



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0094893
(43) 공개일자 2023년06월28일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B64C 39/02 (2023.01) B64D 47/00 (2006.01)
G06F 9/48 (2018.01) G06F 9/50 (2018.01)
H04L 67/59 (2022.01)
(52) CPC특허분류
B64C 39/024 (2023.01)
B64D 47/00 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2021-0184388
(22) 출원일자 2021년12월21일
심사청구일자 2021년12월21일

(71) 출원인
경희대학교 산학협력단
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 (서천동, 경희대학교 국제캠퍼스내)
(72) 발명자
홍충선
경기도 용인시 수지구 상현로 30-10, 233동 101호 (상현동, 상현마을성원상떼빌아파트)
안 켜 툰
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 경희대학교 국제캠퍼스 전자정보대학 352호
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
두호특허법인

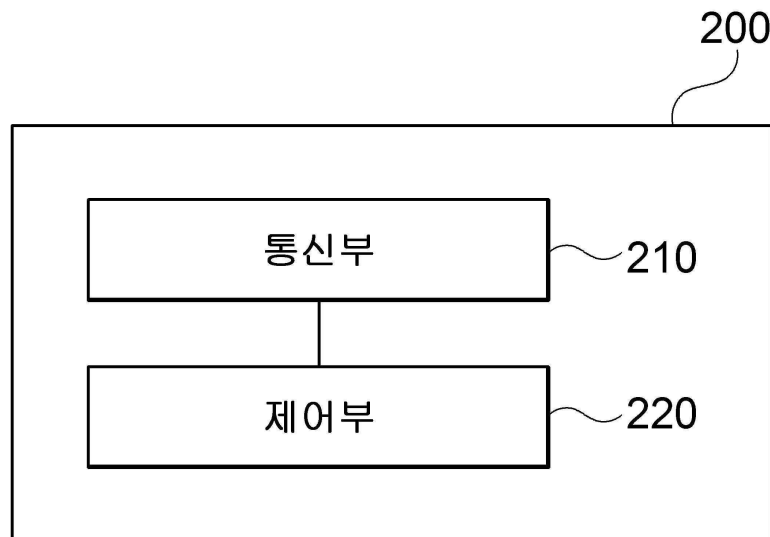
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 태스크 오프로딩을 지원하는 무인 항공기 및 방법

(57) 요약

태스크 오프로딩을 지원하는 무인 항공기 및 방법이 개시된다. 일 실시예에 따른 태스크 오프로딩(task offloading)을 지원하는 무인 항공기는 사용자 단말, 하나 이상의 다른 무인 항공기 및 기지국 중 적어도 하나와 통신을 수행하는 통신부; 통신부와 연결된 제어부를 포함하며, 제어부는 통신부를 통하여 사용자 단말로부터 태스크를 수신하며, 무인 항공기의 컴퓨팅 용량, 하나 이상의 다른 무인 항공기의 컴퓨팅 용량, 하나 이상의 다른 무인 항공기 간 데이터 전송 속도, 기지국의 컴퓨팅 용량 및 기지국 간 데이터 전송 속도 중 적어도 하나에 기초하여 수행할 태스크의 일부 또는 전부를 태스크 오프로딩할지 여부를 결정할 수 있다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

G06F 9/4837 (2013.01)
G06F 9/4862 (2013.01)
G06F 9/4893 (2013.01)
G06F 9/5044 (2013.01)
H04L 67/59 (2022.05)

박성배

경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 전자정보대학
323-1호

(72) 발명자

박유민

경기도 수원시 영통구 인계로 284, 401호 (매탄동,
매탄엠플타워)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711126373
과제번호	2019-0-01287-003
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	정보통신기획평가원
연구사업명	SW컴퓨팅산업원천기술개발(R&D, 정보화)
연구과제명	(SW 스타랩) 분산 엣지를 위한 진화형 딥러닝 모델생성 플랫폼
기 여 율	30/100
과제수행기관명	경희대학교 산학협력단
연구기간	2021.01.01 ~ 2021.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711135177
과제번호	2020R1A4A1018607
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	집단연구지원(R&D)
연구과제명	Meta Federated Learning기반 이동엣지 컴퓨팅시스템 핵심구조 개발
기 여 율	40/100
과제수행기관명	경희대학교(국제캠퍼스)
연구기간	2021.06.01 ~ 2022.02.28

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711139517
과제번호	2021-0-02068-001
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	정보통신기획평가원
연구사업명	정보통신방송혁신인재양성(R&D)
연구과제명	인공지능 혁신 허브 연구 개발
기 여 율	30/100
과제수행기관명	고려대학교산학협력단
연구기간	2021.07.01 ~ 2021.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

태스크 오프로딩(task offloading)을 지원하는 무인 항공기에 있어서,
 사용자 단말, 하나 이상의 다른 무인 항공기 및 기지국 중 적어도 하나와 통신을 수행하는 통신부;
 상기 통신부와 연결된 제어부를 포함하며,
 상기 제어부는
 상기 통신부를 통하여 사용자 단말로부터 태스크를 수신하며,
 무인 항공기의 컴퓨팅 용량, 상기 하나 이상의 다른 무인 항공기의 컴퓨팅 용량, 상기 하나 이상의 다른 무인 항공기 간 데이터 전송 속도, 상기 기지국의 컴퓨팅 용량 및 상기 기지국 간 데이터 전송 속도 중 적어도 하나에 기초하여 상기 태스크의 일부 또는 전부를 태스크 오프로딩할지 여부를 결정하는, 태스크 오프로딩을 지원하는 무인 항공기.

청구항 2

제 1 항에 있어서,
 상기 제어부는
 상기 무인 항공기의 태스크 컴퓨팅 용량이 상기 태스크를 최대 수행 시간 내 처리할 수 있는 용량보다 큰 경우, 태스크 오프로딩을 수행하지 않도록 결정하는, 태스크 오프로딩을 지원하는 무인 항공기.

