



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0157724
(43) 공개일자 2023년11월17일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G05D 1/10 (2006.01) B64C 39/02 (2023.01)
G05D 1/00 (2006.01) G06N 20/00 (2019.01)
H04W 84/18 (2009.01)
(52) CPC특허분류
G05D 1/106 (2021.01)
B64C 39/024 (2023.01)
(21) 출원번호 10-2022-0057285
(22) 출원일자 2022년05월10일
심사청구일자 2022년05월10일

(71) 출원인
인하대학교 산학협력단
인천광역시 미추홀구 인하로 100(용현동, 인하대학교)
(72) 발명자
유상조
서울특별시 강남구 선릉로 221, 212동 302호(도곡동, 도곡텍슬아파트)
알리아
인천광역시 미추홀구 재념이길 80-10, 보영원룸304호(용현동)
(74) 대리인
양성보

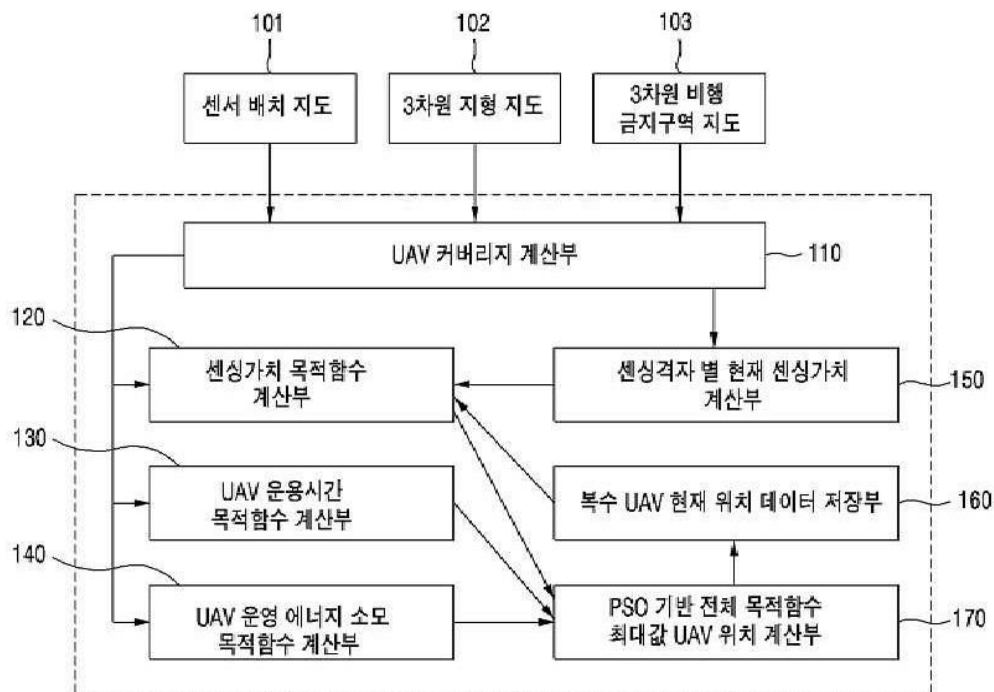
전체 청구항 수 : 총 7 항

(54) 발명의 명칭 무인 비행체를 이용한 센서 데이터 획득에서 PSO 기반 생체모방 기계학습을 이용한 최적 이동 경로 및 센싱정보 획득 방법

(57) 요약

PSO 기반 생체모방 기계학습을 이용한 최적 이동경로 및 센싱정보 획득 방법 및 시스템이 제시된다. 본 발명에서 제안하는 시스템은 미리 저장된 센서 배치 지도, 3차원 지형지도, 3차원 비행 금지구역 지도에 관한 정보를 이용하여 UAV의 다음 센싱정보 획득 위치 후보들에 대한 전체 목적함수의 평가 값을 계산하기 위해 UAV 다음 위치에 (뒷면에 계속)

대표도



서의 통신 가능한 센서 영역 격자들의 범위를 계산하는 UAV 커버리지 계산부, 상기 계산된 UAV 다음 위치에서의 UAV 커버리지 내의 센서들로부터 획득 가능한 센싱정보의 가치를 계산하는 센싱가치 목적함수 계산부, 해당 UAV의 현재 위치에서 다음 위치로의 이동에 필요한 비행시간과 다음 위치에서 센싱정보를 획득하기 위해 필요한 시간을 추정하여 목적함수 값을 계산하는 UAV 운용시간 목적함수 계산부, 해당 UAV의 현재 위치에서 다음 위치로의 이동에 필요한 에너지와 다음 위치에서 센싱정보를 획득하기 위해 필요한 에너지를 추정하여 목적함수 값을 계산하는 UAV 운용 에너지 소모 목적함수 계산부 및 PSO 알고리즘을 이용하여 UAV 네트워크 운용에서 요구되는 제약조건을 만족하고, 상기 계산된 전체 목적함수를 최대화할 수 있는 UAV의 위치를 도출하는 PSO 기반 전체 목적함수 최대값 UAV 위치 계산부를 포함한다.

(52) CPC특허분류

G05D 1/0005 (2013.01)

G06N 20/00 (2021.08)

H04W 84/18 (2013.01)

B64U 2201/20 (2023.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711139247
과제번호	IITP-2021-0-02052
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	정보통신기획평가원
연구사업명	대학ICT연구센터육성지원사업
연구과제명	스마트 모빌리티를 위한 인공지능 시스템반도체핵심 기술 개발 및 인력 양성
기 여 율	1/1
과제수행기관명	인하대학교 산학협력단
연구기간	2021.07.01 ~ 2028.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

미리 저장된 센서 배치 지도, 3차원 지형지도, 3차원 비행 금지구역 지도에 관한 정보를 이용하여 UAV의 다음 센싱정보 획득 위치 후보들에 대한 전체 목적함수의 평가 값을 계산하기 위해 UAV 다음 위치에서의 통신 가능한 센서 영역 격자들의 범위를 계산하는 UAV 커버리지(coverage) 계산부;

상기 계산된 UAV 다음 위치에서의 UAV 커버리지 내의 센서들로부터 획득 가능한 센싱정보의 가치를 계산하는 센싱가치 목적함수 계산부;

해당 UAV의 현재 위치에서 다음 위치로의 이동에 필요한 비행시간과 다음 위치에서 센싱정보를 획득하기 위해 필요한 시간을 추정하여 목적함수 값을 계산하는 UAV 운용시간 목적함수 계산부;

해당 UAV의 현재 위치에서 다음 위치로의 이동에 필요한 에너지와 다음 위치에서 센싱정보를 획득하기 위해 필요한 에너지를 추정하여 목적함수 값을 계산하는 UAV 운용 에너지 소모 목적함수 계산부; 및

PSO(Particle Swam Optimization) 알고리즘을 이용하여 UAV 네트워크 운용에서 요구되는 제약조건을 만족하고, 상기 계산된 전체 목적함수를 최대화할 수 있는 UAV의 위치를 도출하는 PSO 기반 전체 목적함수 최대값 UAV 위치 계산부

를 포함하는 무인 비행체의 최적 이동경로 및 센싱정보 획득 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

시간에 따른 각 센싱 격자 별 센서 타입에 따른 센싱정보 가치의 변화를 계산하여 센싱정보 목적함수 계산부의 계산에 필요한 값을 제공하는 센싱격자 별 센싱가치 계산부; 및

센서 필드에 배치된 모든 UAV들의 현재 위치 정보를 저장하고 센싱정보 목적함수 계산부에 제공하는 복수 UAV 현재 위치 데이터 저장부

를 더 포함하는 무인 비행체의 최적 이동경로 및 센싱정보 획득 시스템.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 센싱가치 목적함수 계산부는 UAV의 커버리지 내의 모든 격자 셀로부터 획득 가능한 센싱정보가치를 정규화한 센싱 가치 목적함수로 정의하고,

상기 UAV 운용시간 목적함수 계산부는 현재 위치에서 다음 위치에 대한 운용시간을 다음 위치로의 이동을 위한 추정 이동시간과 다음 위치에서 머물면서 커버리지 내의 센서들로부터의 센싱정보 획득 추정시간의 합을 정규화한 UAV 운용시간 목적함수로 정의하고,

상기 UAV 운용 에너지 소모 목적함수 계산부는 현재 위치에서 다음 평가 위치에 대한 운용 에너지 소모를 다음 위치로의 이동을 위한 UAV 이동 비행 에너지, 다음 위치에서의 센싱정보 획득을 위해 UAV가 정지 비행하기 위한 UAV정지 비행 에너지, 다음 위치에서의 센싱정보 획득을 위해 UAV와 센서들과의 통신을 위한 UAV 통신 에너지의 합을 정규화한 UAV 운용 에너지 소모 목적함수로 정의하는

무인 비행체의 최적 이동경로 및 센싱정보 획득 시스템.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 PSO 기반 전체 목적함수 최대값 UAV 위치 계산부는,

목적함수의 계산량을 줄이고 실시간 구현이 가능하도록 하기 위해 PSO 알고리즘을 적용하여 탐색을 진행하고, 각 UAV의 이동에 따른 현재 위치에서 센싱 데이터 획득이 끝난 후 다음 최적 위치로 이동함에 있어서 새로운 이동 위치는 미리 정해진 조건들 만족하는 위치를 분류하여 최적 위치로 선정하는

무인 비행체의 최적 이동경로 및 센싱정보 획득 시스템.

청구항 5

UAV 커버리지 (coverage) 계산부가 미리 저장된 센서 배치 지도, 3차원 지형지도, 3차원 비행 금지구역 지도에 관한 정보를 이용하여 UAV의 다음 센싱정보 획득 위치 후보들에 대한 전체 목적함수의 평가 값을 계산하기 위해 UAV 다음 위치에서의 통신 가능한 센서 영역 격자들의 범위를 계산하는 단계;

센싱가치 목적함수 계산부가 계산된 UAV 다음 위치에서의 UAV 커버리지 내의 센서들로부터 획득 가능한 센싱정보의 가치를 계산하는 단계;

UAV 운용시간 목적함수 계산부가 해당 UAV의 현재 위치에서 다음 위치로의 이동에 필요한 비행시간과 다음 위치에서 센싱정보를 획득하기 위해 필요한 시간을 추정하여 목적함수 값을 계산하는 단계;

UAV 운용 에너지 소모 목적함수 계산부가 해당 UAV의 현재 위치에서 다음 위치로의 이동에 필요한 에너지와 다음 위치에서 센싱정보를 획득하기 위해 필요한 에너지를 추정하여 목적함수 값을 계산하는 단계;

센싱격자 별 센싱가치 계산부가 시간에 따른 각 센싱 격자 별 센서 타입에 따른 센싱정보 가치의 변화를 계산하여 센싱정보 목적함수 계산부의 계산에 필요한 값을 제공하는 단계;

복수 UAV 현재 위치 데이터 저장부가 센서 필드에 배치된 모든 UAV들의 현재 위치 정보를 저장하고 센싱정보 목적함수 계산부에 제공하는 단계; 및

PSO(Particle Swam Optimization) 기반 전체 목적함수 최대값 UAV 위치 계산부가 PSO 알고리즘을 이용하여 UAV 네트워크 운용에서 요구되는 제약조건을 만족하고, 상기 계산된 전체 목적함수를 최대화할 수 있는 UAV의 위치를 도출하는 단계

를 포함하는 무인 비행체의 최적 이동경로 및 센싱정보 획득 방법.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 센싱 가치 목적함수는, UAV의 커버리지 내의 모든 격자 셀로부터 획득 가능한 센싱정보가치를 정규화한 목적함수로 정의하고,

상기 UAV 운용시간 목적함수는, 현재 위치에서 다음 위치에 대한 운용시간을 다음 위치로의 이동을 위한 추정 이동시간과 다음 위치에서 머물면서 커버리지 내의 센서들로부터의 센싱정보 획득 추정시간의 합을 정규화한 목적함수로 정의하고,

UAV 운용 에너지 소모 목적함수는 현재 위치에서 다음 평가 위치에 대한 운용 에너지 소모를 다음 위치로의 이동을 위한 UAV 이동 비행 에너지, 다음 위치에서의 센싱정보 획득을 위해 UAV가 정지 비행하기 위한 UAV정지 비행 에너지, 다음 위치에서의 센싱정보 획득을 위해 UAV와 센서들과의 통신을 위한 UAV 통신 에너지의 합을 정규화한 목적함수로 정의하는

무인 비행체의 최적 이동경로 및 센싱정보 획득 방법.

