(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년07월21일
(11) 등록번호 10-2279956
(24) 등록일자 2021년07월15일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G05D 1/10 (2006.01) *B64C 39/02* (2006.01)
B64D 45/00 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G05D 1/1064 (2021.01)
B64C 39/024 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-0052352
(22) 출원일자 2020년04월29일
심사청구일자 2020년04월29일
(56) 선행기술조사문헌
HU Teng 외 4명, 3D surveillance path planning for multi-UAVs, Systems Engineering and Electronics 2019, Vol. 41 Issue (7) 1551-1559*
Eva Besada-Portas 외 3명, Evolutionary Trajectory Planner for Multiple UAVs in Realistic Scenarios, IEEE Transactions on Robotics, VOL. 26, NO. 4, AUGUST 2010*
KR1020190001436 A
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
인하대학교 산학협력단
인천광역시 미추홀구 인하로 100(용현동, 인하대학교)
(72) 발명자
장경희
서울특별시 마포구 백범로 205, 101동 1110호(신공덕동, 펜트라우스)
호등
인천광역시 미추홀구 소성로 71, 인하대학교 제2생활관(학익동)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
양성보

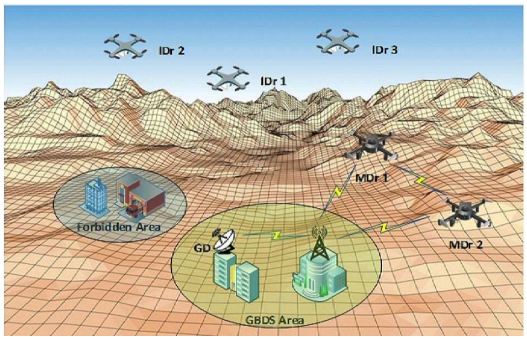
전체 청구항 수 : 총 8 항 심사관 : 박지은

(54) 발명의 명칭 **감시영역 우선도 기반 소수무리최적화 이론을 활용한 복수 무인항공기의 3차원 감시경로설정 최적화 방법 및 장치**

(57) 요 약

감시영역 우선도 기반 소수무리최적화 이론을 활용한 복수 무인항공기(UAV)의 3차원 감시경로설정 최적화 방법 및 장치가 제시된다. 본 발명에서 제안하는 감시영역 우선도 기반 소수무리최적화 이론을 활용한 복수 무인항공기(UAV)의 3차원 감시경로설정 최적화 방법은 소수 무리 최적화(Particle Swarm Optimization; PSO) 이론을 이용하여 각 모니터링 드론들(Monitoring Drones; MDr)에 대한 최적 경로를 도출하는 단계, 다중 목적 적합성 함수를 이용하여 가능한 모든 경로로부터 최상의 비행 경유지 시퀀스를 획득하는 단계, CAC(Coordinated Agents Coevolution)를 이용하여 충돌의 존재를 감지하는 단계, CAC가 만족되는 경우 한 번의 비행 시간 동안 최적의 경로를 생성하는 단계 및 다음 비행 전, SAI(surveillance area importance) 값을 업데이트하는 단계를 포함한다.

대 표 도



(52) CPC특허분류
B64D 45/00 (2013.01)
B64C 2201/12 (2013.01)
(72) 발명자
아람기르
인천광역시 미추홀구 재넘이길 118, 지하(용현동)

이쉬티아크
인천광역시 미추홀구 재넘이길39번길 11, 지하 1층 2호(학익동, 대청빌라)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1711094818
과제번호 2019R1F1A1061696
부처명 과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 기본연구
연구과제명 [Ezbaro] 머신러닝(Machine Learning) 이론과 PSO(Particle Swarm Optimization) 알고리즘을 활용한 불법드론 탐지, 추적 및 경로계획 절차 연구
기 여 율 1/1
과제수행기관명 인하대학교
연구기간 2019.06.01 ~ 2020.02.29
공지예외적용 : 있음

명 세 서

청구범위

청구항 1

소수 무리 최적화(Particle Swarm Optimization; PSO) 이론을 이용하여 각 모니터링 드론들(Monitoring Drones; MDr)에 대한 최적 경로를 도출하는 단계;

다중 목적 적합성 함수를 이용하여 가능한 모든 경로로부터 최상의 비행 경유지 시퀀스를 획득하는 단계;

CAC(Coordinated Agents Coevolution)을 이용하여 충돌의 존재를 감지하는 단계;

CAC가 만족되는 경우 한 번의 비행 시간 동안 최적의 경로를 생성하는 단계; 및

다음 비행 전, SAI(surveillance area importance) 값을 업데이트하는 단계

를 포함하는 3D 최적 보안 감시 경로 계획 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

소수 무리 최적화 이론을 이용하여 각 모니터링 드론들에 대한 최적 경로를 도출하는 단계는,

각 모니터링 드론들에 대한 속도 벡터와 위치 벡터를 생성하고, 속도 벡터와 위치 벡터를 이용한 PSO를 통해 개체의 개별 최고값 및 모든 개체의 최고값을 결정하고, 개체의 개별 최고값 및 모든 개체의 최고값을 통해 각 개체의 속도와 위치를 개선하여 최적 경로를 도출하며, 자율 비행 장치에 적용 가능하도록 모니터링 드론들 간의 충돌방지를 위한 최적 경로를 도출하는

3D 최적 보안 감시 경로 계획 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

다음 비행 전, SAI 값을 업데이트하는 단계는,

MDr이 이벤트가 감지되는 셀에서 불법 드론들(Illegal Drone; IDr)의 존재가 감지되는 경우, SAI 값을 증가시키는 단계;

SAI 값이 과거 평균 SAI 값과 비교하여 빠르게 변화하고 있는 지역에 대하여 SAI 값을 증가시키는 단계; 및

동일한 지역에 대하여 반복적인 감시를 피하기 위해 이전에 감시를 받은 지역에 대한 SAI 값을 줄이는 단계

를 포함하는 3D 최적 보안 감시 경로 계획 방법.

청구항 4

제3항에 있어서,

MDr이 이벤트가 감지되는 셀에서 IDr의 존재가 감지되는 경우, SAI 값을 증가시키는 단계는,

특정 셀에서 IDr이 감지되는 경우, IDr이 해당 지역에 침입하는 것을 방지하기 위해 인접 셀을 감시하고, 해당 셀과 해당 셀에 대한 인접 셀의 SAI 값을 증가시키는

3D 최적 보안 감시 경로 계획 방법.

청구항 5

제3항에 있어서,

동일한 지역에 대하여 반복적인 감시를 피하기 위해 이전에 감시를 받은 지역에 대한 SAI 값을 줄이는 단계는,

미리 정해진 비행 시간 이상 동안 셀을 감시하지 않은 경우, 해당 셀에 대한 SAI 값을 증가시키고, 감시를 받은 셀에 대해서는 SAI 값을 줄이도록 셀의 SAI 값을 조정하는

3D 최적 보안 감시 경로 계획 방법.

청구항 6

소수 무리 최적화(Particle Swarm Optimization; PSO) 이론을 이용하여 각 모니터링 드론들(Monitoring Drones; MDr)에 대한 최적 경로를 도출하고, 다중 목적 적합성 함수를 이용하여 가능한 모든 경로로부터 최상의 비행 경유지 시퀀스를 획득하는 예측부;

CAC(Coordinated Agents Coevolution)을 이용하여 충돌의 존재를 감지하고, CAC가 만족되는 경우 한 번의 비행 시간 동안 최적의 경로를 생성하는 검출부; 및

다음 비행 전, SAI(surveillance area importance) 값을 업데이트하는 업데이트부

를 포함하는 3D 최적 보안 감시 경로 계획 장치.

청구항 7

제6항에 있어서,

예측부는,

각 모니터링 드론들에 대한 속도 벡터와 위치 벡터를 생성하고, 속도 벡터와 위치 벡터를 이용한 PSO를 통해 개체의 개별 최고값 및 모든 개체의 최고값을 결정하고, 개체의 개별 최고값 및 모든 개체의 최고값을 통해 각 개체의 속도와 위치를 개선하여 최적 경로를 도출하며, 자율 비행 장치에 적용 가능하도록 각 모니터링 드론들 간의 충돌방지를 위한 최적 경로를 도출하는

3D 최적 보안 감시 경로 계획 장치.

