n\in\mathbb{N}}\sum_{s\in\mathbf{S}} R_{(s,d(s))}[n] \quad (1)$$

$$s.t.\quad \frac{1}{N}\sum_{n\in\mathbb{N}} R_{(s,d(s))}[n] \geq R^{\min}_{(s,d(s))}, \forall s \quad (1a)$$

$$\|\mathbf{q}_U[n+1]-\mathbf{q}_U[n]\| \leq \boldsymbol{\delta V^{\max}}, \forall n \in \mathbb{N}\backslash\{N\} \quad (1b)$$

$$h_U^{\min} \leq h_U[n] \leq h_U^{\max}, \forall \mathrm{n} \in \mathrm{N} \quad (1c)$$

$$\mathbf{q}_U[1]=\mathbf{q}_I, \mathbf{q}_U[N]=\mathbf{q}_F \quad (1d)$$

$$\sum_{s\in\mathbf{S}} \alpha^{U}_{s,k}[n] \leq \mathbf{1}, \forall k,n \quad (1e)$$

$$\sum_{s\in\mathbf{S}} \alpha^{D}_{d(s),k}[n] \leq \mathbf{1}, \forall k,n \quad (1f)$$

$$\alpha^{U}_{s,k}[n], \alpha^{D}_{d(s),k}[n] \in \{0,1\},\ \forall s,k,n \quad (1g)$$

[0016]

[0017] 로 표현되는 문제의 해를 기초로 상기 무인항공기의 비행 경로 및 무선 자원 할당을 결정하는 단계를 포함하고,

[0018] 상기 요구 조건은 상기 수학식에 있는 (1a), (1b), (1c), (1d), (1e), (1f), (1g)를 포함할 수 있다. 상기 수학식에서 s 및 $\boldsymbol{S}$는 각각 소스 기기의 인덱스, s의 집합을 나타내며, $d(s)$는 해당 소스 기기에 대응하는 목적지 기기를 나타내며, 상기 시스템은 상기 무인항공기의 단위 가동 시간(T)을 N으로 균분하여 얻어지는 시간 슬롯들을 기반으로 동작되고, 상기 시간 슬롯들 각각은 시간 길이 δ를 가지되, 상향링크 부슬롯 및 다운링크 부슬롯으로 구성되고, n은 시간 슬롯의 인덱스로 1 내지 N의 자연수 값을 가지며, $\mathbb{N}$은 n의 집합을 나타내며, $R_{(s,d(s))}[n]$ 및 $R^{\min}_{(s,d(s))}$는 시간 슬롯 n에서 해당 기기 쌍의 단대단 처리량 및 해당 기기쌍의 최소 평균 요구 처리량을 나타내며, $\mathbf{q}_U[n]$은 시간 슬롯 n 에서의 상기 무인항공기의 위치, $\mathbf{Q}$는 시간 슬롯 1 내지 N에 해당하는 $\mathbf{q}_U[n]$의 집합(즉, 비행경로)을 나타내며, $\mathbf{q}_I$ 및 $\mathbf{q}_F$는 각각 상기 무인항공기의 최초 위치와 최종 위치를 나타내며, $V^{\max}$ 는 상기 무인항공기의 최대 속력을 나타내며, $h_U[n]$는 시간 슬롯 n 에서의 무인항공기의 높이를 나타내며, $h_U^{\min}$ 및 $h_U^{\max}$는 각각 무인항공기가 위치할 수 있는 최소 높이 및 최대 높이를 나타내며, k는 OFDMA 기법에서의 부채널의 인덱스로서, 1내지 K의 자연수 값을 가지며, $\alpha^{U}_{s,k}[n]$는 소스 기기 s로부터 상기 무인항공기로의 데이터 전송을 위해 시간 슬롯 n 및 부채널 k로 식별되는 무선 자원이 할당되었는지를 나타내는 값이며, $\mathbf{A_U}$는 n 및 k가 가질 수 있는 값들에 대한 $\alpha^{U}_{s,k}[n]$의 집합을 나타내며, $\alpha^{D}_{d(s),k}[n]$는 상기 무인항공기로부터 목적지 기기 $d(s)$로의 데이터 전송을 위해 시간 슬롯 n 및 부채널 k로 식별되는 무선 자원이 할당되었는지를 나타내는 값이며, $\mathbf{A_D}$는 n 및 k가 가질 수 있는 값들에 대한 $\alpha^{D}_{d(s),k}[n]$의 집합을 나타낸다.

[0019] 몇몇 실시예들에 있어서, 상기 결정하는 단계는 통계적 특성을 이용하여 상기 설정된 요구 조건을 충족하면서 상기 복수의 기기 쌍들의 단대단 처리량들의 합계를 최대화하기 위한 상기 무인항공기의 비행 경로 및 무선 자원 할당을 결정하는 오프라인 단계; 및 현재 시간 슬롯에서 미리 설정된 QoS 요구 조건이 충족되는지를 확인하는 단계; 상기 QoS 요구 조건이 충족 불가능하다고 판단되는 경우, 상기 설정된 QoS 요구 조건을 수정하는 단계; 및 상기 수정된 QoS 요구 조건에 따라 순시 채널 상태 정보를 기초로 상기 오프라인 단계에서 결정된 현재 시간 슬롯에 대한 무선 자원 할당을 조절하는 단계를 포함할 수 있다.

[0020] 몇몇 실시예들에 있어서, 상기 전자 장치는 상기 무인항공기일 수 있다.

[0021] 몇몇 실시예들에 있어서, 상기 전자 장치는 상기 공중 기지국과 물리적으로 분리된 기기이며, 상기 방법은 상기 결정된 비행 경로, 무선 자원 할당에 대한 정보를 상기 무인항공기에 제공하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0022] 본 개시의 다른 양태는 복수의 기기 쌍들 - 해당 기기 쌍에 포함된 소스 기기 및 목적지 기기는 무인항공기의 중계를 통해 OFDMA 기반 통신을 수행함 - 및 상기 무인항공기를 포함하는 시스템에서 상기 무인항공기의 동작

방법에 있어서, 상기 무인항공기의 비행 경로 및 무선 자원 할당을 설정하는 단계; 및 상기 설정된 비행 경로 및 무선 자원 할당에 따라 비행 및 상기 중계를 수행하되, 상기 설정된 무선 자원 할당 및 상기 복수의 사용자 기기 쌍들에 포함된 각각과 상기 무인항공기 간의 링크의 순시 채널 상태 정보를 기초로 상기 무선 자원 할당을 업데이트하는 단계를 포함하는 방법을 제공한다.

[0023] 몇몇 실시예들에 있어서, 상기 설정하는 단계는, 상기 복수의 기기 쌍들 각각의 단대단 처리량을 예상(expected) 단대단 처리량으로 근사화하여, 상기 무인항공기의 비행 경로 및 무선 자원 할당을 결정하는 단계를 포함할 수 있다.

[0024] 몇몇 실시예들에 있어서, 상기 무선 자원 할당을 업데이트하는 단계는 현재 시간 슬롯에서 미리 설정된 QoS 요구 조건이 충족되는지를 확인하는 단계; 상기 QoS 요구 조건이 충족 불가능하다고 판단되는 경우, 상기 설정된 QoS 요구 조건을 수정하는 단계; 및 상기 수정된 QoS 요구 조건에 따라 순시 채널 상태 정보를 기초로 상기 오프라인 단계에서 결정된 현재 시간 슬롯에 대한 무선 자원 할당을 조절하는 단계를 포함할 수 있다.

[0025] 본 개시의 또 다른 양태는 복수의 기기 쌍들 - 해당 기기 쌍에 포함된 소스 기기 및 목적지 기기는 무인항공기의 중계를 통해 OFDMA 기반 통신을 수행함 - 및 상기 무인항공기를 포함하는 시스템에서 상기 무인항공기의 비행 경로 및 무선 자원 할당을 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.

[0026] 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.

[0027] 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.

