(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2021-0063990
(43) 공개일자 2021년06월02일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06F 9/50 (2018.01) *G06F 9/48* (2018.01)
G06N 20/00 (2019.01) *H04L 12/26* (2006.01)
H04L 25/02 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G06F 9/5027 (2013.01)
G06F 9/4843 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2019-0152772
(22) 출원일자 2019년11월25일
심사청구일자 2021년02월01일

(71) 출원인
경희대학교 산학협력단
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 (서천동, 경희대학교 국제캠퍼스내)
(72) 발명자
홍충선
경기도 용인시 수지구 상현로 30-10 상현마을성원상떼빌아파트 233동 101호
김기태
경기도 용인시 기흥구 서천서로12번길 4-5
(74) 대리인
특허법인지원

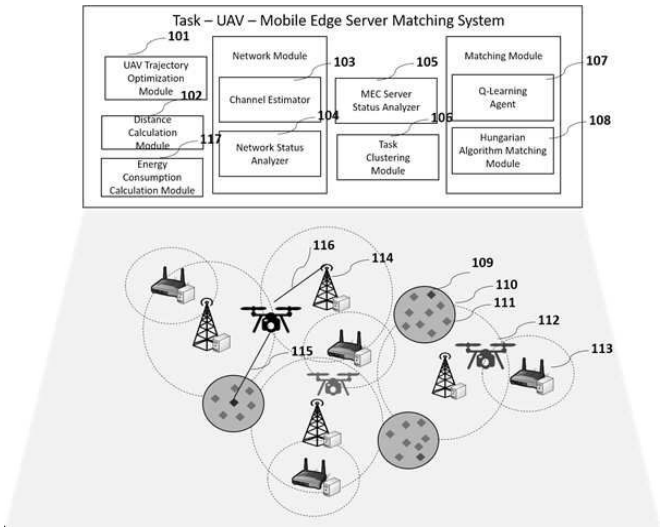
전체 청구항 수 : 총 12 항

(54) 발명의 명칭 **기계 학습 기반의 무인항공기 모바일 엣지 서버 간 협업 태스크 매칭 및 오프로딩 방법**

(57) 요 약

본 발명은 무인항공기를 이용하여 모바일 엣지 서버와 협업하여 태스크 오프로딩 수행 시 무인항공기와 태스크의 개수에 따라 강화 학습 또는 그래프를 통한 매칭 기법을 이용하는 프레임워크이며 강화학습이나 그래프를 통한 매칭 알고리즘은 무인항공기를 제어하는 센터와, Software Defined Network와 같은 네트워크를 중앙집중형으로 관리하는 프레임워크 등 에서 서로의 정보 교환을 통해 동작 가능하다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
G06N 20/00 (2019.01)
H04L 25/0202 (2013.01)
H04L 43/0894 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1711093080
부처명 과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명 정보통신기술진흥센터
연구사업명 정보통신 방송 연구개발 사업
연구과제명 유무선 통합 네트워크에서 접속 방식에 독립적인 차세대 네트워킹 기술 개발
기 여 율 1/1
과제수행기관명 경희대학교 산학협력단
연구기간 2019.02.01 ~ 2019.12.31

청구범위유예 : 있음

명 세 서

청구범위

청구항 1

태스크 매칭 시스템이 적어도 하나의 무인 항공기에 대하여 태스크와 모바일 엣지 서버를 매칭시키는 방법에 있어서,

상기 태스크 매칭 시스템에 연결 가능한 무인 항공기 및 상기 무인 항공기에 의해 송수신 가능한 태스크의 정보를 식별하는 단계;

상기 식별된 무인 항공기의 수 및 상기 태스크의 수를 비교하는 단계;

상기 무인 항공기와 상기 태스크 간의 거리 및 상기 무인 항공기의 다음 위치까지의 이동거리를 고려하여 상기 무인 항공기와 상기 태스크를 매칭하는 단계;

태스크가 매칭된 무인 항공기와 상기 모바일 엣지 서버를 탑재한 기지국 또는 액세스 포인트와의 채널 상태를 고려하여 상기 태스크가 매칭된 무인 항공기와 상기 모바일 엣지 서버를 매칭하는 단계; 를 포함하는, 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 태스크의 수가 상기 무인 항공기의 수보다 큰 것으로 식별되는 경우, 상기 무인 항공기와 상기 태스크를 매칭하는 단계는

상기 태스크의 클러스터링을 수행하여 상기 무인 항공기의 수와 동일한 개수의 태스크 클러스터를 형성하는 단계;

상기 무인 항공기가 상기 태스크 클러스터 내의 모든 태스크를 방문하기 위한 최단거리를 계산하는 단계; 및

상기 태스크 클러스터 내의 마지막 태스크 종료 지점과 상기 무인 항공기의 귀환 지점과의 거리를 계산하는 단계; 를 포함하는, 방법.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 태스크의 수가 상기 무인 항공기의 수보다 큰 것으로 식별되는 경우, 상기 태스크가 매칭된 무인 항공기와 상기 모바일 엣지 서버를 매칭하는 단계는

상기 태스크가 매칭된 무인 항공기와 연결 가능한 후보 모바일 엣지 서버를 탑재한 기지국 또는 액세스 포인트의 채널 상태를 추정하는 단계;

상기 추정된 채널 상태를 통하여 상기 후보 모바일 엣지 서버를 탑재한 기지국 또는 액세스 포인트의 데이터 전송률을 계산하는 단계; 및

상기 후보 모바일 엣지 서버를 탑재한 기지국 또는 액세스 포인트에서의 총 태스크 수행 완료 시간을 계산하는 단계; 를 포함하는, 방법.

청구항 4

제3항에 있어서, 상기 총 태스크 수행 완료 시간을 계산하는 단계는

상기 후보 모바일 엣지 서버를 탑재한 기지국 또는 액세스 포인트 내의 작업 큐에 대기중인 태스크의 예상 완료 시간을 계산하는 단계; 및

상기 후보 모바일 엣지 서버에 할당된 CPU 사이클, 상기 무인 항공기에 매칭된 태스크를 수행하는데 요구되는 CPU 사이클에 기초하여 상기 매칭된 태스크의 예상 완료 시간을 계산하는 단계; 를 포함하는 방법.

청구항 5

제1항에 있어서, 상기 태스크의 수가 상기 무인 항공기의 수와 같은 것으로 식별되는 경우, 상기 무인 항공기와

상기 태스크를 매칭하는 단계는

상기 태스크와 상기 무인 항공기와의 거리를 계산하는 단계;

상기 태스크의 종료 지점과 상기 무인 항공기의 귀환 지점과의 거리를 계산하는 단계; 및

상기 무인 항공기가 상기 태스크를 수행하기 위한 데이터를 수집하는 동안 상기 무인 항공기가 소모하는 호버링 에너지를 계산하는 단계; 를 포함하는, 방법.