청구항 8

제6항에 있어서,

업데이트부는,

MDr이 이벤트가 감지되는 셀에서 불법 드론들(Illegal Drone; IDr)의 존재가 감지되는 경우, SAI 값을 증가시키고;

SAI 값이 과거 평균 SAI 값과 비교하여 빠르게 변화하고 있는 지역에 대하여 SAI 값을 증가시키고; 및

동일한 지역에 대하여 반복적인 감시를 피하기 위해 이전에 감시를 받은 지역에 대한 SAI 값을 줄이는

3D 최적 보안 감시 경로 계획 장치.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 소수 무리 최적화 이론을 활용한 복수의 UAV용 3D 최적 보안 감시 경로 계획 방법 및 장치에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 무인항공기(Unmanned Aerial Vehicle; UAV)는 원격 감지, 센서 데이터 수집, UAV 지원 통신, 애드혹 네트워크용 릴레이, 재난 감시, 홍수 지역 감시 및 들불(wildfire) 추적 같은 분야의 군사 및 민간 애플리케이션 모두에서 지난 수십 년 동안 점점 더 중요해지고 있다. 하지만 법규가 제대로 갖춰지지 않아 드론 오용은 국민 안전에 심각한 위협이 되고 있다. 모니터링 드론(Monitoring Drones; MDr)은 대개 배터리로 작동하므로 물리적 제약을 고려하여 MDr의 가능한 감시 경로를 신중하게 설계해야 한다. 무인항공기 자율제어 모듈의 기본 요소로서 UAV 경로 계획 문제는 수십 년 동안 연구되어 왔다. 출발지에서 목적지까지의 실현 가능한 경로를 찾는 최적화 문제로 공식화할 수 있다. 그리고 최적 경로는 대개 특정 임무의 특정 최적화 지수(예를 들어, 에너지 소비, 경로

길이 등)를 극대화(또는 최소화)하는 경로와 관련된다.

[0003] 최적의 경로를 도출하기 위해 많은 연구자들이 수많은 경로 플래너를 제안했다. 종래기술에서는 2차원(2D) 레이더 제약 환경에서 거의 최적 경로를 얻기 위해 모의 어닐링 알고리즘에 기초하여 경로 플래너를 제안했다. 또 다른 종래기술에서 A* 알고리즘을 활용하여 무선 센서 네트워크에서 감지 데이터를 수집하기 위한 최적의 UAV 경로를 도출했다. 그러나 최적의 경로를 얻기 위해서는 더 많은 제약조건을 모델링 해야 하기 때문에 그러한 제안(2D 환경을 위해 설계된)은 3D 운용 공간에 적용되기 어렵다. 3D 경로 계획의 경우, D*, RRT(Rapidly exploring Random Tree), 바이오-인스파이어드(bio-inspired) 알고리즘, 또는 EA(Evolutionary Algorithm)와 같은 알고리즘이 사용된다. 경로 문제에 대한 최적의 해결책을 찾는 것은 비결정론적 다항 시간-완전(non-deterministic polynomial time-complete) 문제이기 때문에, EA는 매우 복잡한 3D 경로 계획 문제를 처리할 때의 장점으로 인하여 최적이다. 또 다른 종래기술에서는 3D 경로 계획 문제를 해결하기 위해 차등적 진화(Differential Evolutionary; DE) 알고리즘의 최첨단 변형을 채택하였다. 복수의 UAV 경로 계획의 경우, 베사다-포타스(Besada-Portas)는 최적화 기준에 11개의 최적화 지수와 제약이 포함되는 다중 조정된 에이전트 상호진화 EA(multiple coordinated agents coevolution EA; MCACEA)에 기초하여 경로 플래너를 제안했다. 또 다른 종래기술에서는 농업용 애플리케이션 시나리오에서 복수의 UAV에 대한 VND(Variable Neighborhood Descend) 강화 유전 소수 무리 최적화(particle swarm optimization; PSO) 경로 플래너를 제안했지만, 운영 시간과 경로 길이 만을 최적화 대상으로 고려하였다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 복수의 감시 드론을 위한 3차원 최적의 감시 경로를 도출하기 위한 보안 감시 지역 중요도 업데이트 메커니즘과 소수 무리 최적화 이론에 기초한 경로 플래너를 제공하는데 있다. 또한 제안된 경로 플래너에 의해 생성되는 경로를 평가하기 위해 에너지 소비, 비행 위험 및 감시 지역 우선 순위에 따른 다중 목적 적합성 함수를 제안하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0005] 일 측면에 있어서, 본 발명에서 제안하는 감시영역 우선도 기반 소수무리최적화 이론을 활용한 복수 무인항공기(UAV)의 3차원 감시경로설정 최적화 방법은 소수 무리 최적화(Particle Swarm Optimization; PSO) 이론을 이용하여 각 모니터링 드론들(Monitoring Drones; MDr)에 대한 최적 경로를 도출하는 단계, 다중 목적 적합성 함수를 이용하여 가능한 모든 경로로부터 최상의 비행 경유지 시퀀스를 획득하는 단계, CAC(Coordinated Agents Coevolution)를 이용하여 충돌의 존재를 감지하는 단계, CAC가 만족되는 경우 한 번의 비행 시간 동안 최적의 경로를 생성하는 단계 및 다음 비행 전, SAI(Surveillance Area Importance) 값을 업데이트하는 단계를 포함한다.

[0006] 소수 무리 최적화 이론을 이용하여 각 모니터링 드론들에 대한 최적 경로를 도출하는 단계는 각 모니터링 드론들에 대한 속도 벡터와 위치 벡터를 생성하고, 속도 벡터와 위치 벡터를 이용한 PSO를 통해 개체(particle)의 개별 최고값 및 모든 개체의 최고값을 결정하고, 개체의 개별 최고값 및 모든 개체의 최고값을 통해 각 개체의 속도와 위치를 개선하여 최적 경로를 도출하며, 자율 비행 장치에 적용 가능하도록 모니터링 드론들 간의 충돌 방지를 위한 최적 경로를 도출한다.

[0007] 다음 비행 전, SAI 값을 업데이트하는 단계는 MDr이 이벤트가 감지되는 지역(셀)에서 불법 드론들(Illegal Drone; IDr)의 존재가 감지되는 경우, SAI 값을 증가시키는 단계, SAI 값이 과거 평균 SAI 값과 비교하여 빠르게 변화하고 있는 지역에 대하여 SAI 값을 증가시키는 단계 및 동일한 지역에 대하여 반복적인 감시를 피하기 위해 이전에 감시를 받은 지역에 대한 SAI 값을 줄이는 단계를 포함한다.

[0008] MDr이 이벤트가 감지되는 셀에서 IDr의 존재가 감지되는 경우, SAI 값을 증가시키는 단계는 특정 셀에서 IDr이 감지되는 경우, IDr이 해당 지역에 침입하는 것을 방지하기 위해 인접 셀을 감시하고, 해당 셀과 해당 셀에 대한 인접 셀의 SAI 값을 증가시킨다.

[0009] 동일한 지역에 대하여 반복적인 감시를 피하기 위해 이전에 감시를 받은 지역에 대한 SAI 값을 줄이는 단계는 미리 정해진 비행 시간 이상 동안 셀을 감시하지 않은 경우, 해당 셀에 대한 SAI 값을 증가시키고, 감시를 받은 셀에 대해서는 SAI 값을 줄이도록 셀의 SAI 값을 조정한다.

[0010] 또 다른 일 측면에 있어서, 본 발명에서 제안하는 감시영역 우선도 기반 소수무리최적화 이론을 활용한 복수 무인항공기(UAV)의 3차원 감시경로설정 최적화 장치는 소수 무리 최적화(Particle Swarm Optimization; PSO) 이론을 이용하여 각 모니터링 드론들(Monitoring Drones; MDr)에 대한 최적 경로를 도출하고, 다중 목적 적합성 함수를 이용하여 가능한 모든 경로로부터 최상의 비행 경유지 시퀀스를 획득하는 예측부, CAC(Coordinated Agents Coevolution)을 이용하여 충돌의 존재를 감지하고, CAC가 만족되는 경우 한 번의 비행 시간 동안 최적의 경로를 생성하는 검출부 및 다음 비행 전, SAI(surveillance area importance) 값을 업데이트하는 업데이트부를 포함한다.

