(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0026031
(43) 공개일자 2024년02월27일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04W 24/02 (2009.01) *H04W 52/26* (2009.01)
H04W 72/04 (2009.01) *H04W 84/06* (2019.01)
(52) CPC특허분류
H04W 24/02 (2013.01)
H04W 52/26 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2022-0104394
(22) 출원일자 2022년08월19일
심사청구일자 2022년08월19일

(71) 출원인
세종대학교산학협력단
서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)
(72) 발명자
이병무
서울특별시 송파구 송파대로 567 잠실주공아파트 502-602
트란 반 뚱
서울특별시 광진구 능동로 209 세종대학교 광개토관 1438호
토 트루옹 안
서울특별시 광진구 동일로 144-6, 102호
(74) 대리인
김현승

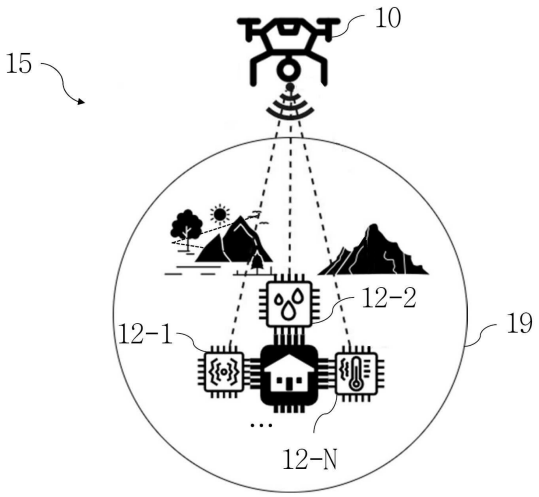
전체 청구항 수 : 총 20 항

(54) 발명의 명칭 **무인 비행체 기반 네트워크에서의 에너지 효율 최대화**

(57) 요 약

무인 비행체(Unmanned Aerial Vehicle: UAV) 기반 네트워크에서의 에너지 효율 최대화를 위한 방법이 제공되는데, 이는 총수 N의 사용자로부터 사용자를 서빙하는 UAV로의 시간 사이클 상에서의 업링크 송신의 쓰루풋을 최적화하는 단계를 포함하되, 최적화는 사용자에 대한 시간 슬롯 할당, 사용자에 대한 전력 배분 및 UAV의 궤적을 순차적으로 판정하는 것을 포함한다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
H04W 72/0446 (2023.01)
H04W 84/06 (2019.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711160801
과제번호	2020R1F1A1048470
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	개인기초연구(과기정통부)
연구과제명	지능형 사이버 물리 시스템의 산업 인터넷 응용을 위한 초연결성 연구
기 여 율	1/1
과제수행기관명	세종대학교
연구기간	2022.03.01 ~ 2023.02.28

명 세 서

청구범위

청구항 1

무인 비행체(Unmanned Aerial Vehicle: UAV) 기반 네트워크에서의 에너지 효율 최대화를 위한 방법으로서,

총수 N의 사용자로부터 상기 사용자를 서빙하는(serve) UAV로의 시간 사이클 상에서의 업링크 송신의 쓰루풋(throughput)을 최적화하는 단계를 포함하되, 상기 최적화는 상기 사용자에 대한 시간 슬롯 할당, 상기 사용자에 대한 전력 배분 및 상기 UAV의 궤적을 순차적으로 판정하는 것을 포함하는,

방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 시간 사이클은 총수 L의 시간 슬롯을 갖고, 상기 시간 슬롯 할당은 상기 시간 슬롯 각각이 상기 사용자 중의 단일 사용자에게 할당될 것이도록 판정되고, 상기 총수 N은 상기 총수 L 이하인,

방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 시간 슬롯 할당을 판정하는 것은, 상기 전력 배분 및 상기 궤적이 상수로 주어지되, 상기 사용자 각각에 상기 시간 사이클 내의 시간 슬롯 중 하나 이상을 할당하는 하위문제(sub-problem)에 대한 최적 해를 계산하는 것을 포함하는,

방법.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 최적 해는 상기 시간 사이클 상에서의 상기 사용자의 송신 레이트의 합의 최대 값을 달성하기 위해 상기 하위문제에 헝가리안 알고리즘(Hungarian algorithm)을 적용함으로써 계산되고, 상기 헝가리안 알고리즘을 적용하는 것은 복수의 달성가능 송신 레이트를 포함한 비용 행렬을 처리하는 것을 포함하고, 상기 복수의 달성가능 송신 레이트 각각은 상기 사용자 중의 대응하는 사용자 및 상기 시간 슬롯 중의 대응하는 시간 슬롯에 대해 주어진,

방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 전력 배분을 판정하는 것은, 상기 시간 슬롯 할당 및 상기 궤적이 상수로 주어지되, 상기 사용자에게 상기 시간 사이클 상에서의 송신 전력의 각자의 양을 할당하는 하위문제에 대한 최적 해를 계산하는 것을 포함하는,

방법.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 최적 해는 상기 시간 사이클 상에서의 상기 사용자의 송신 레이트의 합 대 상기 각자의 양의 합의 비율의 최대 값을 달성하기 위해 상기 하위문제의 동등한 감산 형태(equivalent subtractive form)에 딩켈바흐 알고리즘(Dinkelbach algorithm)을 적용함으로써 계산되고, 상기 딩켈바흐 알고리즘을 적용하는 것은 상기 감산 형태

에 도입된 파라미터를 반복적으로 갱신하는 것을 포함하는,

방법.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 궤적을 판정하는 것은, 상기 시간 슬롯 할당 및 상기 전력 배분이 상수로 주어지되, 상기 시간 사이클 상에서의 상기 UAV를 위한 궤적 계획의 하위문제에 대한 최적 해를 계산하는 것을 포함하는,

방법.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 최적 해는 상기 시간 사이클 상에서의 상기 사용자의 송신 레이트의 하한의 합의 최대 값을 달성하기 위해 상기 하위문제에 대한 테일러 전개(Taylor expansion) 기반 근사 해를 구함으로써 계산되고, 상기 하한 각각은 상기 송신 레이트 중 대응하는 것의 테일러 다항식을 나타내는,

방법.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 순차적 판정은, 상기 사용자에 대한 주어진 전력 배분 및 상기 UAV의 주어진 궤적에 기반하여 상기 시간 슬롯 할당을 판정하는 것과, 상기 판정된 시간 슬롯 할당 및 상기 주어진 궤적에 기반하여 상기 전력 배분을 판정하는 것과, 상기 판정된 시간 슬롯 할당 및 상기 판정된 전력 배분에 기반하여 상기 궤적을 판정하는 것을 포함하되,

상기 방법은, 상기 판정된 전력 배분 및 상기 판정된 궤적을 각각 상기 주어진 전력 배분 및 상기 주어진 궤적 대신에 사용하여 상기 순차적 판정을 반복하는 단계를 더 포함하는,

방법.

청구항 10

컴퓨터 프로세서에 의해 실행되는 경우 상기 컴퓨터 프로세서로 하여금 제1항 내지 제9항 중 어느 한 항에 기재된 방법을 수행하게 하는 컴퓨터 실행가능 명령어가 저장된 컴퓨터 판독가능 저장 매체.

청구항 11

컴퓨팅 장치로서,

프로세서와,

메모리를 포함하되, 상기 메모리는 무인 비행체(Unmanned Aerial Vehicle: UAV) 기반 네트워크에서의 에너지 효율 최대화를 위해 상기 프로세서에 의해 실행가능한 컴퓨터 프로그램 명령어의 세트로써 인코딩되되, 상기 세트는,

총수 N의 사용자로부터 상기 사용자를 서빙하는 UAV로의 시간 사이클 상에서의 업링크 송신의 쓰루풋을 최적화하는 명령어를 포함하되, 상기 최적화는 상기 사용자에 대한 시간 슬롯 할당, 상기 사용자에 대한 전력 배분 및 상기 UAV의 궤적을 순차적으로 판정하는 것을 포함하는,

컴퓨팅 장치.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 시간 사이클은 총수 L의 시간 슬롯을 갖고, 상기 시간 슬롯 할당은 상기 시간 슬롯 각각이 상기 사용자 중

의 단일 사용자에게 할당될 것이도록 판정되고, 상기 총수 N은 상기 총수 L 이하인,

컴퓨팅 장치.

청구항 13

제11항에 있어서,

상기 시간 슬롯 할당을 판정하는 것은, 상기 전력 배분 및 상기 궤적이 상수로 주어지되, 상기 사용자 각각에 상기 시간 사이클 내의 시간 슬롯 중 하나 이상을 할당하는 하위문제에 대한 최적 해를 계산하는 것을 포함하는,

컴퓨팅 장치.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 최적 해는 상기 시간 사이클 상에서의 상기 사용자의 송신 레이트의 합의 최대 값을 달성하기 위해 상기 하위문제에 헝가리안 알고리즘(Hungarian algorithm)을 적용함으로써 계산되고, 상기 헝가리안 알고리즘을 적용하는 것은 복수의 달성가능 송신 레이트를 포함한 비용 행렬을 처리하는 것을 포함하고, 상기 복수의 달성가능 송신 레이트 각각은 상기 사용자 중의 대응하는 사용자 및 상기 시간 슬롯 중의 대응하는 시간 슬롯에 대해 주어진,

컴퓨팅 장치.

청구항 15

제11항에 있어서,

상기 전력 배분을 판정하는 것은, 상기 시간 슬롯 할당 및 상기 궤적이 상수로 주어지되, 상기 사용자에게 상기 시간 사이클 상에서의 송신 전력의 각자의 양을 할당하는 하위문제에 대한 최적 해를 계산하는 것을 포함하는,

컴퓨팅 장치.

청구항 16

제15항에 있어서,

상기 최적 해는 상기 시간 사이클 상에서의 상기 사용자의 송신 레이트의 합 대 상기 각자의 양의 합의 비율의 최대 값을 달성하기 위해 상기 하위문제의 동등한 감산 형태에 딩켈바흐 알고리즘(Dinkelbach algorithm)을 적용함으로써 계산되고, 상기 딩켈바흐 알고리즘을 적용하는 것은 상기 감산 형태에 도입된 파라미터를 반복적으로 갱신하는 것을 포함하는,

컴퓨팅 장치.

청구항 17

제11항에 있어서,

상기 궤적을 판정하는 것은, 상기 시간 슬롯 할당 및 상기 전력 배분이 상수로 주어지되, 상기 시간 사이클 상에서의 상기 UAV를 위한 궤적 계획의 하위문제에 대한 최적 해를 계산하는 것을 포함하는,

컴퓨팅 장치.

청구항 18

제17항에 있어서,

상기 최적 해는 상기 시간 사이클 상에서의 상기 사용자의 송신 레이트의 하한의 합의 최대 값을 달성하기 위해 상기 하위문제에 대한 테일러 전개(Taylor expansion) 기반 근사 해를 구함으로써 계산되고, 상기 하한 각각은 상기 송신 레이트 중 대응하는 것의 테일러 다항식을 나타내는,

컴퓨팅 장치.

청구항 19

제11항에 있어서,

상기 순차적 판정은, 상기 사용자에 대한 주어진 전력 배분 및 상기 UAV의 주어진 궤적에 기반하여 상기 시간 슬롯 할당을 판정하는 것과, 상기 판정된 시간 슬롯 할당 및 상기 주어진 궤적에 기반하여 상기 전력 배분을 판정하는 것과, 상기 판정된 시간 슬롯 할당 및 상기 판정된 전력 배분에 기반하여 상기 궤적을 판정하는 것을 포함하되,

상기 세트는, 상기 판정된 전력 배분 및 상기 판정된 궤적을 각각 상기 주어진 전력 배분 및 상기 주어진 궤적 대신에 사용하여 상기 순차적 판정을 반복하는 명령어를 더 포함하는,

컴퓨팅 장치.

청구항 20

제11항 내지 제19항 중 어느 한 항에 기재된 컴퓨팅 장치를 포함하는 무인 비행체 베이스 스테이션(Unmanned Aerial Vehicle Base Station: UAV-BS).