청구항 6

제1항에 있어서, 상기 태스크의 수가 상기 무인 항공기의 수보다 작은 것으로 식별되는 경우, 상기 무인 항공기와 상기 태스크를 매칭하는 단계는

상기 무인 항공기의 수와 상기 태스크의 수가 같아지도록 가상의 태스크를 생성하는 단계;

상기 태스크와 상기 무인 항공기와의 거리를 계산하는 단계;

상기 태스크의 종료 지점과 상기 무인 항공기의 귀환 지점과의 거리를 계산하는 단계; 및

상기 무인 항공기가 상기 태스크를 수행하기 위한 데이터를 수집하는 동안 상기 무인 항공기가 소모하는 호버링 에너지를 계산하는 단계; 를 포함하는, 방법.

청구항 7

제1항에 있어서, 상기 태스크의 수가 상기 무인 항공기의 수와 같거나 작은 것으로 식별되는 경우, 상기 태스크가 매칭된 무인 항공기와 상기 모바일 엣지 서버를 매칭하는 단계는

상기 태스크가 매칭된 무인 항공기와 연결 가능한 후보 모바일 엣지 서버를 탑재한 기지국 또는 액세스 포인트의 채널 상태를 추정하는 단계;

상기 채널 상태를 통하여 상기 후보 모바일 엣지 서버를 탑재한 기지국 또는 액세스 포인트의 데이터 전송률을 계산하는 단계; 및

상기 무인 항공기가 상기 후보 모바일 엣지 서버를 탑재한 기지국 또는 액세스 포인트로 데이터를 전송하는 동안 상기 무인 항공기가 소모하는 호버링 에너지를 계산하는 단계; 를 포함하는, 방법.

청구항 8

적어도 하나의 무인 항공기에 대하여 태스크와 모바일 엣지 서버를 매칭시키는 태스크 매칭 시스템에 있어서,

기계학습 또는 알고리즘을 기반으로 상기 적어도 하나의 무인 항공기에 대하여 최적의 에너지 효율을 갖도록 태스크 및 모바일 엣지 서버를 매칭시키는 매칭 모듈; 을 포함하고,

상기 태스크 매칭 시스템에 연결 가능한 무인 항공기 및 상기 무인 항공기에 의해 송수신 가능한 태스크의 정보를 식별하고,

상기 식별된 무인 항공기의 수 및 상기 태스크의 수를 비교하는, 태스크 매칭 시스템.

청구항 9

제8항에 있어서, 상기 태스크 매칭 시스템은

상기 태스크간의 거리 및 상기 무인 항공기와 상기 태스크간의 거리를 계산하는 거리 계산 모듈;

상기 태스크가 매칭된 무인 항공기와 연결 가능한 후보 모바일 엣지 서버를 탑재한 기지국 또는 액세스 포인트의 채널 상태를 추정하는 채널 추정 모듈; 및

상기 추정된 채널 상태를 통하여 상기 후보 모바일 엣지 서버를 탑재한 기지국 또는 액세스 포인트의 데이터 전송률을 계산하는 네트워크 상태 분석 모듈; 을 포함하는, 태스크 매칭 시스템.

청구항 10

제8항에 있어서, 상기 태스크 매칭 시스템은

상기 태스크의 클러스터링을 수행하여 상기 무인 항공기의 수와 동일한 개수의 태스크 클러스터를 형성하는 태스크 클러스터링 모듈;

상기 무인 항공기가 상기 태스크 클러스터 내의 모든 태스크를 방문하기 위한 최단거리를 계산하는 무인 항공기 경로 최적화 모듈; 및

상기 모바일 엣지 서버를 탑재한 기지국 또는 액세스 포인트 내의 작업 큐에 대기중인 태스크의 예상 완료 시간을 계산하는 모바일 엣지 서버 상태 분석 모듈; 을 포함하는, 태스크 매칭 시스템.

청구항 11

제8항에 있어서, 상기 태스크 매칭 시스템은

상기 무인 항공기의 이동 및 호버링 시 소모되는 에너지를 계산하는 에너지 소모 계산 모듈; 을 포함하는, 태스크 매칭 시스템.

청구항 12

제1항에 있어서, 상기 식별된 무인 항공기와 상기 태스크 간의 거리는,

상기 태스크를 수행하기 위해 상기 식별된 무인 항공기가 현재 위치로부터 이동하여야 하는 거리이고,

상기 무인 항공기의 다음 위치까지의 이동 거리는, 상기 식별된 무인 항공기가 상기 태스크를 수행한 이후, 상기 태스크를 수행하기 위해 이동한 위치에서 다른 태스크를 수행하기 위해 이동하여야 하는 거리인 것을 특징으로 하는, 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 무인항공기를 이용한 임무 수행 시 엣지 서버와 협업이 필요한 경우 최적의 무인항공기 태스크 엣지 서버 간 매칭을 통하여 빠른 태스크 수행이 가능하다.

배 경 기 술

[0002] 무인항공기는 통신기술과 결합하여 다양한 분야에서 다양한 서비스를 제공할 수 있을 것으로 기대된다. 가장 대표적인 서비스로는 스포츠 경기장, 공연장과 같은 통신 수요가 일시적으로 많은 장소에 이동하는 기지국으로서 서비스가 가능하다. 통신사는 기지국의 증설 필요 없이 필요할 때 이동 기지국을 배치시킴으로써 경제적인 효과를 얻을 수 있다. 또한, 스마트시티나 재난상황에서 무인항공기를 통하여 교통상황, 다양한 센서 데이터 수집, 지형 사진/영상 데이터 수집 후 분석 후 결과를 바탕으로 새로운 서비스를 제공 할 수 있다.

[0003] 무인항공기는 목적과 형태에 따라서 다양하게 분류될 수 있다. 본 발명에서는 실제 우리가 일상에서도 평범하게 접할 수 있는 무인항공기인 드론을 고려하여 태스크 매칭 및 오프로딩 방법을 제안한다.