발명의 효과

[0011] 본 발명의 실시예들에 따르면 복수의 감시 드론에 대한 최적의 감시 경로를 도출하여 특정 작전 지역을 감시하고 불법 드론의 존재를 탐지할 수 있다. 제안된 경로 플래너를 사용하여 제안된 적합성 함수에 따라 가능한 모든 경로로부터 최적의 경로를 얻을 수 있다. 제안된 다중 목적 적합성 함수에서는 에너지 소비량(Energy Consumption; EC) 뿐만 아니라 UAV 기동성, 비행 위험 및 감시 지역 우선순위 또한 비용 결정 요소로 간주되어 제안하는 접근방식은 UAV 경로 계획에 있는 다른 많은 접근방식과 차별성을 갖는다.

도면의 간단한 설명

[0012] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 운영 시나리오를 설명하기 위한 도면이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 운영 영역 및 MDr 의 경로를 나타내는 도면이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 감시중인 지형의 표현을 나타내는 도면이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 UAV 기동성 파라미터를 설명하기 위한 도면이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 소수 무리 최적화 이론을 활용한 복수의 UAV용 3D 최적 보안 감시 경로 계획 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 소수 무리 최적화 이론을 활용한 복수의 UAV용 3D 최적 보안 감시 경로 계획 장치의 구성을 나타내는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0013] 무인항공기(Unmanned Aerial Vehicle; UAV)의 사용은 군사용과 민간용으로 모두 유망한 기술로 여겨져 왔다. 하지만 관련 법규가 완전히 갖추어져 있지 않기에 불법 드론의 오용은 사회 안전에 심각한 위협이 되고 있다. 본 발명에서는, 복수의 감시 드론을 위한 3차원(3D) 최적의 감시 경로를 도출하기 위한 보안 감시 지역 중요도 업데이트 메커니즘과 소수 무리 최적화 이론에 기초한 경로 플래너를 제안한다. 또한 제안된 경로 플래너에 의해 생성되는 경로를 평가하기 위해 에너지 소비, 비행 위험 및 감시 지역 우선 순위에 따른 다중 목적 적합성 함수를 제안한다.

[0014] 본 발명의 실시예들에 따르면 복수의 감시 드론에 대한 최적의 감시 경로를 도출하여 특정 작전 지역을 감시하고 불법 드론의 존재를 탐지할 수 있다. 이 문제를 해결하기 위해 PSO와 감시지역 우선순위에 따른 경로 플래너를 제안한다. 추가적으로, 경로 계획을 3D 환경으로 확장한다. 제안된 경로 플래너를 사용하여 제안된 적합성 함수에 따라 가능한 모든 경로로부터 최적의 경로를 얻을 수 있다. 제안된 다중 목적 적합성 함수에서는 에너지 소비량(Energy Consumption; EC)뿐만 아니라 UAV 기동성, 비행 위험 및 감시 지역 우선순위도 비용 결정 요소로 간주된다. 이러한 점에서 제안하는 접근방식은 UAV 경로 계획에 있는 다른 많은 접근방식과 차별성을 갖는다.

[0015] 본 발명의 실시예에 따른 시뮬레이션 결과는 제안된 경로 플래너에 의해 생성된 경로가 다양한 실제 상황에서 높은 적합성을 얻으면서 중요한 지역을 우선적으로 방문할 수 있음을 보여준다. 이하, 본 발명의 실시 예를 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다.

[0017] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 운영 시나리오를 설명하기 위한 도면이다.

[0018] 도 1과 같이, 유사한 사양을 가진 MDr(Monitoring Drones)은 3D 운영 공간에서 IDr(Illegal Drones) 의 존재를 탐지하기 위해 전체 운영 지역을 감시하기 위해 사용된다. 감시하는 동안, 우리는 MDr이 규정에 의해 금지된 어떤 지역에도 들어갈 수 없다고 설정한다. 적대적 드론으로 인식되어 파괴되는 것을 피하기 위해 MDr은 지상 기반 드론 탐지를 위한 지상 기반 탐지 시스템(Ground-based Detection System; GBDS)에 MDr로서 미리 인지되어

있다. 더욱이, MDr이 UAV-to-그라운드 링크 또는 애드혹 방식으로 서로 통신한다고 설정한다. 따라서 MDr은 비행 업무 수행 중에 정보를 상호 공유할 수 있다.

[0020] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 운영 영역 및 MDr 의 경로를 나타내는 도면이다.

[0021] 구현 시, 전체 운영 지역을 도 2와 같이 셀이라고 불리는 몇 개의 작은 단위 지역으로 구분하며, 여기서 빨간색으로 표시된 지역은 제한 지역을 나타낸다. MDr이 기내에 탑재된 카메라 이미징 센서의 커버리지 기울기(즉, 파란색으로 표시된 지역)에 따라 특정 위치(즉, 경유지: waypoint)에서 네 개의 셀을 커버할 수 있다고 가정한다.

[0023] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 감시중인 지형의 표현을 나타내는 도면이다.

[0024] 실제 지형을 모방하기 위해 폭스홀 세켈(Foxhole Shekel) 함수의 변형을 채택하여 경관을 나타내며, 식(1)과 같이 공식화된다.

[0025] $$Altd(x)=\sum_{i=1}^{10}\frac{0.1}{\sum_{j=1}^{10}(x_j-\eta_{ij})^2+\gamma_i} \quad (1)$$

[0026] 여기서, 파라미터 η과 γ는 지형 형태를 변화시키기 위해 활용한다. UAV에 대한 경로 계획 분야에서 널리 받아들여지는 벤치마크가 없기 때문에, 이러한 지형을 채택했다. 왜냐하면 이러한 지형은 지역의 경관에 고도가 높은 산, 빌딩과 같은 형태를 나타낼 수 있기 때문이다.

[0027] 본 발명의 실시예에 따른 구현에서 최적화 알고리즘에 의해 생성되는 경로는 3차원 경유지들의 시퀀스이다. 따라서 실현 가능한 경로는 벡터로 인코딩된다. 여기서, 요소 $w_i=(x_i, y_i, z_i)$는 (2)와 같이 i번째 경유지를 나타낸다.

[0028] $$Trajectory=(w_1, w_2, \ldots, w_{N_w}) \quad (2)$$

[0029] 여기서, N_w는 실현 가능한 경로의 경유지 수이다.

[0030] 다음으로, 제안된 복수의 UAV 경로 계획 알고리즘에 의해 생성되는 경로를 평가하기 위해 8개의 최적화 지수로 구성된 다중 목적 적합성 함수를 제안한다. 최적화 과정에서 서로 다른 최적화 지수의 중요성을 강조하기 위해 다음 두 그룹으로 나누고 다른 우선 순위를 배정한다: (I) 물리적 한계로 인해 UAV가 충족해야 하는 제약조건(예를 들어, 지형, 금지된 지역, 회전각, 비행 경사, 복수의 UAV 충돌 회피)과 (II) 특정 임무 기준에 따라 최대화해야 하는 최적화 객체(예를 들어, 에너지 소비, 비행 위험 및 감시 지역의 중요성).

[0031] <표 1>

[0032]

I. Constraints					
Name	Terrain	Forbidden Area	Turning Angle	Flying Slope	Collision Avoidance
Abbreviation	TC	FAC	TAC	FSC	CAC
Equation	(17)	(18)	(19-20)	(21-22)	(23)
Priority level	1st	1st	1st	1st	1st
Value/Range	0	0	0	0	0
II. Optimization Objectives					
Name	Energy Consumption		Flight Risk	Surveillance Area Importance	
Abbreviation	EC		FR	SAI	
Equation	(5-9)		(10-13)	(14-16)	
Priority level	2nd		2nd	2nd	
Value/Range	[0,1]		[0,1]	[0,1]	

[0033] 표 1은 이러한 분류와 계산식들을 보여준다. 가능한 모든 UAV 경로에는 항상 높은 적합성 값을 가진 경로가 선호된다. 따라서 다음과 같이 적합성 함수를 공식화한다.