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 개시는 무인 비행체(Unmanned Aerial Vehicle: UAV) 기반 네트워크에서의 에너지 효율 최대화에 관한 것으로서, 더욱 구체적으로, UAV 기반 네트워크에서의 순차적 최적화에 기반한 에너지 효율 최대화에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 최근 빅 데이터(big data)의 폭증과 더불어, 네트워크에서 서비스 품질을 보장하는 것이 더 중요하게 되었다. 이는 네트워크 상에서 동시에 다수의 사용자를 위해 고속으로 데이터를 송신하고 이를 위해 안정적인 연결을 수립하는 것을 수반할 수 있다. 이와 관련하여, 무인 비행체(Unmanned Aerial Vehicle: UAV)는 이동성(mobility)이 높고 온-디맨드(on-demand) 방식의 신속한 배치를 이점으로 갖는바, UAV 기반 네트워크는 데이터 송신 레이트(transmission rate)를 개선하고 지상 기반 스테이션(Ground-Based Station: GBS)을 지원하는 유망한 솔루션으로 여겨져 왔다. 예를 들어, UAV가 릴레이 스테이션(relay station)으로서의 역할을 하는 네트워크가 활용될 수 있다. 그런데, 그러한 릴레이 네트워크에서 UAV 릴레이 및 GBS 간의 거리가 너무 먼 경우에는 지연(delay)이 커지고 신호 손실이 발생하며 서비스 품질이 열악하게 될 수 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0003] 무인 비행체(Unmanned Aerial Vehicle: UAV) 기반 네트워크에서의 에너지 효율 최대화가 본 문서에 개시된다.

과제의 해결 수단

[0004] 예에서, 무인 비행체(Unmanned Aerial Vehicle: UAV) 기반 네트워크에서의 에너지 효율 최대화를 위한 방법은 총수(total number) N의 사용자로부터 사용자를 서빙하는(serve) UAV로의 시간 사이클(time cycle) 상에서의 업링크 송신의 쓰루풋(throughput)을 최적화하는 단계를 포함하되, 최적화는 사용자에 대한 시간 슬롯 할당(time slot assignment), 사용자에 대한 전력 배분(power allocation) 및 UAV의 궤적(trajectory)을 순차적으로 판정하는 것을 포함한다.

[0005] 전술된 개요는 상세한 설명에서 추가로 후술되는 몇몇 양상을 단순화된 형태로 소개하기 위해 제공된다. 이 개요는 청구된 주제(subject matter)의 중요 특징 또는 필수적 특징을 식별하도록 의도되지 않고, 청구된 주제의 범위를 정하는 데 사용되도록 의도되지도 않는다. 나아가, 청구된 주제는 본 명세서에서 논의되는 임의의 또는 모든 이점을 제공하는 구현에 한정되지 않는다.

발명의 효과

[0006] 본 개시에 따르면, UAV 기반 네트워크를 지원하면서 사용자 장비(User Equipment: UE) 디바이스(이는 간략히 "사용자"로도 칭해질 수 있음)(예컨대, 지상 사용자(ground user))의 성능을 개선할 수 있다.

[0007] 본 개시에 따르면, 사용자에 대한 시간 슬롯 할당, 사용자에 대한 전력 배분 및 UAV의 궤적을 순차적으로 판정하는 계산상 효율적인 방식으로 UAV 기반 네트워크에서의 에너지 효율 최대화를 달성할 수 있다.

[0008] 본 개시에 따르면, UAV 기반 네트워크에서 에너지 효율 최대화를 통해 사용자에게 서비스를 제공하는 데에서 비용 절감, 전력 소모 감소, 효율 개선, 보안 능력 제고 등을 도모할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0009] 도 1은 예시적인 무인 비행체(Unmanned Aerial Vehicle: UAV)가 예시적인 사용자를 서빙하는 UAV 기반 네트워크의 예를 보여준다.

도 2는 도 1의 UAV에 포함된 네트워크 제어 시스템의 예를 보여준다.

도 3은 도 1의 사용자에 대한 시간 슬롯 할당을 최적화하는 프로세스의 예를 보여준다.

도 4는 도 1의 사용자에 대한 전력 배분을 최적화하는 프로세스의 예를 보여준다.

도 5는 도 1의 UAV의 궤도를 최적화하는 프로세스의 예를 보여준다.

도 6은 도 1의 UAV 기반 네트워크에서의 순차적 최적화에 기반한 에너지 효율 최대화를 위한 프로세스의 예를 보여준다.

도 7 및 도 8은 도 6의 프로세스의 성능을 평가하기 위한 시뮬레이션의 결과를 설명하기 위한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0010] 본 개시에서 사용되는 다양한 용어는 본 문서에서의 기능을 고려하여 상용 용어의 용어법으로부터 선택되는데, 이는 당업자의 의도, 준례, 또는 새로운 기술의 출현에 따라서 달리 인식될 수 있다. 특정한 사례에서, 몇몇 용어에는 상세한 설명에서 개진된 바와 같이 의미가 주어질 수 있다. 따라서, 본 문서에서 사용되는 용어는, 단순히 그 명칭에 의해서가 아니라, 본 개시의 맥락에서 그 용어가 갖는 의미와 일관되게 정의되어야 한다.

[0011] 본 문서에서 용어 "포함하다", "가지다" 등은 이후에 열거된 요소, 예컨대, 어떤 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 정보 또는 이들의 조합의 존재를 명시하는 경우에 사용된다. 달리 표시되지 않는 한, 이런 용어 및 이의 변형은 다른 요소의 존재 또는 추가를 배제하도록 의도되지 않는다.

[0012] 본 문서에서 사용되는 바와 같이, 용어 "제1", "제2" 등은 몇 개의 서로 닮은 요소를 식별하도록 의도된다. 달리 기재되지 않는 한, 그러한 용어는 이들 요소의 또는 이들의 사용의 특정한 순서와 같은 한정을 부과하도록 의도된 것이 아니라, 단지 여러 요소를 따로따로 지칭하기 위해 사용된다. 예를 들면, 어떤 요소가 일례에서 용어 "제1"로써 참조될 수 있는 한편 동일한 요소가 다른 예에서 "제2" 또는 "제3"과 같은 상이한 서수로써 참조될 수 있다. 그러한 예에서, 이들 용어는 본 개시의 범위를 한정하지 않는 것이다. 또한, 여러 요소의 리스트에서 용어 "및/또는"을 사용하는 것은 열거된 항목 중 임의의 하나 또는 복수 개를 비롯하여 이들 항목의 모든 가능한 조합을 포함한다. 나아가, 단수 형태의 표현은 명확하게 달리 사용되지 않는 한, 복수 형태의 의미를 포함한다.

[0013] 첨부된 도면을 참조하여 본 개시의 소정의 예가 이제 상세히 기술될 것이다. 다만, 본 개시는 많은 상이한 형태로 체현될 수 있으며, 본 문서에 개진된 예에 한정되는 것으로 해석되어서는 안 된다. 오히려, 이들 예는 본 개시의 범위의 더 나은 이해를 제공하기 위해서 주어지는 것이다.

[0014] 개요

[0015] 도 1은 예시적인 무인 비행체(Unmanned Aerial Vehicle: UAV)(10)가 예시적인 사용자(12-1, 12-2, ..., 12-N)를 서빙하는 UAV 기반 네트워크(15)의 예를 보여준다. 도 1의 예에서, 네트워크(15)는 단일의 UAV(10)에 기반하여 구축될 수 있다. UAV 기반 네트워크(15)의 다른 예시적인 구현, 예컨대, 다중 UAV 기반 네트워크가 또한 고려된다.

[0016] 예로서, UAV 기반 네트워크(15)에서, UAV(10)는 소정의 영역(19)에 위치된 사용자(12-1, 12-2, ..., 12-N)로부

터 정보, 예컨대, 재난 경보 장치와 같은 경보 시스템이나 스마트 홈 시스템의 모니터링을 통해 감지된 정보를 수집하는 데에 사용될 수 있다. 특정한 예에서, UAV(10)는 경유점(transit point)을 거치지 않고서 직접적으로 사용자로(12-1, 12-2, ..., 12-N)부터 정보를 수신하고/거나 사용자(12-1, 12-2, ..., 12-N)에게 정보를 송신할 수 있다. UAV(10) 및 사용자(12-1, 12-2, ..., 12-N) 각각 간의 통신은, 예컨대, 단일 입력 단일 출력(Single-Input, Single-Output: SISO) 방식으로 수행될 수 있다.

[0017] UAV(10)의 예는 하나 이상의 로터(rotor)(또는 회전익(rotor blade))를 가진 회전익체 드론(rotorcraft drone)(가령, 4개의 로터를 가진 쿼드콥터(quadcopter) 드론), 고정익(fixed wing)을 가진 드론, 가변 로터(tilt-rotor) 메커니즘을 가진 드론, 또는 다른 타입의 UAV를 포함한다.

[0018] 도 2는 UAV(10)의 네트워크 제어 시스템(network control system)(100)의 예를 보여준다. 예시적인 네트워크 제어 시스템(100)은, 예컨대, 에너지 효율 최대화라는 측면에서, UAV(10)의 움직임을 제어하면서 UAV 기반 네트워크(15)의 무선 리소스를 관리할 수 있다. 몇몇 예에서, 네트워크 제어 시스템(100)은 UAV(10)로 하여금 무인 비행체 베이스 스테이션(Unmanned Aerial Vehicle Base Station: UAV-BS)으로서 서빙할 수 있게 한다. 이들 예에서, UAV(10)의 서빙 셀은 영역(19)에 대응할 수 있다.

[0019] 도 2의 예에서, 네트워크 제어 시스템(100)은 통신 유닛(communications unit)(110), 저장 유닛(storage unit)(130) 및 처리 유닛(processing unit)(150)을 포함한다. 네트워크 제어 시스템(100)의 다른 예시적인 구현이 또한 고려된다. 예를 들어, 네트워크 제어 시스템(100)은 도시되지 않은 추가적인 컴포넌트, 예컨대, 앞서 언급된 컴포넌트에 전력을 공급하는 전력 공급 유닛을 또한 포함할 수 있다.

[0020] 도시된 예에서, 통신 유닛(110)은 UAV(10)로 하여금 사용자(12-1, 12-2, ..., 12-N)와 같은 외부 개체와 통신할 수 있게 한다. 이를 위해, 통신 유닛(110)은 다양한 타입의 통신 모듈을 포함할 수 있다. 예를 들어, 통신 유닛(110)은 (가령, 처리 유닛(150)에 의해 생성된) 기저 대역 신호를 무선 주파수(Radio Frequency: RF) 신호로 변환하는 상향변환기(upconverter), 상향변환된 RF 신호를 증폭하는 전력 증폭기(Power Amplifier: PA), 증폭된 RF 신호를 송신하고/거나 외부 개체로부터 RF 신호를 수신하는 안테나, 수신된 RF 신호를 증폭하는 저잡음 증폭기(Low Noise Amplifier: LNA), 증폭된 수신된 RF 신호를 (가령, 처리 유닛(150)에 의해 처리될) 기저 대역 신호로 변환하는 하향변환기(downconverter) 및/또는 유사한 것을 포함할 수 있다.

[0021] 도 2의 예에서, 저장 유닛(130)은 다양한 정보를 저장한다. 예를 들어, 저장 유닛(130)은 비일시적(non-transitory) 형태로 데이터를 저장하는 컴퓨터 판독가능 저장 매체(computer readable storage medium)를 포함할 수 있다. 그러므로, 저장 유닛(130)은 내부에 다양한 정보, 예컨대, 처리 유닛(150)에 의해 실행될 명령어의 세트 및/또는 다른 정보(가령, 통신 유닛(110)에 의해 수집된 정보 및/또는 그러한 정보로부터 생성된 정보)가 저장될 수 있다.

[0022] 도 2의 예에서, 처리 유닛(150)은 네트워크 제어 시스템(100)의 전반적인 동작을 제어한다. 예를 들어, 처리 유닛(150)은 본 문서에 기술된 동작을 수행하기 위해 프로세서(processor) 또는 다른 처리 회로(processing circuitry)로써 구현될 수 있다.

[0023] 도시된 예에서, 처리 유닛(150)은 업링크(uplink)를 위한 시간 사이클(time cycle)에서 사용자(12-1, 12-2, ..., 12-N)로부터 UAV(10)로 데이터를 최적화된 쓰루풋(optimized throughput)으로 송신함으로써 UAV 기반 네트워크(15)에서 에너지 효율 최대화를 달성하도록 지향된다. 그러한 최적화의 예가 이하에서 상세히 논의된다.

[0024] 에너지 효율 최대화 문제

[0025] 몇몇 예에서, 처리 유닛(150)은 총수(total number) N의 사용자(12-1, 12-2, ..., 12-N)에게 시간 사이클 내의 총수 L의 시간 슬롯을 할당하는 스케줄링을 수행할 수 있다. 특정한 예에서, 사용자의 총수 N은 시간 사이클 내의 시간 슬롯의 총수 L과 같거나 작을 수 있다. 각각의 시간 슬롯이 오직 하나의 사용자에 의해 점유될 것으로 상정된 예에서, UAV(10)의 통신 유닛(110)은 l 번째 시간 슬롯에 대해 다음과 같은 신호 y[l]를 수신할 수 있다.

