(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0075241
(43) 공개일자 2025년05월28일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G05D 1/20 (2024.01) *B64C 39/02* (2023.01)
G05D 1/00 (2024.01) *G06N 3/12* (2023.01)
G16Y 40/10 (2020.01) *H04W 84/18* (2009.01)
(52) CPC특허분류
G05D 1/104 (2013.01)
B64C 39/024 (2025.05)
(21) 출원번호 10-2023-0162492
(22) 출원일자 2023년11월21일
심사청구일자 2023년11월21일

(71) 출원인
인하대학교 산학협력단
인천광역시 미추홀구 인하로 100(용현동, 인하대학교)
(72) 발명자
장경희
서울특별시 마포구 백범로 205, 101동 1110호 (신공덕동,마포펜트라우스)
엠디아자두르라만
인천광역시 미추홀구 인하로134번길 27-1 (용현동, 금빛원룸주택)
차이탈리 파와세
인천광역시 미추홀구 한나루로463번길 114, A 동 203호 (용현동, 인하마을)
(74) 대리인
양성보

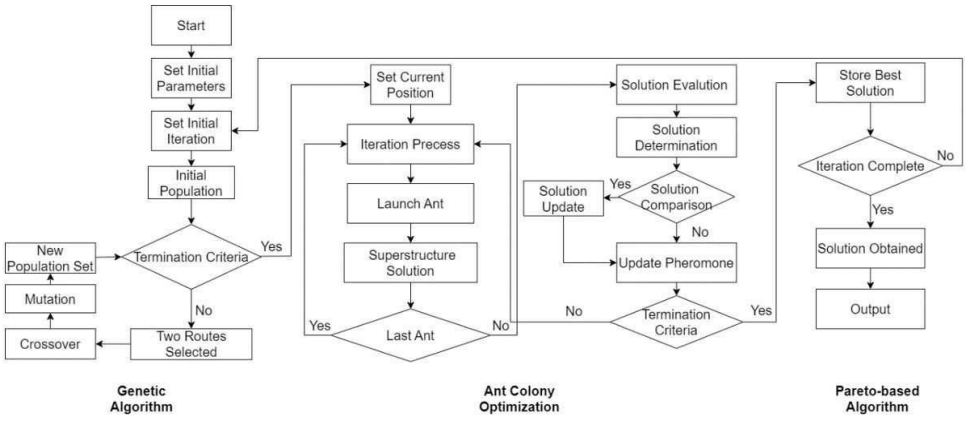
전체 청구항 수 : 총 12 항

(54) 발명의 명칭 **ISAC 프레임워크 하에서 지상 IoT 센서 네트워크를 위한 PGA 알고리즘을 이용한 다중 무인기 경로 계획 시스템 및 방법**

(57) 요 약

본 개시는 ISAC 프레임워크 하에서 지상 IoT 센서 네트워크를 위한 PGA 알고리즘을 이용한 다중 무인기 경로 계획 시스템 및 방법에 관한 것으로, 미리 정의된 알고리즘을 이용하여, 복수의 무인기들에 대한 복수의 IoT 센서들을 경유하는 다수의 목적들을 고려한 최적의 경로들을 결정하고, 무인기들이 경로들을 따라 이동하면서 IoT 센서들을 통한 감지 작업 및 통신 작업을 수행하게 하도록 구성되며, 여기서, 알고리즘은 유전 알고리즘, 개미 군집 최적화 메커니즘, 및 파레토 기반 최적화 알고리즘의 조합으로 이루어지는 PGA 알고리즘이다.

대 표 도



(52) CPC특허분류
G05D 1/0027 (2013.01)
G06N 3/126 (2023.01)
G16Y 40/10 (2020.01)
H04W 84/18 (2013.01)
B64U 2201/102 (2023.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711196050
과제번호	00207471
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	정보통신기획평가원
연구사업명	정보통신방송기술국제공동연구
연구과제명	[Ezbaro] 해외 5G 특화망에 적용가능한 5G 시스템 기술개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	주식회사 유캐스트
연구기간	2023.05.01 ~ 2024.04.30