[0034] $$F_{fitness}=F_{objective}+TC+FAC+TAC+FSC \quad (3)$$

[0035] 여기서, $F_{objective}$는 최적의 경로를 도출하기 위해 값을 최대화해야 하는 목적함수이다. 나머지 부분은 경로를 계획하기 전 만족해야 하는 제약조건에 해당한다. 자세한 내용은 다음에서 설명하기로 한다.

[0036] 최적화 기준 중 하나는 목적함수로서 경로 계획의 품질을 향상시키는 데 사용된다. 목적함수를 에너지 소비, 비

행 위험 및 감시 지역 중요도의 가중 성분으로 정의한다. 따라서 목적함수는 (4)에서 표시한 대로 공식화된다.

[0037] $$F_{objective} = -w_1 F_{EC} - w_2 F_{FR} + w_3 F_{SAI} \quad (4)$$

[0038] 여기서, F_{EC}, F_{FR} 및 F_{SAI}는 [0,1] 범위에서 정의되며, w_i (i=1, 2, 3)는 각 요소의 가중치로서 후보 경로를 평가하면서 중요한 차이를 반영한다. 직관적으로 에너지와 비행 위험이 적지만 감시 지역 중요도가 높은 경로가 보다 바람직하다. 따라서, 에너지 소비와 비행 위험을 음의 값으로 규정하는 반면, 감시 지역의 중요도는 양의 값이다.

[0039] 소형 드론은 보통 배터리로 작동하는데, 이것은 그들이 모든 에너지를 소비하기 전에 감시 작업을 끝내야 한다는 것을 의미한다. 따라서 연료 소비량이 낮은 실현 가능 경로가 항상 선호된다. 본 발명에서는 UAV 속도가 작동 시간 동안 일정하다고 가정한다. EC는 다음과 같이 공식화할 수 있다.

[0040] $$F_{EC} = \frac{\sum_{i=1}^{N_w-1} EC_i}{\max EC} \quad (5)$$

[0041] $$EC_i = P_u \times t_{i,i+1} \quad (6)$$

[0042] $$t_{i,i+1} = \frac{d_{i,i+1}}{v} \quad (7)$$

[0043] $$d_{i,i+1} = \sqrt{(x_{i+1}-x_i)^2 + (y_{i+1}-y_i)^2 + (z_{i+1}-z_i)^2} \quad (8)$$

[0044] 여기서, EC_i는 i번째 경유지에서 (i+1) 경유지까지의 연료 소비량이다. P_u는 시간 단위 속도 v에서의 에너지 소비량이다. $t_{i,j+1}$은 i번째 경유지에서 (i+1) 경유지까지의 비행시간이다. $d_{i,i+1}$은 i번째 경유지와 (i+1) 경유지 사이의 3D 비행 거리이고, maxEC는 정규화 상수 값이며 다음과 같이 공식화된다.

[0045] $$\max EC = (N_w - 1) \times P_u \times \frac{d_{\max}}{v}, \; d_{\max} = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2} \quad (9)$$

[0046] 여기서, X, Y 및 Z는 각기 운용 공간에서의 x, y, z 축을 나타낸다.

[0047] MDr은 자체적인 물리적 특성(예를 들어, 작고 가벼운)으로 인하여 감시 작업 중 기상 조건(예를 들어, 비, 눈)에 취약하게 된다. 또한, 고도가 높으면 강한 바람에 의하여 MDr이 우발적으로 파괴될 수 있기 때문에, 비행 고도는 또 다른 큰 위험이 될 수 있다. 위의 시나리오에 기초하여, 다음의 두 종류의 비행 위험(Flight Risk; FR)을 정의한다.

[0048] 환경 위험의 강한 무작위 특성 때문에 정확한 수학적 모델을 구축하기 어렵다. 단순성을 위해 각 경유지에 대해 무작위로 환경 위험 값을 생성했다. 그리고 i번째 경유지와 (i+1) 경유지 사이의 환경 위험인 $r_{i,i+1}^{a}$ 은 그것들의 환경 가치의 합으로 정의된다.

[0049] $$r_{i,i+1}^{a} = \chi \times (z_{i+1} - z_i) \quad (10)$$

[0050] 여기서, χ는 상수 제어 파라미터이다.

[0051] 비행 위험은 위치 의존적인 파라미터로, 비행 중 기상 조건과 UAV 비행 고도에 따라서만 증가하거나 감소한다. 총 비행 위험은 공식(11)~(13)과 같이 계산할 수 있다.

[0052] $$F_{FR} = \frac{\sum_{i=1}^{N_w-1} FR_i}{\max FR} \quad (11)$$

[0053] $$FR_i = w_{ER} r_{i,i+1}^{e} + w_{AR} r_{i,i+1}^{a}, \; w_{ER} + w_{AR} = 1 \quad (12)$$

[0054] 여기서, FR_i는 i번째 경유지에서 (i+1) 경유지까지의 비행 위험이며, W_{ER}와 W_{AR}는 각각 환경 위험과 비행 고도 위험의 가중치로서, maxFR은 다음과 같이 표기된다.

[0055] $$\max FR = (N_w - 1) \times \left[w_{AR} \times Z + w_{ER} \times (2 \times \max r^e) \right] \quad (13)$$

[0056] 여기서, $\max r^e$ 는 최대 환경 위험을 나타낸다.

[0057] MDr이 특정 보안 감시 임무를 수행하도록 지정되었을 때, 우선 중요한 지역, 즉 더 높은 보안 감시 지역 중요도(Surveillance Area Importance; SAI) 값을 갖는 지역을 우선 감시하도록 한다. 따라서, 셀 간 서로 다른 감시 지역 우선순위를 특징짓기 위해 SAI 값을 도입한다. 본 발명의 실시예에 따른 구현에서, 각 셀에 무작위 SAI 값을 할당하는데, 이것은 지도상의 전체 그리드에 적용된다. 따라서, 실현 가능한 경로의 정규화된 SAI 값은 공식(14)~(16)에 의해 계산할 수 있다.

[0058] $$F_{SAI} = \frac{\sum_{i=1}^{N_w} SAI_i(t)}{\max SAI} \quad (14)$$

[0059] $$SAI_i = \sum_{cell\ x \in N(i)} v_{cell\ x}(t) \quad (15)$$

[0060] $$\max SAI = N_w \times N_n \times V_{\max} \quad (16)$$

[0061] 여기서, $SAI_i(t)$와 $v_{cell x}(t)$는 각각 비행 시간 t 에 대한 i번째 경유지와 셀 x의 SAI 값이다. $N(i)$는 i번째 경유지에서 감시할 수 있는 셀 집합이다. N_n은 $N(i)$의 숫자, V_{max}는 최대 SAI 값이다.

[0062] 제약함수(Constraint Function)는 경로의 타당성을 평가하는 데 사용된다. 그것들이 만족되면, 각각의 제약조건은 0과 같고 만족되지 않으면 부정적 페널티 값 Q가 선택된다. Q값을 -1보다 작은 값으로 선택함으로써, 실현 가능한 경로의 적합성 값이 어떤 실현 불가능한 경로보다 항상 더 크게 되도록 한다. 따라서 최적화 과정에서 모든 제약함수가 만족된다면 항상 실현 가능한 궤적을 얻을 수 있다.

[0063] MDr은 문자 그대로 지형을 통과할 수 없다(예를 들어, 산과 충돌). 따라서 MDr의 비행 고도는 지형의 고도보다 높아야 한다. 어떤 위치 (x, y)의 고도를 결정하기 위하여 설명된 지형 함수 $Altd(x, y)$를 사용한다. 그러면 지형 제약조건을 다음과 같이 설명할 수 있다.

[0064] $$TC = 0,\ TC = \sum_{i=1}^{N_w} TC_i$$
$$where\ TC_i = \begin{cases} Q, & if\ z_j < Altd(x_i, y_i) \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad (17)$$

[0065] 일부 특정 지역(예를 들어, 민감한 정부 지역)에 대해서는 규정상 MDr이 들어갈 수 없다. 법적 경로는 그러한 제한 구역들을 피할 수 있도록 세심하게 설계되어야 한다. 단순하게, 그러한 금지된 지역들이 직사각형이라고 가정한다. 금지된 지역 제약(Forbidden Area Constraint; FAC)은 다음과 같이 공식화할 수 있다.