[0004] 이렇게 다양한 분야에서 사용될 수 있는 드론의 가장 큰 문제점은 짧은 배터리 수명이다. 현재 상용 드론은 25분에서 30분 정도의 비행 할 수 있다. 단순한 임무를 수행하는 드론에게는 큰 문제가 없을 수 도 있지만 여러 위치를 돌아다니며 임무를 수행하는 경우나 24시간 실시간 감시 등 에는 이러한 짧은 배터리 수명이 큰 문제가 될 수 있다. 배터리 수명 문제뿐 만 아니라 드론이 데이터 수집과 분석 임무를 수행하는 경우 드론의 제약적인 컴퓨팅 자원 또한 문제가 된다. 배터리 문제와 마찬가지로 드론은 제한적인 컴퓨팅 자원을 가지고 있으며 데이터 수집/분석 임무에 활용되기에는 무리가 있다. 특히 사진이나 영상 데이터를 분석하는 경우 주로 기계학습 알고리즘을 사용하기 때문에 드론 위에서 분석이 이루어지는 것은 무리가 있으며 배터리 소모 또한 가속화되어 다음 임무 수행에 지장을 주게 된다. 따라서 주어진 임무를 정해진 시간 내에 효율적이게 처리하기 위해서는 주변의 모바일 엣지 컴퓨팅 서버와 협업을 해야 할 필요가 있다. 모바일 엣지 컴퓨팅이란 유저 가까이에 위치하고 있는 기지국이나 엑세스 포인트에 컴퓨팅 자원을 배치하여 유저로부터의 태스크 수행 및 캐싱 등을 통하여 백홀망의 혼잡 감소와 저 지연의 서비스를 제공할 수 있다.

[0005] 여기서 주요 이슈는 어떤 드론이 어떤 태스크와 매칭되어 임무수행을 할 것이며 매칭 이후에는 어떤 엣지 서버와 협업을 할지 결정하는 것 이다. 가장 가까운 기지국이나 액세스 포인트의 엣지 서버가 현재 통신 채널 상태나 대기중인 태스크에 따라서 항상 가장 빠르게 태스크를 수행을 보장하지는 못하기 때문이다. 따라서 본 발명

에서는 기계 학습을 기반으로 임의의 지역에서 태스크 발생시 무인항공기의 에너지 효율과 주변에 연결이 가능한 모바일 엣지 서버의 태스크 큐 상황과 자원 할당에 따라서 태스크를 가장 빠르게 수행할 수 있는 엣지 서버와 협업하여 태스크를 수행하는 방법을 제안한다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명의 목표는 무인항공기 기반 엣지 컴퓨팅 환경에서 스마트시티나 재난 지역과 같은 지역에서 모니터링, 센서 데이터 수집, 사진/영상 분석과 같은 태스크 발생시 최적의 에너지를 고려한 무인항공기-태스크 매칭과 매칭 이후에 태스크를 가장 빠르게 수행할 수 있는 모바일 엣지 노드를 선택하여 무인항공기의 에너지 소비를 최소화하며 태스크를 빠르게 수행하는 태스크 오프로딩을 수행하기 위함이다.

과제의 해결 수단

[0007] 1) 본 발명은 무인항공기를 이용하여 모바일 엣지 서버와 협업하여 태스크 오프로딩 수행 시 무인항공기와 태스크의 개수에 따라 강화 학습 또는 그래프를 통한 매칭 기법을 이용하는 프레임워크이며 강화학습이나 그래프를 통한 매칭 알고리즘은 무인항공기를 제어하는 센터와, Software Defined Network와 같은 네트워크를 중앙집중형으로 관리하는 프레임워크 등 에서 서로의 정보 교환을 통해 동작 가능하다(도 1).

[0008] a. 태스크의 수가 무인항공기의 수 보다 많은 경우 태스크를 클러스터링 후 매칭을 하기 위한 태스크 클러스터링(106)

[0009] b. 무인항공기에서 모바일 엣지 서버로 데이터 전송 시 무인항공기와 현재 연결 가능한 모바일 엣지 서버 탑재 기지국이나 액세스 포인트와 무인항공기 간 채널 상태(103)를 통하여 네트워크 전송률 계산(104) 를 통해 네트워크 상태를 고려하는 방법

[0010] c. 무인항공기와 매칭 모바일 엣지 서버를 매칭하기 위하여 모바일 엣지 서버의 현재 태스크 큐 상태와 큐에 있는 태스크의 특성(크기, 필요한 CPU 사이클), 모바일 엣지 서버가 할당한 CPU 사이클을 통하여 태스크 수행 요청 시 예상 수행 시간 계산하여(105) 고려하는 방법

[0011] d. 클러스터링 된 태스크들이 있을 때 무인항공기가 최단 거리를 이동하면서 모든 태스크를 방문하기 위한 방법(101)

[0012] e. (101),(102),(103),(104),(105),(106)의 계산 결과를 바탕으로 강화 학습(107) 또는 그래프 기반 매칭(108)을 통한 태스크, 무인항공기, 모바일 엣지 서버 매칭 방법

[0013] 2) 무인항공기가 발생한 태스크로 이동 시 무인항공기의 에너지 효율, 네트워크, 무인항공기의 위치까지 고려하여 태스크와 모바일 엣지 서버와의 매칭 방법

[0014] 3) 가용 무인항공기의 개수와 발생한 태스크의 수에 따라서 무인항공기와 태스크의 숫자가 같은 경우 그래프를 통한 최소 비용 1:1 매칭 방법을 이용한 무인항공기-태스크-모바일 엣지 서버 매칭 방법(도 2)(202)

[0015] a. 태스크의 수가 무인항공기의 수 보다 많은 경우 태스크를 클러스터링 후 강화 학습을 통한 매칭 그 이외의 경우에는 그래프 기반의 1:1 매칭 알고리즘 적용 방법(202)

[0016] 3) 태스크와 무인항공기, 모바일 엣지서버를 강화학습으로 매칭하는 방법(도 3)

[0017] a. 태스크 클러스터와 무인항공기 매칭 시 에너지 효율을 고려하기 위하여 보상 함수를 에너지와 밀접한 관련이 있는 무인항공기의 이동거리(무인항공기-태스크클러스터, 클러스터 내에서으 이동거리, 태스크 클러스터에서 마지막 위치까지 이동거리)를 통해 계산하는 방법(302)

[0018] b. 태스크 클러스터와 매칭된 무인항공기가 인접 모바일 엣지 서버와 매칭 시 오프로딩해야하는 태스크의 특성과, 에너지 효율, 네트워크 상태를 고려하여 보상 함수를 계산하는 방법(303)

발명의 효과

[0019] 무인항공기를 통하여 엣지 서버와 협업하여 임무를 수행하는 경우 무인항공기의 에너지 효율과 태스크의 수행시간을 고려한 엣지 서버와의 매칭을 고려하기 때문에 무인항공기의 활용성이 높아지고 태스크 수행에 대한 신속

함을 보장할 수 있다.