청구항 3

제 2 항에 있어서,
 상기 제어부는
 상기 무인 항공기의 태스크 컴퓨팅 용량이 상기 태스크를 최대 수행 시간 내 처리할 수 있는 용량보다 큰 경우,
 상기 하나 이상의 다른 무인 항공기의 컴퓨팅 용량, 상기 하나 이상의 다른 무인 항공기 간 데이터 전송 속도, 상기 기지국의 컴퓨팅 용량 및 상기 기지국 간 데이터 전송 속도 중 적어도 하나에 기초하여 상기 하나 이상의 다른 무인 항공기 및 상기 기지국 각각에 대한 태스크 오프로딩 수행 시간을 계산하며, 상기 태스크 오프로딩 수행 시간에 기초하여 상기 하나 이상의 다른 무인 항공기 및 상기 기지국 중 태스크 오프로딩을 수행할 적어도 하나를 결정하는, 태스크 오프로딩을 지원하는 무인 항공기.

청구항 4

제 1 항에 있어서,
 상기 제어부는
 상기 태스크를 수행하기 위한 소비 에너지에 더 기초하여 상기 태스크의 일부 또는 전부를 태스크 오프로딩할지 여부를 결정하는, 태스크 오프로딩을 지원하는 무인 항공기.

청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 제어부는

상기 소비 에너지가 소정 소비량 이상인 경우 태스크 오프로딩을 수행하는, 태스크 오프로딩을 지원하는 무인 항공기.

청구항 6

무인 항공기에서 태스크 오프로딩(task offloading)을 지원하는 방법에 있어서,

사용자 단말로부터 태스크를 수신하는 단계; 및

무인 항공기의 컴퓨팅 용량, 하나 이상의 다른 무인 항공기의 컴퓨팅 용량, 상기 하나 이상의 다른 무인 항공기 간 데이터 전송 속도, 기지국의 컴퓨팅 용량 및 상기 기지국 간 데이터 전송 속도 중 적어도 하나에 기초하여 상기 태스크의 일부 또는 전부를 태스크 오프로딩할지 여부를 결정하는 단계를 포함하는, 태스크 오프로딩을 지원하는 방법.

청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 결정하는 단계는

상기 무인 항공기의 태스크 컴퓨팅 용량이 상기 태스크를 최대 수행 시간 내 처리할 수 있는 용량보다 큰 경우, 태스크 오프로딩을 수행하지 않도록 결정하는, 태스크 오프로딩을 지원하는 방법.

청구항 8

제 7 항에 있어서,

상기 결정하는 단계는

상기 무인 항공기의 태스크 컴퓨팅 용량이 상기 태스크를 최대 수행 시간 내 처리할 수 있는 용량보다 큰 경우, 상기 하나 이상의 다른 무인 항공기의 컴퓨팅 용량, 상기 하나 이상의 다른 무인 항공기 간 데이터 전송 속도, 상기 기지국의 컴퓨팅 용량 및 상기 기지국 간 데이터 전송 속도 중 적어도 하나에 기초하여 상기 하나 이상의 다른 무인 항공기 및 상기 기지국 각각에 대한 태스크 오프로딩 수행 시간을 계산하며, 상기 태스크 오프로딩 수행 시간에 기초하여 상기 하나 이상의 다른 무인 항공기 및 상기 기지국 중 태스크 오프로딩을 수행할 적어도 하나를 결정하는, 태스크 오프로딩을 지원하는 방법.

청구항 9

제 6 항에 있어서,

상기 결정하는 단계는

상기 태스크를 수행하기 위한 소비 에너지에 더 기초하여 상기 태스크의 일부 또는 전부를 태스크 오프로딩할지 여부를 결정하는, 태스크 오프로딩을 지원하는 방법.

청구항 10

제 9 항에 있어서,

상기 결정하는 단계는

상기 소비 에너지가 소정 소비량 이상인 경우 태스크 오프로딩을 수행하는, 태스크 오프로딩을 지원하는 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 무인 항공기를 통한 태스크 오프로딩 기술에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] Mobile Edge Computing(MEC)은 무선 기지국에 분산 클라우드 컴퓨팅 기술을 적용하여 다양한 서비스와 캐싱 콘텐츠를 이용자 단말에 가까이 전개함으로써 모바일 코어망의 혼잡을 완화하고, 새로운 로컬 서비스를 창출하는 기술이다.

[0003] MEC는 사용자의 근처에서 컴퓨팅 및 저장공간을 제공하며, MEC 서버는 클라우드 서버보다 모바일 기기에 가깝게 위치하므로 전송 지연시간을 크게 줄일 수 있다. 또한, 무인 항공기와 모바일 기기 사용자들 사이의 대역폭 자원은 한계가 있는 바, 지연 시간을 최소화하고 유틸리티를 극대화하기 위한 효율적인 태스크 오프로딩 방법이 연구되고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 태스크 오프로딩을 지원하는 무인 항공기 및 방법을 제공하는데 목적이 있다.

과제의 해결 수단

[0005] 일 양상에 따르면, 태스크 오프로딩(task offloading)을 지원하는 무인 항공기는 사용자 단말, 하나 이상의 다른 무인 항공기 및 기지국 중 적어도 하나와 통신을 수행하는 통신부; 통신부와 연결된 제어부를 포함하며, 제어부는 통신부를 통하여 사용자 단말로부터 태스크를 수신하며, 무인 항공기의 컴퓨팅 용량, 하나 이상의 다른 무인 항공기의 컴퓨팅 용량, 하나 이상의 다른 무인 항공기 간 데이터 전송 속도, 기지국의 컴퓨팅 용량 및 기지국 간 데이터 전송 속도 중 적어도 하나에 기초하여 수행할 태스크의 일부 또는 전부를 태스크 오프로딩할지 여부를 결정할 수 있다.

[0006] 제어부는 무인 항공기의 태스크 컴퓨팅 용량이 태스크를 최대 수행 시간 내 처리할 수 있는 용량보다 큰 경우, 태스크 오프로딩을 수행하지 않도록 결정할 수 있다.