[0066] $$FAC = 0,\ FAC = \sum_{i=1}^{N_w} FAC_i$$
$$where\ FAC_i = \begin{cases} Q, & if\ waypoint\ i\ in\ Range(x_j, y_j) \\ 0, & otherwise \end{cases}$$
$$where\ Range(x_j, y_j) = \{l_x \le x_j \le u_x\} \cap \{l_y \le y_j \le u_y\} \quad (18)$$

[0067] 여기서, l_x와 l_y는 각각 j번째 금지 구역의 x와 y 좌표 하한이며, u_x 와 u_y는 각각 j번째 금지 구역의 x와 y 좌표 상한이다.

[0069] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 UAV 기동성 파라미터를 설명하기 위한 도면이다.

[0070] 도 4(a)에 나타낸 바와 같이, 회전각은 이전 방향과 현재 방향 사이의 수평각으로 정의된다. UAV가 쉽게 기동할 수 있도록 실용적인 경로가 적절히 부드러워야 한다. 따라서 UAV의 회전각은 최대 허용 회전각보다 작아야

한다. 이 제약조건은 다음과 같이 공식화할 수 있다.

$$TAC = 0, TAC = \sum_{i=2}^{N_w-1} TAC_i,$$
$$where\ TAC_i = \begin{cases} Q, & if\ \theta_i > \theta_{\max} \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad (19)$$

[0071]

[0072] 여기서, θ_i는 i번째 경유지(x_i, y_i, z_i)에서의 회전각이며, $\theta_{\max}$는 최대 허용 회전각이다. θ_i의 공식화는 다음과 같다.

$$\theta_i = \arccos\left(\frac{(x_i - x_{i-1}, y_i - y_{i-1}) \cdot (x_{i+1} - x_i, y_{i+1} - y_i)^T}{\left\|(x_i - x_{i-1}, y_i - y_{i-1})\right\|_2 \cdot \left\|(x_{i+1} - x_i, y_{i+1} - y_i)\right\|_2} \right) \quad (20)$$

[0073]

[0074] 여기서, $\|x\|_2$는 표준 벡터이다.

[0075] 도 4(b)에 나타낸 바와 같이, 수평 방향의 회전각과 유사하게 비행경사를 도입하여 수직 방향, 즉 활공 및 상승각에서의 UAV 기동성을 나타낸다. 비행 경사는 현재 경유지와 다음 경유지 사이의 수평 방향 사이의 경사로 정의된다. 비행 경사는 최대 활공 및 상승 각도의 범위 내에 있어야 한다. 비행경사 제약(Flying Slope Constraint; FSC)은 (21)로 공식화할 수 있다.

$$FSC = 0,\ FSC = \sum_{i=2}^{N_w} FSC_i$$
$$where\ FSC_i = \begin{cases} Q, & if\ r_i \notin [\tan(\alpha_{\max}), \tan(\beta_{\max})] \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad (21)$$

[0076]

[0077] 여기서, $\alpha_{\max}$ 와 $\beta_{\max}$ 는 각각 허용 가능한 최대 활공각과 상승각이며, r_i는 i번째 경유지의 비행경사이다. r_i는 (22)와 같이 공식화할 수 있다.

$$r_i = \frac{z_i - z_{i-1}}{\left\|(x_i - x_{i-1}, y_i - y_{i-1})\right\|_2} \quad (22)$$

[0078]

[0079] 본 발명의 실시예에 따르면, 복수의 UAV에 대한 경로 계획에 초점을 맞추고 있다. 복잡한 감시 임무에 복수의 UAV를 사용할 경우, UAV 간의 충돌을 피하기 위해 경로를 신중하게 설계해야 하며, 이는 임무 수행에 필수적이다. 두 개의 개별 경로에 대해 UAV는 충돌을 피하기 위해 최소 안전 거리를 유지해야 한다. 이 제약조건은 다음과 같이 설명할 수 있다.

$$CAC = 0,\ CAC = \sum_{i=1}^{N_w^m} \sum_{j=1}^{N_w^n} CAC_i$$
$$where\ CAC_i = \begin{cases} Q, & if\ d_{ij}^{mn} < d_{\min} \\ 0, & otherwise \end{cases}$$
$$d_{ij}^{mn} = \sqrt{(x_j^m - x_i^n)^2 + (y_j^m - y_i^n)^2 + (z_j^m - z_i^n)^2} \quad (23)$$

[0080]

[0081] 여기서, $d_{\min}$은 충돌을 피하기 위한 최소 안전 거리이며, d_{ij}^{mn} 는 q번째 UAV 경로의 i번째 경유지와 q번째 UAV 경로의 j번째 경유지 사이의 직교 거리이다.

[0083] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 감시영역 우선도 기반 소수무리최적화 이론을 활용한 복수 무인항공기(UAV)의 3차원 감시경로설정 최적화 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

[0084] 제안하는 감시영역 우선도 기반 소수무리최적화 이론을 활용한 복수 무인항공기(UAV)의 3차원 감시경로설정 최적화 방법은 소수 무리 최적화(Particle Swarm Optimization; PSO) 이론을 이용하여 각 모니터링 드론들(Monitoring Drones; MDr)에 대한 최적 경로를 도출하는 단계(510), 다중 목적 적합성 함수를 이용하여 가능한

모든 경로로부터 최상의 비행 경유지 시퀀스를 획득하는 단계(520), CAC(Coordinated Agents Coevolution)를 이용하여 충돌의 존재를 감지하는 단계(530), CAC가 만족되는 경우 한 번의 비행 시간 동안 최적의 경로를 생성하는 단계(540) 및 다음 비행 전, SAI(surveillance area importance) 값을 업데이트하는 단계(550)를 포함한다.

[0085] 단계(510)에서, 소수 무리 최적화 이론을 이용하여 각 모니터링 드론들에 대한 최적 경로를 도출한다. 각 모니터링 드론들에 대한 속도 벡터와 위치 벡터를 생성하고, 속도 벡터와 위치 벡터를 이용한 PSO를 통해 개체의 개별 최고값 및 모든 개체의 최고값을 결정한다. 이후, 개체의 개별 최고값 및 모든 개체의 최고값을 통해 각 개체의 속도와 위치를 개선하여 최적 경로를 도출한다.

[0086] 단계(520)에서, 다중 목적 적합성 함수를 이용하여 가능한 모든 경로로부터 최상의 비행 경유지 시퀀스를 획득한다.

[0087] 단계(530)에서, CAC을 이용하여 충돌의 존재를 감지하고, CAC가 만족되는 경우 단계(540)에서 한 번의 비행 시간 동안 최적의 경로를 생성한다.

[0088] 이후 단계(550)에서 다음 비행 전, SAI 값을 업데이트한다. 단계(550)는 MDr이 이벤트가 감지되는 셀에서 불법 드론들(Illegal Drone; IDr)의 존재가 감지되는 경우, SAI 값을 증가시키는 단계, SAI 값이 과거 평균 SAI 값과 비교하여 빠르게 변화하고 있는 지역에 대하여 SAI 값을 증가시키는 단계 및 동일한 지역에 대하여 반복적인 감시를 피하기 위해 이전에 감시를 받은 지역에 대한 SAI 값을 줄이는 단계를 포함한다.

[0089] MDr이 이벤트가 감지되는 셀에서 IDr의 존재가 감지되는 경우, SAI 값을 증가시키는 단계는 특정 셀에서 IDr이 감지되는 경우, IDr이 해당 지역에 침입하는 것을 방지하기 위해 인접 셀을 감시하고, 해당 셀과 해당 셀에 대한 인접 셀의 SAI 값을 증가시킨다. 또한, 동일한 지역에 대하여 반복적인 감시를 피하기 위해 이전에 감시를 받은 지역에 대한 SAI 값을 줄이는 단계는 미리 정해진 비행 시간 이상 동안 셀을 감시하지 않은 경우, 해당 셀에 대한 SAI 값을 증가시키고, 감시를 받은 셀에 대해서는 SAI 값을 줄이도록 셀의 SAI 값을 조정한다. 아래에서 제안하는 소수 무리 최적화 이론을 활용한 복수의 UAV용 3D 최적 보안 감시 경로 계획 방법에 대하여 더욱 상세히 설명한다.