[0028] 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

[0029] 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.

[0030] 몇몇 실시예들에 따르면, 요구 조건(예컨대, 최소 요구 단대단 처리량 조건)을 충족하면서 시스템 처리량이 우수한 UAV 지원 네트워크가 제공될 수 있다.

[0031] 몇몇 실시예들에 따르면, UAV 기반 중계 통신 시스템에서 OFDMA 기반 무선 자원 할당 및 비행 경로를 최적화할 수 있는 기술이 제공될 수 있다.

[0032] 몇몇 실시예들에 따르면, UAV 기반 중계 통신 시스템에서 OFDMA 기반 무선 자원 할당 및 비행 경로를 효율적으로(예컨대, 계산량 및 주어진 채널 정보 등의 면에서) 결정할 수 있는 기술이 제공될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0033] 도 1은 UAV 지원 네트워크의 몇몇 실시예들을 설명하기 위한 시스템을 예시한다.

도 2는 비행 경로 및 무선 자원 할당에 대한 몇몇 실시예들을 설명하기 위한 흐름도이다.

도 3은 오프라인 단계에서의 결정에 대한 몇몇 실시예들을 설명하기 위한 흐름도이다.

도 4는 온라인 단계에서의 결정에 대한 몇몇 실시예들을 설명하기 위한 흐름도이다.

도 5는 UAV에 대한 몇몇 실시예들을 설명하기 위한 흐름도이다.

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

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0034] 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.

[0035] 한편, 본 개시에서 서술되는 용어의 의미는 다음과 같이 이해되어야 할 것이다.

[0036] "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.

[0037] 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.

[0038] 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.

[0039] 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.

[0040] 도 1은 UAV 지원 네트워크의 몇몇 실시예들을 설명하기 위한 시스템을 예시한다.

[0041] 몇몇 실시예들에 있어서, 도 1에 예시된 바와 같이, 시스템(100)은 UAV(110), 복수의 기기들(120_1, 120_2, 130_1, 130_2, 140_1, 140_2)을 포함할 수 있다. 복수의 기기들은 무선 통신을 수행할 수 있는 단말들(예컨대, 셀룰러 통신 시스템의 user equipment)일 수 있다.

[0042] 몇몇 실시예들에 있어서, 제1 기기 쌍에 포함된 기기들(120_S, 120_D)은 UAV(110)의 중계를 통해 OFDMA 기반 통신을 수행할 수 있다. 마찬가지로, 제2 기기 쌍에 포함된 기기들(130_S, 130_D) 및 제3 기기 쌍에 포함된 기기들(140_S, 140_D)도 마찬가지로 UAV(110)의 중계를 통해 OFDMA 기반 통신을 수행할 수 있다. 일례로, 서로 직접 통신할 수 없는 기기 간의 통신을 가능하게 하기 위해 UAV(110)는 공중 중계기로 동작될 수 있다.

[0043] 몇몇 실시예들에 있어서, 시스템(100)의 무선 자원은 OFDMA 기반 무선 자원일 수 있다. 일례로, 시스템(100)의 무선 자원은 N(2 이상 자연수)개의 시간 슬롯들 및 K개의 부채널들을 기반으로 구성될 수 있다.

[0044] 일례로, N(2 이상 자연수)개의 시간 슬롯들은 시스템(100)의 단위 동작 시간(T)을 N으로 균분하여 얻어질 수 있다. 이 경우, 각 시간 슬롯은 $\delta = T/N$ 의 시간 길이를 가질 수 있다.

[0045] 몇몇 실시예들에 있어서, 각 시간 슬롯은 상향 링크 부슬롯 및 하향링크 부슬롯을 포함할 수 있다. 일례로, 상향 링크 부슬롯 및 하향링크 부슬롯은 각 시간 슬롯을 2로 균분하여 얻어질 수 있다.

[0046] 몇몇 실시예들에 있어서, K개의 부채널 각각은 적어도 하나의 부반송파를 포함할 수 있다. 일례로, K개의 부채널 각각은 미리 설정된 개수의 부반송파들로 구성될 수 있다.

[0047] 몇몇 실시예들에 있어서, UAV(110)는 소정 시간(예컨대, 단위 동작 시간) 동안 시작지점(initial location)에서

종착지점(final location)까지 비행하면서, 중계 동작을 수행할 수 있다.

[0048] 도 1의 우측 도면은 도 1의 좌측 도면의 UAV(110)의 중계 상황에서 몇 개의 시간 슬롯이 도과하였을 때의 UAV(110)의 중계 상황을 예시한다. 시간이 지남에 따라 각 링크의 채널 상황은 변화될 수 있다. 일례로 좌측 도면에서 제1 기기 쌍의 두 링크(상향 링크 및 하향 링크)는 가시선 채널 상태였으나, 우측 도면에서 제1 기기 쌍의 두 링크는 비가시선 채널 상태로 바뀌었음을 알 수 있다. 다른 일례로, 제2 기기 쌍의 두 링크(상향 링크 및 하향 링크)는 비가시선 채널 상태였으나, 우측 도면에서 제1 기기 쌍의 두 링크는 가시선 채널 상태로 바뀌었음을 알 수 있다. 반면에, 제3 기기 쌍의 두 링크는 가시선 채널 상태를 유지함을 알 수 있다.

[0049] 몇몇 실시예들에 있어서, 제1 기기 쌍에 포함된 기기들(120_S, 120_D)은 UAV(110)의 중계를 통해 OFDMA 기반 통신을 수행할 수 있다. 일례로, 기기(120_S)는 도 1에 예시된 바와 같이 상향링크 무선 자원(예컨대, 상향링크 부슬롯 및 부채널)을 할당 받아 데이터를 송신하고, 이를 수신한 UAV(110)는 하향링크 무선 자원(예컨대, 하향링크 부슬롯 및 부채널)을 통하여 그 목적지 기기에 해당하는 기기(120_D)에 데이터를 송신할 수 있다. 이러한 중계는 제2 및 제3 기기 쌍도 마찬가지로 적용될 수 있다.

[0050] 몇몇 실시예들에 있어서, UAV(110)는 상향 링크 송신을 위해 각 기기 쌍의 소스 노드(s)(예컨대, 도 1의 경우, 기기 120_S, 130_S, 140_S)에 상향 링크 무선 자원을 할당할 수 있다. 일례로, 상향 링크 무선 자원은 N개의 상향링크 부슬롯들 및 K개의 부채널들의 조합으로 이루어질 수 있다. 이 경우, 각 소스 노드(s)는 할당 받은 상향링크 무선 자원을 이용하여 해당 목적지 노드(d(s))에 보낼 데이터를 송신하고, UAV(100)는 이를 수신하여, 하향 링크 무선 자원을 통하여 해당 데이터를 해당 목적지 노드(d(s)) (예컨대, 도 1의 경우, 기기 120_D 130_D, 140_D)에 송신할 수 있다.

[0051] 몇몇 실시예들에 있어서, UAV(110)는 하향 링크 수신을 위해 각 기기 쌍의 목적지 노드(d(s))에 하향 링크 무선 자원을 할당할 수 있다. 일례로, 하향 링크 무선 자원은 N개의 하향링크 부슬롯들 및 K개의 부채널들의 조합으로 이루어질 수 있다.

[0052] 몇몇 실시예들에 있어서, 시스템(100)에서 전자 장치는 UAV(110)의 비행 경로 및 무선 자원 할당을 결정할 수 있다.