청구항 7

제5항에 있어서,

상기 PSO 기반 전체 목적함수 최대값 UAV 위치 계산부가 PSO 알고리즘을 이용하여 UAV 네트워크 운용에서 요구되는 제약조건을 만족하고, 상기 계산된 전체 목적함수를 최대화할 수 있는 UAV의 위치를 도출하는 단계는,

목적함수의 계산량을 줄이고 실시간 구현이 가능하도록 하기 위해 PSO 알고리즘을 적용하여 탐색을 진행하고, 각 UAV의 이동에 따른 현재 위치에서 센싱 데이터 획득이 끝난 후 다음 최적 위치로 이동함에 있어서 새로운 이동 위치는 미리 정해진 조건들 만족하는 위치를 분류하여 최적 위치로 선정하는

무인 비행체의 최적 이동경로 및 센싱정보 획득 방법.

발명의 설명

기술 분야

- [0001] 본 발명은 무인 비행체를 이용한 센서 데이터 획득에서 PSO 기반 생체모방 기계학습을 이용한 최적 이동경로 및 센싱정보 획득 방법 및 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

- [0002] 무선 센서는 다양한 센서를 이용하여 주변 환경을 모니터링 하고 특정 이벤트를 검출하거나 추적할 수 있는 장치로 획득된 센싱정보를 무선 전송장치를 이용하여 다른 장치에 전송할 수 있는 기술이다.
- [0003] 실외 환경에서 3차원 공간에 배치된 센서들의 정보를 원격에 있는 서버에 전송하기 위한 방법으로 센서네트워크나 기존의 통신 인프라를 이용할 수 있으나, 센서장치만으로 연결성을 보장하기 어렵거나 기존 통신인프라를 사용할 수 없는 경우 무인 비행체를 이용하여 센서들로부터 실시간으로 정보를 수신하고, 무인 비행체 간의 네트워크를 구성하여 원격에 있는 서버에 데이터를 전달하는 기술이 사용될 수 있다.
- [0004] 지상의 센서에서 얻어진 센싱정보를 다수의 무인 비행체를 이용하여 획득하기 위해서는 무인 비행체와 지상의 센서들이 통신 가능한 높이에 무인 비행체들이 위치해야 하며 높이 따라 통신 가능한 지상 영역의 범위와 센서들과의 통신 품질이 달라진다. 또한 무인 비행체가 빠른 속도로 이동하는 경우 지상의 센서로부터 원활한 센싱정보를 충분히 획득하기 어려우므로 특정 위치에 정지하여 통신 범위 내에 센서들로부터 센싱정보를 획득하고 다음 위치로 이동하는 것이 필요하다.
- [0005] 센서들로부터 획득한 정보는 어떤 센서 타입인가와 이전 센싱정보를 획득한 후에 얼마의 시간이 흘렀는가에 따라 정보의 가치가 달라진다. 따라서 무인 비행체들을 위치시킬 때 어느 지점의 어느 높이에 위치시켰을 때 가장 높은 센싱 가치가 획득되는 가에 대한 고려가 필요하다. 무인 비행체들은 제한된 시간 내에 많은 정보를 획득해야 하므로 정보 획득시간과 에너지 소모는 매우 중요한 요소이다. 이에 따라 정보의 가치는 최대화하고 시간과 에너지 소모는 최소화하는 방법이 필요하다.
- [0006] 복수의 무인 비행체를 운용함에 있어 무인 비행체들은 비동기적으로 움직이므로 비동기적 최적화가 필요하며, 다른 무인 비행체에 의해 획득되는 센싱정보와 영역 정보를 고려하여 각 비행체의 위치가 결정되어야 한다. 또한 무인 비행체간 네트워크를 통해 원격의 서버에 센싱정보가 전달되고, 원격의 서버는 센싱정보 처리와 함께 무인 비행체들의 다음 최적위치를 결정하여 무인 비행체들에게 전달한다. 이를 위해 무인 비행체들은 주어진 환경에서 비행체간 연결성이 보장되어야 한다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0007] (특허문헌 0001) 한국 등록특허 제10-2009608호 (2019.08.05)

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0008] 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 3차원 실외 공간에 배치된 센서들로부터 센싱정보를 복수의 무인 비행체(Unmanned Aerial Vehicle; UAV)를 이용하여 실시간으로 획득함에 있어 UAV 들로부터 획득 가능한 센싱정보의 가치를 최대화하는 동시에 UAV의 운용시간 및 UAV 사용에너지를 최소화할 수 있는 최적의 3차원 위치 정보 및 이동 경로를 도출하는 방법 및 시스템을 제공하는데 있다.

과제의 해결 수단

- [0009] 일 측면에 있어서, 본 발명에서 제안하는 무인 비행체를 이용한 센서 데이터 획득에서 PSO 기반 생체모방 기계학습을 이용한 최적 이동경로 및 센싱정보 획득 시스템은 미리 저장된 센서 배치 지도, 3차원 지형지도, 3차원

비행 금지구역 지도에 관한 정보를 이용하여 UAV의 다음 센싱정보 획득 위치 후보들에 대한 전체 목적함수의 평가 값을 계산하기 위해 UAV 다음 위치에서의 통신 가능한 센서 영역 격자들의 범위를 계산하는 UAV 커버리지 (coverage) 계산부, 상기 계산된 UAV 다음 위치에서의 UAV 커버리지 내의 센서들로부터 획득 가능한 센싱정보의 가치를 계산하는 센싱가치 목적함수 계산부, 해당 UAV의 현재 위치에서 다음 위치로의 이동에 필요한 비행시간과 다음 위치에서 센싱정보를 획득하기 위해 필요한 시간을 추정하여 목적함수 값을 계산하는 UAV 운용시간 목적함수 계산부, 해당 UAV의 현재 위치에서 다음 위치로의 이동에 필요한 에너지와 다음 위치에서 센싱정보를 획득하기 위해 필요한 에너지를 추정하여 목적함수 값을 계산하는 UAV 운용 에너지 소모 목적함수 계산부, 시간에 따른 각 센싱 격자 별 센서 타입에 따른 센싱정보 가치의 변화를 계산하여 센싱정보 목적함수 계산부의 계산에 필요한 값을 제공하는 센싱격자 별 센싱가치 계산부, 센서 필드에 배치된 모든 UAV들의 현재 위치 정보를 저장하고 센싱정보 목적함수 계산부에 제공하는 복수 UAV 현재 위치 데이터 저장부 및 PSO(Particle Swam Optimization) 알고리즘을 이용하여 UAV 네트워크 운용에서 요구되는 제약조건을 만족하고, 상기 계산된 전체 목적함수를 최대화할 수 있는 UAV의 위치를 도출하는 PSO 기반 전체 목적함수 최대값 UAV 위치 계산부를 포함한다.

[0010] 상기 센싱가치 목적함수 계산부는 UAV의 커버리지 내의 모든 격자 셀로부터 획득 가능한 센싱정보가치를 정규화한 센싱 가치 목적함수로 정의하고, 상기 UAV 운용시간 목적함수 계산부는 현재 위치에서 다음 위치에 대한 운용시간을 다음 위치로의 이동을 위한 추정 이동시간과 다음 위치에서 머물면서 커버리지 내의 센서들로부터의 센싱정보 획득 추정시간의 합을 정규화한 UAV 운용시간 목적함수로 정의하고, 상기 UAV 운용 에너지 소모 목적함수 계산부는 현재 위치에서 다음 평가 위치에 대한 운용 에너지 소모를 다음 위치로의 이동을 위한 UAV 이동 비행 에너지, 다음 위치에서의 센싱정보 획득을 위해 UAV가 정지 비행하기 위한 UAV정지 비행 에너지, 다음 위치에서의 센싱정보 획득을 위해 UAV와 센서들과의 통신을 위한 UAV 통신 에너지의 합을 정규화한 UAV 운용 에너지 소모 목적함수로 정의한다.

[0011] 상기 PSO 기반 전체 목적함수 최대값 UAV 위치 계산부는 목적함수의 계산량을 줄이고 실시간 구현이 가능하도록 하기 위해 PSO 알고리즘을 적용하여 탐색을 진행하고, 각 UAV의 이동에 따른 현재 위치에서 센싱 데이터 획득이 끝난 후 다음 최적 위치로 이동함에 있어서 새로운 이동 위치는 미리 정해진 조건들 만족하는 위치를 분류하여 최적 위치로 선정한다.

[0012] 또 다른 일 측면에 있어서, 본 발명에서 제안하는 무인 비행체를 이용한 센서 데이터 획득에서 PSO 기반 생체모방 기계학습을 이용한 최적 이동경로 및 센싱정보 획득 방법은 UAV 커버리지 (coverage) 계산부가 미리 저장된 센서 배치 지도, 3차원 지형지도, 3차원 비행 금지구역 지도에 관한 정보를 이용하여 UAV의 다음 센싱정보 획득 위치 후보들에 대한 전체 목적함수의 평가 값을 계산하기 위해 UAV 다음 위치에서의 통신 가능한 센서 영역 격자들의 범위를 계산하는 단계, 센싱가치 목적함수 계산부가 계산된 UAV 다음 위치에서의 UAV 커버리지 내의 센서들로부터 획득 가능한 센싱정보의 가치를 계산하는 단계, UAV 운용시간 목적함수 계산부가 해당 UAV의 현재 위치에서 다음 위치로의 이동에 필요한 비행시간과 다음 위치에서 센싱정보를 획득하기 위해 필요한 시간을 추정하여 목적함수 값을 계산하는 단계, UAV 운용 에너지 소모 목적함수 계산부가 해당 UAV의 현재 위치에서 다음 위치로의 이동에 필요한 에너지와 다음 위치에서 센싱정보를 획득하기 위해 필요한 에너지를 추정하여 목적함수 값을 계산하는 단계, 센싱격자 별 센싱가치 계산부가 시간에 따른 각 센싱 격자 별 센서 타입에 따른 센싱정보 가치의 변화를 계산하여 센싱정보 목적함수 계산부의 계산에 필요한 값을 제공하는 단계, 복수 UAV 현재 위치 데이터 저장부가 센서 필드에 배치된 모든 UAV들의 현재 위치 정보를 저장하고 센싱정보 목적함수 계산부에 제공하는 단계 및 PSO(Particle Swam Optimization) 기반 전체 목적함수 최대값 UAV 위치 계산부가 PSO 알고리즘을 이용하여 UAV 네트워크 운용에서 요구되는 제약조건을 만족하고, 상기 계산된 전체 목적함수를 최대화할 수 있는 UAV의 위치를 도출하는 단계를 포함한다.