[0007] 제어부는 무인 항공기의 태스크 컴퓨팅 용량이 태스크를 최대 수행 시간 내 처리할 수 있는 용량보다 큰 경우, 하나 이상의 다른 무인 항공기의 컴퓨팅 용량, 하나 이상의 다른 무인 항공기 간 데이터 전송 속도, 기지국의 컴퓨팅 용량 및 기지국 간 데이터 전송 속도 중 적어도 하나에 기초하여 하나 이상의 다른 무인 항공기 및 기지국 각각에 대한 태스크 오프로딩 수행 시간을 계산하며, 태스크 오프로딩 수행 시간에 기초하여 하나 이상의 다른 무인 항공기 및 기지국 중 태스크 오프로딩을 수행할 적어도 하나를 결정할 수 있다.

[0008] 제어부는 태스크를 수행하기 위한 소비 에너지에 더 기초하여 수행할 태스크의 일부 또는 전부를 태스크 오프로딩할지 여부를 결정할 수 있다.

[0009] 제어부는 소비 에너지가 소정 소비량 이상인 경우 태스크 오프로딩을 수행할 수 있다.

[0010] 일 양상에 따르면, 무인 항공기에서 태스크 오프로딩(task offloading)을 지원하는 방법은 사용자 단말로부터 태스크를 수신하는 단계; 및 무인 항공기의 컴퓨팅 용량, 하나 이상의 다른 무인 항공기의 컴퓨팅 용량, 하나 이상의 다른 무인 항공기 간 데이터 전송 속도, 기지국의 컴퓨팅 용량 및 기지국 간 데이터 전송 속도 중 적어도 하나에 기초하여 수행할 태스크의 일부 또는 전부를 태스크 오프로딩할지 여부를 결정하는 단계를 포함할 수 있다.

[0011] 결정하는 단계는 무인 항공기의 태스크 컴퓨팅 용량이 태스크를 최대 수행 시간 내 처리할 수 있는 용량보다 큰 경우, 태스크 오프로딩을 수행하지 않도록 결정할 수 있다.

[0012] 결정하는 단계는 무인 항공기의 태스크 컴퓨팅 용량이 태스크를 최대 수행 시간 내 처리할 수 있는 용량보다 큰 경우, 하나 이상의 다른 무인 항공기의 컴퓨팅 용량, 하나 이상의 다른 무인 항공기 간 데이터 전송 속도, 기지

국의 컴퓨팅 용량 및 기지국 간 데이터 전송 속도 중 적어도 하나에 기초하여 하나 이상의 다른 무인 항공기 및 기지국 각각에 대한 태스크 오프로딩 수행 시간을 계산하며, 태스크 오프로딩 수행 시간에 기초하여 하나 이상의 다른 무인 항공기 및 기지국 중 태스크 오프로딩을 수행할 적어도 하나를 결정할 수 있다.

[0013] 결정하는 단계는 태스크를 수행하기 위한 소비 에너지에 더 기초하여 수행할 태스크의 일부 또는 전부를 태스크 오프로딩할지 여부를 결정할 수 있다.

[0014] 결정하는 단계는 소비 에너지가 소정 소비량 이상인 경우 태스크 오프로딩을 수행할 수 있다.

발명의 효과

[0015] 무인 항공기를 이용한 MEC 시스템에서 무인 항공기 간의 협업을 통하여 사용자 단말의 작업 대기 시간을 줄이고 에너지 효율성을 높일 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0016] 도 1은 일 실시예에 따른 무인 항공기를 이용한 태스크 오프로딩을 수행하는 환경을 설명하기 위한 예시도이다.

도 2는 일 실시예에 따른 태스크 오프로딩을 지원하는 무인 항공기의 구성도이다.

도 3은 일 실시예에 따른 태스크 오프로딩을 지원하는 방법을 도시한 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0017] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 일 실시예를 상세하게 설명한다. 본 발명을 설명함에 있어 관련된 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략할 것이다. 또한, 후술되는 용어들은 본 발명에서의 기능을 고려하여 정의된 용어들로서 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 관례 등에 따라 달라질 수 있다. 그러므로, 그 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다.

[0018] 이하, 태스크 오프로딩을 지원하는 무인 항공기 장치 및 방법의 실시예들을 도면들을 참고하여 자세히 설명한다.

[0019] 도 1은 일 실시예에 따른 무인 항공기를 이용한 태스크 오프로딩을 수행하는 환경을 설명하기 위한 예시도이다.

[0020] 도 1을 참조하면, 다중 액세스 에지 컴퓨팅(MEC) 시스템은 다중 액세스 에지 컴퓨팅을 지원 무인 항공기 그룹과 다중 액세스 에지 컴퓨팅 지원 지상 기지국(BS) 그룹으로 구성된 통합 공중 지상 네트워크로 구성될 수 있다. 설명의 편의를 위하여 이하의 실시예에서는 사용자 단말들이 기지국의 커버리지 영역 밖에 위치하여 기지국과 직접 통신할 수 없다고 가정하며, 사용자 단말들은 특정 고도에 머무르는 가장 가까운 무인 항공기와 무선 통신을 할 수 있다고 가정한다. 또한, 각 무인 항공기에 대한 사용자 단말들의 연결 상태는 채널 품질에 따라 이미 결정되었다고 가정한다.

[0021] 일 예로, 각 사용자 단말은 작업의 입력 데이터 크기, 1비트의 데이터를 계산하는 데 필요한 CPU 사이클 및 작업을 계산하는 데 허용되는 최대 지연 시간으로 구성된 튜플을 가지고 있다. 각 사용자 단말의 컴퓨팅 능력은 제한되어 있으며, 작업의 지연 시간 제약으로 인해 태스크가 로컬에서만 수행되는데 어려움이 발생할 수 있다. 이에 따라, 사용자 단말은 작업의 일부를 무선 링크를 통해 관련 다중 액세스 에지 컴퓨팅을 지원하는 무인 항공기로 오프로드하여 원격 컴퓨팅을 수행할 수 있다.