[0053] 몇몇 실시예들에 있어서, 비행 경로 및 무선 자원 할당을 결정하는 전자 장치는 UAV(110)일 수 있다. 다른 몇몇 실시예들에 있어서, 비행 경로 및 무선 자원 할당을 결정하는 전자 장치는 UAV(110)와 물리적으로 분리된 별도의 전자 장치일 수 있다. 이 경우, 해당 전자 장치는 결정된 비행 경로 및 무선 자원 할당에 대한 정보를 UAV(110)에 제공할 수 있다. 또 다른 몇몇 실시예들에 있어서, 비행 경로 및 무선 자원 할당에 대한 결정은 UAV(110)와 물리적으로 분리된 별도의 전자 장치 및 UAV(110)가 분담할 수 있다. 일례로, 후술하는 오프라인 단계는 UAV(110)와 물리적으로 분리된 별도의 전자 장치가 수행하고, 후술하는 온라인 단계는 UAV(110)가 수행할 수 있다. 이 경우, 해당 전자 장치는 오프라인 단계에서 결정된 비행 경로 및 무선 자원 할당에 대한 정보를 UAV(110)에 제공할 수 있다.

[0054] 이하에서는 설명의 편의상, 비행 경로 및 무선 자원 할당을 결정하는 전자 장치를 UAV(110)라 가정하여 몇몇 실시예들을 설명하고자 한다.

[0055] 도 2는 비행 경로 및 무선 자원 할당에 대한 몇몇 실시예들을 설명하기 위한 흐름도이다.

[0056] 몇몇 실시예들에 있어서, 도 2에 예시된 바와 같이, UAV(110)는 요구 조건을 설정한 후(S210), 설정된 요구 조건을 충족하면서, 복수의 기기 쌍들의 단대단 처리량(end-to-end throughput) 합계(이하 시스템 처리량)을 최대화하기 위한 비행 경로 및 무선 자원 할당을 결정할 수 있다(S220).

[0057] 몇몇 실시예들에 있어서, 요구 조건은 복수의 기기 쌍들 각각의 최소 요구 단대단 처리량 조건을 포함할 수 있다. 일례로, 복수의 기기 쌍들 각각의 최소 요구 단대단 처리량 조건는 후술하는 최적화 문제 P0의 (1a)의 조건일 수 있다.

[0058] 몇몇 실시예들에 있어서, UAV(110)는 수학식 1로 주어지는 최적화 문제의 해를 획득하여, 설정된 요구 조건을 충족하면서, 시스템 처리량을 최대화하기 위한 비행 경로 및 무선 자원 할당을 결정할 수 있다.

수학식 1

$$(\mathrm{P0}):\ \max_{\mathbf{Q},\mathbf{A_U},\mathbf{A_D}} \frac{1}{N}\sum_{n\in\mathbb{N}}\sum_{s\in\mathbf{S}} R_{(s,d(s))}[n] \quad (1)$$

$$s.t.\quad \frac{1}{N}\sum_{n\in\mathbb{N}} R_{(s,d(s))}[n] \geq R^{\min}_{(s,d(s))}, \forall s \quad (1a)$$

$$\|\mathbf{q}_U[n+1]-\mathbf{q}_U[n]\| \leq \boldsymbol{\delta V^{\max}}, \forall n \in \mathbb{N}\backslash\{N\} \quad (1b)$$

$$h_U^{\min} \leq h_U[n] \leq h_U^{\max}, \forall \mathrm{n} \in \mathrm{N} \quad (1c)$$

$$\mathbf{q}_U[1]=\mathbf{q}_I, \mathbf{q}_U[N]=\mathbf{q}_F \quad (1d)$$

$$\sum_{s\in\mathbf{S}} \alpha^{U}_{s,k}[n] \leq \mathbf{1}, \forall k,n \quad (1e)$$

$$\sum_{s\in\mathbf{S}} \alpha^{D}_{d(s),k}[n] \leq \mathbf{1}, \forall k,n \quad (1f)$$

$$\alpha^{U}_{s,k}[n], \alpha^{D}_{d(s),k}[n] \in \{0,1\},\ \forall s,k,n \quad (1g)$$

[0059]

[0060] 수학식 1에서, s 및 $\mathbf{S}$는 각각 소스 기기의 인덱스 및 s의 집합을 나타내며, $d(s)$는 소스 기기 s에 대응하는 목적지 기기를 나타낸다.

[0061] n은 시간 슬롯의 인덱스로 1 내지 N의 자연수 값을 가지며, $\mathbb{N}$은 n의 집합을 나타낸다.

[0062] $R_{(s,d(s))}[n]$은 시간 슬롯 n에서 해당 기기 쌍의 단대단 처리량을 나타내며, 수학식 2로 표현될 수 있다. $R^{min}_{(s,d(s))}$는 해당 기기쌍의 최소 평균(average) 요구 처리량을 나타낸다.

[0063] $\mathbf{q}_U[n]$은 시간 슬롯 n 에서의 UAV(110)의 위치, $\mathbf{Q}$는 시간 슬롯 1 내지 N에 해당하는 $\mathbf{q}_U[n]$의 집합(즉, 비행경로)을 나타낸다.

[0064] $\mathbf{q}_I$ 및 $\mathbf{q}_F$는 각각 UAV(110)의 최초 위치와 최종 위치를 나타내며, $\boldsymbol{V^{\max}}$ 는 UAV(110)의 최대 속력을 나타낸다.

[0065] $h_U[n]$는 시간 슬롯 n 에서의 무인항공기의 높이 위치를 나타내며, $h_U^{\min}$ 및 $h_U^{\max}$는 각각 UAV(110)가 위치할 수 있는 최소 높이 및 최대 높이를 나타낸다.

[0066] k는 OFDMA 기법에서의 부채널의 인덱스로서, 1내지 K의 자연수 값을 갖는다.

[0067] $\alpha^{U}_{s,k}[n]$는 소스 기기 s로부터 UAV(110)로의 데이터 전송을 위해 시간 슬롯 n 및 부채널 k로 식별되는 무선 자원이 할당되었는지를 나타내는 값이며, $\mathbf{A_U}$는 $\alpha^{U}_{s,k}[n]$의 집합을 나타낸다.

[0068] $\alpha^{D}_{d(s),k}[n]$는 상기 무인항공기로부터 목적지 기기 $d(s)$로의 데이터 전송을 위해 시간 슬롯 n 및 부채널 k로 식별되는 무선 자원이 할당되었는지를 나타내는 값이며, $\mathbf{A_D}$는 $\alpha^{D}_{d(s),k}[n]$의 집합을 나타낸다.

수학식 2

[0069] $$R_{(s,d(s))}[n] = min(R^{U}_{s}[n], R^{D}_{d(s)}[n])$$

[0070] 여기서, $R_s^U[n]$ 및 $R_{d(s)}^D[n]$는 각각 시간 슬롯 n에서 소스 기기 s로부터 UAV로의 데이터 전송률(data rate) 및 UAV로부터 목적지 기기 $d(s)$로의 데이터 전송률을 나타내며, 각각 수학식 3 및 4로 표현할 수 있다.

수학식 3

[0071]
$$R_s^U[n] = \begin{cases} R_{s,\mathrm{LoS}}^U[n], & if\ source\ UE\ s-to-UAV\ link\ state\ is\ LoS\ at\ time\ slot\ n, \\ R_{s,N\mathrm{LoS}}^U[n], & if\ source\ UE\ s-to-UAV\ link\ state\ is\ NLoS\ at\ time\ slot\ n. \end{cases}$$

수학식 4

[0072]
$$R_{d(s)}^D[n] = \begin{cases} R_{d(s),\mathrm{LoS}}^D[n], & if\ UAV-to-destination\ UE\ d(s)\ is\ LoS\ at\ time\ slot\ n, \\ R_{d(s),N\mathrm{LoS}}^D[n], & if\ UAV-to-destination\ UE\ d(s)\ is\ NLoS\ at\ time\ slot\ n. \end{cases}$$

[0073] 문제 (P0)는 $R_{(s,d(s))}[n]$ 및 제한조건 (1a)이 결정 변수(decision variable) $\mathbf{Q}$, $\mathbf{A}_U$, and $\mathbf{A}_D$에 대해 비결정적(non-deterministic) 함수이기 때문에 해를 구하기가 쉽지 않다. 해를 구하기 위해서는, 모든 시간 슬롯에 대한 완벽한 채널 상태 정보(channel state information, 이하 CSI)가 UAV(110)의 비행 전에 주어져야 하나, 이는 현실적으로 불가능할 수 있다.