발명의 효과

[0013] 본 발명의 실시예들에 따르면 실외 환경에서 센서를 이용하여 환경 모니터링 및 감시, 재난 상황 등의 이벤트 검출, 특정한 객체의 이동 트래킹을 포함한 다양한 센서 운용환경에 대해 광범위한 영역에서 수집되는 정보를 무인 비행체와 센서들과의 통신을 통해 효율적으로 획득하고 이를 무인 비행체 네트워크를 이용하여 원격의 서버에 전송한다. 이를 통해, 실시간 대응이 필요한 다양한 응용에서 무인 비행체를 통해 광범위한 센서필드의 정보를 신속하게 획득할 수 있다. 또한, 복수의 UAV를 비동기적으로 최적 이동 위치를 결정함에 있어 센서로부터 획득되는 센싱정보의 가치를 최대화하면서 동시에 센싱정보 획득 및 이동에 필요한 시간 및 에너지를 종합적으로 고려하여 UAV 운용에 있어 효율성을 높일 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0014] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 무인 비행체를 이용한 센서 데이터 획득에서 PSO 기반 생체모방 기계학습을 이용한 최적 이동경로 및 센싱정보 획득 시스템의 구성을 나타내는 도면이다.
- 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 무인 비행체를 이용한 센서 데이터 획득에서 PSO 기반 생체모방 기계학습을 이용한 최적 이동경로 및 센싱정보 획득 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.
- 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 전체 센서 영역에 대해 격자 기반 3차원 지형도 및 모델을 나타내는 도면이다.
- 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 3차원 공간에서 무인 비행체의 위치에 따라 무인 비행체가 지상의 센서로부터 획득 가능한 센싱 데이터의 격자 영역인 UAV 센싱 커버리지를 나타내는 도면이다.
- 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 지상의 임의 격자 셀이 특정 UAV의 센싱 커버리지에 포함되는지 여부를 검사하기 위한 단계들을 수행하는 과정을 설명하기 위한 도면이다.
- 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 지상의 임의 격자 셀이 특정 UAV의 센싱 커버리지에 포함되는지 여부를 검사하기 위한 단계를 수행하는 과정을 설명하기 위한 도면이다.
- 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 하나의 UAV에 대해 시간대별 센싱정보 획득 및 다음 최적위치로의 이동 방법을 나타내는 도면이다.
- 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 복수의 UAV들이 각각의 최적위치를 결정함에 있어 시간대 별 동작을 나타내는 도면이다.
- 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 각 시간 단위 PSO를 이용한 최적위치 결정과 최적 위치 이동 후의 네트워크 구조를 나타내는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0015] 본 발명은 실외에 설치된 무선 센서들로부터 센싱정보를 무인 비행체(Unmanned Aerial Vehicle; UAV)를 이용하여 획득함에 있어 센서의 센싱정보 가치 합, 정보 획득 시간, 획득에 필요한 에너지를 통합적으로 고려하여 그 효율성을 최대화하고, UAV의 운용시간 및 UAV 사용에너지를 최소화할 수 있는 최적의 3차원 위치 정보 및 이동 경로를 도출하는 방법 및 시스템에 관한 것이다.
- [0016] 본 발명의 실시예에 따르면, 각 UAV의 3차원 공간상의 위치에 따라 UAV와 통신을 통해 센싱 데이터를 전달할 수 있는 센서 노드들의 영역과 통신 품질이 달라지는 것을 고려해야 하며, 다른 UAV에 의해 이미 정보가 획득되었는지 여부 및 이전 정보 획득 이후 경과된 시간 등도 같이 고려되어야 한다. 또한, 복수의 UAV들이 비동기적으로 움직이는 상황에서 각 UAV 들은 전체적인 UAV 네트워크에 연결되어야 한다. 정보 획득을 위한 UAV 운용시간은 최소화되어야 하며 정보획득 및 다음 지점으로 이동을 위한 UAV 에너지 소모도 최소화되어야 한다. 이러한 다중의 요구조건을 만족하는 실시간 최적 UAV 위치 및 이동경로를 도출하는 것은 복잡한 과정과 긴 시간이 필요하다.
- [0017] 본 발명에서는 생체 모방학습 기반 PSO(Particle Swam Optimization) 기법을 활용하여 요구되는 모든 조건을 만족하면서 실시간으로 최적위치를 도출하는 방법 및 시스템을 제공하고자 한다. 이하, 본 발명의 실시 예를 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다.
- [0019] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 무인 비행체를 이용한 센서 데이터 획득에서 PSO 기반 생체모방 기계학습을 이용한 최적 이동경로 및 센싱정보 획득 시스템의 구성을 나타내는 도면이다.
- [0020] 본 발명은 실외 환경에서 사전에 설치된 센서들이 센싱한 정보를 복수의 무인 비행체 UAV를 이용하여 실시간으로 획득하여 원격의 지상 서버로 전송함에 있어 각 UAV의 최적 위치 점들의 이동 경로를 계산하는 방법에 관한 것이다. 더욱 상세하게는 미리 준비된 3차원 지형 지도와 센서들의 배치를 알고 있는 상황에서 서버가 비동기적으로 각 UAV의 현재 위치에서 센싱정보 획득이 종료되는 시점에 추가적인 센서 데이터 획득을 위한 다음 최적 위치를 도출하는 방법에 관한 것이다.
- [0021] 본 발명에서의 최적 위치를 결정하기 위한 목적함수는 지정된 다음 위치에서의 UAV와 통신가능한 센서들의 센싱

정보 가치, 다음위치까지의 UAV 이동시간 및 정보 획득시간, 다음위치까지의 UAV 이동을 위한 에너지 및 다음위치에서의 정보 획득을 위한 에너지 등을 고려하여 정의된다.

- [0022] 본 발명의 실시예에서는 3차원 공간의 모든 가능한 지점에 대해 완전한 전역 검사를 수행하는 대신 생체 모방 기술인 PSO 방식을 이용하여 이동이 필요한 UAV의 다음 최적위치를 빠르게 계산한다. 검색을 보다 빠르게 하고 계산 부하를 줄이기 위해 본 발명에서는 센서 필드의 (x,y) 좌표에 대해 미리 정의된 크기의 격자(cell) 영역으로 구분하고 격자단위의 센서 배치와 격자 영역 중심에서의 지형 높이 등의 정보를 저장한다. UAV의 위치에 따른 지상의 통신 가능한 센서필드 격자의 조합은 UAV의 지향성 안테나 각도, UAV 위치, 지상 지형의 형태, 센서 및 UAV의 송신전력 등에 의해 결정된다.
- [0023] 무인 비행체를 이용한 센서 데이터 획득에서 PSO 기반 생체모방 기계학습을 이용한 최적 이동경로 및 센싱정보 획득 시스템은 UAV 커버리지(coverage) 계산부(110), 센싱가치 목적함수 계산부(120), UAV 운용시간 목적함수 계산부(130), UAV 운용 에너지 소모 목적함수 계산부(140), 센싱격자 별 센싱가치 계산부(150), 복수 UAV 현재 위치 데이터 저장부(160) 및 PSO 기반 전체 목적함수 최대값 UAV 위치 계산부(170)를 포함한다.
- [0024] 본 발명의 실시예에 따른 UAV 커버리지(coverage) 계산부(110)는 미리 저장된 센서 배치 지도, 3차원 지형지도, 3차원 비행 금지구역 지도에 관한 정보를 이용하여 UAV의 다음 센싱정보 획득 위치 후보들에 대한 전체 목적함수의 평가 값을 계산하기 위해 UAV 다음 위치에서의 통신 가능한 센서 영역 격자들의 범위를 계산한다.
- [0025] 본 발명의 실시예에 따른 센싱가치 목적함수 계산부(120)는 상기 계산된 UAV 다음 위치에서의 UAV 커버리지 내의 센서들로부터 획득 가능한 센싱정보의 가치를 계산한다.
- [0026] 본 발명의 실시예에 따른 센싱가치 목적함수 계산부(120)는 UAV의 커버리지 내의 모든 격자 셀로부터 획득 가능한 센싱정보가치를 정규화한 센싱 가치 목적함수로 정의한다.
- [0027] 본 발명의 실시예에 따른 UAV 운용시간 목적함수 계산부(130)는 해당 UAV의 현재 위치에서 다음 위치로의 이동에 필요한 비행시간과 다음 위치에서 센싱정보를 획득하기 위해 필요한 시간을 추정하여 목적함수 값을 계산한다.
- [0028] 본 발명의 실시예에 따른 UAV 운용시간 목적함수 계산부(130)는 현재 위치에서 다음 위치에 대한 운용시간을 다음 위치로의 이동을 위한 추정 이동시간과 다음 위치에서 머물면서 커버리지 내의 센서들로부터의 센싱정보 획득 추정시간의 합을 정규화한 UAV 운용시간 목적함수로 정의한다.
- [0029] 본 발명의 실시예에 따른 UAV 운용 에너지 소모 목적함수 계산부(140)는 해당 UAV의 현재 위치에서 다음 위치로의 이동에 필요한 에너지와 다음 위치에서 센싱정보를 획득하기 위해 필요한 에너지를 추정하여 목적함수 값을 계산한다.
- [0030] 본 발명의 실시예에 따른 UAV 운용 에너지 소모 목적함수 계산부(140)는 현재 위치에서 다음 평가 위치에 대한 운용 에너지 소모를 다음 위치로의 이동을 위한 UAV 이동 비행 에너지, 다음 위치에서의 센싱정보 획득을 위해 UAV가 정지 비행하기 위한 UAV정지 비행 에너지, 다음 위치에서의 센싱정보 획득을 위해 UAV와 센서들과의 통신을 위한 UAV 통신 에너지의 합을 정규화한 UAV 운용 에너지 소모 목적함수로 정의한다.
- [0031] 본 발명의 실시예에 따른 센싱격자 별 센싱가치 계산부(150)는 시간에 따른 각 센싱 격자 별 센서 타입에 따른 센싱정보 가치의 변화를 계산하여 센싱정보 목적함수 계산부의 계산에 필요한 값을 제공한다.
- [0032] 본 발명의 실시예에 따른 복수 UAV 현재 위치 데이터 저장부(160)는 센서 필드에 배치된 모든 UAV들의 현재 위치 정보를 저장하고 센싱정보 목적함수 계산부에 제공한다.
- [0033] 본 발명의 실시예에 따른 PSO 기반 전체 목적함수 최대값 UAV 위치 계산부(170)는 PSO(Particle Swarm Optimization) 알고리즘을 이용하여 UAV 네트워크 운용에서 요구되는 제약조건을 만족하고, 상기 계산된 전체 목적함수를 최대화할 수 있는 UAV의 위치를 도출한다.
- [0034] 본 발명의 실시예에 따른 PSO 기반 전체 목적함수 최대값 UAV 위치 계산부(170)는 목적함수의 계산량을 줄이고 실시간 구현이 가능하도록 하기 위해 PSO 알고리즘을 적용하여 탐색을 진행하고, 각 UAV의 이동에 따른 현재 위치에서 센싱 데이터 획득이 끝난 후 다음 최적 위치로 이동함에 있어서 새로운 이동 위치는 미리 정해진 조건들 만족하는 위치를 분류하여 최적 위치로 선정한다.