[0022] 일 예에 따르면, 다중 액세스 에지 컴퓨팅 서버가 탑재된 무인 항공기, 다중 액세스 에지 컴퓨팅 서버가 탑재된 지상 기지국을 고려한 오프로딩 시스템은 사용자 단말과 각 다중 액세스 에지 컴퓨팅 서버 간 협력을 통해 사용자의 태스크의 총 수행 시간을 최소화할 수 있다. 일 예로, 지연 최소화 문제는 다음과 같이 정의될 수 있다. 된다.

[0023] [수학식 1]

$$\begin{aligned} & \text{minimize} \\ & \alpha, \beta, \phi, \gamma, \phi \\ & \text{subject to } Z_v(\alpha, \beta, \phi, \gamma, \phi) \end{aligned} \quad (1-1)$$

$$Z(\alpha, \beta, \phi, \gamma, \phi) = \sum_{v \in V} Z_v(\alpha, \beta, \phi, \gamma, \phi) \quad (1-2)$$

$$[0026] \quad Z_v(\alpha, \beta, \phi, \gamma, \phi) = (\sum_{u \in U_v} (t_u^{v,loc} + \theta_u^{u \rightarrow v} t_u^{v,e}) + \sum_{w \in V, w \neq v} (\gamma_u^{u \rightarrow w} t_u^{v \rightarrow w,e} + \phi_u^{v \rightarrow 0} t_u^{v \rightarrow 0,e})), \forall v \in V \quad (1-3)$$

$$[0027] \quad E_u^{loc} + E_u^{v,up} \leq E_u^{max}, \forall u \in U_v \quad (1-4)$$

$$[0028] \quad \sum_{u \in U_v} (\theta_u^{u \rightarrow v} E_u^{v,comp}) + \sum_{w \in V, w \neq v} (E^{v \rightarrow w} + E^{v \rightarrow 0} + E^{v,hov}) \leq E_v^{max}, \forall v \in V \quad (1-5)$$

$$[0029] \quad \sum_{u \in U_v} (E_u^{v \rightarrow w,comp} + E^{w,hov}) \leq E_w^{max}, \forall v, w \neq v \quad (1-6)$$

$$[0030] \quad \sum_{u \in U_v} \beta_u^v \leq 1, \forall v \in V \quad (1-7)$$

$$[0031] \quad \beta_u^v \in [0,1], \forall u \in U_v, \forall v \in V \quad (1-8)$$

$$[0032] \quad \theta_u^{u \rightarrow v} + \sum_{w \in V, w \neq v} (\gamma_u^{v \rightarrow w} + \phi_u^{v \rightarrow 0}) = 1, \forall u \in U_v \quad (1-9)$$

$$[0033] \quad 0 \leq \alpha_u^v \leq S_u, \forall u \in U, \forall v \in V \quad (1-10)$$

$$[0034] \quad \theta_u^{u \rightarrow v} \in \{0,1\}, \forall u \in U, \forall v \in V \quad (1-11)$$

$$[0035] \quad \gamma_u^{v \rightarrow w} \in \{0,1\}, \forall u \in U, \forall v, w \in V \quad (1-12)$$

$$[0036] \quad \phi_u^{v \rightarrow 0} \in \{0,1\}, \forall u \in U, \forall v \in V \quad (1-13)$$

[0037] 여기서, γ 와 ϕ 는 무인 항공기 지원 MEC의 의사결정 벡터를 오프로드하는 작업이다. 수학적식 1-4 및 1-5는 사용자 단말과 무인 항공기의 에너지 제약을 나타낸다. 수학적식 1-7 및 1-8는 모든 사용자 단말에게 할당된 총 통신 자원(즉, 대역폭)이 각 관련 무인 항공기에서 사용 가능한 최대 대역폭보다 작도록 제한한다. 수학적식 1-9는 사용자 단말의 오프로드 작업이 한 위치, 즉 기지국의 인접 무인 항공기 또는 관련 무인 항공기에서 계산되어야 함을 보장한다. 수학적식 1-10의 제약은 관련 무인 항공기 v 에 오프로드된 사용자 단말 u 의 작업 비율이 항상 작업의 총 데이터 크기보다 작다는 것을 보여준다. 수학적식 1-11 내지 1-13은 이항 결정 변수를 나타낸다.

[0038] 도 2는 일 실시예에 따른 태스크 오프로딩을 지원하는 무인 항공기의 구성도이다.

[0039] 일 실시예에 따르면, 태스크 오프로딩(task offloading)을 지원하는 무인 항공기(200)는 사용자 단말, 하나 이상의 다른 무인 항공기 및 기지국 중 적어도 하나와 통신을 수행하는 통신부(210) 및 통신부(210)와 연결된 제어부(220)를 포함할 수 있다.

[0040] 일 실시예에 따르면, 통신부(210)는 3GPP 4G LTE(Long-Term Evolution), 5G NR(New Radio)와 같은 라디오 액세스 테크놀로지를 이용하여 사용자 단말 또는 기지국 통신을 수행할 수 있다.

[0041] 일 실시예에 따르면, 제어부(220)는 통신부를 통하여 사용자 단말로부터 태스크를 수신하며, 무인 항공기의 컴퓨팅 용량, 하나 이상의 다른 무인 항공기의 컴퓨팅 용량, 하나 이상의 다른 무인 항공기 간 데이터 전송 속도, 기지국의 컴퓨팅 용량 및 기지국 간 데이터 전송 속도 중 적어도 하나에 기초하여 수행할 태스크의 일부 또는 전부를 태스크 오프로딩할지 여부를 결정할 수 있다.

[0042] 일 예에 따르면, 각 사용자 단말 u 는 튜플 $M_u = (S_u, C_u, T_u)$ 으로 표현되는 지연 시간에 민감한 컴퓨팅 태스크를 가지고 있다. 각 컴퓨팅 태스크는 데이터 사이즈인 S_u 와 태스크 수행을 위한 CPU 사이클인 C_u , 최대 허용 지연 시간인 T_u 로 구성되어 있다. 각 사용자 기기의 컴퓨팅 자원 제약과 태스크의 지연 시간 요구사항으로 인하여 태스크를 사용자 단말인 로컬 기기에서 수행하는데 한계가 있다. 따라서, 사용자 단말은 태스크의 일부를 무선 네트워크를 통해 연결된 무인 항공기에 오프로딩하여 태스크를 수행 할 수 있다.