[0074] 따라서, 몇몇 실시예들에 있어서, UAV(110)는 완벽한 CSI 없이 기기 쌍의 QoS 만족도를 향상시키면서 시스템 처리량을 가능한 한 최대화하기 위해 하이브리드 오프라인-오프라인 알고리즘을 수행할 수 있다. 일례로, QoS 만족도는 각 기기 쌍의 단대단 처리량일 수 있다.

[0075] 몇몇 실시예들에 있어서, 도 2에 예시된 바와 같이, UAV(110)는 설정된 요구 조건을 충족하면서, 시스템 처리량을 최대화하기 위한 비행 경로 및 무선 자원 할당을 결정하기 위해, 상기 복수의 기기 쌍 각각의 단대단 처리량을 예상(expected) 단대단 처리량으로 근사화하여, 상기 무인항공기의 비행 경로 및 무선 자원 할당을 결정하는 오프라인 동작(S222) 및 상기 오프라인 단계에서 결정된 비행 경로 및 무선 자원 할당에 따라 비행 및 무선 자원 할당을 수행하되, 각 링크의 순시(instantaneous) 채널 상태 정보를 기초로 상기 무선 자원 할당을 업데이트하여, 업데이트된 무선 자원 할당을 수행하는 온라인 동작(S224)을 수행할 수 있다.

[0076] 몇몇 실시예들에 있어서, S222 블록을 위해, UAV(110)는 통계적 특성을 이용하여 상기 설정된 요구 조건을 충족하면서 상기 복수의 기기 쌍들의 단대단 처리량 합계(이하 시스템 처리량)을 최대화하기 위한 상기 무인항공기의 비행 경로 및 무선 자원 할당을 결정할 수 있다.

[0077] 일례로, UAV(110)는 오프라인 단계(phase)에서(예컨대, 비행 시작되기 전에), 확률적 가시선(probabilistic LoS, 이하 PL) 채널 모델을 기반으로 상기 예상 단대단 처리량을 산출하고, 복수의 기기 쌍들에 대해 산출된 예상 단대단 처리량의 합계(이하, 예상 시스템 처리량)를 최대화하면서 모든 기기 쌍의 예상 QoS 요구 조건을 충족하도록 비행 경로 및 무선 자원 할당을 공동 최적화하고(S222), 온라인 단계에서(예컨대, UAV 비행 중에), 시스템 처리량과 기기쌍의 QoS 만족도를 가능한 한 향상시키도록 각 시간 슬롯의 순시(instantaneous) CSI를 활용하여 무선 자원 할당을 동적으로 업데이트할 수 있다(S224).

[0078] 몇몇 실시예들에 있어서, UAV(110)는 오프라인 단계(phase)의 최적화를 위해 수학식 5를 이용할 수 있다.

수학식 5

$$(\mathrm{P1}):\ \max_{\mathbf{Q},\mathbf{A_U},\mathbf{A_D}} \frac{1}{N}\sum_{n\in\mathbb{N}}\sum_{s\in\mathbf{S}} \bar{R}_{(s,d(s))}[n] \qquad (5)$$

$$s.t.\quad \frac{1}{N}\sum_{n\in\mathbb{N}} \bar{R}_{(s,d(s))}[n] \geq R^{min}_{(s,d(s))}, \forall s \qquad (5a)$$

$$(1b),(1c),(1d),(1e),(1f),(1g)$$

[0079]

[0080] 여기서, $\bar{R}_{(s,d(s))}[n]$은 시간 슬롯 n에서 기기 쌍(s, $d(s)$)의 예상(expected) 단대단 처리량으로, 수학식 6으로 표현할 수 있다.

수학식 6

$$\bar{R}_{(s,d(s))}[n] = min\left(\bar{R}^{U}_{s}[n], \bar{R}^{D}_{d(s)}[n]\right)$$

[0081]

[0082] 여기서, $\bar{R}^{U}_{s}[n]$ 및 $\bar{R}^{D}_{d(s)}[n]$는 각각 시간 슬롯 n에서 소스 기기 s로부터 UAV로의 예상 데이터 전송률 및 UAV로부터 목적지 기기 $d(s)$로의 예상 데이터 전송률을 나타내며, 수학식 7 및 8로 표현할 수 있다.

수학식 7

$$\bar{R}^{U}_{s}[n] = P_{s,\mathrm{LoS}}[n]R^{U,off}_{s,\mathrm{LoS}}[n] + \left(1 - P_{s,\mathrm{LoS}}[n]\right)R^{U,off}_{s,N\mathrm{LoS}}[n]$$

[0083]

수학식 8

$$\bar{R}^{D}_{d(s)}[n] = P_{d(s),\mathrm{LoS}}[n]R^{U,off}_{d(s),\mathrm{LoS}}[n] + \left(1 - P_{d(s),\mathrm{LoS}}[n]\right)R^{U,off}_{d(s),N\mathrm{LoS}}[n]$$

[0084]

[0085] 수학식 7 및 8에서 $R^{U,off}_{s,\mathrm{LoS}}[n]$, $R^{U,off}_{d(s),\mathrm{LoS}}[n]$는 오프라인 단계에서 링크가 LoS일 때, 해당 기기의 전송률을 나타내며, 수학식 7 및 8에서 $R^{U,off}_{s,N\mathrm{LoS}}[n]$, $R^{U,off}_{d(s),N\mathrm{LoS}}[n]$는 오프라인 단계에서 링크가 NLoS일 때, 해당 기기의 전송률을 나타낸다.

[0086] 수학식 7 및 8에서 $P_{s,\mathrm{LoS}}[n]$은 기기 m과 UAV 간의 링크가 LoS일 확률을 나타내며, 수학식 9로 표현될 수 있다.

수학식 9

$$P_{m,\mathrm{LoS}}[n] = \frac{1}{1 + ae^{-b(\theta_m[n]-a)}}$$

[0087]

[0088] 수학식 9에서 $\theta_m[n]$는 시간 슬롯 n에서 기기 m과 UAV 간의 고도각을 나타내며, 수학식 10으로 표현될 수 있다.

수학식 10

[0089] $$\theta_m[n] = \frac{180}{\pi} arctan\left(\frac{h_U[n]}{\|\mathbf{q}_U^{2D}[n] - \mathbf{q}_m[n]\|}\right)$$

[0090] 결정론적 최적화 문제(P1)를 풀면 통계적 CSI로 3D 궤적(즉, 비행 경로)을 설계할 수 있으나, 문제 (P1)은 혼합 정수 비볼록 프로그래밍(mixed integer non-convex programming, MINCP) 문제이므로 최적으로 풀기 어려울 수 있다.

[0091] 따라서, 몇몇 실시예들에 있어서, UAV(110)은 문제(P1)을 좀더 풀기 쉬운 문제로 근사화할 수 있다.

[0092] 대부분의 실제 시나리오에서 LoS 상태의 A2G 채널 이득은 NLoS 상태의 이득보다 훨씬 크고, 그로 인해 LoS 상태의 예상 데이터 전송률은 NLoS 상태의 예상 데이터 전송률보다 훨씬 높다. 따라서, 수학식 7 및 8은 수학식 11 및 12로 각각 근사화될 수 있다.

수학식 11

[0093] $$\bar{R}_s^U[n] \approx \hat{R}_s^U[n] \triangleq P_{s,\mathrm{LoS}}[n] R_{s,\mathrm{LoS}}^{U,off}[n]$$

수학식 12

[0094] $$\bar{R}_{d(s)}^D[n] \approx \hat{R}_{d(s)}^D[n] \triangleq P_{d(s),\mathrm{LoS}}[n] R_{d(s),\mathrm{LoS}}^{D,off}[n]$$

[0095] 근사화된 예상 데이터 전송율 $\hat{R}_s^U[n]$ 및 $\hat{R}_{d(s)}^D[n]$를 이용하여, 수학식 6의 예상 단대단 처리량은 수학식 13으로 근사화할 수 있다.