수학식 1

$$y[l] = \sum_{l=1}^{L} \tau_n[l] h_n[l] \sqrt{P_n[l]} x_n + n[l]$$

[0026]

[0027] 여기서 x_n은 l 번째 시간 슬롯에서 사용자(12-1, 12-2, ..., 12-N) 중 n번째 사용자로부터 송신된 신호이고, n[l]은 l 번째 시간 슬롯에서의 잡음(가령, 임의의 l 번째 시간 슬롯에서 $N(0, \sigma^2)$의 정규 분포를 갖는 가산성 백색 가우시안 잡음(Additive White Gaussian Noise: AWGN))을 나타내며, $P_n[l]$은 l 번째 시간 슬롯에서 n번째 사용자에 배분된 송신 전력이고, $\tau_n[l]$은 n번째 사용자가 l 번째 시간 슬롯에 할당되는지 여부를 나타내는 인덱스(index)이며, $h_n[l]$은 l 번째 시간 슬롯에서 n번째 사용자로부터 UAV(10)로의 채널의 계수이다. 예로서, $\tau_n[l]$은 1 또는 0의 정수 인덱스 값을 가질 수 있는데, $\tau_n[l] = 1$은 l 번째 시간 슬롯이 n번째 사용자에 의해 점유됨을 나타내고, $\tau_n[l] = 0$은 그렇지 않음을 나타낼 수 있다. 또한, l 번째 시간 슬롯에서 UAV(10)가 영역(19) 상의 위치 $w[l] = [x[l], y[l]]^T$ 로부터 높이 H만큼 떨어져 있고 n번째 사용자가 영역(19) 상의 위치 L_n에 있는 경우, 채널 계수 $h_n[l]$은 다음과 같이 주어질 수 있다.

수학식 2

$$h_n[l] = \sqrt{\frac{\rho_0}{H^2 + \|w[l] - L_n\|^2}}$$

[0028]

[0029] 여기서 ρ_0는 거리 d0 = 1m 에서의 기준 채널 전력 이득을 나타낸다.

[0030] 그러한 주어진 사이클의 총수 L의 시간 슬롯에 걸쳐 UAV(10)에 의해 서빙되는 n번째 사용자의 송신 레이트(transmission rate) R_n은 다음과 같이 평균 레이트로서 표현될 수 있다.

수학식 3

$$R_n = \frac{1}{L}\sum_{l=1}^{L} R_n[l] = \frac{1}{L}\sum_{l=1}^{L} \tau_n[l] \log\left(1 + \frac{P_n[l]|h_n[l]|^2}{\sigma^2}\right)$$

[0031]

[0032] 여기서 $R_n[l]$은 l 번째 시간 슬롯에서의 n번째 사용자의 송신 레이트를 나타낸다.

[0033] 그러면, 사용자(12-1, 12-2, ..., 12-N)로부터 UAV(10)로의 시간 사이클 상에서의 업링크 송신의 쓰루풋을 최적화하는 것은 다음과 같은 에너지 효율 최대화 문제로 정의될 수 있다.

수학식 4

$$\begin{aligned}
&\underset{\{\tau_n, p, W\}}{\text{maximize}} \quad \eta = \frac{\sum_{n=1}^{N} R_n}{\sum_{n=1}^{N} P_n} \\
&\text{Subject to} \quad P_n \le P^{\text{thr}}, \forall n, \\
&\qquad w[1] = w[L], \\
&\qquad \|w[l+1] - w[l]\|^2 \le \left(\frac{vT}{L}\right)^2, \forall l, \\
&\qquad \sum_{n=1}^{N} \tau_n[l] \le 1, \forall l, n.
\end{aligned}$$

[0034]

[0035] 여기서 $\tau_n = [\tau_n[1], \ldots, \tau_n[L]]$이고, $p = [P_1, \ldots, P_N]$이며, $W = [w[1], \ldots, w[L]]$이고, v는 UAV(10)의 속력이고, T는 시간 사이클의 지속기간(duration)이며, P^{thr}은 P_n(이는, 예컨대, 총수 L의 시간 슬롯에 걸쳐 n번째 사용자에 대해 $\tau_n[1] = 1$인 $P_n[1]$의 합)의 임계 값이다. 이러한 에너지 효율 최대화 문제에서, 첫번째 제약은 각각의 사용자(12-1, 12-2, ..., 12-N)의 송신 전력을 제한하는 것이고, 다음 두 제약은 UAV(10)의 궤적에 관련된 것이며, 마지막 제약은 각각의 시간 슬롯이 사용자(12-1, 12-2, ..., 12-N) 중 여럿에 할당되지 않음을 보장하기 위한 것이다. 그런데, 일반적으로 이 최대화 문제에 대한 해를 얻기는 어려운데, 수학식 4의 목적 함수 η가 비볼록(non-convex) 형태이고 정수 변수에 좌우되기 때문이다.

[0036] 몇몇 예에서, 처리 유닛(150)은 에너지 효율 최대화 문제를 그것의 여러 하위문제(sub-problem)에 대한 해를 구

하는 방식으로 풀 수 있다. 예를 들어, 이 최대화 문제는 다음과 같은 3개의 하위문제로 분해될 수 있다: 사용자(12-1, 12-2, ..., 12-N)에 대한 시간 슬롯 할당 τ_n의 최적화, 사용자(12-1, 12-2, ..., 12-N)에 대한 전력 배분 p의 최적화 및 UAV(10)의 궤적 W의 최적화. 이들 하위문제에 대한 해는 순차적으로, 예컨대, 시간 슬롯 할당, 전력 배분 및 궤적의 순서로, 판정될 수 있다. 또한, 시간 슬롯 할당, 전력 배분 및 궤적 중 임의의 것은 이들 중 임의의 다른 것이 상수로 주어진 채로 판정될 수 있다. 이제, 도 3 내지 도 6을 참조하여, 네트워크(15)에서의 순차적 최적화 기반의 에너지 효율 최대화를 위한 프로세스가 더욱 상세히 설명될 것이다.

[0037] 시간 슬롯 할당의 최적화

[0038] 만일 사용자(12-1, 12-2, ..., 12-N)에 대한 전력 배분 및 UAV(10)의 궤적이 주어지면, 에너지 효율 최대화 문제는, 다음 식과 같이, 시간 사이클 상에서의 사용자(12-1, 12-2, ..., 12-N)의 송신 레이트의 합의 최대 값을 달성하기 위해(즉, 총 달성가능 레이트를 최대화하기 위해) 사용자(12-1, 12-2, ..., 12-N) 각각에 시간 사이클 내의 L개의 시간 슬롯 중 하나 이상을 할당하는 하위문제로 표현될 수 있다.

수학식 5

$$\underset{\{\tau_n[l]\}}{\text{maximize}} \quad \sum_{n=1}^{N} R_n$$

$$\text{Subject to} \quad \sum_{n=1}^{N} \tau_n[l] \leq 1, \forall l, n.$$

[0039]

[0040] 이와 같이 시간 슬롯 할당을 판정하는 것은 수학식 4에 표현된 에너지 효율 최대화 문제에 비해 덜 복잡한데, 다만 N 및 L이 증가함에 따라 다루기 힘들게 될 수도 있다. 이와 관련하여, 처리 유닛(150)은 그러한 하위문제에 대한 최적 해를 계산하기 위해 도 3에 도시된 바와 같이 동작할 수 있다.

[0041] 도 3의 예시적인 프로세스(300)는 l 번째 시간 슬롯에서 사용자(12-1, 12-2, ..., 12-N) 중 n번째 사용자의 달성가능한 송신 레이트(즉, $\tau_n[l] = 1$일 때 $R_n[l]$의 값이며, 이하에서 $R'_n[l]$으로 표기될 수 있음)는 사용자(12-1, 12-2, ..., 12-N) 중 다른 사용자과는 무관하다는 점을 감안하면서 과도한 탐색을 막는 데에, 그리고 결국 연산 소요량을 줄이는 데에 도움이 될 수 있다. 구체적으로, 도 3의 예에서, 수학식 5의 제약 조건은 각각의 시간 슬롯이 사용자(12-1, 12-2, ..., 12-N) 중 오직 하나에 의해 점유된다는 것을 나타내도록 $\sum_{n=1}^{N} \tau_n[l] = 1$ 로 바꿔 쓸 수 있다고 가정된다. 이 조건 하에서 수학식 5의 목적 함수, 다시 말해,

$$F = \sum_{n=1}^{N} R_n = \sum_{n=1}^{N} \sum_{l=1}^{L} \tau_n[l] \log\left(1 + \frac{P_n[l]|h_n[l]|^2}{\sigma^2}\right)$$

에 대한 최적 해가 다음과 같이 구해질 수 있다.

[0042] 우선, 동작(310)에서, 처리 유닛(150)은 사용자(12-1, 12-2, ..., 12-N)에 대한 주어진 전력 배분 및 UAV(10)의 주어진 궤적을 수신할 수 있다.

[0043] 이어서, 동작(320)에서, 처리 유닛(150)은 L개의 시간 슬롯 각각에 대해 사용자(12-1, 12-2, ..., 12-N) 각각

의 달성가능한 송신 레이트 $R'_n[l]$를 계산할 수 있다.

[0044] 나아가, 동작(330)에서, 처리 유닛(150)은 계산된 달성가능한 송신 레이트 전부를 포함하는 비용 행렬을 구성할 수 있다. 예를 들어, 비용 행렬은 다음과 같이 주어질 수 있다.

수학식 6

$$\mathbb{R}^{pr} = \begin{bmatrix} R'_1[1] & \cdots & R'_n[1] & \cdots & R'_N[1] \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ R'_1[l] & \cdots & R'_n[l] & \cdots & R'_N[l] \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ R'_1[L] & \cdots & R'_n[L] & \cdots & R'_N[L] \end{bmatrix}$$

[0045]

[0046] 다시 말해, 동작(320)에서 계산된 달성가능 송신 레이트는 해당 사용자에 해당 시간 슬롯을 할당하는 비용이고, 시간 슬롯 할당의 최적화는 이를 위한 비용의 합을 최대화하는 것이라고 볼 수 있다. 이에 따라, 동작(340)에서, 처리 유닛(150)은 그러한 최적화에 헝가리안 알고리즘(Hungarian algorithm)을 적용할 수 있다. 헝가리안 알고리즘을 적용하는 것은 비용 행렬의 처리를 수반할 수 있는데, 만일 사용자의 수 N이 시간 슬롯의 수 L보다 작은 경우에 비용 행렬은 전술된 할당 비용 성분 외에도 더미(dummy) 사용자 성분을 포함한 정방 행렬일 수 있다.

[0047] 전력 배분의 최적화

[0048] 만일 사용자(12-1, 12-2, ..., 12-N)에 대한 시간 슬롯 할당 및 UAV(10)의 궤적이 주어지면, 에너지 효율 최대화 문제는, 다음 식과 같이, 사용자(12-1, 12-2, ..., 12-N)에게 시간 사이클 상에서의 송신 전력의 각자의 양을 할당하여 시간 사이클 상에서의 사용자(12-1, 12-2, ..., 12-N)의 송신 레이트의 합에 대한 그러한 양의 합의 비율(즉, 에너지 효율(Energy Efficiency: EE))의 최대 값을 달성하는 하위문제로 표현될 수 있다.

수학식 7

$$\underset{\{p\}}{\text{maximize}} \quad \eta = \frac{\sum_{n=1}^{N} R_n}{\sum_{n=1}^{N} P_n}$$

$$\text{Subject to} \quad P_n \leq P^{\text{thr}}, \forall n.$$

[0049]

[0050] 위 식의 목적 함수는 분수 형태(fractional form)로 되어 있는바, 이에 따라 전력 배분을 판정하는 것은 비볼록 문제이며 풀기가 어려울 수 있다. 이와 관련하여, 처리 유닛(150)은 그러한 하위문제에 대한 최적의 해를 계산하기 위해 도 4에 도시된 바와 같이 동작할 수 있다.

[0051] 도 4의 예시적인 프로세스(400)는 전술된 전력 배분의 하위문제가 그것과 동등한 비분수 형태(non-fractional form)로, 그리고 특히 감산 형태(subtractive form)로 전환될 수 있음을 고려하여 마련된 것인바, 효율적인 연산을 가능하게 할 수 있다. 상세히 후술되는 바와 같이, 도 4의 예에서, 그러한 감산 형태는 다음 식과 같을 수 있고, 이는 딩켈바흐 알고리즘(Dinkelbach algorithm)에 따라 반복적(iterative) 방식으로 풀릴 수 있다.

수학식 8

$$\underset{\{P_n\}}{\text{maximize}} \quad \sum_{n=1}^{N} R_n - \eta \sum_{n=1}^{N} P_n$$
$$\text{Subject to} \quad P_n \leq P^{\text{thr}}, \forall n.$$

[0052]

[0053] 우선, 동작(410)에서, 처리 유닛(150)은 사용자(12-1, 12-2, ..., 12-N)에 대한 주어진 시간 슬롯 할당 및 UAV(10)의 주어진 궤적을 수신할 수 있다.