[0043] 여기서, α_u^v 는 사용자 단말 u 가 모바일 엣지 서버를 탑재한 무인 항공기 v 로 오프로딩하는 태스크를 나타낸다. 따라서, $(S_u - \alpha_u^v)$ 는 사용자 기기에서 수행되는 태스크를 나타낸다. 이에 따라, 사용자 단말 u 의 컴퓨팅 지연시간은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

[0044] [수학식 2]

$$[0045] \quad t_u^{v,loc} = \frac{C_u(S_u - \alpha_u^v)}{f_u}, \forall u \in U, \forall v \in V$$

[0046] 여기서, f_u 는 사용자 단말 u 의 컴퓨팅 자원(CPU 사이클)을 나타낸다. 따라서 사용자 단말 u 의 로컬 에너지 소모량은 아래와 같이 표현할 수 있다.

[0047] [수학식 3]

$$[0048] \quad E_u^{v,loc} = k(f_u)^2 C_u(S_u - \alpha_u^v), \forall u \in U, \forall v \in V$$

[0049] 여기서, $k = 5 \times 10^{-27}$ 는 상수로서 사용자 단말의 CPU 칩 아키텍처에 따라 달라질 수 있다.

[0050] 일 예로, 각 사용자 단말 u 는 자신의 태스크의 일부를 무인 항공기 v 에 오프로딩할 수 있다. 따라서, 사용자 단말 u 와 무인 항공기 v 사이의 스펙트럼 효율은 다음과 같이 정의될 수 있다.

[0051] [수학식 4]

$$[0052] \quad \Gamma_u^v = \log_2 \left(1 + \frac{P_u^v G_u^v}{\sigma^2} \right), \forall u \in U, \forall v \in V$$

[0053] 여기서, P_u 는 사용자 단말 u 의 전송 전력을 나타내며 G_u^v 는 사용자 단말 u 와 무인 항공기 v 사이의 채널 이득이며, σ^2 는 가우시안 잡음을 나타낸다. 일반적으로 사용자 단말 u 와 무인 항공기 v 사이의 채널 이득은 다음과 같이 정의될 수 있다.

[0054] [수학식 5]

$$[0055] \quad G_u^v = 10^{-\delta_u^v/10}, \forall u \in U, \forall v \in V$$

[0056] 여기서, δ_u^v 는 무인 항공기 v 와 사용자 단말 u 사이의 경로 손실을 나타낸다. 일 예로, 공대지 통신(Air-to-Ground) 통신은 가시선(Line-of-Sight, LoS), 비 가시선(Non-Line-of-Sight, NLoS) 링크를 포함할 수 있다. 사용자 단말 u 와 무인 항공기 v 사이의 경로 손실은 가시선 경로 손실 $\delta_u^{v,LoS}$ 와 비 가시선 경로 손실인 $\delta_u^{v,NLoS}$ 가 있으며, 다음과 같이 정의될 수 있다.

[0057] [수학식 6]

$$[0058] \quad \delta_u^{v,LoS} = 2n \log \left(\frac{4\pi d_u^v B_c^{lte}}{c} \right) + L_{LoS}$$

$$[0059] \quad \delta_u^{v,NLoS} = 2n \log \left(\frac{4\pi d_u^v B_c^{lte}}{c} \right) + L_{NLoS}$$

[0060] 여기서, $n \geq 2$ 은 경로 손실 지수, B_c^{lte} 는 반송 주파수(예, 2GHz), c 는 빛의 속도를 나타낸다. L_{LoS} 와 L_{NLoS} 는 LoS와 NLoS 링크의 평균 추가 손실을 나타낸다. d_u^v 는 사용자와 무인항공기간의 거리를 나타낸다. 따라서, 무인 항공기와 사용자 단말 사이의 LoS 링크의 확률은 다음과 같이 정의될 수 있다.

[0061] [수학식 7]

$$[0062] \quad P_{u^{v,LoS}} = \frac{1}{1 + C \exp \left[D \left(\frac{180}{\pi} \tan^{-1} \frac{h_u}{d_{uk}} - C \right) \right]}$$

[0063] 여기서, h_u 는 무인 항공기의 고도를 나타낸다. 그리고 C와 D는 도시, 시골, 교외 등과 같은 환경에 의존하는 상수이다. 결과적으로 사용자와 무인항공기 사이의 NLoS 링크의 가능성은 다음과 같이 계산될 수 있다.

[0064] [수학식 8]

$$[0065] \quad P_{r_u}^{v,NLoS} = 1 - P_{r_u}^{v,LoS}$$

[0066] 따라서, 사용자 단말과 무인 항공기 사이의 총 경로 손실은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

[0067] [수학식 9]

$$[0068] \quad \delta_u^v = P_{r_u}^{v,LoS} \delta_u^{v,LoS} + P_{r_u}^{v,NLoS} \delta_u^{v,NLoS}, \forall u \in U, \forall v \in V$$

[0069] 일 예로, 사용자 단말의 업링크 전송 속도는 다음과 같이 정의될 수 있다.

[0070] [수학식 10]

$$[0071] \quad R_u^v = \beta_u^v B^v \Gamma_u^v, \forall u \in U, \forall v \in V$$

[0072] 여기서, β_u^v 는 오프로딩 사용자 단말 u 에 할당된 대역폭의 비율이며, B^v 는 무인 항공기 v 가 할당할 수 있는 총 대역폭을 나타낸다. 따라서, 업링크 전송률에 따라 사용자의 업링크 전송 지연은 아래와 같다.

[0073] [수학식 11]

$$[0074] \quad t_u^{v,up} = \frac{\alpha_u^v}{R_u^v}, \forall u \in U, \forall v \in V$$

[0075] 일 예로, 사용자 단말로부터 무인 항공기로 업링크 전송을 위한 에너지 소모량은 아래와 같다.