수학식 13

[0096] $$\hat{R}_{(s,d(s))}[n] = min\left(\hat{R}_s^{\mathrm{U}}[n], \hat{R}_s^{\mathrm{D}}[n]\right)$$

[0097] 몇몇 실시예들에 있어서, UAV(110)는 오프라인 단계에서 예상 단대단 처리량(예컨대, $\bar{R}_{(s,d(s))}[n]$)을 각 링크가 가시선 채널 상태일 때의 예상 단대단 처리량(예컨대, $\hat{R}_{(s,d(s))}[n]$)으로 근사화하고, 상기 근사화된 데이터 처리량 합계를 기초로 비행 경로 및 무선 자원 할당을 결정할 수 있다.

[0098] 일례로, 근사화된 예상 데이터 전송율 및 근사화된 예상 단대단 처리량을 이용하면, 문제 (P1)는 근사화되어 수학식 14와 같이 문제 (P2)로 표현될 수 있다.

수학식 14

[0099] $$(\mathrm{P2}): \max_{\mathbf{Q},\mathbf{A}_\mathrm{U},\mathbf{A}_\mathrm{D}} \frac{1}{N}\sum_{n\in\mathbb{N}}\sum_{s\in\mathbf{S}} \hat{R}_{(s,d(s))}[n] \qquad (14)$$

$$s.t. \quad \frac{1}{N}\sum_{n\in\mathbb{N}} \hat{R}_{(s,d(s))}[n] \geq R_{(s,d(s))}^{min}, \forall s \qquad (14a)$$

$$(1b),(1c),(1d),(1e),(1f),(1g)$$

[0100] 문제 (P2)가 문제 (P1)보다 더 추적 가능하지만, 여전히 MINCP 문제이므로, 이러한 어려움을 처리하기 위해 몇몇 실시예들에 있어서, 시스템은 블록 좌표 하강(block, coordinate descent, BCD) 방법을 활용할 수 있다. BCD 방법은 변수들(blocks)의 부집합을 업데이트하여 다변수 최적화 문제를 반복적으로 해결하는 데 널리 사용되는 휴리스틱 방법이다.

[0101] 도 3은 오프라인 단계에서의 결정에 대한 몇몇 실시예들을 설명하기 위한 흐름도이다.

[0102] 몇몇 실시예들에 있어서, 도 3에 예시된 바와 같이, UAV(110)는 오프라인 단계에서 문제 (P2)를 비행 경로가 주어졌을 때의 부채널을 할당하는 제1 하위 문제 및 무선 자원 할당이 주어졌을 때 비행 경로를 최적화하는 제2 하위 문제로 나눈 후(S310), 상기 제1 하위 문제의 해 및 상기 제2 하위 문제의 해를 블록 좌표 하강(block, coordinate descent, BCD) 기법을 이용하여 획득할 수 있다(S320). 이 경우, UAV(110)는 획득된 제1 하위 문제의 해 및 획득된 제2 하위 문제의 해를 기초로 비행 경로 및 무선 자원 할당을 결정할 수 있다(S330).

[0103] 상술한 제1 하위 문제(즉, 실현 가능한 UAV 궤적(Q)이 주어졌을 때, 무선 자원 할당 문제)는 수학식 15로 표현될 수 있다.

수학식 15

$$(\mathrm{P3}):\ \max_{\mathbf{A_U},\mathbf{A_D}} \frac{1}{N}\sum_{n\in\mathbb{N}}\sum_{s\in\mathbf{S}} \hat{R}_{(s,d(s))}[n] \qquad (15)$$

$$s.t.\quad (14a),(1e),(1f),(1g)$$

[0104]

[0105] 문제 (P3)은 혼합 정수 비선형 프로그래밍(mixed integer non-linear programming, MINLP) 문제이지만, 여유(slack) 변수 Ω Ù(s,d(s))[n], ◎을 도입하면, 수학식 16으로 주어지는 혼합 정수 선형 프로그래밍(mixed integer linear programming, MILP) 문제로 재구성할 수 있다.

수학식 16

$$(\mathrm{P4}):\ \max_{\mathbf{A_U},\mathbf{A_D}} \frac{1}{N}\sum_{n\in\mathbb{N}}\sum_{s\in\mathbf{S}} \hat{R}_{(s,d(s))}[n] \qquad (16)$$

$$s.t.\quad (1e),(1f),(1g)$$

$$\omega_{(s,d(s))}[n] \le \hat{R}_s^{\mathrm{U}}[n],\quad \forall s,n \quad (16a)$$

$$\omega_{(s,d(s))}[n] \le \hat{R}_s^{\mathrm{D}}[n],\quad \forall s,n \quad (16b)$$

$$\frac{1}{N}\sum_{n\in\mathbb{N}} \omega_{(s,d(s))}[n] \ge R^{min}_{(s,d(s))}, \forall s \quad (16c)$$

[0106]

[0107] 이러한 문제(P4)는 기존 MILP 솔버(예컨대, CVX-Gurobi)로 해결할 수 있다.

[0108] 상술한 제2 하위 문제(즉, 실현 가능한 무선 자원 할당($\mathbf{A_U},\mathbf{A_D}$)이 주어졌을 때, UAV 궤적 최적화 문제)는 수학식 17로 표현될 수 있다.

수학식 17

$$(\mathrm{P5}):\ \max_{\mathbf{Q}} \frac{1}{N}\sum_{n\in\mathbf{N}}\sum_{s\in\mathbf{S}}\hat{R}_{(s,d(s))}[n] \qquad (17)$$

$$s.t.\quad (14a),(1b),(1c),(1d)$$

[0109]

[0110] 문제 (P5)는 목적 함수(17) 및 제약 조건 (14a)으로 인해 비볼록 최적화 문제이기 때문에 풀기가 어렵다. 따라서, 몇몇 실시예들에 있어서, 시스템은 문제 (P5)를 휴리스틱적으로 풀기 위해, 비볼록 최적화 문제를 풀 때 많이 사용되는 연속 볼록 근사법(successive convex approximation, SCA)을 활용할 수 있다. 이러한 연속 볼록 근사법은 근사된 볼록 최적화 문제를 반복적으로 풀어서 비볼록 최적화 문제를 푸는 데 광범위하게 사용된다.

[0111] 몇몇 실시예들에 있어서, 온라인 단계에서, UAV(110)는 현재 시간 슬롯 이전까지 실행된 무선 자원 할당, 현재 시간 슬롯에서 각 링크의 채널 상태 정보, 및 상기 오프라인 단계에서 결정된 무선 자원 할당을 기초로 현재 시간 슬롯에 대해 상기 복수의 기기 쌍들 적어도 일부를 위한 무선 자원을 할당할 수 있다.

[0112] 몇몇 실시예들에 있어서, 온라인 단계에서, UAV(110)는 미리 설정된 QoS 요구 조건을 충족하면서, 각 기기 쌍에 대한 온라인 예상 단대단 처리량 - 현재 시간 슬롯 이전까지 실행된 무선 자원 할당, 현재 시간 슬롯의 무선 자원 할당, 및 상기 오프라인 단계에서 결정된 현재 시간 슬롯 이후의 무선 자원 할당의 합으로 이루어짐 - 의 합계를 최대화하는 현재 시간 슬롯의 무선 자원 할당을 결정할 수 있다.

[0113] 일례로, 온라인 예상 단대단 처리량은 수학식 19로 표현되는 $\bar{R}^{on}_{(s,d(s))}[n^{on}]$ 일 수 있다. 일례로, 미리 설정된 QoS 요구 조건은 수학식 18에 포함된 (18a)일 수 있다. 일례로, 기기 쌍의 QoS 요구 조건을 충족하면서 시스템 처리량을 최대화하기 위한 온라인 무선 자원 할당 문제는 수학식 18과 같이 표현될 수 있다.