[0020] 상용화의 경우, 제안된 방안은 무인항공기와 엣지 서버간 효율적인 태스크 오프로딩 서비스 제공을 통하여 향후에 등장할 스마트 시티에서의 다양한 임무 수행을 통해 수집된 데이터 분석을 통해 스마트 시티 거주 시민들에게 다양한 서비스를 제공하는 플랫폼을 구축하는데 활용될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0021] 도 1은 본 발명에서 제시된 방법이 활용될 수 있는 예시를 나타낸다. 임의의 위치에서 태스크들이 발생하며 제안하는 방법에 의해 선택된 무인항공기들이 각 태스크 발생 위치로 이동하여 데이터 수집을 한다. 이후에 다시 한번 제안하는 방법에 의해 주변의 액세스 가능한 모바일 엣지 서버 탑재 기지국이나 액세스포인트와 연결을 맺고 데이터 전송 후 모바일 엣지 서버에서는 데이터 분석이 이루어진다.

도 2는 무인항공기 모바일 엣지 서버 매칭을 위한 순서도이다.

도 3은 태스크의 개수가 무인항공기의 개수보다 많은 경우 수행되는 Q-Learning의 학습 기본 구조이다. 앞서 언급한 2단계에 따라서 계산되는 Action과 Environment와 보상에 대해 설명한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0022] - 제안 사항 :

[0023] 1) 고려하는 태스크 모델

[0024] 태스크는 무인항공기가 이동할 수 있는 임의의 지역에서 발생하며 주로 모니터링이나 감시와 같은 임무를 나타낸다. 태스크는 태스크를 수행함에 있어서 협업할 모바일 엣지 서버로 전송해야할 데이터의 용량과 이를 처리하기 위해 필요한 CPU 사이클로 구성된다.

[0026] 2) 통신 상태 고려 사항

[0027] 엣지와 태스크가 매칭된 이후에는 가장 태스크를 빠르게 처리할 수 있는 엣지 서버에 태스크를 오프로딩해야 한다. 태스크가 수행되기 위해서는 엣지 서버로 태스크 수행을 위한 데이터를 전송해야 하며 이때 각 엣지 서버를 탑재하고 있는 인접 기지국이나 액세스 포인트와의 채널 상태를 고려하여 전송률을 측정해 가장 빠르게 태스크 수행을 위한 데이터가 전달될 수 있는 엣지 노드를 고려 한다.

[0029] 3) 에너지 효율을 위한 고려사항

[0030] 무인항공기의 에너지 효율을 위하여 두 가지 에너지 소비를 고려한다. 먼저 태스크 발생시 태스크 발생지역으로 이동 해야할 때 소모되는 ①이동을 위한 에너지 데이터 수집 및 데이터 전송 시 UAV는 제 자리에서 떠있게 되는데 그 때 소모되는 ② 호버링 에너지를 고려한다. 언급한 사항에서도 알 수 있듯이 무인항공기의 에너지 소모는 이동 거리와 관련이 있다. 따라서 궁극적으로 태스크와 무인항공기 매칭 시 태스크와 무인항공기 간의 거리는 반드시 고려해야 한다. 본 발명에서는 무인항공기와 태스크 간의 거리뿐 만 아니라 무인항공기의 다음 위치(마지막 위치 혹은 다음 태스크의 위치)까지 고려한다.

[0032] 본 발명에서는 위에 언급되었던 고려사항을 고려한 강화 학습의 알고리즘 중 하나인 Q- Learning 기법을 통하여 2단계의 매칭 방법을 제안한다. 첫 번째 단계는 무인항공기와 태스크의 매칭, 두 번째 단계는 이미 태스크와 매칭된 무인항공기와 협업 할 엣지 컴퓨팅 서버와의 매칭이다. 본 발명에서는 무인항공기 기반 엣지 컴퓨팅 환경에서 임의의 지역에서 태스크가 발생할 때 아래의 두 가지의 상황을 고려하며 각 제안 방법을 설명한다.

[0034] ① 발생한 태스크와 현재 가용 무인항공기의 개수가 같을 때

[0035] 발생한 태스크와 현재 가용 무인항공기의 대수가 같을 때는 최소 비용 1:1 매칭 알고리즘인 Hungarian Algorithm을 통해 무인항공기-태스크-모바일 엣지 서버 매칭을 한다. 무인항공기와 태스크, 모바일 엣지 서버는 그래프로 나타내어지고 각각 그래프의 간선은 매칭 시 비용을 나타낸다. 과정1에서 무인항공기와 임무 매칭 시

비용은 무인항공기가 이동하는데 사용되는 에너지와 데이터 수집 시 사용되는 호버링 에너지를 고려한다. 과정2에서는 현재 위치에서 채널 상태에 따른 전송률 계산을 통해 데이터 전송 시 걸리는 시간과 이때 소비되는 호버링 에너지, 각 엣지 서버에 현재 대기중인 태스크들의 예상 소요시간(태스크의 사이즈와 할당된 CPU 사이클을 통해 구할 수 있다), 태스크 종료 후 돌아가야하는 무인항공기의 마지막 위치까지 가는데 소요되는 에너지를 비용으로서 고려한다. 위와 같은 비용을 고려해 2단계의 무인항공기-태스크-엣지서버 매칭을 한다.

[0037] ② 발생한 태스크의 개수가 현재 가용 무인항공기 개수의 수 보다 많을 때

[0038] 이 경우에는 1:1 매칭과 다르게 무인항공기는 1개 이상의 태스크 수행을 맡아야 한다. 따라서 하나의 무인항공기가 수행할 태스크의 집합을 구해야 한다. 따라서 먼저 태스크의 클러스터링이 이뤄져야 하며 K-Means 클러스터링을 통하여 현재 사용 가능한 무인항공기의 대수와 같은 수의 태스크 클러스터를 형성한다. 클러스터를 형성한 이후 클러스터 내에서 에너지 효율을 줄이기 위하여 최단 경로로 모든 태스크를 방문하는 경로를 구하기 위하여 Traveling Salesman 알고리즘을 이용한다. 이후에 모든 고려사항을 고려하여 계산되는 2단계 Q-Learning 보상 함수 계산을 통하여 Q-Learning 알고리즘을 적용한다. 1단계는 태스크 클러스터와 무인항공기간의 매칭, 2단계는 태스크와 매칭된 인접 무인항공기와 모바일 엣지 서버 간 매칭이다. 특히 2단계에서는 태스크를 순서대로 방문 할 때 마다 순차적으로 협업하는 모바일 엣지 서버 노드를 Q-Learning을 통해 도출한다.

[0040] 1) 본 발명은 무인항공기를 이용하여 모바일 엣지 서버와 협업하여 태스크 오프로딩 수행 시 무인항공기와 태스크의 개수에 따라 강화 학습 또는 그래프를 통한 매칭 기법을 이용하는 프레임워크이며 강화학습이나 그래프를 통한 매칭 알고리즘은 무인항공기를 제어하는 센터와, Software Defined Network와 같은 네트워크를 중앙집중형으로 관리하는 프레임워크 등 에서 서로의 정보 교환을 통해 동작 가능하다(도 1).