[0076] [수학식 12]

$$[0077] \quad E_u^{v,up} = \frac{P_u^v \alpha_u^v}{R_u^v}, \forall u \in U, \forall v \in V$$

[0078] 일 예를 들어, 제어부(220)는 무인 항공기의 태스크 컴퓨팅 용량이 태스크를 최대 수행 시간 내 처리할 수 있는 용량보다 큰 경우, 태스크 오프로딩을 수행하지 않도록 결정할 수 있다.

[0079] 일 예로, 사용자 단말 u 의 태스크는 연결된 무인 항공기 v 의 컴퓨팅 용량이 충분한 경우 오프로드 된다. 따라서, 이진 변수 $\theta_u^{u \rightarrow v} \in \{0,1\}$ 가 사용자 단말 u 의 태스크를 무인 항공기 v 로 오프로드 여부를 결정하는 변수로 정의되며 다음과 같이 나타낼 수 있다.

[0080] [수학식 13]

$$[0081] \quad \theta_u^{u \rightarrow v} = \begin{cases} 1, & \text{it the offloaded task of user is computed at UAV } v \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

[0082] 따라서, 무인 항공기로 사용자 단말의 태스크가 오프로드 되었을 때 컴퓨팅 지연시간은 다음과 같다.

[0083] [수학식 14]

$$[0084] \quad t_u^{v,comp} = \frac{C_u \alpha_u^v}{f_u^v}, \forall u \in U, \forall v \in V$$

[0085] 여기서, f_u^v 는 무인항공기의 MEC서버의 컴퓨팅 자원(CPU 사이클)을 나타내며, 다음과 같이 나타낼 수 있다.

[0086] [수학식 15]

$$[0087] \quad f_u^v = \frac{\alpha_u^v}{\sum_{a \in U_v} \alpha_a^v} F_v^{max}, \forall u \in U, \forall v \in V$$

[0088] 여기서, F_v^{max} 는 무인 항공기 v 에서 사용할 수 있는 최대 컴퓨팅 자원이다. 각 무인 항공기에서의 컴퓨팅 용량을 연결된 사용자에게 할당 할 때 아래와 같은 제약사항이 충족되어야 한다.

[0089] [수학식 16]

$$\sum_{u \in U_v} \theta_{u \rightarrow v}^v f_u^v \leq F_v^{\max}, \forall v \in V$$

[0090]

[0091] 따라서, 무인 항공기로 오프로드된 컴퓨팅 태스크의 총 지연시간은 다음과 같이 정의될 수 있다.

[0092] [수학식 17]

$$t_u^{v,e} = t_u^{v,up} + t_u^{v,comp}, \forall u \in U, \forall v \in V$$

[0093]

[0094] 일 실시예에 따르면, 제어부(220)는 태스크를 수행하기 위한 소비 에너지에 더 기초하여 수행할 태스크의 일부 또는 전부를 태스크 오프로딩할지 여부를 결정할 수 있다. 일 예를 들어, 제어부(220)는 소비 에너지가 소정 소비량 이상인 경우 태스크 오프로딩을 수행할 수 있다.

[0095] 일 예에 따르면, 오프로딩 태스크를 완료하는데 필요한 에너지 소모량은 다음과 같이 계산될 수 있다.

[0096] [수학식 18]

$$E_u^{v,comp} = k_v (f_u^v)^2 C_u \alpha_u, \forall v \in V$$

[0097]

[0098] 일 실시예에 따르면, 제어부(220)는 무인 항공기의 태스크 컴퓨팅 용량이 태스크를 최대 수행 시간 내 처리할 수 있는 용량보다 큰 경우, 하나 이상의 다른 무인 항공기의 컴퓨팅 용량, 하나 이상의 다른 무인 항공기 간 데이터 전송 속도, 기지국의 컴퓨팅 용량 및 기지국 간 데이터 전송 속도 중 적어도 하나에 기초하여 하나 이상의 다른 무인 항공기 및 기지국 각각에 대한 태스크 오프로딩 수행 시간을 계산하며, 태스크 오프로딩 수행 시간에 기초하여 하나 이상의 다른 무인 항공기 및 기지국 중 태스크 오프로딩을 수행할 적어도 하나를 결정할 수 있다.

[0099] 일 예에 따르면, 무인 항공기의 컴퓨팅 자원이 충분하지 않을 때 무인 항공기 v 는 무선 링크를 통해 주변의 무인항공기들($w \neq v$)로 태스크를 전송할 수 있다. 이에 따라, 사용자 단말 u 와 연결된 무인 항공기 v 로 오프로딩된 태스크를 주변 무인 항공기들로 오프로딩할지 여부를 결정하는 이진 결정 변수 $\gamma_u^{v \rightarrow w} \in \{0,1\}$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

[0100] [수학식 19]

$$\gamma_u^{u \rightarrow v} = \begin{cases} 1, & \text{if offloaded computing task of user } u \text{ is forwarded from UAV } v \text{ to UAV } w \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

[0101]

[0102] 따라서, 무인 항공기 v 와 무인 항공기 w 사이의 전송 지연은 다음과 같이 계산될 수 있다.

[0103] [수학식 20]

$$t_u^{v \rightarrow w,com} = \frac{\sum_{u \in U_v} \gamma_u^{v \rightarrow w} \alpha_u^v}{R^{v \rightarrow w}}, \forall v, w \in V, v \neq w$$

[0104]

[0105] 무인 항공기 v 와 무인 항공기 w 사이의 달성 가능한 전송률은 다음과 같이 정의될 수 있다.

[0106] [수학식 21]

$$R^{v \rightarrow w} = B^{v \rightarrow w} \log_2 \left(1 + \frac{P_v G^{v \rightarrow w}}{\sigma^2} \right), \forall v, w \in V, v \neq w$$

[0107]

[0108] 따라서, 오프로딩 에너지는 다음과 같이 정의될 수 있다.