수학식 18

$$(\mathrm{P8}):\ \max_{\mathbf{A}^{on}_{\mathbf{U}}[n^{on}],\mathbf{A}^{on}_{\mathbf{D}}[n^{on}]} \sum_{s\in\mathbf{S}} \bar{R}^{on}_{(s,d(s))}[n^{on}] \qquad (18)$$

$$s.t.\quad \bar{R}^{on}_{(s,d(s))}[n^{on}] \geq R^{min}_{(s,d(s))}, \forall s \qquad (18a)$$

$$\sum_{s\in\mathbf{S}} \alpha^{U}_{s,k}[n] \leq \mathbf{1}, \forall k, \forall n \in 0 \qquad (18b)$$

$$\sum_{s\in\mathbf{S}} \alpha^{D}_{d(s),k}[n] \leq \mathbf{1}, \forall k, \forall n \in 0 \qquad (18c)$$

$$\alpha^{U}_{s,k}[n], \alpha^{D}_{d(s),k}[n] \in \{0,1\}, \quad \forall s, \forall k, \forall n \in 0 \qquad (18d)$$

[0114]

[0115] 여기서 문제(P8)에 포함된 $\bar{R}^{on}_{(s,d(s))}[n^{on}]$ 는 오프라인 단계의 문제에 포함된 예상 단대단 처리량(예컨대, $\bar{R}_{(s,d(s))}[n]$) 또는 근사화된 예상 단대단 처리량(예컨대, $\hat{R}_{(s,d(s))}[n]$)이라기 보다는, 현재 n^{on} 시간 슬롯까지의 실제 CSI 값을 반영하기 위한 온라인 단계의 기기 쌍(s, d(s))의 평균(average) 처리량으로, 수학식 19로 표현될 수 있다.

수학식 19

[0116]
$$\bar{R}^{on}_{(s,d(s))}[n^{on}] \triangleq \frac{1}{N}\left(\sum_{n=1}^{n^{on}-1} R_{(s,d(s))}[n] + R_{(s,d(s))}[n^{on}] + \sum_{n=n^{on}+1}^{N} \bar{R}_{(s,d(s))}[n]\right)$$

[0117] 수학식 19의 오른쪽 항목들 중 첫째 항목, 둘째 항목, 및 셋째 항목은 과거 시간 슬롯들에 대한 단대단 처리량 합계, 현재 시간 슬롯의 단대단 처리량, 미래 시간 슬롯의 예상 단대단 처리량 합계를 나타낸다.

[0118] 즉, 현재 및 미래 시간 슬롯의 집합을 $O \triangleq \{n^{on}, \ldots, N\}$으로 표현할 때, 문제 (P8)은 현재 및 미래 시간 슬롯에 대한 무선 자원 할당(즉, $\mathbf{A}^{on}_{\mathrm{U}}[n^{on}] \triangleq \{\alpha^{U}_{s,k}[n], \forall s, \forall k, \forall n \in O\}$, $\mathbf{A}^{on}_{\mathrm{D}}[n^{on}] \triangleq \{\alpha^{D}_{d(s),k}[n], \forall s, \forall k, \forall n \in O\}$)를 최적화함으로서 현재 시간 슬롯 n^{on}을 위한 부채널을 할당하는 온라인 최적화 문제라 볼 수 있다.

[0119] 문제 (P8)은 정수 결정 변수인 $\mathbf{A}^{on}_{\mathrm{U}}[n^{on}]$ 및 $\mathbf{A}^{on}_{\mathrm{D}}[n^{on}]$가 있는 정수 프로그래밍(IP) 문제이기 때문에 실시간으로 풀기 어렵다.

[0120] 문제 (P8)을 더 쉽게 풀 수 있도록 하기 위해 (18d)의 제약 조건을 완화하여 $\alpha^{U}_{s,k}[n]$ 및 $\alpha^{D}_{d(s),k}[n]$을 0과 1사이의 실수 값을 갖도록 설정하는 경우, 문제 (P8)는 수학식 20과 같은 볼록 최적화 문제 (P9)로 변환될 수 있다.

수학식 20

[0121]
$$\text{(P9)}: \max_{\mathbf{A}^{on}_{\mathrm{U}}[n^{on}], \mathbf{A}^{on}_{\mathrm{D}}[n^{on}]} \sum_{s \in \mathbf{S}} \bar{R}^{on}_{(s,d(s))}[n^{on}] \qquad (20)$$

$$s.t. \quad (18a), (18b), (18c),$$

$$0 \le \alpha^{U}_{s,k}[n], \alpha^{D}_{d(s),k}[n] \le 1, \ \forall s, \forall k, \forall n \in O. \qquad (20d)$$

[0122] 문제 (P9)는 잘 알려진 최적화 알고리즘으로 쉽게 풀 수 있지만, 문제 (P9)에서 구한 해인 $\mathbf{A}^{on,*}_{\mathrm{U}}[n^{on}]$ 및 $\mathbf{A}^{on,*}_{\mathrm{D}}[n^{on}]$는 완화된 제약 조건(즉 수학식 20d)로 인해 분수 값을 가질 수 있다. 따라서, 이를 처리하기 위해 $\mathbf{A}^{on,*}_{\mathrm{U}}[n^{on}]$에 포함된 각 $\alpha^{U,*}_{s,k}[n]$에 대해, 주어진 부채널 인덱스 k에서 가장 큰 $\alpha^{U,*}_{s,k}[n]$ 값을 가진 소스 기기(편의상, 인덱스 s*로 칭함)에 대해서만 $\alpha^{U,*}_{s,k}[n]$을 1로 반올림하고, 나머지 소스 기기의 $\alpha^{U,*}_{s,k}[n]$값은 0으로 치환한다. 마찬가지로 $\mathbf{A}^{on,*}_{\mathrm{D}}[n^{on}]$에 포함된 각 $\alpha^{D,*}_{d(s),k}[n]$에 대해, 주어진 부채널 인덱스 k에서 가장 큰 $\alpha^{D,*}_{d(s),k}[n]$ 값을 가진 소스 기기 (편의상, 인덱스 s*로 칭함)에 대해서만 $\alpha^{D,*}_{d(s),k}[n]$을 1로 반올림하고, 나머지 소스 기기의 $\alpha^{D,*}_{d(s),k}[n]$ 값은 0으로 치환한다.

[0123] 몇몇 실시예들에 있어서, UAV(110)는 해당 시간 슬롯(즉, 현재 시간 슬롯 n^{on})마다 문제 P9를 풀어 해 $\mathbf{A}^{on,*}_{\mathrm{U}}[n^{on}]$ 및 $\mathbf{A}^{on,*}_{\mathrm{D}}[n^{on}]$를 획득한 뒤, $\mathbf{A}^{on,*}_{\mathrm{U}}[n^{on}]$ 및 $\mathbf{A}^{on,*}_{\mathrm{D}}[n^{on}]$에 포함된 각 $\alpha^{U,*}_{s,k}[n]$ 및 $\alpha^{D,*}_{d(s),k}[n]$에 대해 상술한 반올림 처리를 수행하여, 해당 시간 슬롯에 대한 무선 자원 할당을 결정할 수 있다.

[0124] 다른 몇몇 실시예에 있어서, UAV(110)는 해당 시간 슬롯(즉, 현재 시간 슬롯 n^{on})마다 QoS 요구 조건(예컨대, P9의 (18a)의 조건)을 충족할 수 있는지를 확인하고, QoS 요구 조건이 충족되지 않을 것으로 예상되면, 최적화 문제의 요구 조건 중 적어도 일부(예컨대, P9의 (18a)의 조건)를 수정한 후, 수정된 요구 조건을 반영한 최적화

문제의 해를 구하여 해당 시간 슬롯에 대한 무선 자원 할당을 결정할 수 있다. 문제 (P9)는 온라인 단계에서 실현 불가능한 최적화 문제일 수 있기 때문이다. 일례로, 실현된 A2G 채널 이득이 낮은 등의 이유로, 현재 시간 슬롯 이전까지 실현된 각 기기 쌍의 단대단 처리량 $\sum_{n=1}^{n^{on}-1} R_{(s,d(s))}[n]$ 이 너무 낮은 경우, 남은 시간 슬롯에 대한 무선 자원 할당으로는 문제 (P9)의 QoS 요구 조건을 충족하는 것이 불가능할 수도 있다.