[0054] 또한, 동작(420)에서, 처리 유닛(150)은 전력 배분의 초기 값 $P_n^{(0)}$을 설정할 수 있다. 예컨대, $P_n^{(0)}$은 n번째 사용자에 대한 최대의 가능한 전력 배분 값일 수 있다.

[0055] 나아가, 동작(430)에서, 처리 유닛(150)은 동작(420)에서 설정된 초기 값에 기반하여, 그리고 동작(410)에서 수신된 시간 슬롯 할당 및 궤적에 또한 기반하여, 수학식 3의 R_n의 값을 $R_n^{(0)}$로서 계산할 수 있고, 따라서 수학식 8의 감산 형태에 에너지 효율 관련 파라미터로서 도입된 η의 초기 값 $\eta^{(0)} = \frac{\sum_{n=1}^{N} R_n^{(0)}}{\sum_{n=1}^{N} P_n^{(0)}}$ 을 계산할 수 있다.

[0056] 그러면, 동작(440)에서, 처리 유닛(150)은 딩켈바흐 알고리즘을 수학식 8에 적용하여 최적의 전력 배분을 획득할 수 있는데, 이는 반복적으로 파라미터를 갱신하는 것을 수반할 수 있다. 예를 들어, i번째 회차에서, 처리 유닛(150)은 $\sum_{n=1}^{N} R_n - \eta^{(i-1)} \sum_{n=1}^{N} P_n$ 을 최대화하는 $P_n^{(i)}$을 (가령, 기존의 CVX 툴에서 사용되는 최적화 기법과 마찬가지 방식으로) 계산할 수 있다. 이 최대화는 볼록 문제임이 주목된다. 추가적으로, 처리 유닛(150)은 $P_n^{(i)}$에 기반하여 수학식 3의 R_n의 값을 $R_n^{(i)}$로서 계산할 수 있다. 만일 $\sum_{n=1}^{N} R_n^{(i)} - \eta^{(i-1)} \sum_{n=1}^{N} P_n^{(i)} = 0$ 이거나 $\sum_{n=1}^{N} R_n^{(i)}$ 및 $\eta^{(i-1)} \sum_{n=1}^{N} P_n^{(i)}$ 간의 차이가 별로 크지 않은 경우, 값 $P_n^{(i)}$은 전력 배분의 최적 값으로서 제공될 수 있다. 이는 η의 최적 값 η^* 이 $\sum_{n=1}^{N} R_n^* - \eta^* \sum_{n=1}^{N} P_n^* = 0$ 인 경우에(즉, $\eta^* = \max_{P_n} \frac{\sum_{n=1}^{N} R_n^*}{\sum_{n=1}^{N} P_n^*}$), 그리고 그러한 경우에만, 달성될 수 있기 때문이다(여기서 P_n^* 및 R_n^*은 η= η^* 일 때 각각 P_n 및 R_n이 갖는 최적 값임). 만일 $\sum_{n=1}^{N} R_n^{(i)}$ 및 $\eta^{(i-1)} \sum_{n=1}^{N} P_n^{(i)}$ 간의

$$\eta^{(i)} = \frac{\sum_{n=1}^{N} R_n{}^{(i)}}{\sum_{n=1}^{N} P_n{}^{(i)}}$$

차이가 소정의 값보다 큰 경우, 처리 유닛(150)은 파라미터의 업데이트된 값 을 계산할 수 있고, (i+1)번째 회차가 이어질 수 있다.

[0057] 궤적의 최적화

[0058] 만일 사용자(12-1, 12-2, ..., 12-N)에 대한 시간 슬롯 할당 및 사용자(12-1, 12-2, ..., 12-N)에 대한 전력 배분이 주어지면, 에너지 효율 최대화 문제는, 다음 식과 같이, 시간 사이클 상에서의 사용자(12-1, 12-2, ..., 12-N)의 송신 레이트의 합의 최대 값을 달성하기 위해 시간 사이클 상에서의 UAV(10)의 궤적 계획을 수행하는 하위문제로 표현될 수 있다.

수학식 9

$$\begin{aligned} &\underset{\{w[l]\}}{\text{maximize}} \quad \sum_{n=1}^{N} R_n \\ &\text{Subject to} \quad w[1] = w[L], \\ &\qquad \|w[l+1] - w[l]\|^2 \le \left(\frac{vT}{L}\right)^2, \forall l. \end{aligned}$$

[0059]

[0060] 위 식의 목적 함수에 따라 궤적을 판정하는 것은 $\|w[l+1] - w[l]\|^2$ 에 대해 볼록 문제이지 $w[l]$ 에 대해서는 그렇지 않다. 이와 관련하여, 처리 유닛(150)은 이 하위문제에 대한 최적의 해를 계산하기 위해 도 5에 도시된 바와 같이 동작할 수 있다.

[0061] 도 5의 예시적인 프로세스(500)는 l 번째 시간 슬롯을 할당 받은 n번째 사용자의 송신 레이트의 하한 $\widetilde{R}_n[l]$ 이 그러한 송신 레이트의 테일러 전개(Taylor expansion)에서의 1차 테일러 다항식(Taylor polynomial)에 따라 다음과 같이 나타내어질 수 있음을 감안한다.

수학식 10

$$\tilde{R}_n[l] = -\frac{\frac{P_n[l]\rho_0}{\sigma^2(H^2+\|w^{(t)}-L_n\|^2)^2}\log_2 e}{1+\frac{P_n[l]\rho_0}{\sigma^2(H^2+\|w^{(t)}-L_n\|^2)}}\left(\|w[l]-L_n\|^2-\|w^{(t)}-L_n\|^2\right)$$

$$+\log_2\left(1+\frac{P_n[l]\rho_0}{\sigma^2(H^2+\|w^{(t)}-L_n\|^2)}\right)$$

[0062]

[0063] 여기서 $w^{(t)}$는 UAV(10)의 궤적으로서 설정될 수 있는 특정한 값을 나타낸다. 이 하한은 $w[l]$에 대해 볼록이다. 한편, 그러한 시간 슬롯을 할당 받지 않은 사용자의 송신 레이트의 하한은 0으로 두어질 수 있다. 그러면, 전술된 궤적 계획의 하위문제는 다음 식과 같이 시간 사이클 상에서의 사용자(12-1, 12-2, ..., 12-N)의 송신 레이트의 하한의 합의 최대 값을 달성하도록 볼록 문제로 근사화될 수 있다.

수학식 11

$$\underset{\{w[l]\}}{\text{maximize}} \quad \sum_{n=1}^{N}\sum_{l=1}^{L}\tilde{R}_n[l]$$

$$\text{Subject to} \quad w[1]=w[L],$$

$$\|w[l+1]-w[l]\|^2 \le \left(\frac{vT}{L}\right)^2, \forall l.$$

[0064]

[0065] 요컨대, 도 5에 도시된 바와 같이, 처리 유닛(150)은 동작(510)에서 사용자(12-1, 12-2, ..., 12-N)에 대한 주어진 시간 슬롯 할당 및 사용자(12-1, 12-2, ..., 12-N)에 대한 주어진 전력 배분을 수신할 수 있고, 동작(520)에서 그러한 시간 슬롯 할당 및 전력 배분을 사용하여 UAV(10)의 궤적 계획에 대한 테일러 전개 기반 근사 해를 구할 수 있다. 몇몇 예에서, 이러한 근사 해는 반복적 방식으로 계산될 수 있다. 구체적으로, UAV(10)의 궤적의 초기 값 $w^{(0)}$을 설정한 후, 처리 유닛(150)은 (t+1)번째 회차에서 수학식 11의 목적 함수를 최대화하는 $w^{(t+1)}$을 (가령, 기존의 CVX 툴에서 사용되는 최적화 기법과 마찬가지 방식으로) 계산할 수 있다. 만일 $w^{(t+1)}$가 $w^{(t)}$와의 차이가 별로 크지 않은 경우, 값 $w^{(t+1)}$은 궤적의 최적 값으로서 제공될 수 있다. 그렇지 않은 경우, 다음 회차가 수행될 수 있다.

[0066] 순차적 최적화

[0067] 도 6은 UAV 기반 네트워크(15)에서의 순차적 최적화에 기반한 에너지 효율 최대화를 위한 프로세스(600)의 예를 보여준다. 예시적인 프로세스(600)는 사용자(12-1, 12-2, ..., 12-N)로부터 UAV(10)로의 시간 사이클 상에서의 업링크 송신의 쓰루풋을 최적화하기 위해 수행될 수 있다. 예를 들어, 프로세스(600)는 네트워크 제어 시스템

(100)(특히, 처리 유닛(150))에 의해 수행될 수 있다. 다른 예로서, 프로세스(600)는 UAV(10)의 외부의 컴퓨팅 장치(가령, 그것의 프로세서)에 의해 수행될 수 있다. 프로세스(600)의 다른 예시적인 흐름이 또한 고려된다. 예를 들어, 프로세스(600)는 도시되지 않은 추가적인 동작을 또한 포함할 수 있고/거나, 도 6과 관련하여 예시된 동작 중 일부를 포함하나 전부를 포함하지는 않을 수 있다.

[0068] 동작(610)에서, 사용자(12-1, 12-2, ..., 12-N)에 대한 주어진 전력 배분 및 UAV(10)의 주어진 궤적이 수신된다.

[0069] 동작(620)에서, 사용자(12-1, 12-2, ..., 12-N)에 대한 최적화된 시간 슬롯 할당이 판정된다. 이 판정은 동작(610)에서 수신된 주어진 전력 배분 및 주어진 궤적이 동작(310)에서와 같이 상수로 주어져서 행해질 수 있다. 예를 들어, 동작(620)은 시간 슬롯 할당을 판정하는 것에 동작(320), 동작(330) 및 동작(340)에서와 같이 헝가리안 알고리즘을 적용하는 것을 포함할 수 있다.

[0070] 동작(630)에서, 사용자(12-1, 12-2, ..., 12-N)에 대한 최적화된 전력 배분이 판정된다. 이 판정은 동작(620)에서 판정된 시간 슬롯 할당 및 동작(610)에서 수신된 주어진 궤적이 동작(410)에서와 같이 상수로 주어져서 행해질 수 있다. 예를 들어, 동작(630)은 전력 배분을 판정하는 것에 동작(420), 동작(430) 및 동작(440)에서와 같이 딩켈바흐 알고리즘을 적용하는 것을 포함할 수 있다.

[0071] 동작(640)에서, UAV(10)의 최적화된 궤적이 판정된다. 이 판정은 동작(620)에서 판정된 시간 슬롯 할당 및 동작(630)에서 판정된 전력 배분이 동작(510)에서와 같이 상수로 주어져서 행해질 수 있다. 예를 들어, 동작(640)은 궤적을 판정하는 것에 동작(520)에서와 같이 1차 테일러 전개 기반의 근사화를 적용하는 것을 포함할 수 있다.

[0072] 동작(650)에서, 수렴 조건이 충족되는지 판정된다. 예를 들어, 동작(620)에서 판정된 시간 슬롯 할당, 동작(630)에서 판정된 전력 배분 및 동작(640)에서 판정된 궤적에 따라 에너지 효율 값이 계산될 수 있고, 수렴 조건은 계산된 에너지 효율 값이 (가령, 이전에 설정되거나 계산된 에너지 효율 값보다 소정의 종결 기준 ε 이상으로) 증가하였는지 여부일 수 있다.

[0073] 만일 수렴 조건이 충족되지 않는 경우, 동작(620)이 반복되는데, 앞서 설명된 주어진 전력 배분 및 주어진 궤적 대신에 각각 동작(630)에서 판정된 전력 배분 및 동작(640)에서 판정된 궤적이 사용된다. 이후, 동작(630)에 이어서 동작(640)이 순차적으로 반복된다.

[0074] 만일 수렴 조건이 충족되는 경우, 동작(620)에서 최근에 판정된 시간 슬롯 할당은 사용자(12-1, 12-2, ..., 12-N)에 대한 최종적인 최적화된 시간 슬롯 할당으로서 제공되고, 동작(630)에서 최근에 판정된 전력 배분은 사용자(12-1, 12-2, ..., 12-N)에 대한 최종적인 최적화된 전력 배분으로서 제공되고, 동작(640)에서 최근에 판정된 궤적은 UAV(10)의 최종적인 최적화된 궤적으로서 제공된다.