명 세 서

청구범위

청구항 1

ISAC 프레임워크 하에서 지상 IoT 센서 네트워크를 위한 다중 무인기 경로 계획 방법에 있어서,

미리 정의된 알고리즘을 이용하여, 복수의 무인기들에 대한 복수의 IoT 센서들을 경유하는 다수의 목적들을 고려한 최적의 경로들을 결정하는 단계; 및

상기 무인기들이 상기 경로들을 따라 이동하면서 상기 IoT 센서들을 통한 감지 작업 및 통신 작업을 수행하도록 하는 단계

를 포함하는,

다중 무인기 경로 계획 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 알고리즘은 유전 알고리즘(genetic algorithm), 개미 군집 최적화(ant colony optimization) 메커니즘, 및 파레토 기반 최적화(pareto-based optimization) 알고리즘의 조합으로 이루어지는 PGA 알고리즘(pareto based genetic ant colony optimization)인,

다중 무인기 경로 계획 방법.

청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 PGA 알고리즘은 상기 파레토 기반 최적화 알고리즘을 이용하여, 상기 목적들에 대응하는 파라미터들의 값들을 변경하면서 상기 유전 알고리즘 및 상기 개미 군집 최적화 메커니즘을 반복적으로 실행시켜 상기 무인기들에 대한 상이한 솔루션들의 세트를 결정하고,

상기 솔루션들의 각각은 상기 무인기들에 대해 상기 목적들을 적어도 부분적으로 최적화하기 위한 최적의 경로들을 나타내는,

다중 무인기 경로 계획 방법.

청구항 4

제 3 항에 있어서,

상기 최적의 경로들을 결정하는 단계는,

상기 유전 알고리즘을 이용하여, 상기 파라미터들에 대해 설정되는 값들을 기반으로 상기 무인기들의 각각에 대한 상기 IoT 센서들의 최적의 순서를 결정하는 단계;

상기 개미 군집 최적화 메커니즘을 이용하여, 상기 무인기들의 각각에 대한 상기 순서에 따라 인접한 두 개의 IoT 센서들 사이의 최적의 궤적들을 계산하는 단계; 및

상기 파레토 기반 최적화 알고리즘을 이용하여, 상기 궤적들로 이루어지는 솔루션에 대해 상기 목적들에 각각 대응하는 적합도 함수들로 구성되는 목적 벡터에 상기 설정되는 값들을 적용하여 결과 값을 계산하는 단계; 및

상기 솔루션들에 대한 결과 값들을 기반으로 상기 솔루션들 중 하나의 최적의 경로들을 선택하는 단계

를 포함하는,

다중 무인기 경로 계획 방법.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 목적들은 상기 무인기들의 이동 거리 감소, 상기 IoT 센서들의 커버리지 최대화, 및 상기 무인기들의 에너지 소비 최적화를 포함하는,

다중 무인기 경로 계획 방법.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 최적의 경로들을 결정하는 단계는,

상기 ISAC 프레임워크를 기반으로 구현되는 ISAC 시스템에 대한 자원 할당을 고려하여 상기 최적의 경로들을 결정하고,

상기 자원 할당은 상기 감지 작업 및 상기 통신 작업을 모두 고려하여 상기 ISAC 시스템의 성능을 최대화하는 방식으로 이루어지는,

다중 무인기 경로 계획 방법.

청구항 7

ISAC 프레임워크 하에서 지상 IoT 센서 네트워크를 위한 다중 무인기 경로 계획 시스템에 있어서,

메모리; 및

상기 메모리와 연결되고, 상기 메모리에 저장된 적어도 하나의 명령을 실행하도록 구성된 프로세서를 포함하고,

상기 프로세서는,

미리 정의된 알고리즘을 이용하여, 복수의 무인기들에 대한 복수의 IoT 센서들을 경유하는 다수의 목적들을 고려한 최적의 경로들을 결정하고,

상기 무인기들이 상기 경로들을 따라 이동하면서 상기 IoT 센서들을 통한 감지 작업 및 통신 작업을 수행하게 하도록

구성되는,

다중 무인기 경로 계획 시스템.