[0125] 도 4는 온라인 단계에서의 결정에 대한 몇몇 실시예들을 설명하기 위한 흐름도이다.

[0126] 몇몇 실시예들에 있어서, 도 4에 예시된 바와 같이, UAV(110)은 현재 시간 슬롯에서 각 기기 쌍의 QoS 요구 조건이 충족되는지를 확인하고(S410), QoS 요구 조건이 충족되지 않는 경우, QoS 요구 조건을 수정하고(S420), QoS 요구 조건이 포함된 최적화 문제를 풀어 현재 시간 슬롯을 위한 무선 자원을 할당할 수 있다(S430). 일례로, UAV(110)는 후술하는 인공 문제(P11)를 해결함으로써 각 기기 쌍의 QoS 요구 조건을 충족시킬 수 있는지 여부를 확인하고(S410), 충족될 수 없는 QoS 요구 조건을 수정한 후(S420), 후술하는 문제 (P12)의 해를 획득하여 반올림함으로써 시간 슬롯 n^{on}에서 기회적으로 무선 자원을 할당할 수 있다(S430).

[0127] 몇몇 실시예들에 있어서, UAV(110)는 수학식 21로 표현되는 문제 (P11)의 최적 값이 0이면, 시간 슬롯 n^{on}에서 QoS 요구 조건을 만족시킬 수 있다고 결정하고, 그렇지 않은 경우, 수학식 22로 표현되는 QoS 요구 조건 수정식을 적용할 수 있다.

수학식 21

$$\text{(P11)}: \max_{\mathbf{Y},\mathbf{A}_{\mathrm{U}}^{on}[n^{on}],\mathbf{A}_{\mathrm{D}}^{on}[n^{on}],\boldsymbol{\Omega}^{on}} \sum_{s\in\mathbf{S}} y_{(s,d(s))} \qquad (21)$$

$$s.t. \quad (18b),(18c),(20d),$$

$$\omega_{(s,d(s))}[n^{on}] \le R_s^U[n^{on}],\ \forall s, \quad (21a)$$

$$\omega_{(s,d(s))}[n^{on}] \le R_{d(s)}^D[n^{on}],\ \forall s, \quad (21b)$$

$$\omega_{(s,d(s))}[n] \le \bar{R}_s^U[n],\ \forall s, \forall n \in O\backslash\{n^{on}\}, \quad (21c)$$

$$\omega_{(s,d(s))}[n] \le \bar{R}_{d(s)}^D[n],\ \forall s, \forall n \in O\backslash\{n^{on}\}, \quad (21d)$$

$$\hat{R}_{(s,d(s))}^{on}[n^{on}] + y_{(s,d(s))} \ge R_{(s,d(s))}^{min},\ \forall s, \quad (21e)$$

$$y_{(s,d(s))} \ge 0, \quad \forall s. \quad (21f)$$

[0128]

[0129] 수학식 21에서 $\boldsymbol{\Omega}^{on}$는 슬랙 변수로 $\boldsymbol{\Omega}^{on} \triangleq \left\{\omega_{(s,d(s))}[n],\ \forall s, \forall n \in O\right\}$로 표현되며, $\mathbf{Y}$는 인공변수로 $\mathbf{Y} \triangleq \left\{y_{(s,d(s))}[n],\ \forall s\right\}$로 표현될 수 있다.

수학식 22

$$\bar{R}_{(\tilde{s},d(\tilde{s}))}^{on}[n^{on}] \ge R_{(\tilde{s},d(\tilde{s}))}^{min} - y_{(\tilde{s},d(\tilde{s}))}^{*}, \qquad \forall \tilde{s} \in \tilde{S} \qquad (22)$$

$$\text{where} \quad y_{(\tilde{s},d(\tilde{s}))}^{*} = R_{(\tilde{s},d(\tilde{s}))}^{min} - \hat{R}_{(\tilde{s},d(\tilde{s}))}^{on,*}[n^{on}] \ ,\forall \tilde{s} \in \tilde{S},$$

$$\tilde{S} = \left\{\tilde{s} | y_{(\tilde{s},d(\tilde{s}))}^{*} > 0, \forall \tilde{s} \in S\right\}$$

[0130]

[0131] 수학식 22를 사용하여, 온라인 무선 자원 할당 문제 (P9)는 수학식 23과 같이 재구성될 수 있다.

수학식 23

$$(\mathrm{P12}): \max_{\mathbf{A}_{\mathrm{U}}^{on}[n^{on}],\mathbf{A}_{\mathrm{D}}^{on}[n^{on}]} \sum_{s\in\mathbf{S}} \bar{R}_{(s,d(s))}^{on}[n^{on}] \qquad (23)$$

$$s.t. \quad (18b),(18c),(20d),(22),$$

[0132] $$\bar{R}_{(s,d(s))}^{on}[n^{on}] \geq R_{(s,d(s))}^{\min}, \quad \forall s \in \mathrm{S}\backslash\tilde{\mathrm{S}}. \qquad (23\mathrm{d})$$

[0133] 문제 (P12)는 쉽게 해결할 수 있는 볼록 최적화 문제이다.

[0134] 도 5는 UAV에 대한 몇몇 실시예들을 설명하기 위한 흐름도이다.

[0135] 몇몇 실시예들에 있어서, 도 5에 예시된 바와 같이, UAV는 상기 무인항공기의 비행 경로 및 무선 자원 할당을 설정하고(S510), 상기 설정된 비행 경로 및 무선 자원 할당에 따라 비행 및 상기 중계를 수행하되, 상기 설정된 무선 자원 할당 및 복수의 기기 쌍들에 포함된 각각과 상기 무인항공기 간의 링크(즉 각 상향 링크 및 각 하향 링크)의 순시 CSI를 기초로 무선 자원 할당을 업데이트할 수 있다(S520).

[0136] 일례로, UAV는, S510 블록을 위해, 상술한 오프라인 단계에서의 비행 경로 및 무선 자원 할당에 대한 실시예들(알고리즘 등)을 실행하여, 비행 경로 및 무선 자원 할당을 결정 및 설정할 수 있다. 다른 일례로, UAV는, S510 블록을 위해, 상술한 비행 경로 및 무선 자원 할당에 대한 실시예들(알고리즘 등)을 실행하여 비행 경로 및 무선 자원 할당을 결정하는 타 전자 장치로부터 해당 정보를 제공 받아 비행 경로 및 무선 자원 할당을 설정할 수 있다.

[0137] 몇몇 실시예들에 있어서, S520 블록을 위해, 상기 설정된 비행 경로 및 무선 자원 할당에 따라 비행 및 상기 중계를 수행하되, 상술한 온라인 단계에서의 무선 자원 할당에 대한 실시예들(알고리즘 등)을 실행하여 무선 자원 할당을 업데이트할 수 있다.

[0138] 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.

[0139] 몇몇 실시예에 있어서, 전자 장치(600)는 도6에 도시된 바와 같이 메모리(610), 프로세서(620), 통신 모듈(630)을 포함할 수 있다. 다른 몇몇 실시예에 있어서, 입출력 인터페이스(640), 기타 유닛 중 전부 또는 일부를 더 포함할 수 있다. 일례로, 실시예들을 수행하는 전자 장치(600)가 무인 항공기인 경우, 비행 수단 등의 유닛을 더 포함할 수 있다.

[0140] 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.