[0041] a. 태스크의 수가 무인항공기의 수 보다 많은 경우 태스크를 클러스터링 후 매칭을 하기 위한 태스크 클러스터링(106)

[0042] b. 무인항공기에서 모바일 엣지 서버로 데이터 전송 시 무인항공기와 현재 연결 가능한 모바일 엣지 서버 탑재 기지국이나 액세스 포인트와 무인항공기 간 채널 상태(103)를 통하여 네트워크 전송률 계산(104) 를 통해 네트워크 상태를 고려하는 방법

[0043] c. 무인항공기와 매칭 모바일 엣지 서버를 매칭하기 위하여 모바일 엣지 서버의 현재 태스크 큐 상태와 큐에 있는 태스크의 특성(크기, 필요한 CPU 사이클), 모바일 엣지 서버가 할당한 CPU 사이클을 통하여 태스크 수행 요청 시 예상 수행 시간 계산하여(105) 고려하는 방법

[0044] d. 클러스터링 된 태스크들이 있을 때 무인항공기가 최단 거리를 이동하면서 모든 태스크를 방문하기 위한 방법(101)

[0045] e. (101),(102),(103),(104),(105),(106)의 계산 결과를 바탕으로 강화 학습(107) 또는 그래프 기반 매칭(108)을 통한 태스크, 무인항공기, 모바일 엣지 서버 매칭 방법

[0046] 2) 무인항공기가 발생한 태스크로 이동 시 무인항공기의 에너지 효율, 네트워크, 무인항공기의 위치까지 고려하여 태스크와 모바일 엣지 서버와의 매칭 방법

[0047] 3) 가용 무인항공기의 개수와 발생한 태스크의 수에 따라서 무인항공기와 태스크의 숫자가 같은 경우 그래프를 통한 최소 비용 1:1 매칭 방법을 이용한 무인항공기-태스크-모바일 엣지 서버 매칭 방법(도 2)(202)

[0048] a. 태스크의 수가 무인항공기의 수 보다 많은 경우 태스크를 클러스터링 후 강화 학습을 통한 매칭 그 이외의 경우에는 그래프 기반의 1:1 매칭 알고리즘 적용 방법(202)

[0049] 3) 태스크와 무인항공기, 모바일 엣지서버를 강화학습으로 매칭하는 방법(도 3)

[0050] a. 태스크 클러스터와 무인항공기 매칭 시 에너지 효율을 고려하기 위하여 보상 함수를 에너지와 밀접한 관련이 있는 무인항공기의 이동거리(무인항공기-태스크클러스터, 클러스터 내에서으 이동거리, 태스크 클러스터에서 마지막 위치까지 이동거리)를 통해 계산하는 방법(302)

[0051] b. 태스크 클러스터와 매칭된 무인항공기가 인접 모바일 엣지 서버와 매칭 시 오프로딩해야하는 태스크의 특성과, 에너지 효율, 네트워크 상태를 고려하여 보상 함수를 계산하는 방법(303)

[0053] 도 1은 본 발명에서 제시된 방법이 활용될 수 있는 예시를 나타낸다. 임의의 위치에서 태스크들이 발생하며 제안하는 방법에 의해 선택된 무인항공기들이 각 태스크 발생 위치로 이동하여 데이터 수집을 한다. 이후에 다시 한번 제안하는 방법에 의해 주변의 액세스 가능한 모바일 엣지 서버 탑재 기지국이나 액세스포인트와 연결을 맺고 데이터 전송 후 모바일 엣지 서버에서는 데이터 분석이 이루어진다.

[0054] 101: 클러스터링 된 태스크 내에서 이동거리를 최소화하면서 모든 태스크를 방문하는 Traveling Salesman 알고리즘 계산

[0055] 102: 각 Task간 거리, 무인항공기와 Task의 거리 등 거리를 계산하는 모듈

[0056] 103: 무인항공기에서 모바일 엣지 서버가 탑재된 기지국 혹은 액세스 포인트로 데이터 전송 시 전송률을 구하기 위한 채널 추정 모듈

[0057] 104: 채널 상태 정보를 통하여 기지국과 액세스 포인트 간 데이터 전송률 계산

[0058] 105: 모바일 엣지 서버 내 큐에 대기중인 작업의 예상 종료시간 계산

[0059] 106: 태스크의 수가 무인항공기의 수보다 많은 경우 K-Means Clusturing 기법을 통해 거리 기반 태스크 클러스터링 수행

[0060] 107: 큐 러닝 에이전트 혹은 큐러닝을 통해 학습된 정책으로서 정책 학습 및 태스크-무인항공기-모바일 엣지 서버 매칭 수행

[0061] 108: 무인항공기와 태스크의 숫자가 같거나 태스크의 숫자가 적은 경우 그래프 기반 헝가리안 알고리즘을 통한 매칭 수행

[0062] 109: 클러스터링 된 태스크 중 무인항공기가 가장 먼저 방문해야 되는 태스크의 위치

[0063] 110: 클러스터링된 태스크

[0064] 111: 태스크

[0065] 112: 태스크 수행을 해야하는 무인항공기

[0066] 113: 무인항공기와 협업할 수 있는 컴퓨팅 능력을 가진 서버를 탑재한 무인항공기 인접 액세스 포인트

[0067] 114: 무인항공기와 협업할 수 있는 컴퓨팅 능력을 가진 무인항공기 인접 기지국

[0068] 115: 태스크 클러스터와 무인항공기의 매칭을 통해 무인항공기가 첫 번째 방문해야 할 태스크 방문

[0069] 116: 태스크가 매칭된 무인항공기와 인접 모바일 엣지 서버 간 연결 및 데이터 전송

[0070] 117: 무인항공기가 이동 시 소모되는 에너지나 호버링 시 소모되는 에너지 계산

[0071] 도 2는 무인항공기 모바일 엣지 서버 매칭을 위한 순서도이다.