청구항 8

제 7 항에 있어서,

상기 알고리즘은 유전 알고리즘, 개미 군집 최적화 메커니즘, 및 파레토 기반 최적화 알고리즘의 조합으로 이루어지는 PGA 알고리즘인,

다중 무인기 경로 계획 시스템.

청구항 9

제 8 항에 있어서,

상기 PGA 알고리즘은 상기 파레토 기반 최적화 알고리즘을 이용하여, 상기 목적들에 대응하는 파라미터들의 값들을 변경하면서 상기 유전 알고리즘 및 상기 개미 군집 최적화 메커니즘을 반복적으로 실행시켜 상기 무인기들에 대한 상이한 솔루션들의 세트를 결정하고,

상기 솔루션들의 각각은 상기 무인기들에 대해 상기 목적들을 적어도 부분적으로 최적화하기 위한 최적의 경로들을 나타내는,

다중 무인기 경로 계획 시스템.

청구항 10

제 9 항에 있어서,

상기 프로세서는,

상기 유전 알고리즘을 이용하여, 상기 파라미터들에 대해 설정되는 값들을 기반으로 상기 무인기들의 각각에 대한 상기 IoT 센서들의 최적의 순서를 결정하고,

상기 개미 군집 최적화 메커니즘을 이용하여, 상기 무인기들의 각각에 대한 상기 순서에 따라 인접한 두 개의 IoT 센서들 사이의 최적의 궤적들을 계산하고,

상기 파레토 기반 최적화 알고리즘을 이용하여, 상기 궤적들로 이루어지는 솔루션에 대해 상기 목적들에 각각 대응하는 적합도 함수들로 구성되는 목적 벡터에 상기 설정되는 값들을 적용하여 결과 값을 계산하고,

상기 솔루션들에 대한 결과 값들을 기반으로 상기 솔루션들 중 하나의 최적의 경로들을 선택하도록

구성되는,

다중 무인기 경로 계획 시스템.

청구항 11

제 7 항에 있어서,

상기 목적들은 상기 무인기들의 이동 거리 감소, 상기 IoT 센서들의 커버리지 최대화, 및 상기 무인기들의 에너지 소비 최적화를 포함하는,

다중 무인기 경로 계획 시스템.

청구항 12

제 7 항에 있어서,

상기 프로세서는,

상기 ISAC 프레임워크를 기반으로 구현되는 ISAC 시스템에 대한 자원 할당을 고려하여 상기 최적의 경로들을 결정하도록 구성되고,

상기 자원 할당은 상기 감지 작업 및 상기 통신 작업을 모두 고려하여 상기 ISAC 시스템의 성능을 최대화하는 방식으로 이루어지는,

다중 무인기 경로 계획 시스템.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 개시는 ISAC 프레임워크 하에서 지상 IoT 센서 네트워크를 위한 PGA(pareto based genetic ant colony optimization) 알고리즘을 이용한 다중 무인기 경로 계획 시스템 및 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 사물 인터넷(internet of things; IoT)과 무인기(unmanned aerial vehicle; UAV) 기술들의 통합은 다양한 도메인(domain)들에 걸쳐 데이터 수집 및 통신 시스템에 혁명적인 변화를 가져왔다. 무인기 기술을 데이터 감지 및 통신에 통합하여, 통합 감지 및 통신(integrated sensing and communication; ISAC) 프레임워크를 형성하는 것은 지상 기반 IoT 센서 네트워크 내에서 신속하고 효과적인 정보 수집을 위한 혁신적인 솔루션으로 등장하였다. 그런데, ISAC 프레임워크 하에서 분산되어 있는 센서들로부터 데이터를 수집하기 위한 무인기 궤적을 최적화하는 것은 매우 복잡한 문제이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0003] 본 개시는 ISAC 프레임워크 하에서 지상 IoT 센서 네트워크를 위한 PGA 알고리즘을 이용한 다중 무인기 경로 계획 시스템 및 방법을 제공한다.

과제의 해결 수단

[0004] 본 개시에서, ISAC 프레임워크 하에서 지상 IoT 센서 네트워크를 위한 다중 무인기 경로 계획 방법은, PGA 알고리즘을 이용하여, 복수의 무인기들에 대한 복수의 IoT 센서들을 경유하는 다수의 목적들을 고려한 최적의 경로들을 결정하는 단계, 및 상기 무인기들이 상기 경로들을 따라 이동하면서 상기 IoT 센서들을 통한 감지 작업 및 통신 작업을 수행하도록 하는 단계를 포함한다.