[0090] 본 발명의 실시예에 따르면, 이벤트 탐지에 기초한 감시 지역 우선 업데이트 메커니즘을 제안한다. MDr이 특정 지역(즉, 해당 지역에서 이벤트가 감지됨)에서 IDr의 존재를 감지할 때, 직관에 따라 다음 비행 중 해당 지역에 더 주의를 기울이거나, 다른 MDr과 정보를 공유한다. 또한 MDr은 SAI 값이 과거 평균 SAI 값과 비교하여 빠르게 변화하고 있는 지역에 더 많은 주의를 기울여야 한다. 더욱이 일정 수 이상의 비행에 대해 감시가 이루어지지 않은 지역에 대해서는 MDr 들이 다음 비행 중에 커버할 수 있도록 SAI 값을 증가시킬 필요가 있다. 감시 효율을 높이기 위해서는, 동일한 지역에 대한 반복적인 감시를 피하기 위해 이전에 감시를 받은 지역에 대한 SAI 값을 감소시킨다. 상기 요건에 근거하여, SAI 값의 업데이트를 위한 4가지 사례를 정의한다.

[0091] 1) 특정 셀에서 IDr이 검출되면 IDr이 해당 지역에 침입하는 것을 방지하기 위해 인접 셀을 감시한다. 따라서, 그 셀과 그 인접 셀의 SAI 값을 증가시킨다.

[0092] 2) 한 셀의 SAI 값이 이전 평균 SAI 값과 비교하여 빠르게 변화하면 해당 셀의 SAI 값이 조정된다.

[0093] 3) 특정 비행 시간 이상 셀을 감시하지 않은 경우, SAI 값을 증가시켜야 한다.

[0094] 4) 셀이 감시를 받았으면 SAI 값을 줄여야 한다.

[0095] 위의 설명에 근거하여, 다음과 같이 그 사례들을 공식화한다.

[0096] 첫 번째 경우, $|SAI_i(t) - SAI_i(t-1)| > th_{event}$ 일 때, i번째 경유지에서 감시된 셀들에서 이벤트가 발생하였고, 그 셀들의 SAI 값은 (24)를 활용하여 업데이트할 수 있다.

[0097] $$v_{cell\,x}(t) = \max[v_{\max}, \gamma_1 \times v_{cell\,x}(t-1)],\ \gamma_1 > 1 \quad (24)$$

[0098] 여기서, $SAI_i(t)$는 t번째 비행 시간 동안의 i번째 경유지의 SAI 값이고, $v_{cellx}(t)$는 t번째 비행 시간 동안의 셀 x의 SAI 값을 나타내며, th_{event}와 v_{max}는 각각 이벤트 감지 임계값과 최대 SAI 값이다.

[0099] 두 번째 경우, 셀 x의 현재 SAI 값과 이전 평균 SAI 값 사이의 절대값이 미리 결정된 업데이트 임계값인 th_{update}

보다 클 경우, SAI 값은 최대값[v_{max}, $f_{cellx}(t)$]으로 반환되는 값으로 업데이트되므로, 두 번째 사례를 (25) 및 (26)으로 공식화한다.

[0100]
$$v_{cell\,x}(t)=\begin{cases} v_{cell\,x}^{ini}, & if\ \left|\overline{V_{cell\,x}(t-2)}-v_{cell\,x}(t-1)\right|<th_{update} \\ \max[v_{max}, f_{cell\,x}(t)], & otherwise \end{cases} \quad (25)$$

[0101]
$$f_{cell\,x}(t)=\log(\lambda\times\left|\overline{V_{cell\,x}(t-2)}-v_{cell\,x}(t-1)\right|+1)\times v_{cell\,x}(t-1) \quad (26)$$

[0102] 여기서, $\overline{V_{cell\,x}(t-2)}$는 첫 번째부터 ($t$ - 2)번째 비행 시간까지의 평균 SAI 값을 나타내며, $v_{cell\,x}^{ini}$는 셀 x의 초기 SAI 값이며 λ는 상수 제어 매개변수이다.

[0103] 세 번째 경우, 특정 비행 시간 임계값 이상 동안 셀이 감시되지 않은 경우 (27)을 활용하여 SAI 값을 증가시킨다.

[0104]
$$v_{cell\,x}(t)=\max[v_{max}, \gamma_2\times v_{cell\,x}(t-1)],\ \gamma_2>1 \quad (27)$$

[0105] 네 번째 경우, 셀이 감시를 받았을 때, (28)을 계산하여 SAI 값을 감소시킨다.

[0106]
$$v_{cell\,x}(t)=\min[v_{min}, \gamma_3\times v_{cell\,x}(t-1)],\ \gamma_3<1 \quad (28)$$

[0107] 본 발명에서는 표준 PSO 및 위에서 설명된 감시 지역 우선 업데이트 메커니즘에 기반하여 복수의 UAV에 대한 경로 플래너를 제안한다. 제안된 플래너는 먼저 PSO를 이용하여 각 MDr에 대한 최적 경로를 도출한다. 여기서, 제안된 다중 목적 적합성 함수는 가능한 모든 경로로부터 최상의 비행 경유지 시퀀스를 획득하는 데 사용된다. 그리고 나서 CAC는 충돌의 존재를 감지하기 위해 이용된다. CAC가 만족되면 플래너는 한 번의 비행 시간 동안 최적의 경로를 생성한다. 마지막으로, SAI 값은 다음 비행 전에 업데이트될 것이다. 자세한 내용은 다음 하위 섹션에서 설명한다.

[0108] 소수 무리 최적화(Particle Swarm Optimization; PSO) 이론은 최적화 문제를 해결하기 위해 널리 사용되는 진화 체험적 검색 알고리즘이다. 이 이론은 새들의 무리를 사냥하는 행동에 근거하여 개발되었다. 먹이를 찾는 과정에서, 각각의 새는 스스로와 무리들로부터 수집된 정보에 기초하여 속도(단계 크기)와 위치를 업데이트한다. PSO에서 각 개체는 무작위로 초기화되는 후보 솔루션에 해당한다. 그런 다음, 각 반복에서 각 개체의 속도와 위치는 이전 속도, 개체가 차지한 최고의 위치(개별적인 영향), 그리고 무리 속의 어떤 개체가 점령한 최고의 위치(사회적 무리)에 관한 정보에 기초하여 업데이트 된다. 수학적 공식은 다음과 같다.

[0109] 개체의 수는 P, 개체의 차원은 D, 반복되는 수를 N이라고 가정하자. i번째 개체의 경우 x_i = (x_{i1}, x_{i2}, ..., x_{iD})와 v_i = (v_{i1}, v_{i2}, ..., v_{iD})는 각각 속도와 위치 벡터를 나타낸다. 표준 PSO에서, 두 종류의 비용 값이 있다. 즉, (29)에서 설명된 개별 최고값인 $P_{i,best}$와 모든 개체의 최고값인 S_{best}가 있다.

[0110]
$$P_{i,best}=(p_{i1,best}, p_{i2,best}, \cdots, p_{iD,best})$$
$$S_{best}=(s_{1,best}, s_{2,best}, \cdots, s_{D,best}) \quad (29)$$

[0111] 두 가지 비용 값이 결정되면, 각 차원에서 각 개체의 속도와 위치는 (28)을 사용하여 개선한다.

[0112]
$$v_{ij}^{k+1}=\omega v_{ij}^{k}+c_1 r_1(p_{ij,best}-x_{ij}^{k})+c_2 r_2(s_{j,best}-x_{ij}^{k})$$
$$x_{ij}^{k+1}=x_{ij}^{k}+v_{ij}^{k+1}$$
$$where\ \ i=1,2,\ldots,P\ \ \ j=1,2,\ldots,D\ \ \ k=1,2,\ldots,N \quad (30)$$

[0113] (30)에서, r_1과 r_2는 0과 1 사이의 무작위 값이다. w는 관성 매개변수로, 이전 반복 속도가 현재 반복에 미치는 영향을 반영한다. c_1과 c_2는 개체 자체와 전체 무리로부터 계승 능력을 나타내는 자기 인식과 사회적 인식을 나타낸다.

[0114] 제안된 플래너에서, 실현 가능한 비행 경로는 경유지 시퀀스와 선 세그먼트로 구성된다. 구현하는 동안 8방향의 경로가 채택된다. 본 발명에서는 작전 지역 전체를 단위 셀 지역으로 나눈다.