[0141] 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 구

성될 수 있다. 보다 구체적인 예로, 프로세서(620)는 메모리(610)에 로딩된 컴퓨터 프로그램의 코드에 따른 명령을 순차적으로 실행하여 본 개시의 실시예에 따른 무인항공기 지원 네트워크 관련 처리(예컨대, UAV의 비행 경로, 무선 자원 할당의 최적화, 통신 및 중계)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.

[0142] 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.

[0143] 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.

[0144] 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.

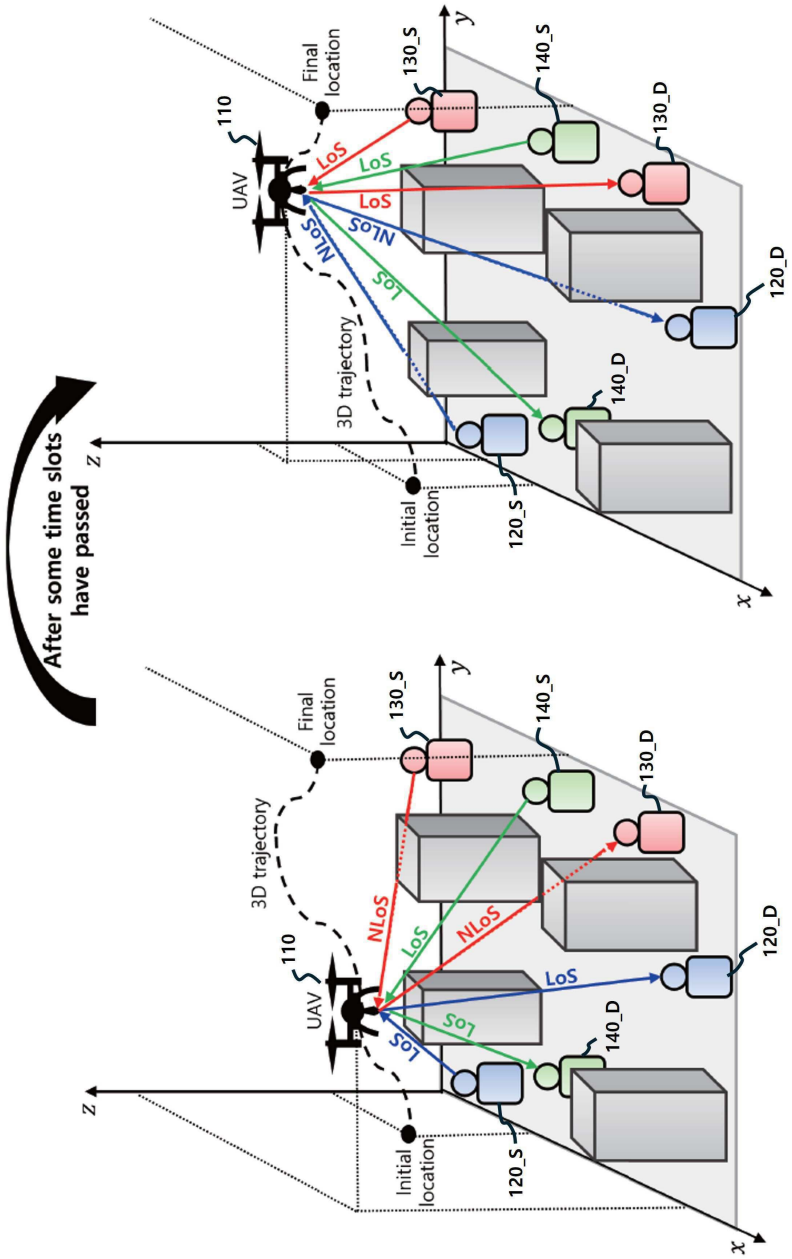
[0145] 실시예에 따른 방법은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 이때, 매체는 컴퓨터로 실행 가능한 프로그램을 계속 저장하거나, 실행 또는 다운로드를 위해 임시 저장하는 것일 수도 있다. 또한, 매체는 단일 또는 수 개의 하드웨어가 결합된 형태의 다양한 기록수단 또는 저장수단일 수 있는데, 어떤 컴퓨터 시스템에 직접 접속되는 매체에 한정되지 않고, 네트워크 상에 분산 존재하는 것일 수도 있다. 매체의 예시로는, 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 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.

[0146] 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.

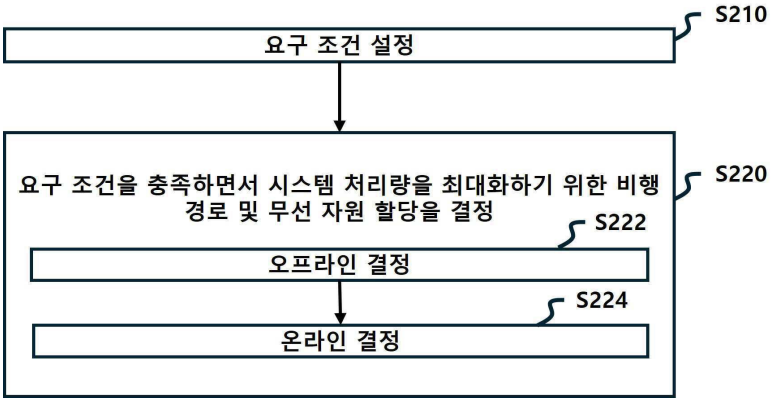
[0147] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

도면

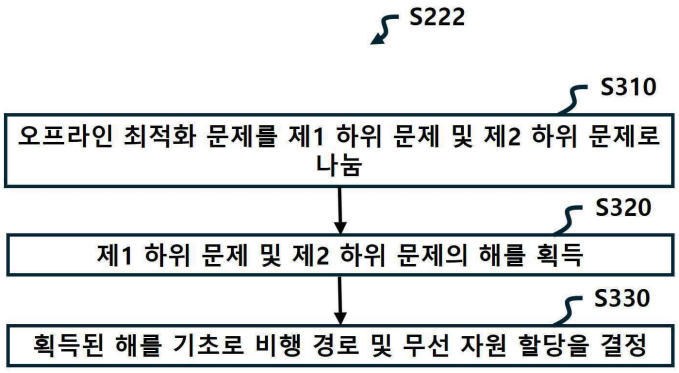
도면1


After some time slots have passed
Final location
Initial location
3D trajectory
UAV
110
130_S
140_S
130_D
120_D
140_D
120_S
LoS
NLoS
x
y
z

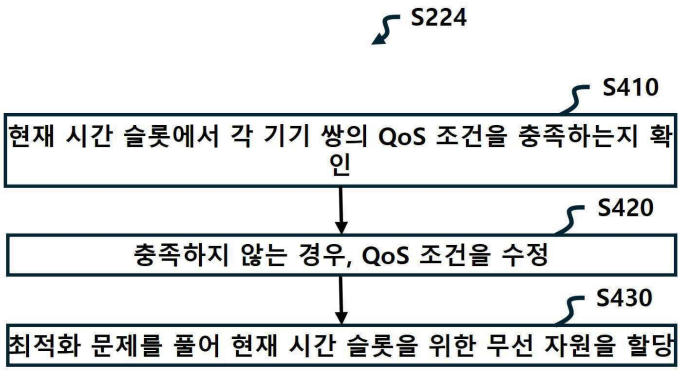
도면2



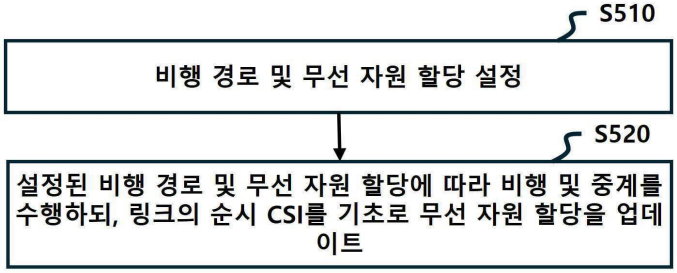
도면3



도면4



도면5



도면6