- [0036] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 무인 비행체를 이용한 센서 데이터 획득에서 PSO 기반 생체모방 기계학습을 이용한 최적 이동경로 및 센싱정보 획득 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.
- [0037] 제안하는 무인 비행체를 이용한 센서 데이터 획득에서 PSO 기반 생체모방 기계학습을 이용한 최적 이동경로 및 센싱정보 획득 방법은 UAV 커버리지 (coverage) 계산부가 미리 저장된 센서 배치 지도, 3차원 지형지도, 3차원 비행 금지구역 지도에 관한 정보를 이용하여 UAV의 다음 센싱정보 획득 위치 후보들에 대한 전체 목적함수의 평가 값을 계산하기 위해 UAV 다음 위치에서의 통신 가능한 센서 영역 격자들의 범위를 계산하는 단계(210), 센싱 가치 목적함수 계산부가 계산된 UAV 다음 위치에서의 UAV 커버리지 내의 센서들로부터 획득 가능한 센싱정보의 가치를 계산하는 단계(220), UAV 운용시간 목적함수 계산부가 해당 UAV의 현재 위치에서 다음 위치로의 이동에 필요한 비행시간과 다음 위치에서 센싱정보를 획득하기 위해 필요한 시간을 추정하여 목적함수 값을 계산하는 단계(230), UAV 운용 에너지 소모 목적함수 계산부가 해당 UAV의 현재 위치에서 다음 위치로의 이동에 필요한 에너지와 다음 위치에서 센싱정보를 획득하기 위해 필요한 에너지를 추정하여 목적함수 값을 계산하는 단계(240), 센싱격자 별 센싱가치 계산부가 시간에 따른 각 센싱 격자 별 센서 타입에 따른 센싱정보 가치의 변화를 계산하여 센싱정보 목적함수 계산부의 계산에 필요한 값을 제공하는 단계(250), 복수 UAV 현재 위치 데이터 저장부가 센서 필드에 배치된 모든 UAV들의 현재 위치 정보를 저장하고 센싱정보 목적함수 계산부에 제공하는 단계(260) 및 PSO(Particle Swam Optimization) 기반 전체 목적함수 최대값 UAV 위치 계산부가 PSO 알고리즘을 이용하여 UAV 네트워크 운용에서 요구되는 제약조건을 만족하고, 상기 계산된 전체 목적함수를 최대화할 수 있는 UAV의 위치를 도출하는 단계(270)를 포함한다.
- [0038] 단계(210)에서, UAV 커버리지 (coverage) 계산부가 미리 저장된 센서 배치 지도, 3차원 지형지도, 3차원 비행 금지구역 지도에 관한 정보를 이용하여 UAV의 다음 센싱정보 획득 위치 후보들에 대한 전체 목적함수의 평가 값을 계산하기 위해 UAV 다음 위치에서의 통신 가능한 센서 영역 격자들의 범위를 계산한다.
- [0039] 단계(220)에서, 센싱가치 목적함수 계산부가 계산된 UAV 다음 위치에서의 UAV 커버리지 내의 센서들로부터 획득 가능한 센싱정보의 가치를 계산한다.
- [0040] 본 발명의 실시예에 따른 센싱가치 목적함수 계산부는 UAV의 커버리지 내의 모든 격자 셀로부터 획득 가능한 센싱정보가치를 정규화한 센싱 가치 목적함수로 정의한다.
- [0041] 단계(230)에서, UAV 운용시간 목적함수 계산부가 해당 UAV의 현재 위치에서 다음 위치로의 이동에 필요한 비행 시간과 다음 위치에서 센싱정보를 획득하기 위해 필요한 시간을 추정하여 목적함수 값을 계산한다.
- [0042] 본 발명의 실시예에 따른 UAV 운용시간 목적함수 계산부는 현재 위치에서 다음 위치에 대한 운용시간을 다음 위치로의 이동을 위한 추정 이동시간과 다음 위치에서 머물면서 커버리지 내의 센서들로부터의 센싱정보 획득 추정시간의 합을 정규화한 UAV 운용시간 목적함수로 정의한다
- [0043] 단계(240)에서, UAV 운용 에너지 소모 목적함수 계산부가 해당 UAV의 현재 위치에서 다음 위치로의 이동에 필요한 에너지와 다음 위치에서 센싱정보를 획득하기 위해 필요한 에너지를 추정하여 목적함수 값을 계산한다.
- [0044] 본 발명의 실시예에 따른 UAV 운용 에너지 소모 목적함수 계산부는 현재 위치에서 다음 평가 위치에 대한 운용 에너지 소모를 다음 위치로의 이동을 위한 UAV 이동 비행 에너지, 다음 위치에서의 센싱정보 획득을 위해 UAV가 정지 비행하기 위한 UAV정지 비행 에너지, 다음 위치에서의 센싱정보 획득을 위해 UAV와 센서들과의 통신을 위한 UAV 통신 에너지의 합을 정규화한 UAV 운용 에너지 소모 목적함수로 정의한다.
- [0045] 단계(250)에서, 센싱격자 별 센싱가치 계산부가 시간에 따른 각 센싱 격자 별 센서 타입에 따른 센싱정보 가치의 변화를 계산하여 센싱정보 목적함수 계산부의 계산에 필요한 값을 제공한다.
- [0046] 단계(260)에서, 복수 UAV 현재 위치 데이터 저장부가 센서 필드에 배치된 모든 UAV들의 현재 위치 정보를 저장하고 센싱정보 목적함수 계산부에 제공한다.
- [0047] 단계(270)에서, PSO(Particle Swam Optimization) 기반 전체 목적함수 최대값 UAV 위치 계산부가 PSO 알고리즘을 이용하여 UAV 네트워크 운용에서 요구되는 제약조건을 만족하고, 상기 계산된 전체 목적함수를 최대화할 수 있는 UAV의 위치를 도출한다.
- [0048] 본 발명의 실시예에 따른 PSO 기반 전체 목적함수 최대값 UAV 위치 계산부는 목적함수의 계산량을 줄이고 실시간 구현이 가능하도록 하기 위해 PSO 알고리즘을 적용하여 탐색을 진행하고, 각 UAV의 이동에 따른 현재 위치에서 센싱 데이터 획득이 끝난 후 다음 최적 위치로 이동함에 있어서 새로운 이동 위치는 미리 정해진 조건들 만

족하는 위치를 분류하여 최적 위치로 선정한다.

[0050] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 전체 센서 영역에 대해 격자 기반 3차원 지형도 및 모델을 나타내는 도면이다.

[0051] 도 3(a)는 격자 기반 지형지도를 나타내고, 도 3(b)는 격자 셀의 3차원 좌표를 나타내는 도면이다.

[0052] 본 발명의 실시예에 따른 원격의 서버는 센서 필드의 지형 지도를 이용하여 도 3(a)에서와 같은 격자 기반 지형 지도를 구성한다. 전체 센서필드(311)는 (R_x, R_y, R_z) 의 3차원 공간에 정의되고, 센서필드의 센서 필드의 (x, y) 평면은 (S_x, S_y) 의 단위 크기를 가지는 격자 셀(312)로 구분된다. 3차원 전체 센서 필드 공간에서 비행 금지 구역은 사전에 3차원 공간으로 정해진다. i 번째 격자 셀의 중심 점 (x_i, y_i) (321)에 대응하는 지형의 높이를 z_i 라 하면 격자기반 지형 지도의 i 번째 격자 셀의 3차원 좌표는 $C_i = (x_i, y_i, z_i)$ (322)로 정의된다. 각 UAV는 센싱정보 획득을 위해 특정 위치에 정지할 때에는 정의된 격자들 중 하나의 격자 중심점 위에 위치하도록 한다. 이는 센싱정보 가치 등 최적위치 결정에 필요한 계산량을 줄이기 위해서이다. 따라서, 본 발명의 실시예에서 UAV의 다음 센싱정보 획득을 위한 다음 위치가 $C_i = (x_i, y_i, z_i)$ 위에 존재한다고 하면, 해당 k 번째 UAV의 위치(323)는 $P_k^u = [x_k^u = x_i, y_k^u = y_i, z_k^u]$ 로 정의된다.

[0054] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 3차원 공간에서 무인 비행체의 위치에 따라 무인 비행체가 지상의 센서로부터 획득 가능한 센싱 데이터의 격자 영역인 UAV 센싱 커버리지를 나타내는 도면이다.

[0055] 본 발명의 실시예에 따른 UAV의 다음 위치에 따라 지상의 센서들과 통신 가능한 영역이 결정된다. 도 4에서 k 번째 UAV(UAV_k)의 임의의 위치(410)에서 지상의 센서들로부터 센싱정보를 획득하기 지향성 안테나를 사용하여 자신의 아이디(ID)를 포함하는 센싱정보 송신 요청 메시지를 방송한다. 이때 3차원 지향성 안테나의 각도는 θ (420)로 정의된다. 지상의 센서들과 상호 통신하기 위해서는 UAV와 지상의 센서와 UAV의 거리가 통신 최대거리 $d_{max}^{U \leftrightarrow S}$ (430)보다 작아야 한다. $d_{max}^{U \leftrightarrow S}$ 는 식 (1)로 결정된다.

[0056]
$$d_{max}^{U \leftrightarrow S} = \min(d_{max}^{U-S}, d_{max}^{S-U})$$

$$d_{max}^{U-S} = \sqrt{\frac{\lambda^2 G_r G_t P_t^{U-S}}{8\pi^2 \left(1 - \cos \frac{\theta}{2}\right) P_r^{min}}}, d_{max}^{S-U} = \sqrt{\frac{\lambda^2 G_r G_t P_t^{S-U}}{(4\pi)^2 P_r^{min}}}$$

[0057] 식 (1)

[0058] 본 발명의 실시예에서 센서들은 지향성 안테나를 사용하는 것으로 한다. 또한 UAV와 센서 간의 통신은 자유공간 (free space)에서 이루어지는 것으로 가정한다. d_{max}^{U-S} 는 UAV에서 센서로의 최대 메시지 전달거리, d_{max}^{S-U} 는 센서로부터 UAV로의 최대 메시지 전달 거리이다. G_t 는 송신안테나 이득, G_r 는 수신안테나 이득, λ 는 신호의 파장, P_t^{U-S} 는 UAV의 송신 전력, P_t^{S-U} 는 센서의 송신전력, P_r^{min} 는 메시지 수신을 위한 최소로 요구되는 수신 전력이다. 지상의 센서들이 존재하는 격자 셀들 중에서 UAV_k 와 통신할 수 있는 격자 셀들의 집합을 UAV_k 의 커버리지(COV_k)(440)로 정의한다. UAV 커버리지는 UAV의 위치, UAV 안테나 각도, 송수신 전력 요구조건에 따른 상호 통신거리, 지상의 지형형태에 따른 UAV와 센서 격자 셀 간의 LOS(Line of Sight) 지원 여부 등에 의해 결정된다. 본 발명의 모델에서는 지상 지형의 굴곡으로 특정 지상 지점이 UAV와 LOS가 확보되지 않으면 통신 품질이 열악하여 통신을 정상적으로 수행할 수 없다고 가정한다.

[0060] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 지상의 임의 격자 셀이 특정 UAV의 센싱 커버리지에 포함되는지 여부를 검사하기 위한 단계들을 수행하는 과정을 설명하기 위한 도면이다.