[0115] 제안된 플래너의 과정은 알고리즘1에 나타나 있다.

Algorithm1

1: Set flight time = N_{flight};
2: Initialize the SAI value of each cell;
3: **for** $i = 1$: N_{flight}
4: {
5: **while** (CAC is not satisfied)
6: {
7: Set monitoring UAV number= N_{MDr};
8: **for** $j = 1$: N_{MD}
9: {
10: Set iteration number= N_{iter};
11: Set particle number= N_{par};
12: **for** k=1: N_{iter}
13: {
14: **for** t=1: N_{par}
15: {
16: Randomly initialize x_t and v_t;
17: Initialize $P_{t,best} = x_t$, $S_{best} = x_{N_{par}}$;
18: Update x_t and v_t using (30);
19: Compute the fitness value of x_t using (3) to (22);
20: **if** ($fitness(x_t) > fitness(P_{t,best})$)
21: { $P_{t,best} = x_t$;}
22: **if** ($fitness(P_{t,best}) > fitness(S_{best})$)
23: {
24: $S_{best} = P_{t,best}$;
25: $Opt_fitness = fitness(S_{best})$;
26: }
27: }
28: }
29: Update the SAI values using (28);
30: }
31: Evaluate collisions among multiple UAVs using (23);
32: }
33: Generate the output of collision-free trajectories for multiple MDrs;
34: Update the SAI values using equations (24) to (27);
35: }
36: Generate the output of the N_{flight} flight times path planning results;

[0116]

[0117] 처음에는 전체 작전 지역을 커버하기 위해 예상 감시 비행 시간을 설정하고, 모든 셀에 대한 SAI 값을 초기화한다. 다음으로, PSO를 이용하여 복수의 MDr에 대한 최적 경로를 도출하는데, 이는 단계5에서 단계33에 해당한다. 최적화 프로세스 중에 먼저 무작위로 N_{par} 개체의 위치와 속도 벡터를 생성하고, 각각 $P_{t,Best}$ 및 S_{best}를 x_t 및 x_{Npar}로 초기화한다. 다음으로, 각 개체의 위치와 속도 벡터를 (27) 공식을 사용하여 개선한다. 그런 다음 제안된 다중 목적 적합성 함수를 사용하여 새로 업데이트된 개체를 평가하며, 이 개체는 위에서 설명하는 몇 가지 목적 함수 및 제약함수로 구성된다.

[0118] 그 후, 우리는 모든 개체의 적합성 값에 기초하여 $P_{t,Best}$, S_{best}를 갱신한다. 그런 다음 반복 번호가 N_{iter}와 동일하게 설정된 상태에서 첫 번째 MDr의 최적 경로를 저장한다. 마지막으로, 동일한 지역에 대한 반복적인 감시와

같이 복수의 MDr 사이에서 경유지가 겹치는 것을 방지하기 위해, 다음 경로 계획을 시작하기 전에 감시 받은 셀의 SAI 값을 줄인다. 따라서 감시 효율이 향상된다. 우리의 연구는 주로 복수의 UAV에 대한 무충돌 경로 계획에 초점을 맞추고 있기 때문에, 충돌 회피 제약을 적용하여 MDr 경로 사이에 충돌이 발생할 수 있는지 여부를 결정한다. CAC가 만족스럽지 않으면 단계5로 돌아간다. 복수의 MDr에 대한 최적 경로는 CAC가 만족될 경우에만 얻을 수 있다. 그 후, SAI 값은 다음 비행에 앞서 공식 (22)에서 (25)를 활용하여 갱신해야 한다. 마지막으로, 비행 시간이 N_{flight}와 같을 경우, 제한된 지역을 제외한 전체 운용 지역을 포괄하는 복수의 MDr에 대하여 모든 최적 계획 경로를 생성한다.

[0120] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 감시영역 우선도 기반 소수무리최적화 이론을 활용한 복수 무인항공기(UAV)의 3차원 감시경로설정 최적화 장치의 구성을 나타내는 도면이다.

[0121] 감시영역 우선도 기반 소수무리최적화 이론을 활용한 복수 무인항공기(UAV)의 3차원 감시경로설정 최적화 장치(600)는 예측부(610), 검출부(620) 및 업데이트부(630)를 포함한다.

[0122] 예측부(610), 검출부(620) 및 업데이트부(630)는 도 5의 단계들(510~550)을 수행하기 위해 구성될 수 있다.

[0123] 예측부(610)는 소수 무리 최적화 이론을 이용하여 각 모니터링 드론들에 대한 최적 경로를 도출한다. 각 모니터링 드론들에 대한 속도 벡터와 위치 벡터를 생성하고, 속도 벡터와 위치 벡터를 이용한 PSO를 통해 개체의 개별 최고값 및 모든 개체의 최고값을 결정한다. 이후, 개체의 개별 최고값 및 모든 개체의 최고값을 통해 각 개체의 속도와 위치를 개선하여 최적 경로를 도출한다.

[0124] 예측부(610)는 다중 목적 적합성 함수를 이용하여 가능한 모든 경로로부터 최상의 비행 경유지 시퀀스를 획득한다.

[0125] 검출부(620)는 CAC을 이용하여 충돌의 존재를 감지하고, CAC가 만족되는 경우 한 번의 비행 시간 동안 최적의 경로를 생성한다.

[0126] 업데이트부(630)는 다음 비행 전, SAI 값을 업데이트한다. 업데이트부(630)는 MDr이 이벤트가 감지되는 셀에서 불법 드론들(Illegal Drone; IDr)의 존재가 감지되는 경우, SAI 값을 증가시킨다. 또한, SAI 값이 과거 평균 SAI 값과 비교하여 빠르게 변화하고 있는 지역에 대하여 SAI 값을 증가시키고, 동일한 지역에 대하여 반복적인 감시를 피하기 위해 이전에 감시를 받은 지역에 대한 SAI 값을 줄인다.

[0127] 업데이트부(630)는 특정 셀에서 IDr이 감지되는 경우, IDr이 해당 지역에 침입하는 것을 방지하기 위해 인접 셀을 감시하고, 해당 셀과 해당 셀에 대한 인접 셀의 SAI 값을 증가시킨다. 또한, 동일한 지역에 대하여 반복적인 감시를 피하기 위해 이전에 감시를 받은 지역에 대한 SAI 값을 줄이는 단계는 미리 정해진 비행 시간 이상 동안 셀을 감시하지 않은 경우, 해당 셀에 대한 SAI 값을 증가시키고, 감시를 받은 셀에 대해서는 SAI 값을 줄이도록 셀의 SAI 값을 조정한다.

[0129] 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, FPA(field programmable 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.

[0130] 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 네트워크

로 연결된 컴퓨터 시스템 상에 분산되어서, 분산된 방법으로 저장되거나 실행될 수도 있다. 소프트웨어 및 데이터는 하나 이상의 컴퓨터 판독 가능 기록 매체에 저장될 수 있다.

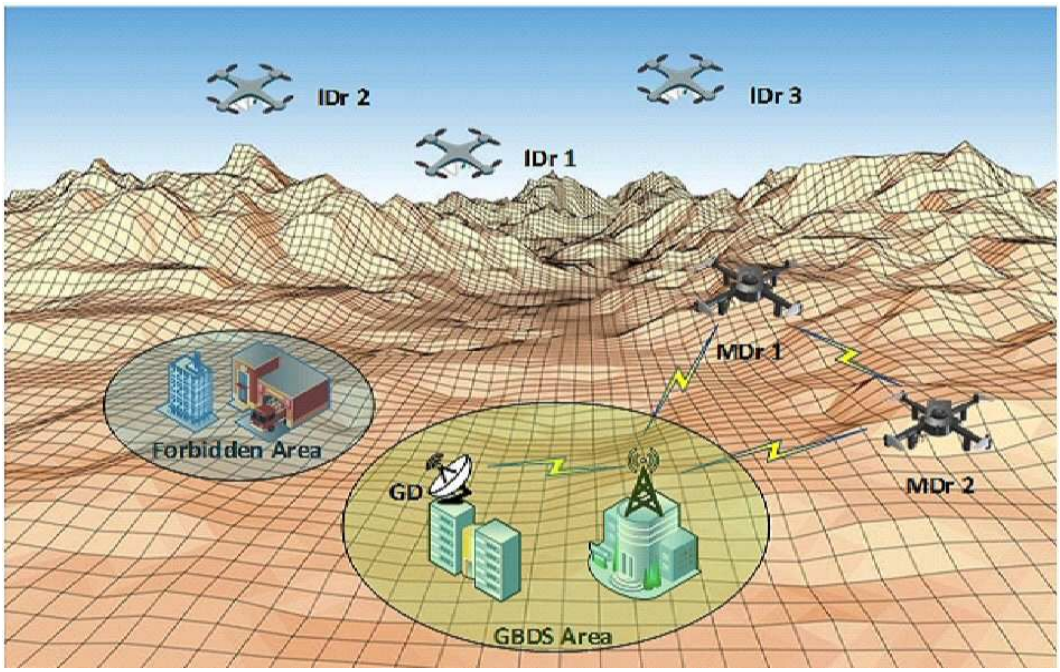
[0131] 실시예에 따른 방법은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 상기 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체에 기록되는 프로그램 명령은 실시예를 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 기록 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(magnetic 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.