[0075] 성능 평가

[0076] 이제, 예시적인 프로세스(600)(이하에서 "순차적 최적화 방안"으로 칭해질 수 있음)의 성능을 평가하기 위한 시뮬레이션의 결과가 논의된다. 이 시뮬레이션에서, 순차적 최적화 방안은 (i) 순차적 최적화 방안에서 전술된 바와 같이 시간 슬롯 할당을 판정하는 것 대신에 모든 사용자에게 고르게 시간 슬롯을 할당하는 방안(이하에서 "공정 시간 슬롯 할당 방안"으로 지칭될 수 있음), (ii) 순차적 최적화 방안에서 전술된 바와 같이 전력 배분을 판정하는 것 대신에 모든 사용자에게 최대 전력을 배분하는 방안(이하에서 "최대 전력 방안"으로 지칭될 수 있음), (iii) 순차적 최적화 방안에서 전술된 바와 같이 궤적을 판정하는 것 대신에 UAV의 궤적을 원형으로 하는 방안(이하에서 "원형 궤적 방안"으로 지칭될 수 있음), (iv) 그리고 시간 슬롯 할당, 전력 배분 및 궤적 계획을 위해 공정 시간 슬롯 할당 방안, 최대 전력 방안 및 원형 궤적 방안이 결합된 방안(이하에서 "결합 방안"으로 지칭될 수 있음)과 비교된다. 표 1은 시뮬레이션에서 사용된 몇몇 네트워크 파라미터를 보여준다.

표 1

[0077]

셀 반경	250 m
사이클 지속기간 (T)	100 s
기준 채널 전력 이득 (ρ_0)	10^{-6}
UAV의 높이 (H)	50 m
UAV의 속력 (v)	50 m/s
동작 주파수	1.9 GHz
사용자의 최대 송신 전력	23 dBm

열적 잡음의 전력 스펙트럼 밀도	-174 dBm
대역폭	180 kHz
종결 기준 ε	0.0001

[0078] 도 7은 전술된 5개의 방안마다 회차의 수(number of iterations) 대 최대 에너지 효율을 보여준다. 도시된 바와 같이, 순차적 최적화 방안은 가장 큰 에너지 효율 값을 제공하는데, 이는 가장 빨리 2.7 bits/s/Hz로 수렴한다. 반면에, 공정 시간 슬롯 할당 방안 및 원형 궤적 방안은 각각 최대 2.5 bits/s/Hz의 에너지 효율 값 및 최대 1.7 bits/s/Hz의 에너지 효율 값을 제공한다. 원형 궤적 방안의 최대 에너지 효율 값이 순차적 최적화 방안보다 크게 떨어지는 것은 원형 궤적 방안이 사용자에 대한 시간 슬롯 할당을 고려하지 않고 궤적을 최적화한다는 점에 기인한다고 볼 수 있다. 도 8은 사용자의 위치와 함께, 최적화된 UAV 궤적 및 원형의 UAV 궤적을 보여준다. 도 8에서 볼 수 있듯이, 원형 궤적과 달리, 최적화된 UAV 궤적은 사용자의 위치로의 직선 형태의 비행을 나타낼 수 있고, 이는 사용자에 대한 시간 슬롯 할당을 따르는 경향을 보일 수 있다. 나아가, 최대 전력 배분 방안 및 결합 방안은 전력 소모량이 너무 커서 비효율적이고, 결국 도 7에 묘사된 바와 같이 극도로 낮은 에너지 효율 값을 산출한다.

[0079] 추가 예

[0080] 다음은 UAV 네트워크에서의 에너지 효율 최대화에 관련된 다양한 예이다.

[0081] 예 1에서, 무인 비행체(Unmanned Aerial Vehicle: UAV) 기반 네트워크에서의 에너지 효율 최대화를 위한 방법은, 총수 N의 사용자로부터 위 사용자를 서빙하는(serve) UAV로의 시간 사이클 상에서의 업링크 송신의 쓰루풋(throughput)을 최적화하는 단계를 포함하되, 위 최적화는 위 사용자에 대한 시간 슬롯 할당, 위 사용자에 대한 전력 배분 및 위 UAV의 궤적을 순차적으로 판정하는 것을 포함한다.

[0082] 예 2는 예 1의 주제를 포함하는데, 위 사용자 각각은 단일 입력 단일 출력(Single-Input, Single-Output: SISO) 방식으로 위 UAV와 통신한다.

[0083] 예 3은 예 1 또는 예 2의 주제를 포함하는데, 위 시간 사이클은 총수 L의 시간 슬롯을 갖고, 위 시간 슬롯 할당은 위 시간 슬롯 각각이 위 사용자 중의 단일 사용자에게 할당될 것이도록 판정되고, 위 총수 N은 위 총수 L 이하이다.

[0084] 예 4는 예 1 내지 예 3 중 임의의 것의 주제를 포함하는데, 위 순차적 판정은 위 시간 슬롯 할당을 판정하는 것에 이어서, 위 전력 배분을 판정하는 것에 이어서, 위 궤적을 판정하는 것을 포함한다.

[0085] 예 5는 예 1 내지 예 4 중 임의의 것의 주제를 포함하는데, 위 시간 슬롯 할당을 판정하는 것은, 위 전력 배분 및 위 궤적이 상수로 주어지되, 위 사용자 각각에 위 시간 사이클 내의 시간 슬롯 중 하나 이상을 할당하는 제1 하위문제(sub-problem)에 대한 최적 해를 계산하는 것을 포함한다.

[0086] 예 6은 예 5의 주제를 포함하는데, 위 최적 해는 위 시간 사이클 상에서의 위 사용자의 송신 레이트의 합의 최대 값을 달성하기 위해 위 제1 하위문제에 헝가리안 알고리즘(Hungarian algorithm)을 적용함으로써 계산되고, 위 헝가리안 알고리즘을 적용하는 것은 복수의 달성가능 송신 레이트를 포함한 비용 행렬을 처리하는 것을 포함하고, 위 복수의 달성가능 송신 레이트 각각은 위 사용자 중의 대응하는 사용자 및 위 시간 슬롯 중의 대응하는 시간 슬롯에 대해 주어진다.

[0087] 예 7은 예 1 내지 예 6 중 임의의 것의 주제를 포함하는데, 위 전력 배분을 판정하는 것은, 위 시간 슬롯 할당 및 위 궤적이 상수로 주어지되, 위 사용자에게 위 시간 사이클 상에서의 송신 전력의 각자의 양을 할당하는 제2 하위문제에 대한 최적 해를 계산하는 것을 포함한다.

[0088] 예 8은 예 7의 주제를 포함하는데, 위 최적 해는 위 시간 사이클 상에서의 위 사용자의 송신 레이트의 합 대 위 각자의 양의 합의 비율의 최대 값을 달성하기 위해 위 제2 하위문제의 동등한 감산 형태(equivalent subtractive form)에 딩켈바흐 알고리즘(Dinkelbach algorithm)을 적용함으로써 계산되고, 위 딩켈바흐 알고리즘을 적용하는 것은 위 감산 형태에 도입된 파라미터를 반복적으로 갱신하는 것을 포함한다.

[0089] 예 9는 예 1 내지 예 8 중 임의의 것의 주제를 포함하는데, 위 궤적을 판정하는 것은, 위 시간 슬롯 할당 및 위 전력 배분이 상수로 주어지되, 위 시간 사이클 상에서의 위 UAV를 위한 궤적 계획의 제3 하위문제에 대한 최적 해를 계산하는 것을 포함한다.

[0090] 예 10은 예 9의 주제를 포함하는데, 위 최적 해는 위 시간 사이클 상에서의 위 사용자의 송신 레이트의 하한의 합의 최대 값을 달성하기 위해 위 제3 하위문제에 대한 테일러 전개(Taylor expansion) 기반 근사 해를 구함으로써 계산되고, 위 하한 각각은 위 송신 레이트 중 대응하는 것의 테일러 다항식, 예컨대 1차 테일러 다항식을 나타낸다.

[0091] 예 11은 예 1 내지 예 4 중 임의의 것의 주제를 포함하는데, 위 시간 슬롯 할당, 위 전력 배분 및 위 궤적 중 임의의 것은 위 시간 슬롯 할당, 위 전력 배분 및 위 궤적 중 임의의 다른 것이 상수로 주어져서 판정된다.

[0092] 예 12는 예 1 내지 예 4 및 예 11 중 임의의 것의 주제를 포함하는데, 위 순차적 판정은, 위 시간 슬롯 할당을 판정하는 것에 헝가리안 알고리즘(Hungarian algorithm)을 적용하는 것과, 위 전력 배분을 판정하는 것에 딩켈바흐 알고리즘(Dinkelbach algorithm)을 적용하는 것과, 위 궤적을 판정하는 것에 테일러 전개(Taylor expansion) 기반 근사화를 적용하는 것 중 적어도 하나를 포함한다.

[0093] 예 13은 예 1 내지 예 12 중 임의의 것의 주제를 포함하는데, 위 순차적 판정은, 위 사용자에 대한 주어진 전력 배분 및 위 UAV의 주어진 궤적에 기반하여 위 시간 슬롯 할당을 판정하는 것과, 위 판정된 시간 슬롯 할당 및 위 주어진 궤적에 기반하여 위 전력 배분을 판정하는 것과, 위 판정된 시간 슬롯 할당 및 위 판정된 전력 배분에 기반하여 위 궤적을 판정하는 것을 포함한다.

[0094] 예 14는 예 13의 주제를 포함하는데, 위 방법은 위 판정된 전력 배분 및 위 판정된 궤적을 각각 위 주어진 전력 배분 및 위 주어진 궤적 대신에 사용하여 위 순차적 판정을 반복하는 단계를 더 포함한다.

[0095] 예 15는 예 14의 주제를 포함하는데, 위 순차적 판정은 수렴 조건이 충족될 때까지 반복된다.

[0096] 예 16에서, 컴퓨터 프로세서에 의해 실행되는 경우 위 컴퓨터 프로세서로 하여금 예 1 내지 예 15 중 임의의 것에 기재된 방법을 수행하게 하는 컴퓨터 실행가능 명령어가 저장된 컴퓨터 판독가능 저장 매체가 제공된다.

[0097] 예 17에서, 컴퓨팅 장치는, 프로세서와, 메모리를 포함하되, 위 메모리는 무인 비행체(Unmanned Aerial Vehicle: UAV) 기반 네트워크에서의 에너지 효율 최대화를 위해 위 프로세서에 의해 실행가능한 컴퓨터 프로그램 명령어의 세트로써 인코딩되되, 위 세트는, 총수 N의 사용자로부터 위 사용자를 서빙하는 UAV로의 시간 사이클 상에서의 업링크 송신의 쓰루풋을 최적화하는 명령어를 포함하되, 위 최적화는 위 사용자에 대한 시간 슬롯 할당, 위 사용자에 대한 전력 배분 및 위 UAV의 궤적을 순차적으로 판정하는 것을 포함한다.

[0098] 예 18은 예 17의 주제를 포함하는데, 위 사용자 각각은 단일 입력 단일 출력(Single-Input, Single-Output: SISO) 방식으로 위 UAV와 통신한다.

[0099] 예 19는 예 17 또는 예 18의 주제를 포함하는데, 위 시간 사이클은 총수 L의 시간 슬롯을 갖고, 위 시간 슬롯 할당은 위 시간 슬롯 각각이 위 사용자 중의 단일 사용자에게 할당될 것이도록 판정되고, 위 총수 N은 위 총수 L 이하이다.

[0100] 예 20은 예 17 내지 예 19 중 임의의 것의 주제를 포함하는데, 위 순차적 판정은 위 시간 슬롯 할당을 판정하는 것에 이어서, 위 전력 배분을 판정하는 것에 이어서, 위 궤적을 판정하는 것을 포함한다.

[0101] 예 21은 예 17 내지 예 20 중 임의의 것의 주제를 포함하는데, 위 시간 슬롯 할당을 판정하는 것은, 위 전력 배분 및 위 궤적이 상수로 주어지되, 위 사용자 각각에 위 시간 사이클 내의 시간 슬롯 중 하나 이상을 할당하는 제1 하위문제에 대한 최적 해를 계산하는 것을 포함한다.

[0102] 예 22는 예 21의 주제를 포함하는데, 위 최적 해는 위 시간 사이클 상에서의 위 사용자의 송신 레이트의 합의 최대 값을 달성하기 위해 위 제1 하위문제에 헝가리안 알고리즘(Hungarian algorithm)을 적용함으로써 계산되고, 위 헝가리안 알고리즘을 적용하는 것은 복수의 달성가능 송신 레이트를 포함한 비용 행렬을 처리하는 것을 포함하고, 위 복수의 달성가능 송신 레이트 각각은 위 사용자 중의 대응하는 사용자 및 위 시간 슬롯 중의 대응하는 시간 슬롯에 대해 주어진다.

[0103] 예 23은 예 17 내지 예 22 중 임의의 것의 주제를 포함하는데, 위 전력 배분을 판정하는 것은, 위 시간 슬롯 할당 및 위 궤적이 상수로 주어지되, 위 사용자에게 위 시간 사이클 상에서의 송신 전력의 각자의 양을 할당하는 제2 하위문제에 대한 최적 해를 계산하는 것을 포함한다.