[0061] 도 5(a)는 원뿔 영역에서 하단 원의 최대 길이를 계산하기 위한 과정을 설명하기 위한 도면이고, 도 5(b)는 UAV 빔 각도 영역을 계산하기 위한 과정을 설명하기 위한 도면이다.

[0062] UAV_k 의 3차원 위치가 $P_k^u = [x_k^u, y_k^u, z_k^u]$ 일 때, 본 발명에서 지상의 임의 격자 셀 C_i 가 UAV_k 커버리지 안에 있는지를 검사하는 과정은 다음과 같다.

[0063] 단계 1에서 UAV_k 최대 송수신 바닥 영역을 검사한다. UAV와 센서들 간의 통신을 위해 격자 셀 C_i 와 UAV_k 간의 거리는 식(1)의 $d_{max}^{U \leftrightarrow S}$ 보다 작아야 한다. UAV_k 가 지향성 안테나 각도 θ 를 사용할 때 최대 송수신 거리 $d_{max}^{U \leftrightarrow S}$ 내의 원뿔 영역에서 하단 원의 최대 길이 하단 r_{max} (511)는 식(2)로 계산된다.

$$r_{max} = d_{max}^{U \leftrightarrow S} \times \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad \text{식(2)}$$

[0065] (x, y) 평면에서, 격자 셀 C_i 의 중심점 (x_i, y_i) 과 UAV_k 의 위치 (x_k^u, y_k^u) 간의 거리 $r_{k-i} = \sqrt{(x_k^u - x_i)^2 + (y_k^u - y_i)^2}$ (512)가 r_{max} 보다 크면 UAV_k 커버리지의 바깥쪽에 위치하게 된다. 따라서 임의의 격자 셀 C_i 가 UAV_k 커버리지에 포함되려면 식(3)을 만족해야 한다. 도 5의 실시예에서 C_3 는 식(3)을 만족하지 못해 UAV_k 커버리지 밖에 있다.

$$r_{k-i} \leq r_{max} \quad \text{식(3)}$$

[0067] 단계 2에서 최대 통신거리를 검사한다. 단계 1을 통과한 격자 셀들이 UAV_k 의 최대 통신거리 내에 위치하는지를 검사한다. UAV_k 와 단계 1을 통과한 임의의 셀 C_i 와의 3차원 거리 $d_{k-i} = \sqrt{(x_k^u - x_i)^2 + (y_k^u - y_i)^2 + (z_k^u - z_i)^2}$ (513)가 식(4)를 만족하는지를 검사한다. 만족하는 경우 격자 셀 C_i 는 UAV_k 의 커버리지 내에 있다.

$$d_{k-i} \leq d_{max}^{U \leftrightarrow S} \quad \text{식(4)}$$

[0069] 단계 3에서, UAV 빔 각도 영역을 검사한다. 단계 2를 통과한 격자 셀들이 UAV_k 의 지향성 안테나 각도 안에 위치하는지를 검사한다. UAV_k 와 단계 2를 통과한 임의의 셀 C_i 의 지상 중심중의 높이 z_i 에서의 UAV_k 안테나 방사 영역에서 UAV로 부터의 최대 거리 d (521)를 식(5)로 구하고, UAV_k 와 셀 C_i 와의 3차원 거리 d_{k-i} (522)가 거리 d 보다 작은가를 검사한다. 또한 UAV의 지향성 안테나는 지상을 향하므로 격자 셀 C_i 의 높이는 UAV 높이보다 낮아야 한다. 따라서 식(6)을 만족해야 한다.

$$d = \frac{(z_k^u - z_i)}{\cos\left(\frac{\theta}{2}\right)} \quad \text{식(5)}$$

$$d_{k-i} \leq d \text{ and } z_i \leq z_k^u \quad \text{식(6)}$$

[0073] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 지상의 임의 격자 셀이 특정 UAV의 센싱 커버리지에 포함되는지 여부를 검사하기 위한 단계들을 수행하는 과정을 설명하기 위한 도면이다.

[0074] 단계 4에서 LOS를 검사한다. 단계 3을 통과한 격자 C_i 가 UAV_k 와의 최단 전파 경로에서 지형적 장애물 없이 통

신할 수 있는가를 검사한다. 도 6과 같이 (x, y) 평면에서 c_i (611)와 UAV_k (612)를 직선으로 연결하는 선(613) 상의 모든 격자 셀 조합 $SDPC_{k-i}$ (set of direct path cells between UAV_k and c_i) (613)에 있는 격자 셀 c_i (614)이 검사 대상 c_i 격자 셀과 UAV_k 와의 LOS 직접 통신을 방해하는지를 조사한다. 격자 셀 c_i 와 UAV_k 간의 LOS 직선에서 $SDPC_{k-i}$ 조합에 있는 격자 셀 c_i 중심점 (x_j, y_j) 상공상의 점을 $z_j^{LOS_{k-i}}$ 로 정의한다.

$z_j^{LOS_{k-i}}$ 는 식(7)로 계산된다.

$$z_j^{LOS_{k-i}} = \frac{z_k^u - z_i}{\sqrt{(x_k^u - x_i)^2 + (y_k^u - y_i)^2}} \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2} + z_i \quad \text{식(7)}$$

$SDPC_{k-i}$ 조합에 있는 격자 셀 c_i 의 높이 z_j 가 $z_j^{LOS_{k-i}}$ 보다 낮으면 격자 셀 c_i 는 격자 셀 c_i 와 UAV_k 간 LOS 직접통신을 방해하지 않게 된다. 따라서 $SDPC_{k-i}$ 조합에 있는 모든 격자 셀 c_i 에 대하여 식(8)이 만족되면 격자 셀 c_i 는 UAV_k 의 커버리지 안에 있는 것으로 판단한다.

$$z_j < z_j^{LOS_{k-i}}, \quad \forall c_j \in SDPC_{k-i} \quad \text{식(8)}$$

도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 하나의 UAV에 대해 시간대별 센싱정보 획득 및 다음 최적위치로의 이동 방법을 나타내는 도면이다.

도 7(a)는 하나의 UAV에 대해 시간대별 센싱정보 획득을 설명하기 위한 도면이고, 도 7(b)는 최적위치로의 이동을 설명하기 위한 도면이다.

본 발명의 실시예에 따른 UAV_k 가 현재 m번 이동하여 최적위치에 있을 때(701), UAV_k 는 현재 위치에 머물면서 센싱 커버리지 안에 있는 모든 센서들로부터 센싱정보를 전송 받는다(702). 이때 소요되는 시간을 $T_S^k(m)$ 으로 정의한다. UAV_k 가 센싱 커버리지 내의 센서들로부터 정보 수신을 완료하기 전에 원격의 서버는 UAV_k 의 다음 최적 센싱정보 획득 위치를 결정하여 UAV_k 에게 전달한다(703). UAV_k 는 서버로부터 전달받은 (m+1) 번째 최적위치로 이동한다(704). 이때 UAV 이동에 필요한 시간은 $T_M^k(m+1)$ 로 정의한다. (m+1)번째 최적위치(705)에서 UAV_k 는 다시 커버리지 내의 센서들로부터 센싱정보를 획득한다.

도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 복수의 UAV들이 각각의 최적위치를 결정함에 있어 시간대 별 동작을 나타내는 도면이다.

도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 각 시간 단위 PSO를 이용한 최적위치 결정과 최적 위치 이동 후의 네트워크 구조를 나타내는 도면이다.

도 8의 예시에서와 같이, 각 UAV는 비동기적으로 다음 최적 위치가 결정된다(810).

도 9를 참조하면, UAV들은 다음 위치로 이동 후(812)에도 기존 네트워크에 연결 가능하여야 하고, UAV 네트워크 중의 최소한 한 UAV는 지상의 서버와 연결된 GBS(Ground Base Station)과 연결 가능하여야 한다.

본 발명에서 원격의 서버는 각 UAV의 다음 최적 위치를 결정하기 위해 목적함수를 정의하고 목적함수를 최대화하는 위치를 선정한다. 목적함수는 센싱가치 목적함수(fitness function), UAV 운용시간 목적함수, UAV 운용 에너지 소모 목적함수로 정의하고 세가지 목적함수를 가중치 합하여 전체 목적함수를 정의한다.

센싱가치 목적함수 계산 실시 예로, UAV_k 에 대해 시간t에 (m+1) 번째 새로운 최적 센싱정보 획득 위치를 결정

함에 있어, 특정 위치에서의 센싱 가치 목적함수(sensing value fitness function) F_S 는 식(9)와 같이 UAV_k 의 커버리지 내의 모든 격자 셀로부터 획득 가능한 센싱정보가치를 정규화한 값으로 정의된다.

$$F_S = \frac{\sum_{\forall C_i \in COV_k, C_i \in COV_{i \neq k}} \sum_{j=1}^{N_g} V_{C_i}^{g_j} (t + \hat{T}_M^k(m+1)) f_{ns}^{g_j} (N_{C_i}^{g_j})}{NOR_S} \quad \text{식(9)}$$

COV_k 는 UAV_k 의 커버리지 내에 있는 격자 셀들의 집합이다. F_S 의 계산에 있어 UAV_k 의 커버리지 내에 있는 격자 셀들 중 현재 다른 UAV에 의해 이미 정보를 획득중인 격자 셀은 제외한다. $V_{C_i}^{g_j} (t + \hat{T}_M^k(m+1))$ 는 시간 $t + \hat{T}_M^k(m+1)$ 에서 격자 셀 C_i 의 센서 타입 g_j 의 센싱 가치 함수 값이다. $\hat{T}_M^k(m+1)$ 은 UAV_k 가 m번째 현재 위치에서 목적함수를 평가하는 (m+1)번째 위치로의 추정 이동시간이다. $t + \hat{T}_M^k(m+1)$ 는 식 (10)으로 계산된다. $d_{m,(m+1)}^k$ 은 UAV_k 의 m번째 현재 위치에서 (m+1)번째 평가 위치 간의 거리이다. v_u 는 UAV의 이동 속도이다. $f_{ns}^{g_j} (N_{C_i}^{g_j})$ 는 센서 타입 g_j 의 격자 당 센서 수에 따른 가치 함수이다. $N_{C_i}^{g_j}$ 는 격자 셀 C_i 의 센서 타입 g_j 의 센서의 수이다. NOR_S 는 센싱 가치 목적함수 정규화를 위한 정규화 값이다. NOR_S 는 식(11)로 정의된다. S_C 는 사전에 정의된 격자 셀의 크기 이다.

$$\hat{T}_M^k(m+1) = \frac{d_{m,(m+1)}^k}{v_u} \quad \text{식(10)}$$

$$NOR_S = \frac{\pi (d_{max}^{U \rightarrow S} \times \sin \frac{\theta}{2})^2}{S_C} \sum_{j=1}^{N_g} \left(\left(\frac{v_{g_j}^{max} - v_{g_j}^{min}}{2} \right) \times \left(\frac{N_{g_j}^{max} - N_{g_j}^{min}}{2} \right) \right) \quad \text{식(11)}$$

식 (9)에서 $V_{C_i}^{g_j}(t)$ 함수는 시간에 따라 변화하는 센싱가치 함수이다. 센싱가치 함수는 UAV가 격자 셀 C_i 의 센서 타입 g_j 의 센서들로부터 센싱정보를 획득하였을 때 이전에 해당 격자 셀에서 동일 센서 타입을 언제 획득하였는지에 따라 그 센싱 가치가 변화함을 나타낸다. 센서 타입 별로 최대 센싱 가치 $v_{g_j}^{max}$ 와 최소 센싱가치 $v_{g_j}^{min}$ 이 사전에 정의되고 해당 셀에서 센서 타입 g_j 의 센싱정보가 전송되었다면, 동일 셀에서 동일 타입의 센싱정보 추가 획득에 따른 정보의 값은 최소 센싱가치 $v_{g_j}^{min}$ 으로 감소하게 되고 이후 시간이 흐르면서 최대 센싱 가치 $v_{g_j}^{max}$ 까지 증가하게 된다. 본 발명의 실시 예에서 센싱 가치 함수 $V_{C_i}^{g_j}(t)$ 는 응용에 따라 지수함수, 선형함수, 로그함수 등으로 다양하게 설정될 수 있다.