[0109] [수학식 22]

$$E^{v \rightarrow w} = P_v \left(\frac{\sum_{u \in U_v} \gamma_u^{v \rightarrow w} \alpha_u^v}{R^{v \rightarrow w}} \right), \forall v, w \in V$$

[0110]

[0111] 여기서, $t_u^{v \rightarrow w,comp}$ 와 $E_u^{v \rightarrow w,comp}$ 는 수학식 14와 수학식 18에 의해 계산되는 사용자 u 의 태스크가 무인 항공

기 v 로 오프로딩 되었을 때 지연시간 및 에너지 소모량이다. 따라서, 무인 항공기 v 와 연결된 사용자 u 의 오프로드 작업이 무인 항공기 w 로 오프로드 되었을 때의 총 지연시간은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

[수학식 23]

$$t_u^{v \rightarrow w, e} = t_u^{v, up} + t_u^{v \rightarrow w, com} + t_u^{v \rightarrow w, comp}, \forall u \in U, \forall v, w \in V$$

일 예에 따르면, 무인 항공기의 컴퓨팅 자원이 충분하지 않은 경우, 무인 항공기 v 는 연결된 사용자 단말 u 의 태스크를 MEC 서버가 탑재된 기지국에 전달할 수 있다. 따라서, 사용자 단말 u 의 컴퓨팅 태스크를 기지국으로 전달 여부를 결정하는 이진 변수인 $\phi_u^{v \rightarrow 0}$ 를 아래와 같이 정의할 수 있다.

[수학식 24]

$$\phi_u^{v \rightarrow 0} = \begin{cases} 1, & \text{if offloaded computing task of user } u \text{ is forwarded from UAV } v \text{ to BS} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

일 예로, 컴퓨팅 태스크를 기지국으로 전달하기로 결정된 경우($\phi_u^{v \rightarrow 0} = 1$), 무인 항공기 v 와 기지국 간 전송 지연은 다음과 같이 계산될 수 있다.

[수학식 25]

$$t_u^{v \rightarrow 0, com} = \frac{\sum_{u \in U_v} \phi_u^{v \rightarrow 0} \alpha_u^v}{R^{v \rightarrow 0}}, \forall v \in V$$

따라서, 무인 항공기의 v 전송을 위한 소모에너지는 다음과 같다.

[수학식 26]

$$E^{v \rightarrow 0} = R^{v \rightarrow 0} \left(\frac{\sum_{u \in U_v} \phi_u^{v \rightarrow 0} \alpha_u^v}{R^{v \rightarrow 0}} \right), \forall v \in V$$

따라서, $t_u^{v \rightarrow 0, comp}$, $E_u^{v \rightarrow 0, comp}$ 는 기지국으로 오프로드된 사용자 단말 u 의 태스크를 수행하는데 소요되는 지연 시간과 에너지 소모량을 나타내며 이는 수학식 14와 수학식 18을 통해 계산될 수 있다. 다만, 기지국은 그리드와 연결되기 때문에 기지국의 에너지 소비 제약은 사용자 단말과 무인 항공기의 에너지 제약보다 엄격하지 않다. 이에 따라, 기지국의 에너지 소모량은 고려하지 않을 수 있다. 따라서, 무인 항공기 v 와 연결된 사용자 단말 u 의 태스크가 오프로드 되었을 때 총 지연시간은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

[수학식 27]

$$t_u^{v \rightarrow 0, e} = t_u^{v, up} + t_u^{v \rightarrow 0, com} + t_u^{v \rightarrow 0, comp}, \forall u \in U, \forall v \in V$$

일 예로, $t_u^{v, off}$ 는 사용자 단말 u 가 태스크를 오프로딩을 할 때 총 전송 지연 및 컴퓨팅 지연을 나타내며, 다음과 같이 정의될 수 있다.

[수학식 28]

$$t_u^{v, off} = \theta_u^{u \rightarrow v} t_u^{v, e} + \sum_{w \in V, w \neq v} \gamma_u^{v \rightarrow w} t_u^{v \rightarrow w, e} + \phi_u^{v \rightarrow 0} t_u^{v \rightarrow 0, e}, \forall u \in U, \forall v \in V$$

도 3은 일 실시예에 따른 태스크 오프로딩을 지원하는 방법을 도시한 흐름도이다.

일 실시예에 따르면, 무인 항공기는 태스크 오프로딩(task offloading)을 지원하기 위하여 사용자 단말로부터 태스크를 수신할 수 있다(310).

일 예에 따르면, 무인 항공기는 3GPP 4G LTE(Long-Term Evolution), 5G NR(New Radio)와 같은 라디오 액세스 기술을 이용하여 사용자 단말 또는 기지국과 통신을 수행할 수 있다.