[0005] 본 개시에서, ISAC 프레임워크 하에서 지상 IoT 센서 네트워크를 위한 다중 무인기 경로 계획 시스템은, 메모리, 및 상기 메모리와 연결되고, 상기 메모리에 저장된 적어도 하나의 명령을 실행하도록 구성된 프로세서를 포함하고, 상기 프로세서는, PGA 알고리즘을 이용하여, 복수의 무인기들에 대한 복수의 IoT 센서들을 경유하는 다수의 목적들을 고려한 최적의 경로들을 결정하고, 상기 무인기들이 상기 경로들을 따라 이동하면서 상기 IoT 센서들을 통한 감지 작업 및 통신 작업을 수행하게 하도록 구성된다.

발명의 효과

[0006] 본 개시는 PGA 알고리즘을 사용하여 ISAC 프레임워크 하에서 무인기 이동 거리를 최소화하는 동시에 에너지 소비를 최적화하여, 다중 목적 최적화를 실현한다. 지상 기반 IoT 센서들과 볼록 최적화 자원 할당 알고리즘(convex optimization resource allocation algorithm)을 통한 원활한 무인기 통신의 시너지 효과는 실시간 데이터 수집을 강화하고 상황 인식을 향상시킨다. 본 개시의 자원 할당을 고려한 무인기 경로 계획 PGA 알고리즘은 지상 기반 센서 데이터 수집의 효율성을 극대화하도록 설계된다. 본 개시에 따르면, 다양한 도메인들에서 향상된 효율성, 견고성, 및 혁신적인 솔루션을 촉진하는 이러한 선구적인 접근법을 통해 다중 무인기 데이터 수집 시스템을 발전시키는 데 앞장설 것이다. 본 개시의 시스템은 시스템 용량의 최대 95 %에 달하는 놀라운 처리량을 달성한다.

도면의 간단한 설명

[0007] 도 1은 본 개시에 따른 무인기-지원(UAV-aided) ISAC 프레임워크를 예시적으로 도시하는 도면이다.

도 2는 본 개시에 따른 PGA 알고리즘을 블록들로 도시하는 도면이다.

도 3은 본 개시에 따른 PGA 알고리즘을 이용한 다중 무인기 경로 계획을 도시하는 도면이다.

도 4는 본 개시에 따른 PGA 알고리즘을 이용한 다중 무인기 경로 계획을 위한 의사 코드를 제공하는 알고리즘 1을 나타내는 도면이다.

도 5는 본 개시에 따른 볼록 최적화 자원 할당을 이용한 ISAC 자원 할당 알고리즘2를 나타내는 도면이다.

도 6은 본 개시의 다양한 실시예들에 따른 컴퓨터 시스템의 구성을 개략적으로 도시하는 도면이다.

도 7은 본 개시의 다양한 실시예들에 따른 컴퓨터 시스템의 다중 무인기 경로 계획 방법을 도시하는 도면이다.

도 8은 본 개시에 따른 PGA 알고리즘을 사용하여 경로 계획이 생성된 감지 영역을 도시하는 도면들이며, 여기서, 도 8의 (a) 무작위로 분산된 센서들을 나타내고, 도 8의 (b) 생성된 경로를 3D 보기로 나타내고, 도 8의 (c)는 생성된 경로를 평면 보기로 나타낸다.

도 9의 (a)는 본 개시에 다른 커버리지 셀 거리에 따른 다중 무인기 에너지 소비량을 나타내고, 도 9의 (b)는 센서들의 수에 따른 다중 무인기 에너지 소비량을 나타내는 도면이다.

도 10은 본 개시에 따른 방법과 기존 알고리즘의 비교 분석을 나타내는 도면이다.

도 11은 본 개시에 따른 무인기 통신을 위한 IoT 기반 센서 데이터 수집을 나타내며, 도 11의 (a)는 센서 노드의 교차점들을 나타내고, 도 11의 (b)는 센서 노드별 SINR(dB)의 3D 표현을 나타낸다.