식(9)에서 $f_{ns}^{g_j}(n)$ 은 센서 타입 g_j 의 격자 셀 당 센서 수에 따른 가치 함수이다. 격자 셀내에서 센서 타입 별 센서 수가 너무 적으면 개별 센서의 센싱 가치는 커지고, 반대로 센서의 수가 임계치 이상 많으면 각 센서의 센싱가치는 작아진다. 센서 타입 별로 센서 수에 따른 가치 함수 값은 사전에 설정된 $N_{g_j}^{min}$ 과 $N_{g_j}^{max}$ 사이에서 결정된다. 본 발명의 실시 예에서 센서 수에 따른 가치함수 $f_{ns}^{g_j}(n)$ 은 응용에 따라 지수함수, 선형함수, 로그함수 등으로 다양하게 설정될 수 있다.

UAV 운용시간 목적함수 계산 실시 예로, UAV_k 의 현재 m번째 위치에서 다음 (m+1)번째 위치에 대한 운용시간은 다음 위치로의 이동을 위한 추정 이동시간 ($\hat{T}_M^k(m+1)$)과 다음위치에서 머물면서 커버리지 내의 센서들로부터

의 센싱정보 획득 추정시간 $(\hat{T}_M^k(m+1))$ 의 합을 정규화 하여 식(12)를 이용하여 계산한다. 식(13)은 식(12) 계산에서 정규화를 위한 값이다.

$$F_T = \frac{\hat{T}_M^k(m+1) + \hat{T}_S^k(m+1)}{NOR_T} = \frac{\frac{d_{m(m+1)}^k}{v_u} + \sum_{\forall C_i \in COV_k} \sum_{j=1}^{N_g} \left(N_{C_i}^{g_j} \times T_{pkt}^{g_j} \times \frac{1}{1-p_{C_i}^{g_j}} \right)}{NOR_T} \quad \text{식(12)}$$

$$NOR_T = \frac{\sqrt{R_x^2 + R_y^2 + R_z^2}}{\alpha \times N_{UAV} \times v_u} + \frac{\pi \left(d_{max}^{U \leftrightarrow S} \times \sin \frac{\theta}{2} \right)^2}{S_C} \sum_{j=1}^{N_g} \left(\frac{N_{g_j}}{N_C} \times T_{pkt}^{g_j} \times \frac{1}{1-p_{g_j}} \right) \quad \text{식(13)}$$

평가를 위한 (m+1)번째 위치에서 UAV_k 의 커버리지 내의 모든 센서로부터 센싱정보를 전송 받는 추정시간 $(\hat{T}_S^k(m+1))$ 은 식(12)에서와 같이 커버리지 내의 모든 격자 셀 C_i 의 모든 센서 타입 g_j 의 센서 수 $N_{C_i}^{g_j}$ 에 대해 센싱정보 패킷을 수신하기 위해 필요한 시간의 합이 된다. $T_{pkt}^{g_j}$ 는 센서 타입 g_j 의 한 개의 센싱정보 패킷을 수신 받는데 필요한 평균 지연시간이다. 이 값은 UAV와 센서와의 통신을 위한 프로토콜 구현 사항에 따라 사전에 결정된다. $p_{C_i}^{g_j}$ 는 격자 셀 C_i 의 센서 타입 g_j 패킷 전송시의 평균 패킷 전송 오류 확률이다. $p_{C_i}^{g_j}$ 은 UAV_k 의 (m+1)번째 위치에서 격자 셀 C_i 와 거리를 이용하여 추정된 자유공간 신호 대 잡음 비(SNR)을 이용하여 추정한다. 식(12)와 식(13)에서의 $\frac{1}{1-p_{C_i}^{g_j}}$ 값은 주어진 패킷 오류 확률에서 성공적인 패킷 전송까지 수행한 평균 패킷 전송 횟수이다. 정규화를 위한 식(13)에서 α 는 UAV 운용시간 목적함수 정규화 파라미터로 사전에 설정된다. N_{UAV} 는 센서 필드에 운용중인 전체 UAV의 수이다. p_{g_j} 는 센서 필드에서 UAV와 센서 격자 셀에 대한 가능한 거리 조합의 평균거리에서의 SNR을 이용하여 추정된 평균 패킷 오류 확률로 정의한다.

UAV 운용 에너지 소모 목적함수 계산 실시 예로, UAV_k 의 현재 m번째 위치에서 다음 (m+1)번째 평가 위치에 대한 운용 에너지 소모는 다음 위치로의 이동을 위한 식(14)의 UAV 이동 비행 에너지 $E_M^k(m+1)$, 다음 위치에서의 센싱정보 획득을 위해 UAV가 정지 비행하기 위한 식(15)의 UAV정지 비행 에너지 $E_S^k(m+1)$, 다음 위치에서의 센싱정보 획득을 위해 UAV와 센서들과의 통신을 위한 식(16)의 UAV 통신 에너지 $E_C^k(m+1)$ 의 합을 정규화 한 식(17)의 목적함수로 정의한다. 식(18)은 식(17) 계산에서 정규화를 위한 값이다.

$$E_M^k(m+1) = \hat{T}_M^k(m+1)e_m = \frac{d_{m(m+1)}^k}{v_u} e_m \quad \text{식(14)}$$

$$E_S^k(m+1) = \hat{T}_S^k(m+1)e_s = \left\{ \sum_{\forall C_i \in COV_k} \sum_{j=1}^{N_g} \left(N_{C_i}^{g_j} \times T_{pkt}^{g_j} \times \frac{1}{1-p_{C_i}^{g_j}} \right) \right\} \times e_s \quad \text{식(15)}$$

$$E_C^k(m+1) = \sum_{\forall C_i \in COV_k} \sum_{j=1}^{N_g} \left(N_{C_i}^{g_j} \times \frac{1}{1-p_{C_i}^{g_j}} \times e_c^{g_j} \right) \quad \text{식(16)}$$

$$F_E = \frac{E_M^k(m+1) + E_S^k(m+1) + E_C^k(m+1)}{NOR_E} \quad \text{식(17)}$$

$$NOR_E = \frac{\sqrt{R_x^2 + R_y^2 + R_z^2}}{\beta \times N_{UAV} \times v_u} e_m + \frac{\pi \left(d_{max}^{U \leftrightarrow S} \times \sin \frac{\theta}{2} \right)^2}{S_C} \sum_{j=1}^{N_g} \left(\frac{N_{g_j}}{N_C} \times T_{pkt}^{g_j} \times \frac{1}{1 - p_{g_j}} \right) e_s$$

$$+ \frac{\pi \left(d_{max}^{U \leftrightarrow S} \times \sin \frac{\theta}{2} \right)^2}{S_C} \sum_{j=1}^{N_g} \left(\frac{N_{g_j}}{N_C} \times \frac{1}{1 - p_{g_j}} \right) e_c^{g_j} \quad \text{식(18)}$$

e_m 은 UAV의 이동 비행에 필요한 초당 단위 에너지이다. e_s 는 UAV의 정지 비행에 필요한 초당 단위 에너지이다. $e_c^{g_j}$ 는 센서 타입 g_j 의 패킷 전송 당 필요한 통신 단위 에너지이다. 식(18)의 β 는 UAV 운용 에너지 소모 목적함수 정규화 파라미터로 사전에 설정된다.

최종적으로 UAV의 다음 이동위치를 결정하는 전체 목적함수는 식(19)와 같이 센싱가치 목적함수 (F_S), UAV 운용 시간 목적함수 (F_T), UAV 운용 에너지 소모 목적함수 (F_E)의 가중치 합으로 정의된다. 전체 목적함수는 센싱가치 목적함수를 최대화 하고, UAV 운용시간 목적함수와 UAV 운용에너지 소모 목적함수는 최소화 하는 것을 목적으로 한다. 식(19)의 각 목적함수의 가중치 값 $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ ($\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 = 1$)는 UAV를 이용한 센서네트워크 응용에 따라 운용자에 의해 결정된다.

$$F = \omega_1 F_S - \omega_2 F_T - \omega_3 F_E \quad \text{식(19)}$$

현재 위치에서 다음 위치로의 이동이 필요한 UAV에 대해 센서 필드내의 3차원 공간에서 식(19)의 전체 목적함수를 최대화하는 위치를 계산한다. 계산량을 줄이고 실시간 구현이 가능하게 하기 위해 PSO(Particle Swarm Optimization) 알고리즘을 적용하여 탐색을 빠르게 진행한다. 각 UAV의 m-번째 이동에 따른 현재 위치에서 센싱 데이터 획득이 끝난 후 다음 (m+1)번째 최적 위치로 이동함에 있어 새로운 이동 위치는 다음의 조건들을 필수적으로 만족하여야 하며 아래의 조건을 만족하지 않는 위치는 최적 위치 선정의 고려대상에서 제외한다:

조건1: UAV의 위치는 정의된 3차원 센서필드 $[(0 \sim R_x), (0 \sim R_y), (0 \sim R_z)]$ 내에 위치해야 한다

조건 2: UAV의 (x, y) 평면 좌표는 미리 정의된 (x, y) 평면 격자 셀 중 하나의 중심에 위치하여야 한다.

조건 3: UAV의 높이는 UAV의 (x, y) 평면 위치에 있는 격자 셀의 지상 높이 보다 높아야 한다.

조건 4: UAV의 3차원 위치는 사전에 정의된 비행금지구역에 포함되지 않아야 한다.

조건 5: 만약 다른 UAV 들이 서버가 연결된 지상 기지국 (GBS)과 직접 통신이 불가능한 위치에 있을 때에는 위치 이동이 필요한 UAV의 다음 위치는 지상 기지국이 통신이 가능한 범위 내에 위치하여야 한다.

조건 6: UAV의 위치는 다른 UAV 중 최소한 하나의 UAV와 직접통신이 가능한 범위내에 있어야 한다.