[0132] 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.

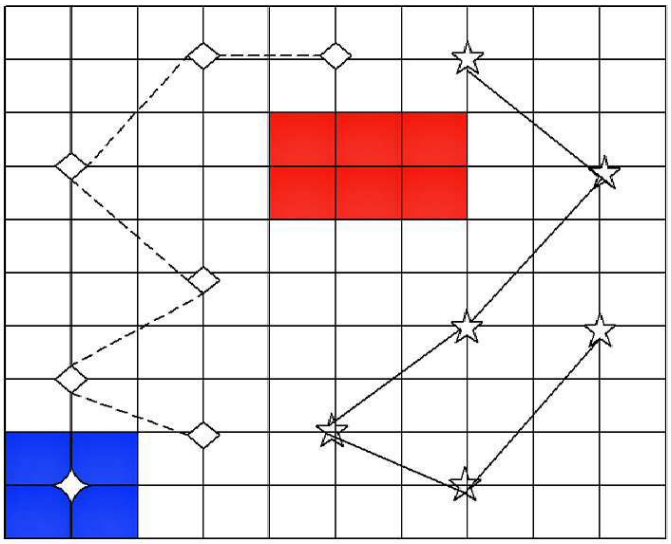
[0133] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

도면

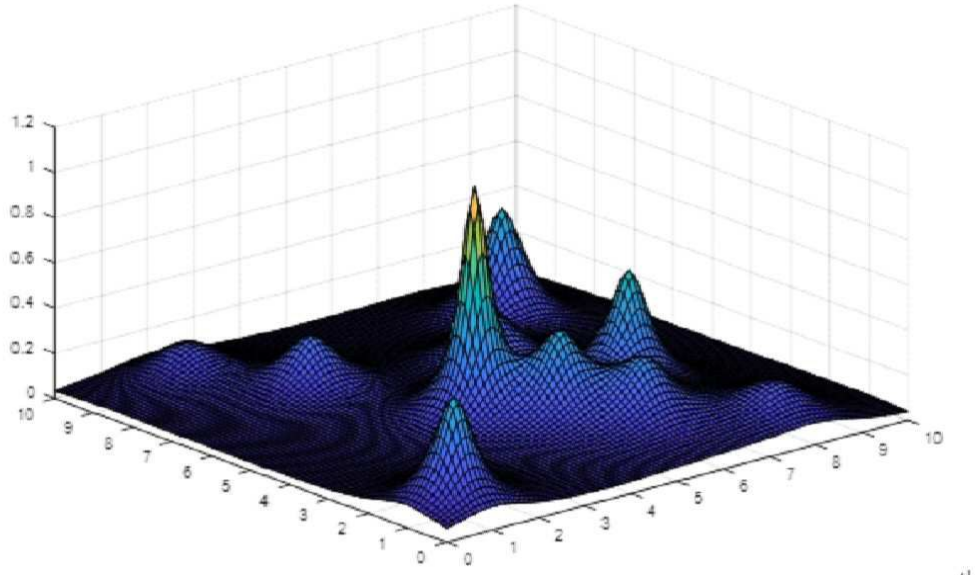
도면1



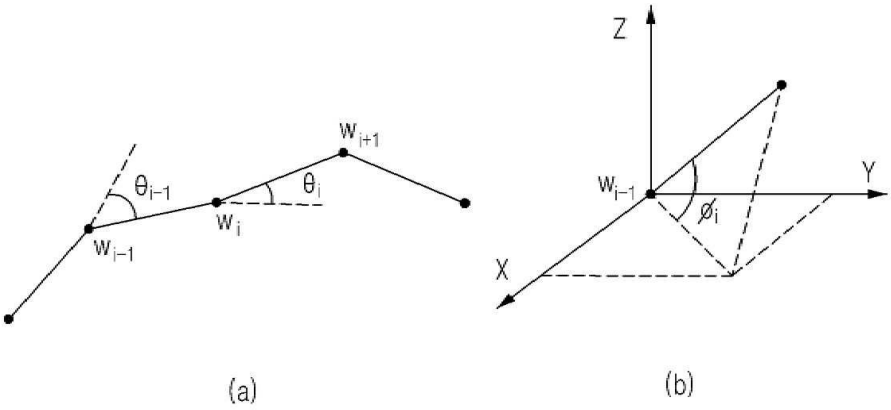
도면2



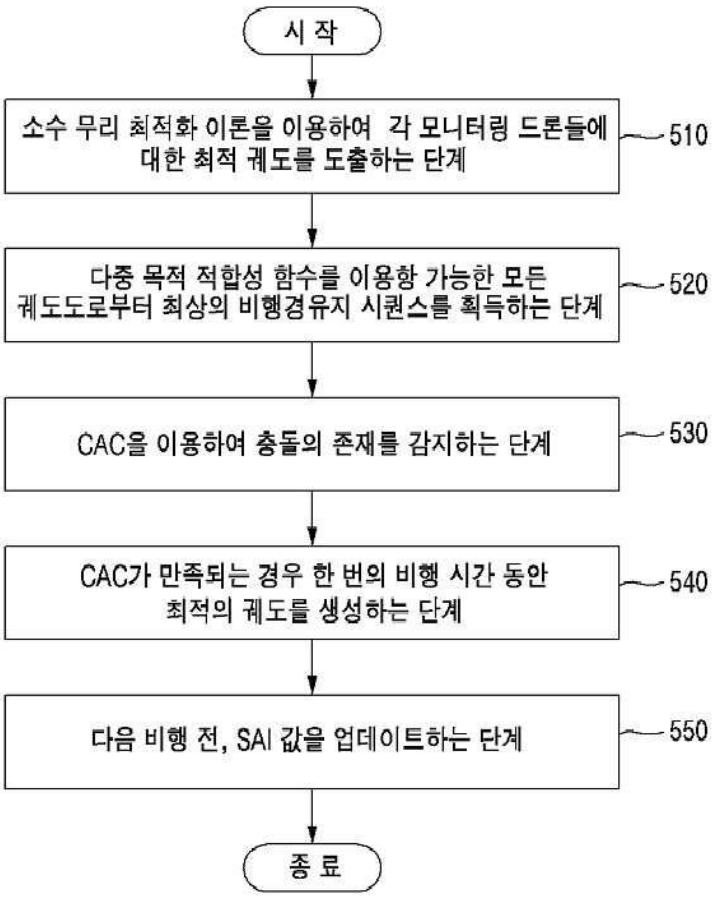
도면3



도면4


θi-1
θi
wi+1
wi
wi-1
(a)
Z
Y
X
wi-1
∅i
(b)

도면5


시 작
소수 무리 최적화 이론을 이용하여 각 모니터링 드론들에 대한 최적 궤도를 도출하는 단계
510
다중 목적 적합성 함수를 이용항 가능한 모든 궤도도로부터 최상의 비행경유지 시퀀스를 획득하는 단계
520
CAC을 이용하여 충돌의 존재를 감지하는 단계
530
CAC가 만족되는 경우 한 번의 비행 시간 동안 최적의 궤도를 생성하는 단계
540
다음 비행 전, SAI 값을 업데이트하는 단계
550
종 료

도면6