도 12는 본 개시에 따른 IoT 기반 다중 무인기 업링크 통신에서 ISAC 시스템의 성능을 나타내며, 도 12의 (a)는 처리량을 나타내고, 도 12의 (b)는 지연 시간을 나타낸다.

도 13은 본 개시에 따른 IoT 기반 다중 무인기 업링크 통신에서 ISAC 자원 할당 성능을 나타내며, 도 13의 (a)는 처리량을 나타내고, 도 13의 (b)는 지연 시간을 나타낸다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0008] 이하, 본 개시의 다양한 실시예들이 첨부된 도면을 참조하여 설명된다.

[0009] 이하에서, 본 개시는 ISAC 프레임워크 하에서 분산되어 있는 센서들로부터 데이터를 수집하기 위한 무인기 궤적을 최적화하는 복잡한 문제를 해결하기 위해 파레토 기반 유전 개미 군집 최적화(pareto based genetic ant colony optimization; PGA) 알고리즘을 제시한다. PGA 알고리즘은 원활한 통신과 신뢰할 수 있는 데이터 전송을 보장할 뿐만 아니라 효율성을 달성하고 데이터 수집 시스템 성능을 최대화하는 데 중추적인 측면인 자원 할당 개념을 도입한다. 파레토 기반 최적화(pareto-based optimization), 유전 알고리즘(genetic algorithm; GA), 및 개미 군집 최적화(ant colony optimization; ACO)의 장점들을 시너지 효과로 활용함으로써, PGA 알고리즘은 ISAC의 자원 할당을 핵심으로 수용하여 다중 목적 최적화 작업으로 경로 계획을 공식화한다. PGA 알고리즘의 목적들은 전체 무인기 이동 거리 감소, 센서 커버리지 최대화, 에너지 소비 최적화, 및 ISAC의 통신 범위 및 연결 제약 조건들 준수를 포함한다. 이 접근법은 파레토 기반 최적화, 유전적 진화, 및 개미 군집 거동을 활용하여 다양한 파레토 최적 경로들의 세트를 생성하여 ISAC의 임무 목적들에 맞는 지능적인 결정을 내릴 수 있도록 한다. 본 개시의 주요 기여는 다음과 같다.

[0010] 첫째, 본 개시는 PGA 알고리즘의 세부 공식화 및 실행을 자세히 설명하고, 자원 할당 기능들이 주입된 ISAC 프레임워크 내 다중 무인기 경로 계획을 포괄하도록 범위를 확장한다.

[0011] 둘째, 본 개시는 다양한 시나리오들에서 제안된 ISAC 기반 접근법의 효율성, 견고성, 및 적응성을 보여주는 시뮬레이션들을 통해 시스템 성능을 평가한다.

[0012] 셋째, 본 개시는 다중 무인기 경로 계획에 대한 ISAC의 중요한 기여들을 강조하고 혁신적인 애플리케이션들을 강조한다.

[0013] 넷째, 본 개시는 IoT 및 무인기 기술들의 데이터 수집 및 통신 효율성을 향상시키는 새로운 ISAC 기반 접근법을 제시하여, 무인기 기반 데이터 수집 시스템을 통합한다.

[0014] **1. 시스템 모델**

[0015] 도 1은 본 개시에 따른 무인기-지원 ISAC 프레임워크를 예시적으로 도시하는 도면이다.

[0016] 도 1을 참조하면, 센서들이 감지 영역(sensing area)에 랜덤하게 분산되어 배치되는 환경이 구축된다. 수집된 데이터는 센서들로부터 애플리케이션 요구 사항들에 따라 실시간 또는 주기적인 간격들로 무인기들로 전송된다. 무인기들은 데이터를 수신하고, 필요에 따라 전처리 또는 압축을 수행하여, 지정된 데이터 저장 또는 처리 인프라로 전송한다. 도 1은 다수의 시나리오들, 즉, 차량 네트워크, 제조, 공중, 및 해상 네트워크로 무인기와 센서들 간의 감지 및 통신을 나타낸 것이다. 무인기는 센서를 향해 이동하여 웨이크업(wakeup) 신호를 전송한다. 웨이크업 신호를 수신한 후에, 센서는 전송 준비를 하고 응답 신호를 무인기로 전송한다. 이와 같이 무인기와 센

서 간의 통신이 설정되면, 센서는 감지 데이터를 무인기로 전송하기 시작한다.