본 발명의 PSO를 이용한 실시예에서 UAV_k 의 m번째 이동에 따른 현재 위치를 $[x_k^u(m), y_k^u(m), z_k^u(m)]$ 라고 하고, PSO 파티클(particle)의 수를 N_P 라 할 때, 다음 위치의 전체 목적함수 평가를 위한 파티클 p 의 q 번째 이터레이션 (iteration)의 UAV 위치와 파티클의 속도는 각각 $U_p^q = [u_{px}^q, u_{py}^q, u_{pz}^q]$ 와 $v_p^q = [v_{px}^q, v_{py}^q, v_{pz}^q]$ 로 정의한다. PSO 알고리즘에서 파티클 p 의 q 번째 이터레이션의 파티클 이동속도는 식 (20)으로 계산된다.

$$v_{pi}^q = wv_{pi}^{q-1} + c_1 r_1 (pb_{pi}^{q-1} - u_{pi}^{q-1}) + c_2 r_2 (gb_i^{q-1} - u_{pi}^{q-1}), i = x, y, z \quad \text{식(20)}$$

[0118] w 는 가중치 값, r_1 과 r_2 는 0~1사이의 랜덤 값, c_1 과 c_2 는 파티클 최대값(particle best)과 글로벌 최대값(global best)에 사용되는 가중치이다. $pb_p^q = [pb_{px}^q, pb_{py}^q, pb_{pz}^q]$ 는 이터레이션 q 까지 파티클 p 의 움직임 중 식(19)를 최대화 하는 파티클 최대 값이다. $gb^q = [gb_x^q, gb_y^q, gb_z^q]$ 는 이터레이션 q 까지 모든 파티클 움직임 중 식(19)를 최대화하는 글로벌 최대 값이다. 파티클 p 의 다음 위치는 식(21)로 업데이트 된다.

$$U_p^q = U_p^{q-1} + v_p^q \quad \text{식(21)}$$

[0120] PSO를 이용한 UAV의 다음 최적 이동위치는 사전에 정의된 이터레이션 수 후의 글로벌 최대값으로 결정된다.

[0122] 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, 예를 들어, 프로세서, 콘트롤러, 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. 처리 장치는 운영 체제(OS) 및 상기 운영 체제 상에서 수행되는 하나 이상의 소프트웨어 애플리케이션을 수행할 수 있다. 또한, 처리 장치는 소프트웨어의 실행에 응답하여, 데이터를 접근, 저장, 조작, 처리 및 생성할 수도 있다. 이해의 편의를 위하여, 처리 장치는 하나가 사용되는 것으로 설명된 경우도 있지만, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는, 처리 장치가 복수 개의 처리 요소(processing element) 및/또는 복수 유형의 처리 요소를 포함할 수 있음을 알 수 있다. 예를 들어, 처리 장치는 복수 개의 프로세서 또는 하나의 프로세서 및 하나의 콘트롤러를 포함할 수 있다. 또한, 병렬 프로세서(parallel processor)와 같은, 다른 처리 구성(processing configuration)도 가능하다.

[0123] 소프트웨어는 컴퓨터 프로그램(computer program), 코드(code), 명령(instruction), 또는 이들 중 하나 이상의 조합을 포함할 수 있으며, 원하는 대로 동작하도록 처리 장치를 구성하거나 독립적으로 또는 결합적으로(collectively) 처리 장치를 명령할 수 있다. 소프트웨어 및/또는 데이터는, 처리 장치에 의하여 해석되거나 처리 장치에 명령 또는 데이터를 제공하기 위하여, 어떤 유형의 기계, 구성요소(component), 물리적 장치, 가상 장치(virtual equipment), 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.

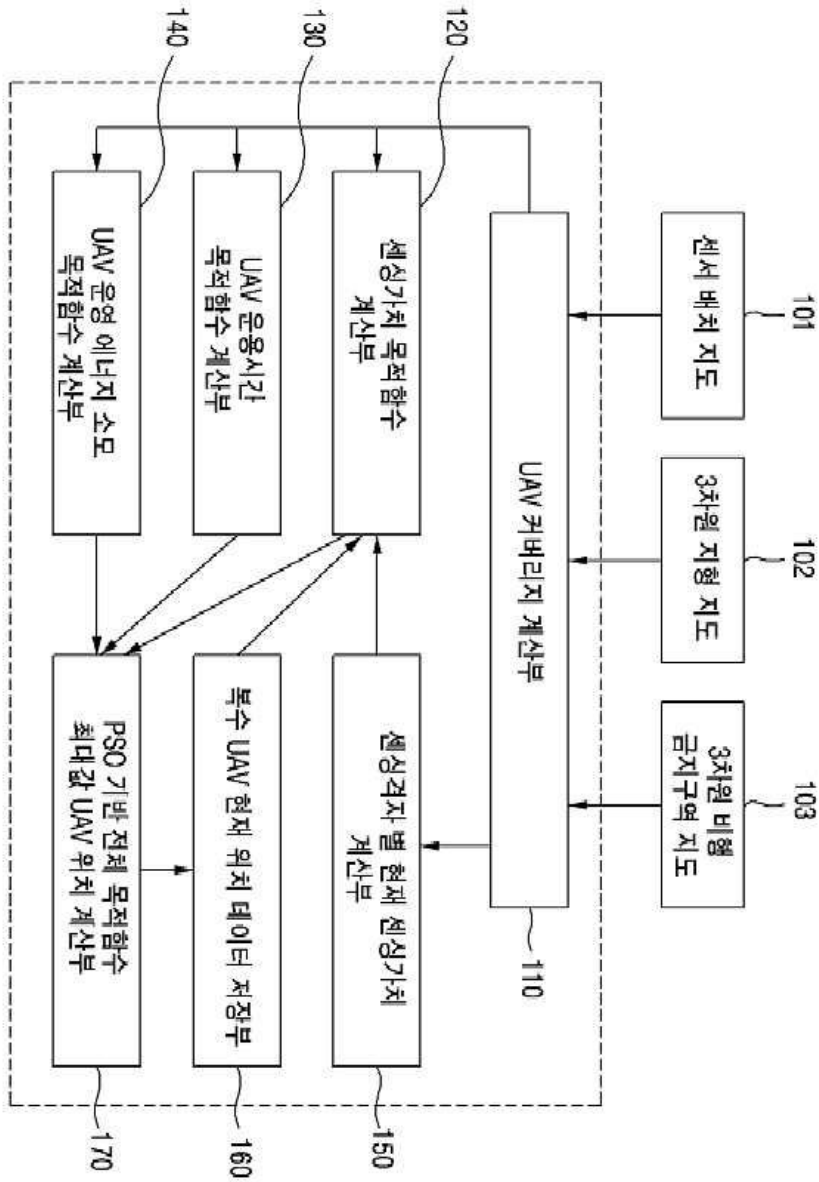
[0124] 실시예에 따른 방법은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 상기 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체에 기록되는 프로그램 명령은 실시예를 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 기록 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(magnetic media), CD-ROM, DVD와 같은 광기록 매체(optical media), 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광 매체(magneto-optical media), 및 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다.

[0125] 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.

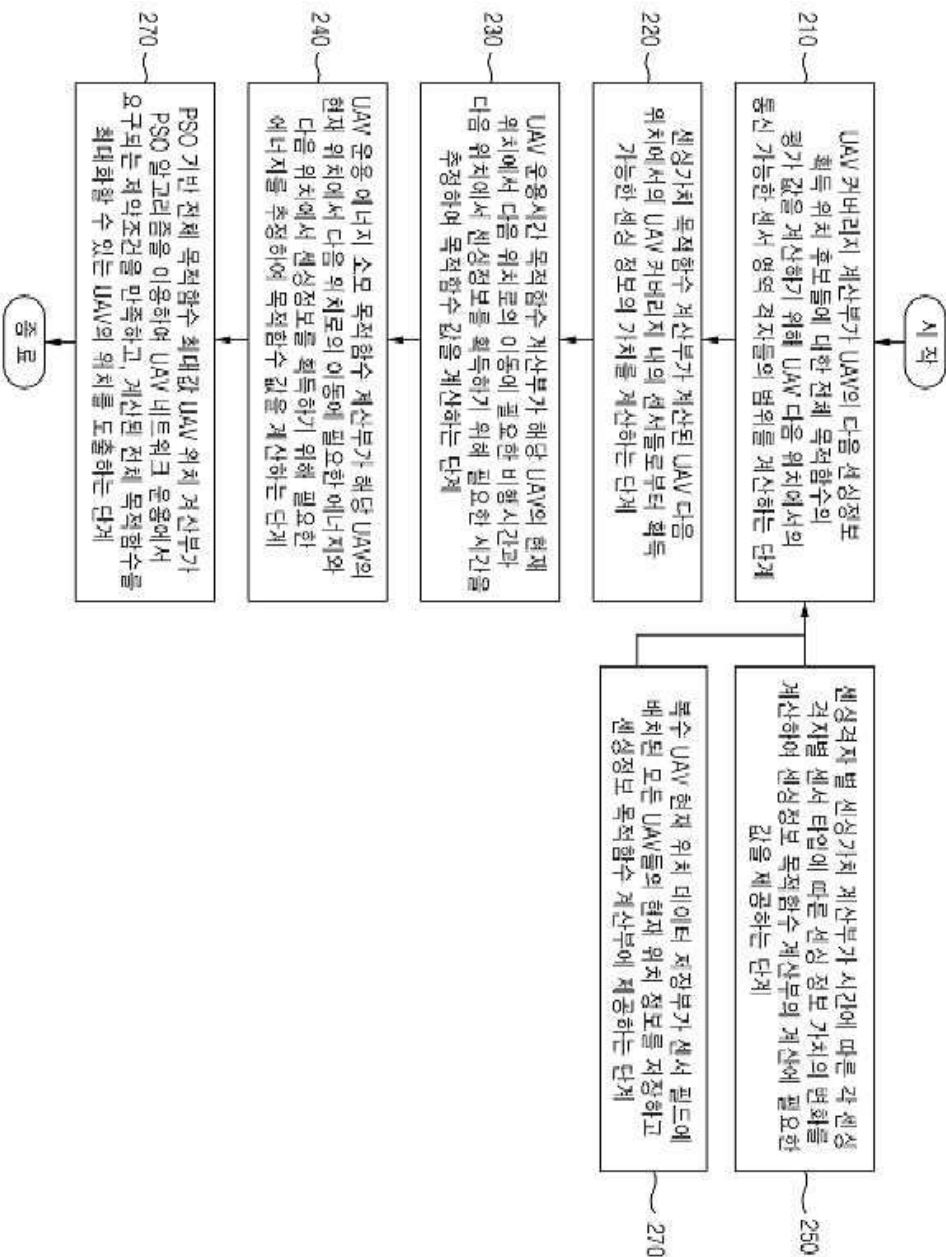
[0126] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