[0072] 201: 태스크-무인항공기-모바일 엣지 서버 매칭 시작

[0073] 202: 태스크의 수와 무인항공기의 숫자에 따라 다른 방법 적용을 위한 분기

[0074] 203: 태스크의 수와 무인항공기의 수가 같은 경우에 Hungarian Algorithm 적용을 위해 태스크의 수와 무인항공기의 수 가 더 적은지 같은지 비교를 위한 분기

[0075] 204: 거리별로 태스크 K-Means 클러스터링 수행

[0076] 205: 무인항공기와 태스크 클러스터가 매칭되었을 때 클러스터내에 가장 먼저 방문해야하는 태스크와 무인항공기 간의 거리 계산

[0077] 206: 무인항공기와 태스크 클러스터가 매칭되었을 때 무인항공기의 최단거리 이동을 위한 Traveling Salesman Algorithm을 통한 최단 이동 거리 계산

[0078] 207: 태스크 클러스터에서 마지막 태스크 종료 후 무인항공기가 돌아가야하는 마지막 지점까지의 거리 계산

[0079] 208: 205~207의 결과를 입력으로 강화 학습 알고리즘 수행을 통해 태스크 클러스터와 무인항공기 매칭

[0080] 209: 태스크 클러스터와 매칭 후 무인항공기와 현재 연결 가능한 인접 모바일 엣지 서버를 탑재한 기지국이나 액세스 포인트의 채널 추정

[0081] 210: 채널 정보를 통하여 각 후보 모바일 엣지 서버 노드를 탑재한 기지국이나 액세스 포인트의 데이터 전송률 계산

[0082] 211: 각 후보 모바일 엣지 서버 노드를 탑재한 기지국이나 액세스 포인트 내의 작업 큐에 대기중인 태스크 예상 완료 시간 계산 및 현재 태스크의 크기와 필요한 CPU 사이클, 모바일 엣지 서버에서 할당 가능한 CPU 사이클을 통해 총 태스크 수행 완료 시간 계산

[0083] 212: 210,211의 결과를 입력으로 강화 학습 알고리즘 수행을 통해 태스크가 매칭된 무인항공기와 모바일 엣지 서버 매칭

[0084] 213: 태스크-무인항공기-모바일 엣지 서버 매칭 완료

[0085] 214: 현재 무인항공기의 위치와 처리해야할 태스크의 거리 계산

[0086] 215: 데이터 수집 시 소요되는 시간 동안 무인항공기가 제자리에 떠있을 때 소모되는 에너지 계산

[0087] 216: 214~215의 결과를 이용하여 1단계 Hungarian 매칭 알고리즘 수행

[0088] 217: 무인항공기로부터 모바일 엣지 서버 노드를 탑재한 기지국이나 액세스 포인트에게 데이터 전송 시 걸리는 시간 동안 무인항공기가 제자리에 떠있을 때 소모되는 에너지 계산

[0089] 218: 210,217의 결과를 이용하여 2단계 Hungarian 매칭 알고리즘 수행

[0090] 도 3은 태스크의 개수가 무인항공기의 개수보다 많은 경우 수행되는 Q-Learning의 학습 기본 구조이다. 앞서 언급한 2단계에 따라서 계산되는 Action과 Environment와 보상에 대해 설명한다.

[0091] ①. 1단계 : 태스크와 무인항공기의 매칭

[0092] 301: Agent의 행동에 따라 보상 함수를 내놓음

[0093] 302: $\frac{1}{d_{task}+d_{cluster}+d_{return}}$ 이동 거리 총합의 역수를 취해 이동거리가 적을수록 큰 보상을 받음

[0094] 303: 태스크의 위치, 무인항공기의 초기위치, 무인항공기의 마지막 위치

[0095] 304: 무인항공기와 태스크의 매칭

[0096] 305: Q-Learning 에이전트로서 중앙에서 무인항공기를 관리하거나 Software Defined Network(SDN) 컨트롤러 어플리케이션과 같은 중앙 집중형 네트워크 관리 시스템이나 무인항공기 중앙 관리 시스템과 같은 곳에 위치할 수 있음

[0097] ①. 2단계: 태스크가 매칭된 무인항공기와 모바일 엣지 서버와의 매칭

[0098] 301: Agent의 행동에 따라 보상 함수를 내놓음

[0099] 302: $\frac{1}{T_{exp}+\frac{CPU_g}{E_{cpu}}}$ +Datarate,총 예상 수행 시간의 역수와 Datarate의 합으로 모바일 엣지서버와매칭되었을 때 Datarate가 높을수록 총 수행시간이 짧을수록 높은 보상을 받게된다

[0100] 303: 태스크 요구사항(Deadline, CPU사이클, 데이터 크기), 모바일 엣지 서버와 무인항공기간의 전송률, 모바일 엣지서버 큐에 대기중인 태스크의 예상종료시간, 모바일 엣지 서버에서 현재 태스크를 위해 할당 가능한 CPU 사이클

[0101] 304: 태스크가 매칭된 무인항공기와 인접 연결가능한 모바일 엣지 서버가 탑재된 기지국 또는 액세스 포인트와의 매칭

[0102] 305: Q-Learning 에이전트로서 중앙에서 무인항공기를 관리하거나 Software Defined Network(SDN) 컨트롤러 어플리케이션과 같은 중앙 집중형 네트워크 관리 시스템이나 무인항공기 중앙 관리 시스템과 같은 곳에 위치할 수 있음

부호의 설명

[0104] 101: 클러스터링 된 태스크 내에서 이동거리를 최소화하면서 모든 태스크를 방문하는 Traveling Salesman 알고리즘 계산

102: 각 Task간 거리, 무인항공기와 Task의 거리 등 거리를 계산하는 모듈

103: 무인항공기에서 모바일 엣지 서버가 탑재된 기지국 혹은 액세스 포인트로 데이터 전송 시 전송률을 구하기 위한 채널 추정 모듈

104: 채널 상태 정보를 통하여 기지국과 액세스 포인트 간 데이터 전송률 계산

105: 모바일 엣지 서버 내 큐에 대기중인 작업의 예상 종료시간 계산

106: 태스크의 수가 무인항공기의 수보다 많은 경우 K-Means Clusturing 기법을 통해 거리 기반 태스크 클러스터링 수행

107: 큐 러닝 에이전트 혹은 큐러닝을 통해 학습된 정책으로서 정책 학습 및 태스크-무인항공기-모바일 엣지 서버 매칭 수행

108: 무인항공기와 태스크의 숫자가 같거나 태스크의 숫자가 적은 경우 그래프 기반 헝가리안 알고리즘을 통한 매칭 수행

109: 클러스터링 된 태스크 중 무인항공기가 가장 먼저 방문해야 되는 태스크의 위치

110: 클러스터링된 태스크

111: 태스크

112: 태스크 수행을 해야하는 무인항공기

113: 무인항공기와 협업할 수 있는 컴퓨팅 능력을 가진 서버를 탑재한 무인항공기 인접 액세스 포인트

114: 무인항공기와 협업할 수 있는 컴퓨팅 능력을 가진 무인항공기 인접 기지국

115: 태스크 클러스터와 무인항공기의 매칭을 통해 무인항공기가 첫 번째 방문해야 할 태스크 방문

116: 태스크가 매칭된 무인항공기와 인접 모바일 엣지 서버 간 연결 및 데이터 전송

117: 무인항공기가 이동 시 소모되는 에너지나 호버링 시 소모되는 에너지 계산

201: 태스크-무인항공기-모바일 엣지 서버 매칭 시작

202: 태스크의 수와 무인항공기의 숫자에 따라 다른 방법 적용을 위한 분기

203: 태스크의 수와 무인항공기의 수가 같은 경우에 Hungarian Algorithm 적용을 위해 태스크의 수와 무인항공기의 수 가 더 적은지 같은지 비교를 위한 분기