[0104] 예 24는 예 23의 주제를 포함하는데, 위 최적 해는 위 시간 사이클 상에서의 위 사용자의 송신 레이트의 합 대 위 각자의 양의 합의 비율의 최대 값을 달성하기 위해 위 제2 하위문제의 동등한 감산 형태에 딩켈바흐 알고리즘(Dinkelbach algorithm)을 적용함으로써 계산되고, 위 딩켈바흐 알고리즘을 적용하는 것은 위 감산 형태에 도

입된 파라미터를 반복적으로 갱신하는 것을 포함한다.

[0105] 예 25는 예 16 내지 예 24 중 임의의 것의 주제를 포함하는데, 위 궤적을 판정하는 것은, 위 시간 슬롯 할당 및 위 전력 배분이 상수로 주어지되, 위 시간 사이클 상에서의 위 UAV를 위한 궤적 계획의 제3 하위문제에 대한 최적 해를 계산하는 것을 포함한다.

[0106] 예 26은 예 25의 주제를 포함하는데, 위 최적 해는 위 시간 사이클 상에서의 위 사용자의 송신 레이트의 하한의 합의 최대 값을 달성하기 위해 위 제3 하위문제에 대한 테일러 전개(Taylor expansion) 기반 근사 해를 구함으로써 계산되고, 위 하한 각각은 위 송신 레이트 중 대응하는 것의 테일러 다항식, 예컨대 1차 테일러 다항식을 나타낸다.

[0107] 예 27은 예 17 내지 예 20 중 임의의 것의 주제를 포함하는데, 위 시간 슬롯 할당, 위 전력 배분 및 위 궤적 중 임의의 것은 위 시간 슬롯 할당, 위 전력 배분 및 위 궤적 중 임의의 다른 것이 상수로 주어져서 판정된다.

[0108] 예 28은 예 17 내지 예 20 및 예 27 중 임의의 것의 주제를 포함하는데, 위 순차적 판정은, 위 시간 슬롯 할당을 판정하는 것에 헝가리안 알고리즘(Hungarian algorithm)을 적용하는 것과, 위 전력 배분을 판정하는 것에 딩켈바흐 알고리즘(Dinkelbach algorithm)을 적용하는 것과, 위 궤적을 판정하는 것에 테일러 전개(Taylor expansion) 기반 근사화를 적용하는 것 중 적어도 하나를 포함한다.

[0109] 예 29는 예 17 내지 예 28 중 임의의 것의 주제를 포함하는데, 위 순차적 판정은, 위 사용자에 대한 주어진 전력 배분 및 위 UAV의 주어진 궤적에 기반하여 위 시간 슬롯 할당을 판정하는 것과, 위 판정된 시간 슬롯 할당 및 위 주어진 궤적에 기반하여 위 전력 배분을 판정하는 것과, 위 판정된 시간 슬롯 할당 및 위 판정된 전력 배분에 기반하여 위 궤적을 판정하는 것을 포함한다.

[0110] 예 30은 예 29의 주제를 포함하는데, 위 세트는, 위 판정된 전력 배분 및 위 판정된 궤적을 각각 위 주어진 전력 배분 및 위 주어진 궤적 대신에 사용하여 위 순차적 판정을 반복하는 명령어를 더 포함한다.

[0111] 예 31은 예 30의 주제를 포함하는데, 위 순차적 판정은 수렴 조건이 충족될 때까지 반복된다.

[0112] 예 32에서, 예 17 내지 예 31 중 임의의 것에 기재된 컴퓨팅 장치를 포함하는 무인 비행체 베이스 스테이션(Unmanned Aerial Vehicle Base Station: UAV-BS)이 제공된다.

[0113] 특정한 예에서, 본 문서에서 언급된 장치, 디바이스, 시스템, 머신 등은 임의의 적합한 유형은 컴퓨팅 장치이거나, 이를 포함하거나, 이에 구현될 수 있다. 컴퓨팅 장치는 프로세서 및 프로세서에 의해 판독가능한 컴퓨터 판독가능 저장 매체를 포함할 수 있다. 프로세서는 컴퓨터 판독가능 저장 매체 내에 저장된 하나 이상의 명령어를 실행할 수 있다. 프로세서는 또한 컴퓨터 판독가능 저장 매체 내에 저장된 다른 정보를 판독할 수 있다. 추가로, 프로세서는 컴퓨터 판독가능 저장 매체 내에 새로운 정보를 저장할 수 있고 컴퓨터 판독가능 저장 매체 내에 저장된 어떤 정보를 갱신할 수 있다. 프로세서는, 예컨대, 중앙 처리 유닛(Central Processing Unit: CPU), 디지털 신호 프로세서(Digital Signal Processor: DSP), 그래픽 처리 유닛(Graphics Processing Unit: GPU), 프로세서 코어(processor core), 마이크로프로세서(microprocessor), 마이크로제어기(microcontroller), 필드 프로그램가능 게이트 어레이(Field-Programmable Gate Array: FPGA), 애플리케이션 특정 집적 회로(Application Specific Integrated Circuit: ASIC), 다른 하드웨어 및 로직 회로, 또는 이의 임의의 적합한 조합을 포함할 수 있다. 컴퓨터 판독가능 저장 매체는 다양한 정보, 예컨대, 프로세서에 의해 수행될 수 있는 프로세서 실행가능(processor executable) 명령어의 세트 및/또는 다른 정보로써 인코딩된다. 예를 들어, 컴퓨터 판독가능 저장 매체는 프로세서에 의해 실행되는 경우 컴퓨팅 장치(가령, 프로세서)로 하여금 본 문서에 개시된 몇몇 동작을 수행하게 하는 컴퓨터 프로그램 명령어 및/또는 그러한 동작에서 사용되는 정보, 데이터, 변수, 상수, 데이터 구조, 기타 등등이 내부에 저장될 수 있다. 컴퓨터 판독가능 저장 매체는, 예컨대, 판독 전용 메모리(Read-Only Memory: ROM), 랜덤 액세스 메모리(Random-Access Memory: RAM), 휘발성(volatile) 메모리, 비휘발성(non-volatile) 메모리, 착탈가능(removable) 메모리, 비착탈가능(non-removable) 메모리, 플래시(flash) 메모리, 솔리드 스테이트(solid-state) 메모리, 다른 타입의 메모리 디바이스, 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체, CD-ROM, DVD와 같은 광 기록 매체, 플롭티컬 디스크와 같은 자기-광 매체, 다른 타입의 저장 디바이스 및 저장 매체, 또는 이의 임의의 적합한 조합을 포함할 수 있다.

[0114] 특정한 예에서, 본 문서에 기술된 동작, 기법, 프로세스, 또는 이의 어떤 양상이나 부분은 컴퓨터 프로그램 제품 내에 구체화될 수 있다. 그러한 컴퓨터 프로그램은 컴퓨터에 의해 실행될 수 있는 어떤 유형의 (가령, 컴파일형(compiled) 또는 해석형(interpreted)) 프로그래밍 언어, 예컨대, 어셈블리(assembly), 기계어(machine language), 프로시저형(procedural) 언어, 객체지향(object-oriented) 언어 등등으로 구현될 수 있고, 하드웨

어 구현과 조합될 수 있다. 컴퓨터 프로그램 제품은 컴퓨터 판독가능 저장 매체의 형태로 배포될 수 있거나 온라인으로 배포될 수 있다. 온라인 배포를 위해, 컴퓨터 프로그램 제품의 일부 또는 전부가 서버(가령, 서버의 컴퓨터 판독가능 저장 매체) 내에 일시적으로 저장되거나 일시적으로 생성될 수 있다.

[0115] 이상의 설명은 상세하게 몇몇 예를 예시하고 기술하기 위해 제시되었다. 본 개시의 범주에서 벗어나지 않고서 위의 교시에 비추어 많은 수정 및 변형이 가능함을 당업자는 응당 이해할 것이다. 다양한 예에서, 전술된 기법이 상이한 순서로 수행되고/거나, 전술된 시스템, 아키텍처, 디바이스, 회로 및 유사한 것의 컴포넌트 중 일부가 상이한 방식으로 결합 또는 조합되거나, 다른 컴포넌트 또는 이의 균등물에 의해 대치 또는 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다.

[0116] 그러므로, 본 개시의 범주는 개시된 그 형태에 한정되어서는 안 되며, 후술하는 청구항 및 이의 균등물에 의해 정해져야 한다.