도면

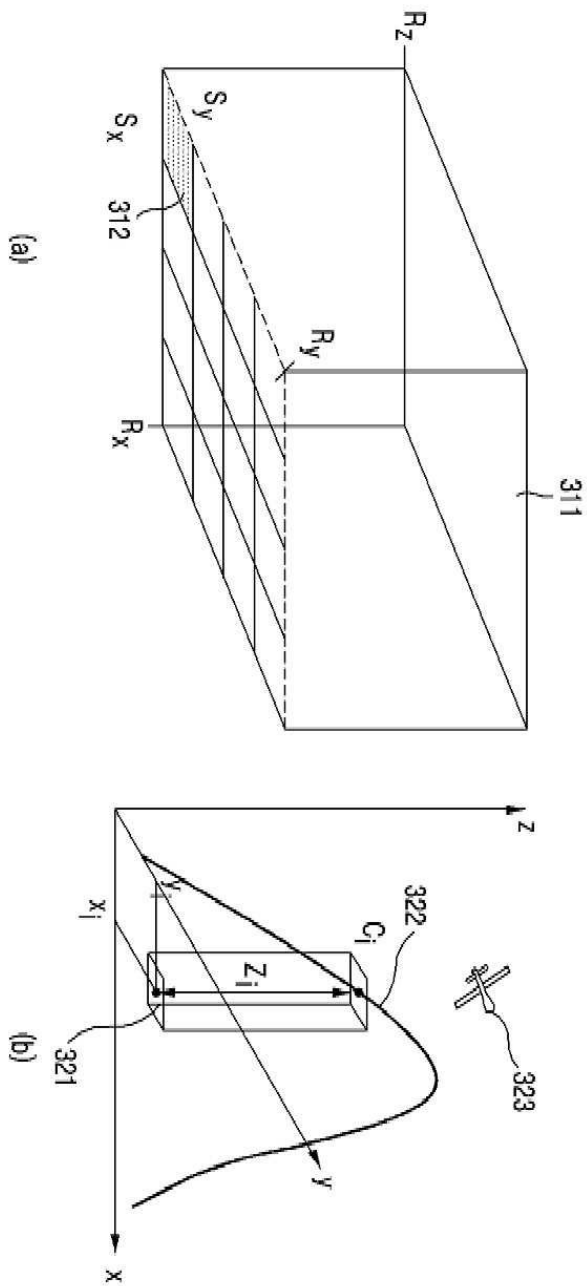
도면1



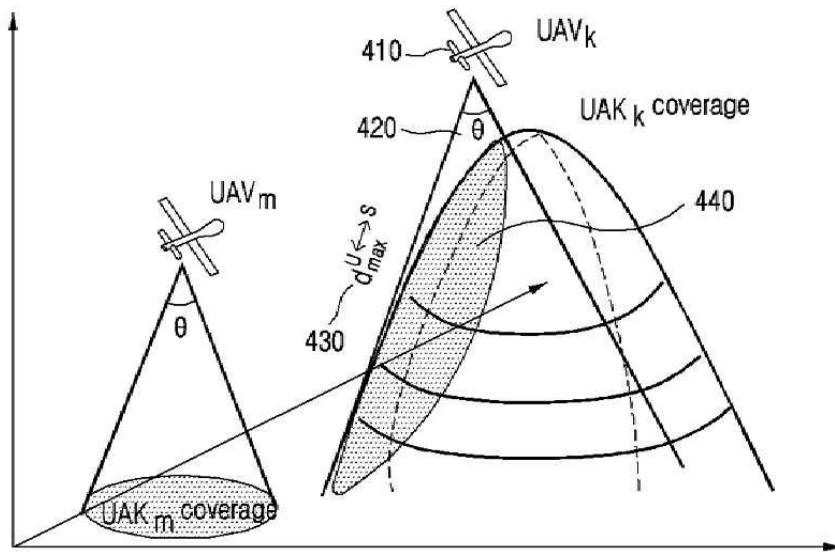
도면2



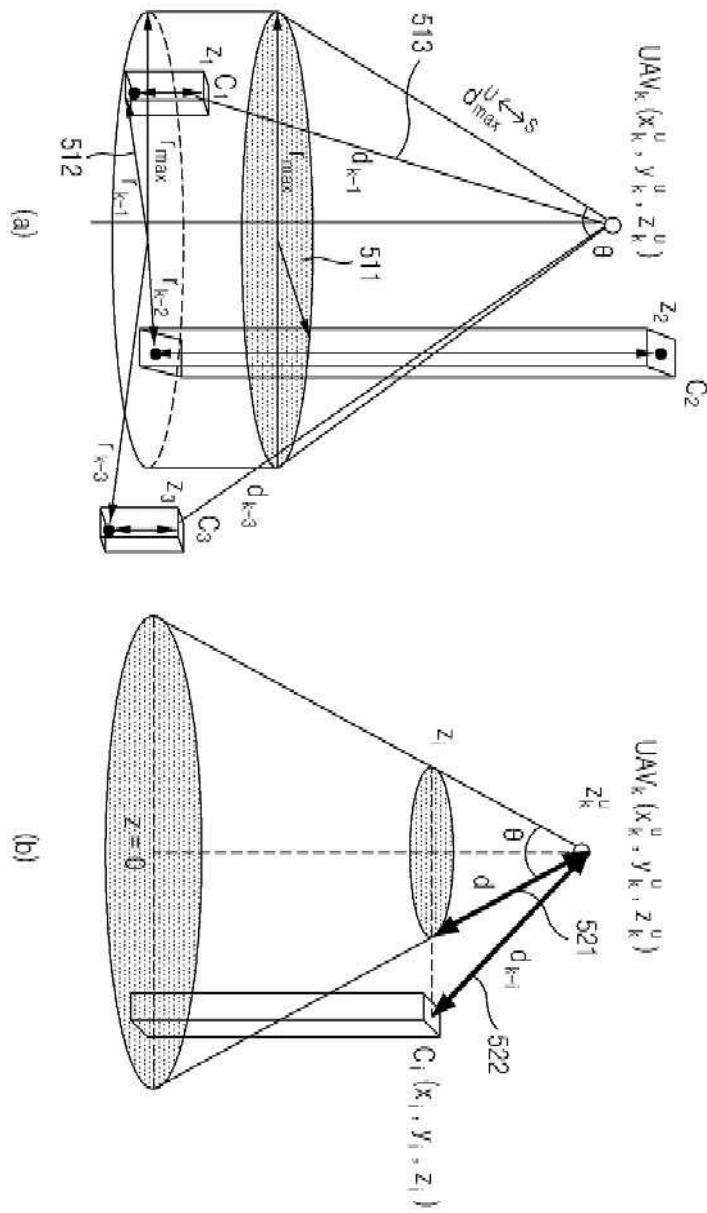
도면3



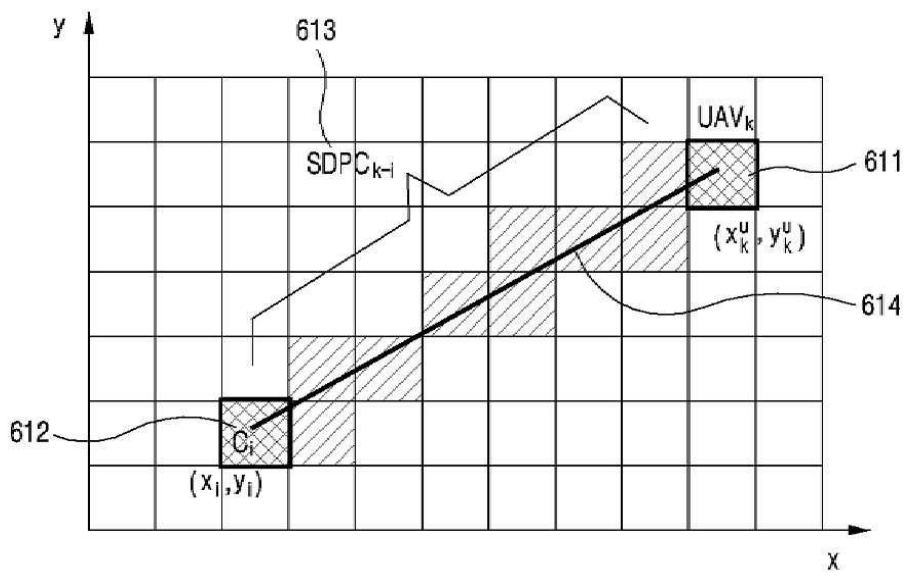
도면4



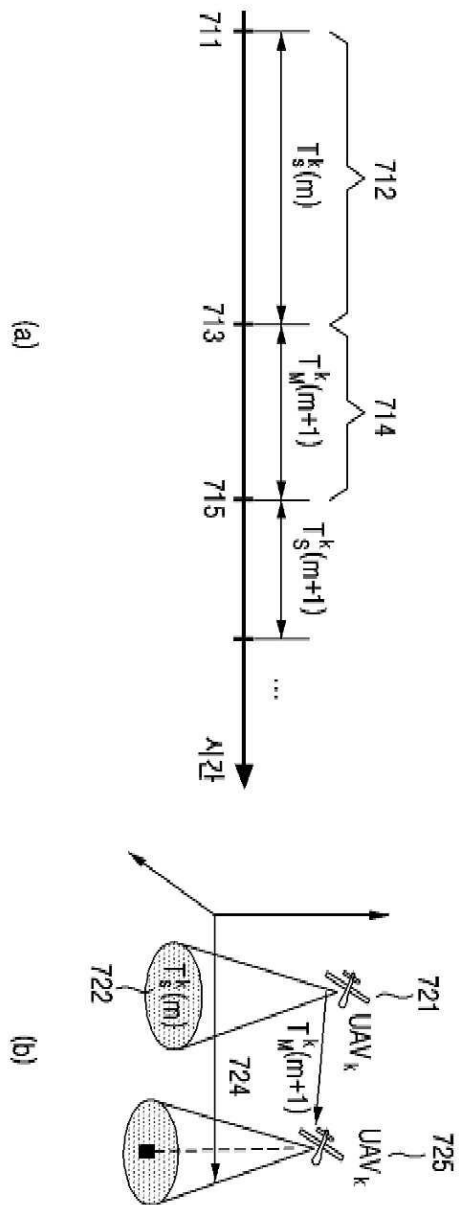
도면5



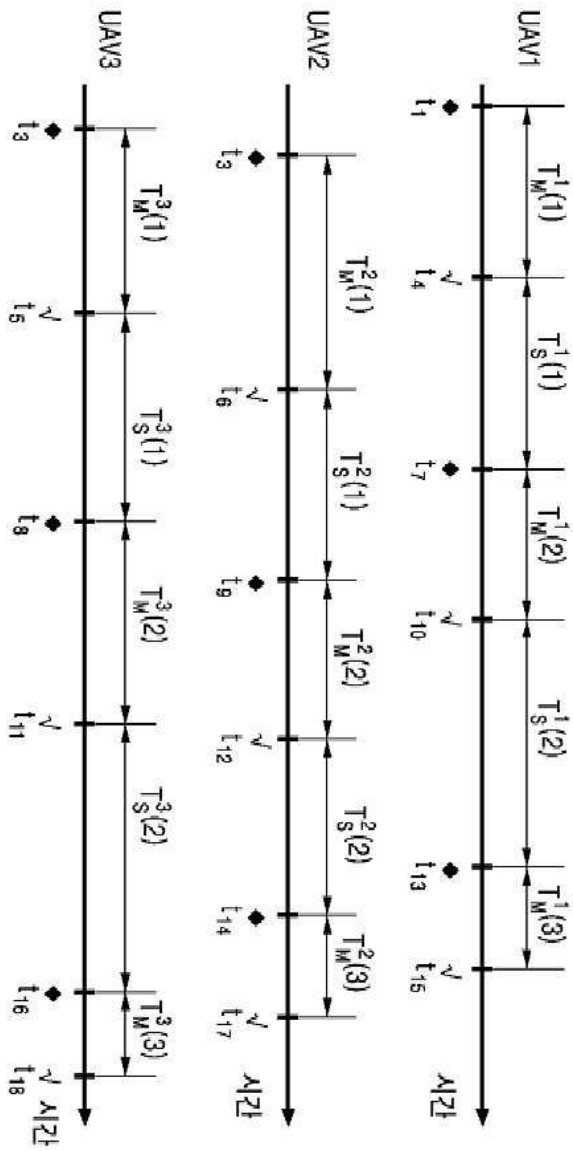
도면6



도면7



도면8



◆ PSO를 이용하여 UAV의 다음 최적위치 결정 (810)
 ↗ 새로운 다음 위치로 이동완료 (812)

도면9