204: 거리별로 태스크 K-Means 클러스터링 수행

205: 무인항공기와 태스크 클러스터가 매칭되었을 때 클러스터내에 가장 먼저 방문해야하는 태스크와 무인항공기 간의 거리 계산

206: 무인항공기와 태스크 클러스터가 매칭되었을 때 무인항공기의 최단거리 이동을 위한 Traveling Salesman Algorithm을 통한 최단 이동 거리 계산

207: 태스크 클러스터에서 마지막 태스크 종료 후 무인항공기가 돌아가야하는 마지막 지점까지의 거리 계산

208: 205~207의 결과를 입력으로 강화 학습 알고리즘 수행을 통해 태스크 클러스터와 무인항공기 매칭

209: 태스크 클러스터와 매칭 후 무인항공기와 현재 연결 가능한 인접 모바일 엣지 서버를 탑재한 기지국이나 액세스 포인트의 채널 추정

210: 채널 정보를 통하여 각 후보 모바일 엣지 서버 노드를 탑재한 기지국이나 액세스 포인트의 데이터 전송률

계산

211: 각 후보 모바일 엣지 서버 노드를 탑재한 기지국이나 액세스 포인트 내의 작업 큐에 대기중인 태스크 예상 완료 시간 계산 및 현재 태스크의 크기와 필요한 CPU 사이클, 모바일 엣지 서버에서 할당 가능한 CPU 사이클을 통해 총 태스크 수행 완료 시간 계산

212: 210,211의 결과를 입력으로 강화 학습 알고리즘 수행을 통해 태스크가 매칭된 무인항공기와 모바일 엣지 서버 매칭

213: 태스크-무인항공기-모바일 엣지 서버 매칭 완료

214: 현재 무인항공기의 위치와 처리해야할 태스크의 거리 계산

215: 데이터 수집 시 소요되는 시간 동안 무인항공기가 제자리에 떠있을 때 소모되는 에너지 계산

216: 214~215의 결과를 이용하여 1단계 Hungarian 매칭 알고리즘 수행

217: 무인항공기로부터 모바일 엣지 서버 노드를 탑재한 기지국이나 액세스 포인트에게 데이터 전송 시 걸리는 시간 동안 무인항공기가 제자리에 떠있을 때 소모되는 에너지 계산

218: 210,217의 결과를 이용하여 2단계 Hungarian 매칭 알고리즘 수행

①. 1단계 : 태스크와 무인항공기의 매칭

301: Agent의 행동에 따라 보상 함수를 내놓음

302: $\frac{1}{d_{task}+d_{cluster}+d_{return}}$ 이동 거리 총합의 역수를 취해 이동거리가 적을수록 큰 보상을 받음

303: 태스크의 위치, 무인항공기의 초기위치, 무인항공기의 마지막 위치

304: 무인항공기와 태스크의 매칭

305: Q-Learning 에이전트로서 중앙에서 무인항공기를 관리하거나 Software Defined Network(SDN) 컨트롤러 어플리케이션과 같은 중앙 집중형 네트워크 관리 시스템이나 무인항공기 중앙 관리 시스템과 같은 곳에 위치할 수 있음

①. 2단계: 태스크가 매칭된 무인항공기와 모바일 엣지 서버와의 매칭

301: Agent의 행동에 따라 보상 함수를 내놓음

302: $\frac{1}{T_{exp}+\frac{CPU_g}{E_{cpu}}}$ +Datarate,총 예상 수행 시간의 역수와 Datarate의 합으로 모바일 엣지서버와매칭되었을 때 Datarate가 높을수록 총 수행시간이 짧을수록 높은 보상을 받게된다

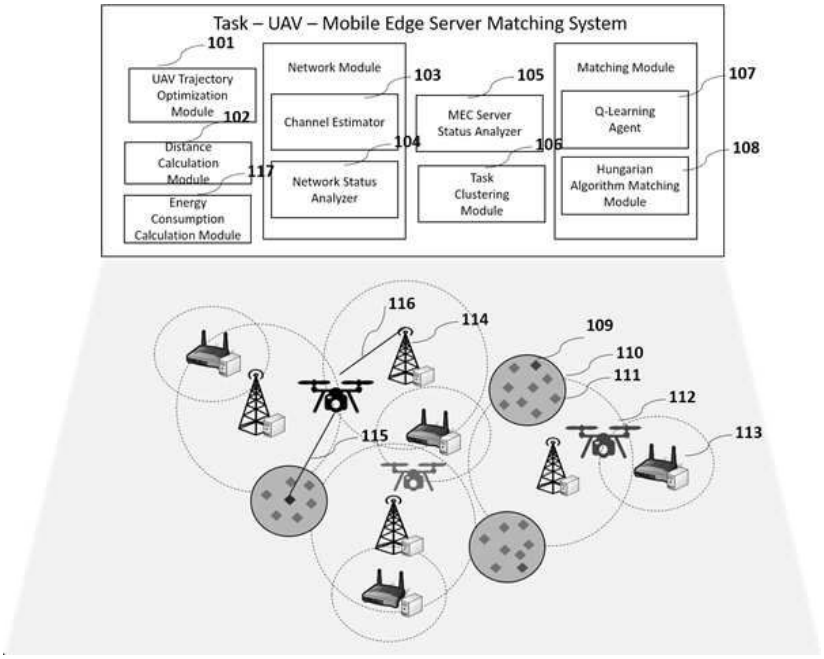
303: 태스크 요구사항(Deadline, CPU사이클, 데이터 크기), 모바일 엣지 서버와 무인항공기간의 전송률, 모바일 엣지서버 큐에 대기중인 태스크의 예상종료시간, 모바일 엣지 서버에서 현재 태스크를 위해 할당 가능한 CPU 사이클