부호의 설명

[0117] 10: 무인 비행체

12-1, 12-2, ..., 12-N: 사용자

15: 무인 비행체 기반 네트워크

100: 네트워크 제어 시스템

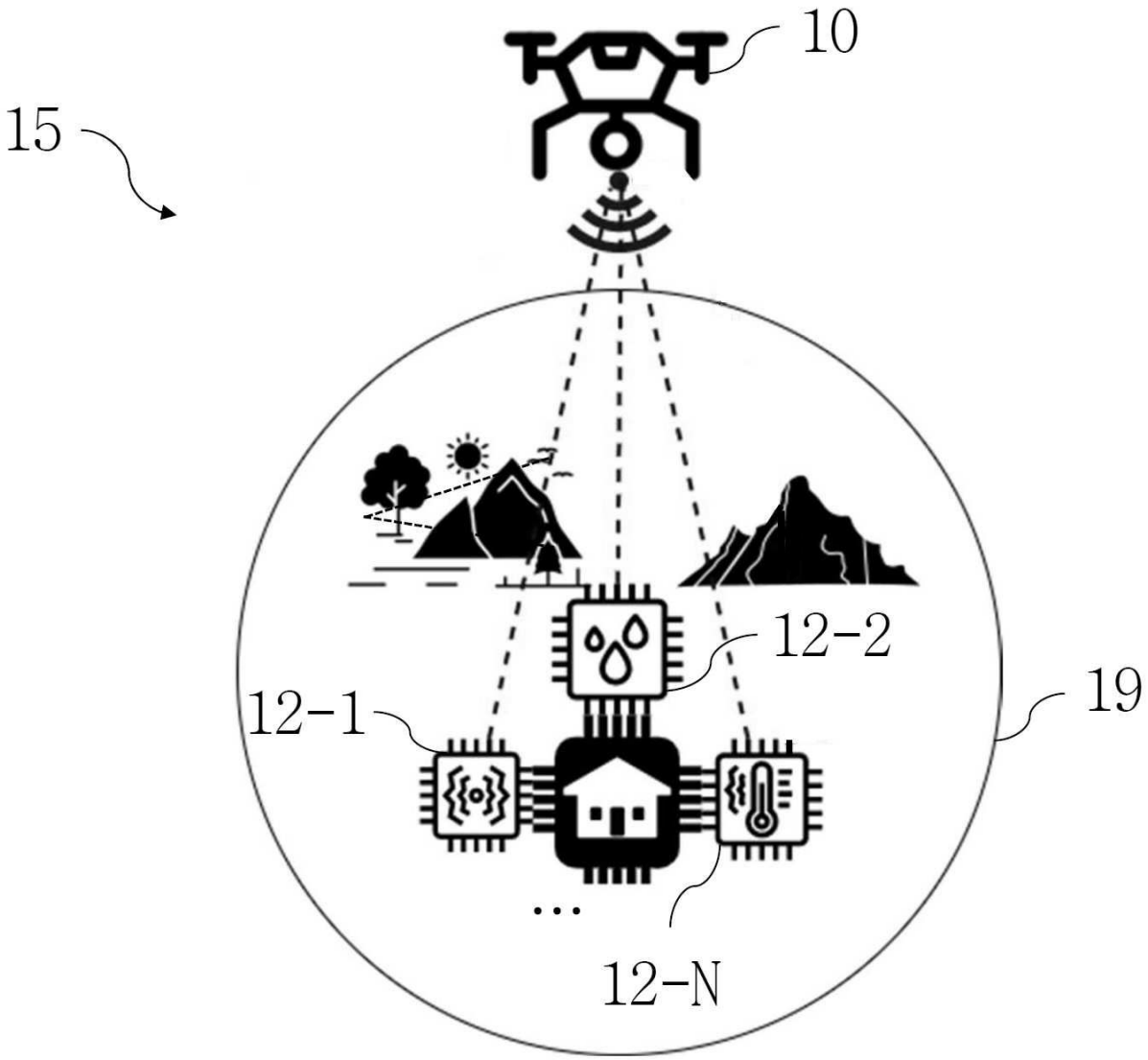
110: 통신 유닛

130: 저장 유닛

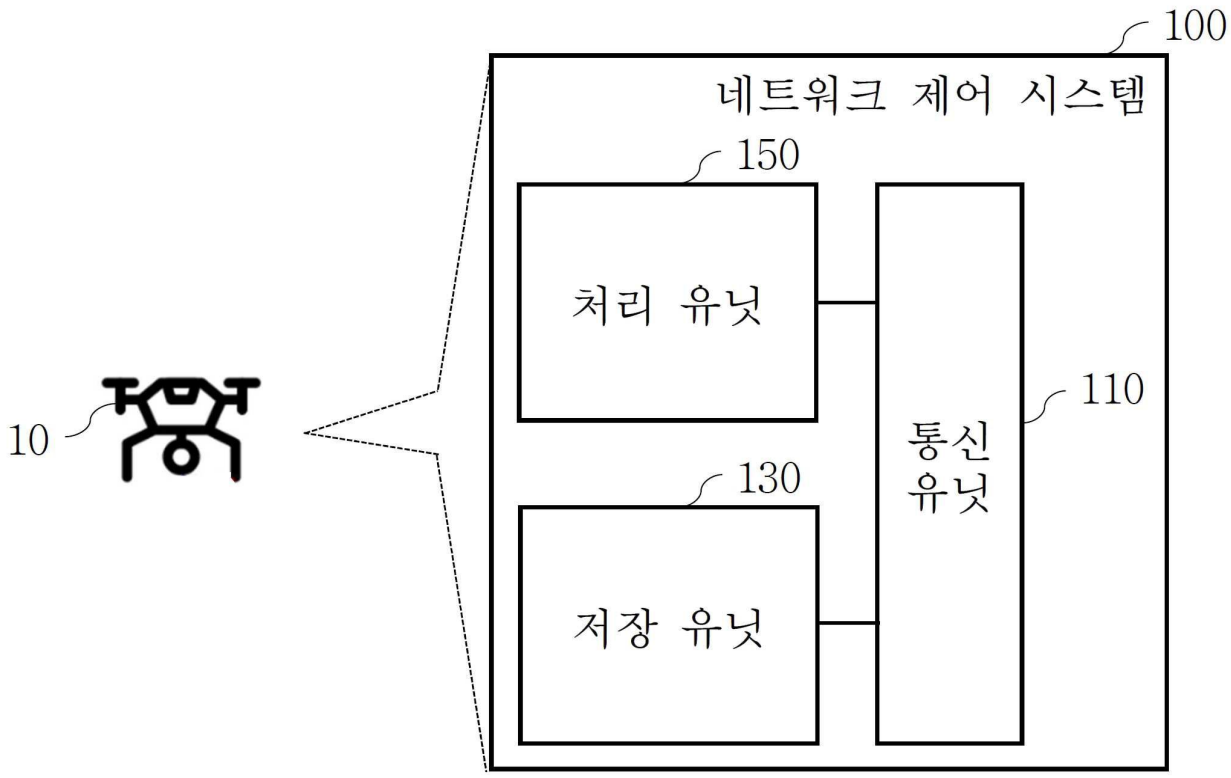
150: 처리 유닛

도면

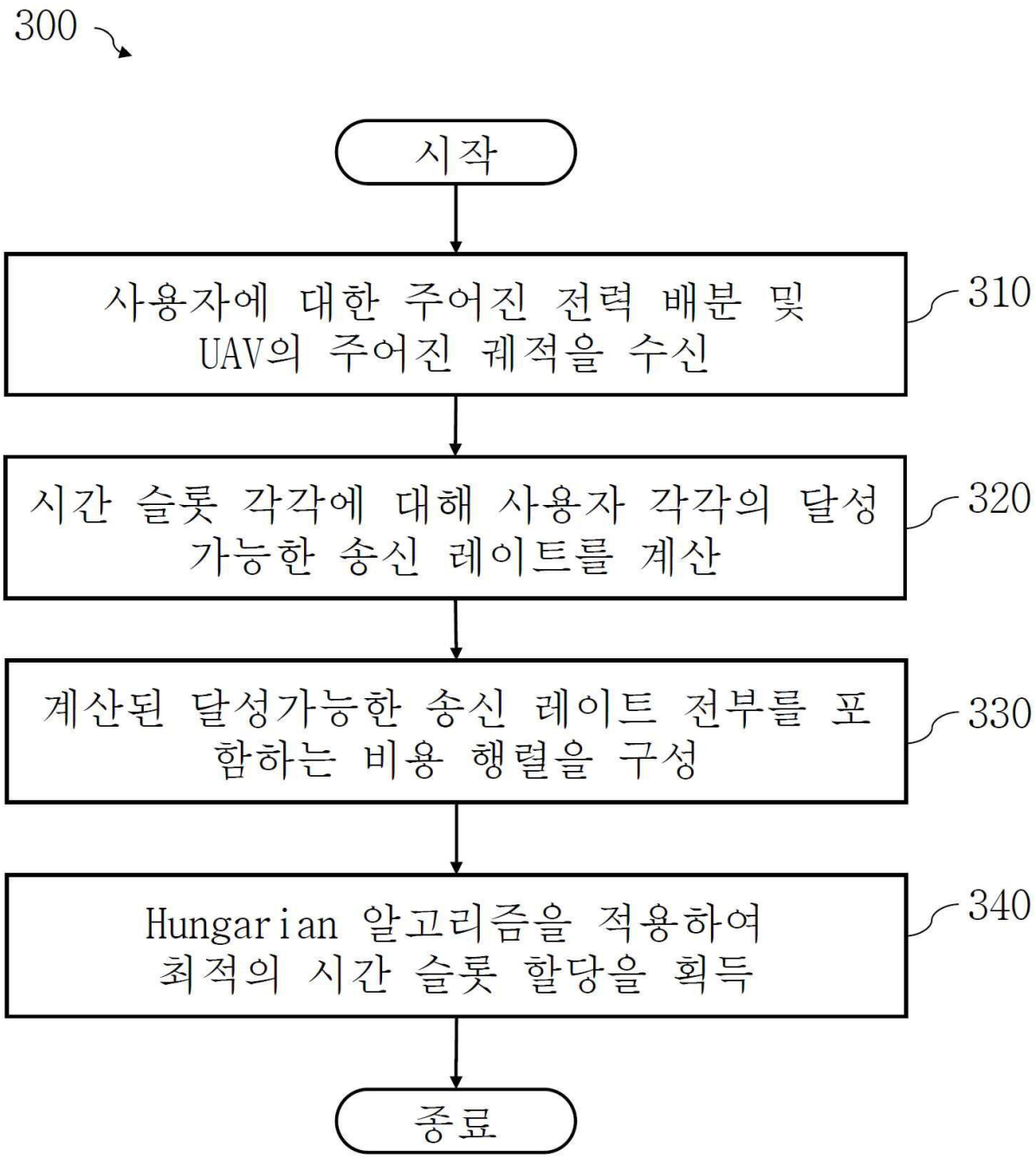
도면1



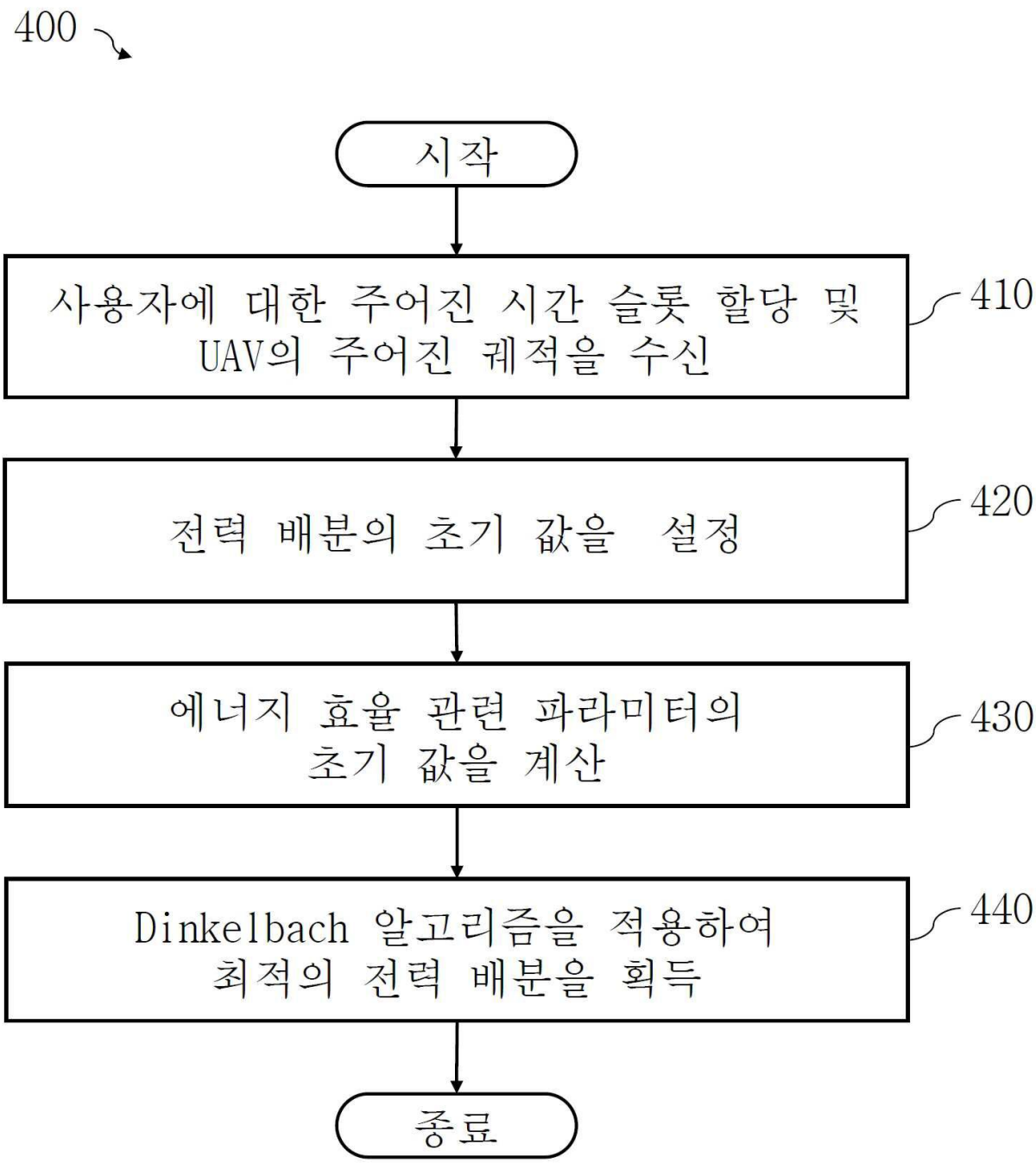
도면2



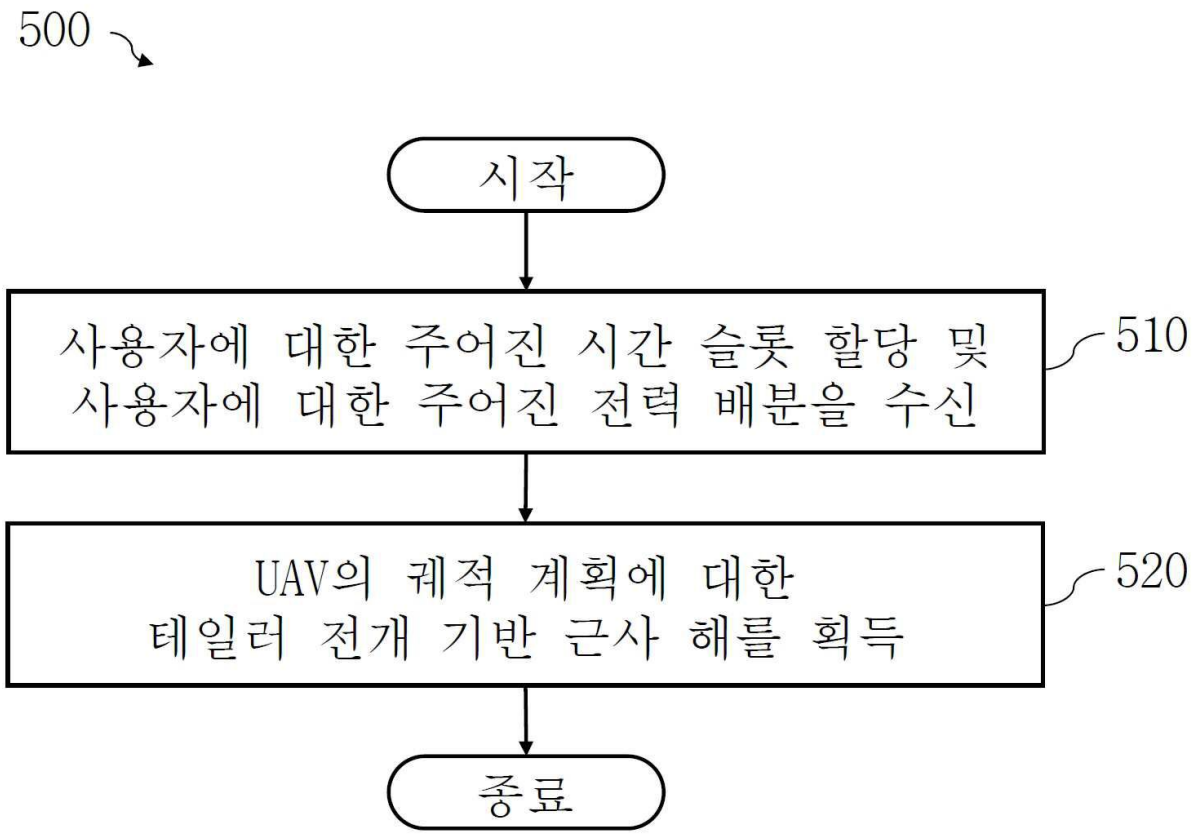
도면3


300
시작
사용자에 대한 주어진 전력 배분 및 UAV의 주어진 궤적을 수신
310
시간 슬롯 각각에 대해 사용자 각각의 달성 가능한 송신 레이트를 계산
320
계산된 달성가능한 송신 레이트 전부를 포함하는 비용 행렬을 구성
330
Hungarian 알고리즘을 적용하여 최적의 시간 슬롯 할당을 획득
340
종료