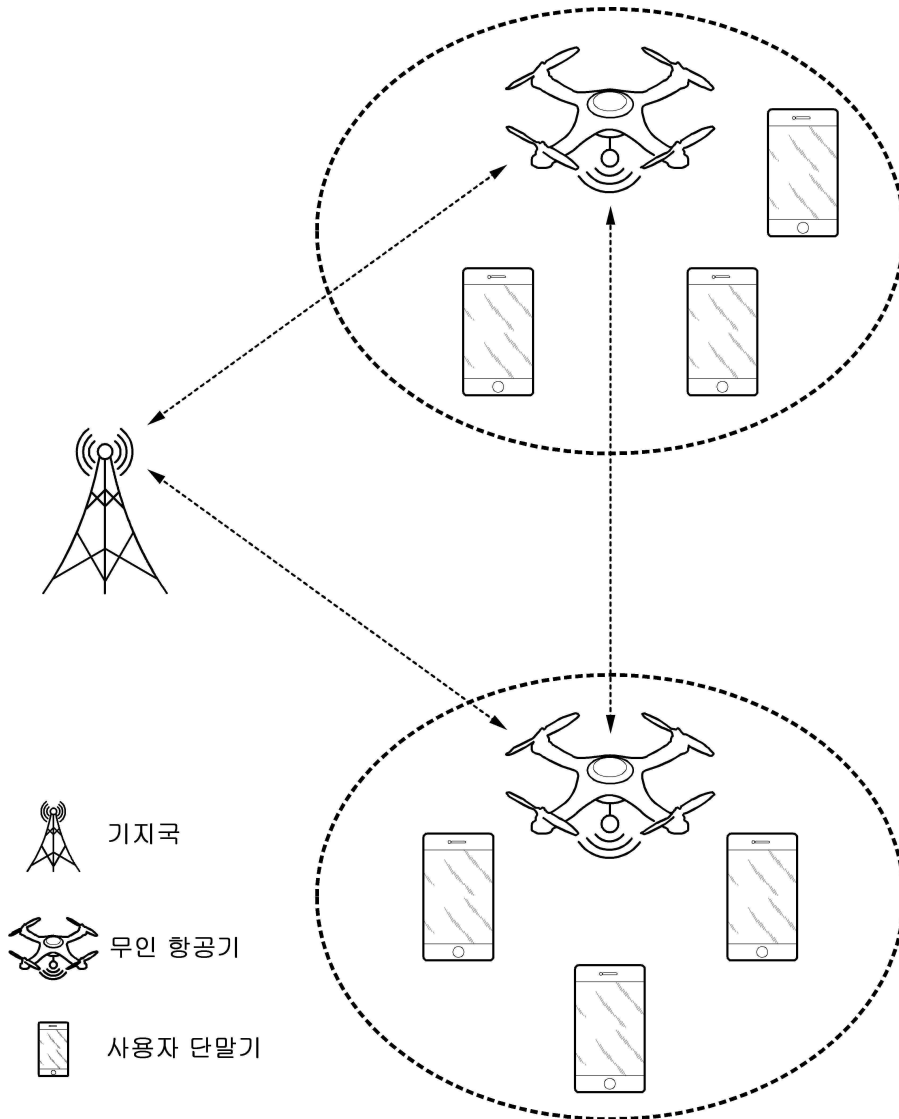
- [0132] 일 실시예에 따르면, 무인 항공기는 무인 항공기의 컴퓨팅 용량, 하나 이상의 다른 무인 항공기의 컴퓨팅 용량, 하나 이상의 다른 무인 항공기 간 데이터 전송 속도, 기지국의 컴퓨팅 용량 및 기지국 간 데이터 전송 속도 중 적어도 하나에 기초하여 수행할 태스크의 일부 또는 전부를 태스크 오프로딩할지 여부를 결정할 수 있다(320).
- [0133] 일 실시예에 따르면, 무인 항공기는 무인 항공기의 태스크 컴퓨팅 용량이 태스크를 최대 수행 시간 내 처리할 수 있는 용량보다 큰 경우, 태스크 오프로딩을 수행하지 않도록 결정할 수 있다. 반면, 무인 항공기는 무인 항공기의 태스크 컴퓨팅 용량이 태스크를 최대 수행 시간 내 처리할 수 있는 용량보다 큰 경우, 하나 이상의 다른 무인 항공기의 컴퓨팅 용량, 하나 이상의 다른 무인 항공기 간 데이터 전송 속도, 기지국의 컴퓨팅 용량 및 기지국 간 데이터 전송 속도 중 적어도 하나에 기초하여 하나 이상의 다른 무인 항공기 및 기지국 각각에 대한 태스크 오프로딩 수행 시간을 계산하며, 태스크 오프로딩 수행 시간에 기초하여 하나 이상의 다른 무인 항공기 및 기지국 중 태스크 오프로딩을 수행할 적어도 하나를 결정할 수 있다.
- [0134] 일 실시예에 따르면, 무인 항공기는 태스크를 수행하기 위한 소비 에너지에 더 기초하여 수행할 태스크의 일부 또는 전부를 태스크 오프로딩할지 여부를 결정할 수 있다. 일 예에 따르면, 무인 항공기는 소비 에너지가 소정 소비량 이상인 경우 태스크 오프로딩을 수행할 수 있다.
- [0135] 도 3에 대한 구체적인 실시예는 도 1 및 도 2를 참조하여 설명한 바, 중복되는 설명은 생략하였다.
- [0136] 본 발명의 일 양상은 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록 매체에 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드로서 구현될 수 있다. 상기의 프로그램을 구현하는 코드들 및 코드 세그먼트들은 당해 분야의 컴퓨터 프로그래머에 의하여 용이하게 추론될 수 있다. 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록 매체는 컴퓨터 시스템에 의하여 읽혀질 수 있는 데이터가 저장되는 모든 종류의 기록 장치를 포함할 수 있다. 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록 매체의 예로는 ROM, RAM, CD-ROM, 자기 테이프, 플로피 디스크, 광 디스크 등을 포함할 수 있다. 또한, 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록 매체는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템에 분산되어, 분산 방식으로 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드로 작성되고 실행될 수 있다.
- [0137] 이제까지 본 발명에 대하여 그 바람직한 실시 예들을 중심으로 살펴보았다. 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명이 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 변형된 형태로 구현될 수 있음을 이해할 수 있을 것이다. 따라서, 본 발명의 범위는 전술한 실시 예에 한정되지 않고 특허 청구범위에 기재된 내용과 동등한 범위 내에 있는 다양한 실시 형태가 포함되도록 해석되어야 할 것이다.

부호의 설명

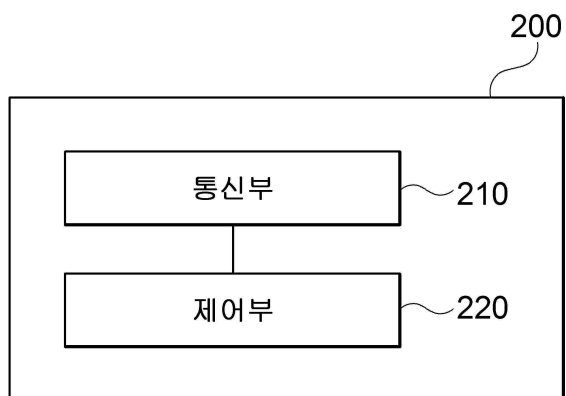
- [0138] 200: 무인 항공기
210: 통신부
220: 제어부

도면

도면1



도면2



도면3