304: 태스크가 매칭된 무인항공기와 인접 연결가능한 모바일 엣지 서버가 탑재된 기지국 또는 액세스 포인트와의 매칭

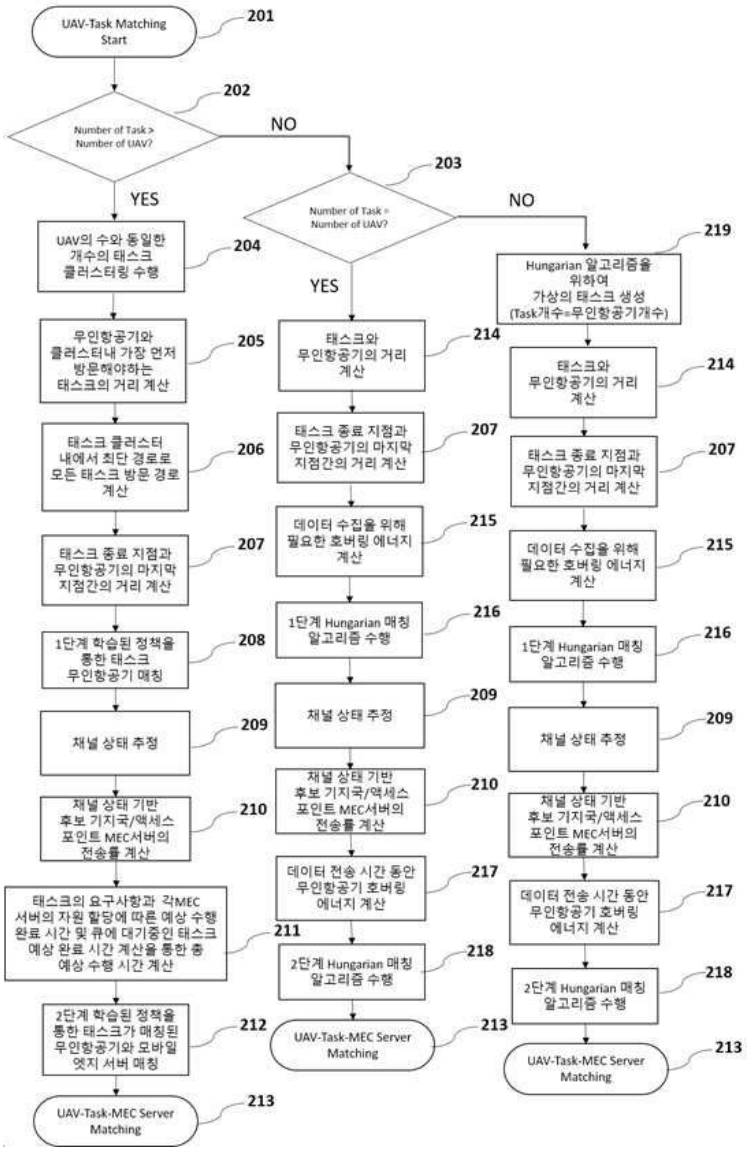
305: Q-Learning 에이전트로서 중앙에서 무인항공기를 관리하거나 Software Defined Network(SDN) 컨트롤러 어플리케이션과 같은 중앙 집중형 네트워크 관리 시스템이나 무인항공기 중앙 관리 시스템과 같은 곳에 위치할 수 있음

도면

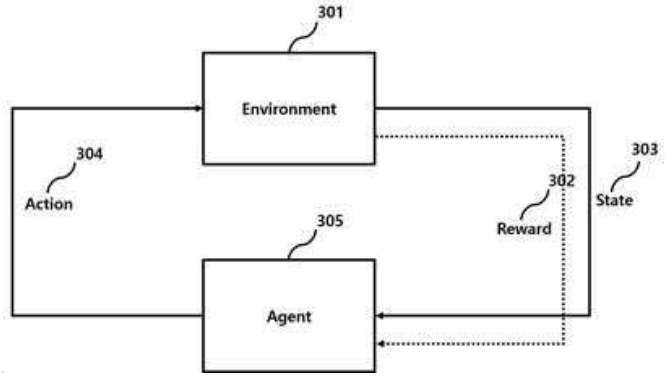
도면1


Task – UAV – Mobile Edge Server Matching System
101
UAV Trajectory Optimization Module
102
Distance Calculation Module
117
Energy Consumption Calculation Module
Network Module
103
Channel Estimator
104
Network Status Analyzer
105
MEC Server Status Analyzer
106
Task Clustering Module
Matching Module
107
Q-Learning Agent
108
Hungarian Algorithm Matching Module
116
114
109
110
111
112
113
115

도면2


UAV-Task Matching Start
201
Number of Task > Number of UAV?
202
NO
YES
Number of Task = Number of UAV?
203
NO
YES
UAV의 수와 동일한 개수의 태스크 클러스터링 수행
204
Hungarian 알고리즘을 위하여 가상의 태스크 생성 (Task개수=무인항공기개수)
219
무인항공기와 클러스터내 가장 먼저 방문해야하는 태스크의 거리 계산
205
태스크와 무인항공기의 거리 계산
214
태스크와 무인항공기의 거리 계산
214
태스크 클러스터 내에서 최단 경로로 모든 태스크 방문 경로 계산
206
태스크 종료 지점과 무인항공기의 마지막 지점간의 거리 계산
207
태스크 종료 지점과 무인항공기의 마지막 지점간의 거리 계산
207
태스크 종료 지점과 무인항공기의 마지막 지점간의 거리 계산
207
데이터 수집을 위해 필요한 호버링 에너지 계산
215
데이터 수집을 위해 필요한 호버링 에너지 계산
215
1단계 학습된 정책을 통한 태스크 무인항공기 매칭
208
1단계 Hungarian 매칭 알고리즘 수행
216
1단계 Hungarian 매칭 알고리즘 수행
216
채널 상태 추정
209
채널 상태 추정
209
채널 상태 추정
209
채널 상태 기반 후보 기지국/액세스 포인트 MEC서버의 전송률 계산
210
채널 상태 기반 후보 기지국/액세스 포인트 MEC서버의 전송률 계산
210
채널 상태 기반 후보 기지국/액세스 포인트 MEC서버의 전송률 계산
210
태스크의 요구사항과 각MEC 서버의 자원 할당에 따른 예상 수행 완료 시간 및 큐에 대기중인 태스크 예상 완료 시간 계산을 통한 총 예상 수행 시간 계산
211
데이터 전송 시간 동안 무인항공기 호버링 에너지 계산
217
데이터 전송 시간 동안 무인항공기 호버링 에너지 계산
217
2단계 Hungarian 매칭 알고리즘 수행
218
2단계 Hungarian 매칭 알고리즘 수행
218
2단계 학습된 정책을 통한 태스크가 매칭된 무인항공기와 모바일 엣지 서버 매칭
212
UAV-Task-MEC Server Matching
213
UAV-Task-MEC Server Matching
213
UAV-Task-MEC Server Matching
213

도면3


301
Environment
304
Action
303
State
302
Reward
305
Agent