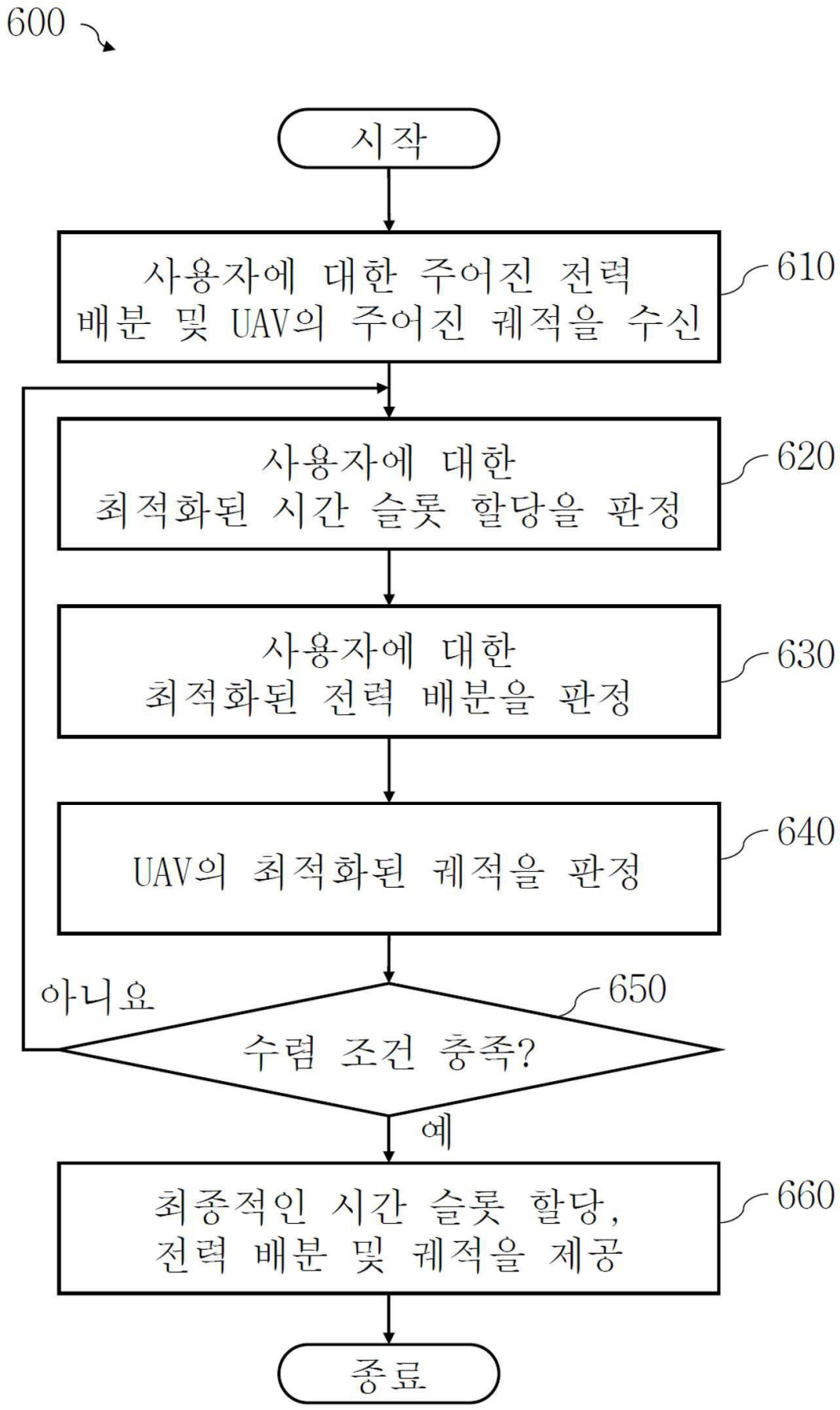
도면4


400
시작
사용자에 대한 주어진 시간 슬롯 할당 및 UAV의 주어진 궤적을 수신
410
전력 배분의 초기 값을 설정
420
에너지 효율 관련 파라미터의 초기 값을 계산
430
Dinkelbach 알고리즘을 적용하여 최적의 전력 배분을 획득
440
종료

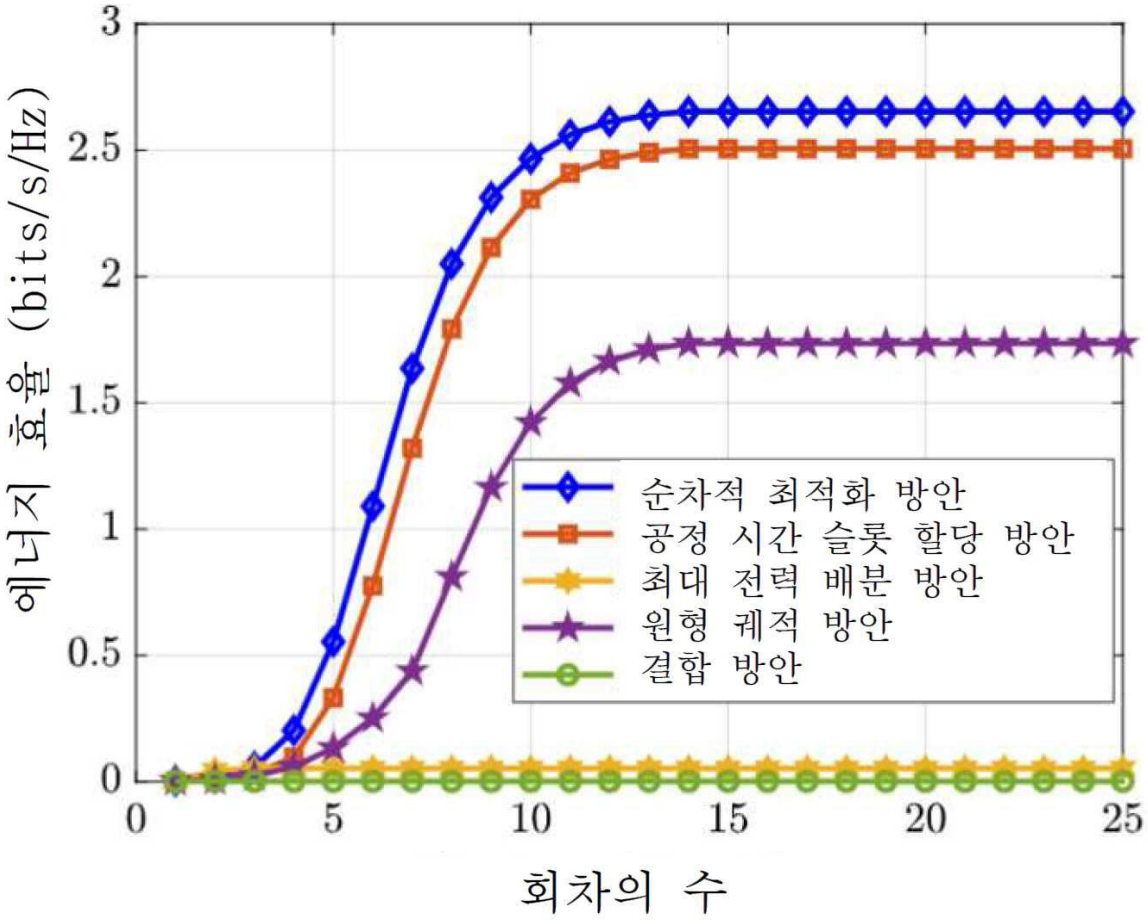
도면5


500
시작
사용자에 대한 주어진 시간 슬롯 할당 및
사용자에 대한 주어진 전력 배분을 수신
510
UAV의 궤적 계획에 대한
테일러 전개 기반 근사 해를 획득
520
종료

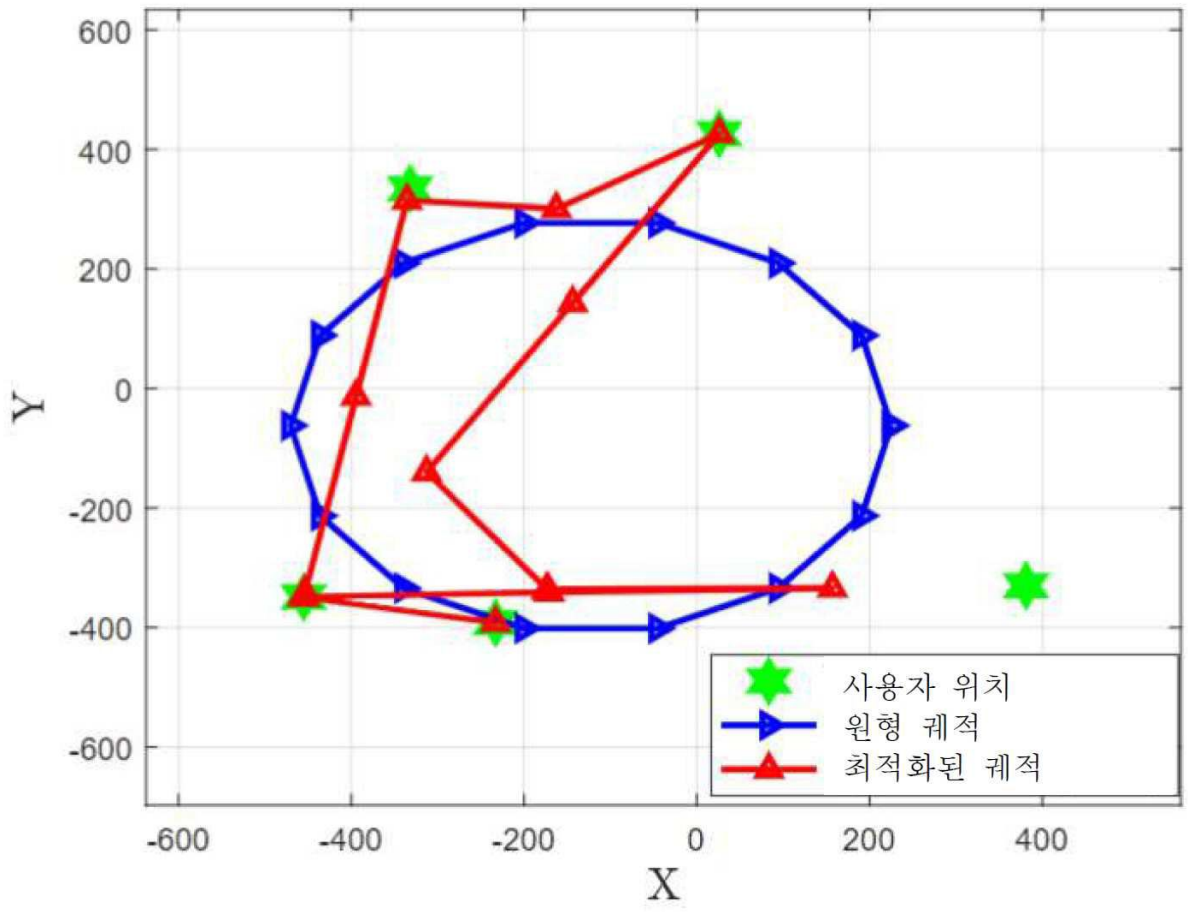
도면6


600
시작
사용자에 대한 주어진 전력 배분 및 UAV의 주어진 궤적을 수신
610
사용자에 대한 최적화된 시간 슬롯 할당을 판정
620
사용자에 대한 최적화된 전력 배분을 판정
630
UAV의 최적화된 궤적을 판정
640
아니요
650
수렴 조건 충족?
예
최종적인 시간 슬롯 할당, 전력 배분 및 궤적을 제공
660
종료

도면7


에너지 효율 (bits/s/Hz)
회차의 수
순차적 최적화 방안
공정 시간 슬롯 할당 방안
최대 전력 배분 방안
원형 궤적 방안
결합 방안
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
0
5
10
15
20
25

도면8


600
400
200
0
-200
-400
-600
Y
-600
-400
-200
0
200
400
X
사용자 위치
원형 궤적
최적화된 궤적