[0017] 도 2는 본 개시에 따른 PGA 알고리즘을 블록들로 도시하는 도면이다.

[0018] 도 2를 참조하면, 전술된 작업은 PGA 알고리즘을 활용하여 무인기들의 경로들을 최적화하여, 데이터 수집 중 효율적인 커버리지와 에너지 소비 감소를 보장하고, 상향링크 통신을 통해 데이터를 전송한다. 이는 도 2에 도시된 ACO와 함께 파레토 기반 GA를 사용한 경로 계획을 통해 달성된다. 이 모델은 감지 영역의 모든 센서들을 통합하고 GA를 사용하여 모든 센서들을 직렬화한다. 본 개시에서는 센서 직렬을 찾음으로써 비용 효율적인 충돌 프리웨이(freeway) 내의 감지 영역을 비행하기 위해 전체 감지 구역(sensing zone)을 커버하는 일차 경로 계획을 가정할 기회를 준다고 가정한다. 최고의 직렬을 얻은 후, 효율적인 방법으로 센서들 간 최적의 궤적을 찾는다. ACO는 센서들 간 최적의 궤적을 찾는 데 도움이 된다. 다중 반복을 통해 경로의 여러 버전들을 만들고 비교하여, 적합도 함수, 목적, 에너지 소비, 비행 위험 유형 다수의 제약 조건들을 고려하여 최적의 버전을 선택한다.

[0019] 볼록 최적화를 사용하는 ISAC의 자원 할당 알고리즘은 선형 또는 볼록 제약 조건들 하에서 볼록 목적 함수들을 최적화하는 것을 중심으로 진행된다. 이 절차는 제약 조건들과 함께 최적화 도전을 공식화하고, 적합한 볼록 함수들을 선택하고, 최적화 변수들을 결정하는 것을 포함한다. 볼록 최적화 자원 할당 알고리즘은 감지 및 통신을 위한 자원들의 효과적인 분배를 위해 다양한 도메인들에서 유용성을 발견한다. 이는 최적의 결과들을 보장하고 확실한 수렴 특성을 제공한다.

[0020] **2. 문제 공식화**

[0021] 다중 무인기 데이터 수집 및 상향링크 데이터 전송 시스템의 맥락에서 경로 계획은 특정 목적들 및 제약 조건들에 대한 최적화 문제로 공식화될 수 있다. 목표는 시스템 성능에 영향을 미치는 다양한 요인들을 고려하면서 각 무인기가 감지 구역들을 횡단하고 IoT 센서들로부터 데이터를 수집하기 위한 최적 또는 거의 최적의 경로들을 찾는 것이다. 목적들은 센서 커버리지를 최대화하고 에너지 소비를 최적화하면서 무인기들이 이동하는 총 거리를 최소화하는 것이다. 최적화 알고리즘을 사용하여 경로 계획 문제를 해결함으로써, 제안된 접근법은 무인기들을 위한 파레토 최적 경로들의 세트를 생성하여 시스템 설계자가 우선 순위들과 선호도들에 따라 선택할 수 있는 다양한 옵션들을 제공하는 것을 목적으로 한다. 최종 선택된 경로들은 시스템 제약 조건들을 고려하고 데이터를 전송하기 위한 신뢰성 있는 통신 성능을 보장하면서, 무인기들이 IoT 센서들로부터 데이터를 효율적이고 효과적으로 수집할 수 있도록 안내하는 데 사용될 것이다. 3D 운영 공간으로 특징지어 지는 운영 시나리오 내에서, 수많은 센서들이 감지 영역 전체에 랜덤으로 분산되어 있다. 이 센서들은 유사한 사양들을 갖는 무인기들을 위한 비행 경로들을 고안하는 임무를 수행한다. 경로 계획 동안, 무인기들은 서로를 피하고 감지 구역에 머물며 센서들을 찾는다. 또한, 무인기들 간의 통신은 무인기 대 센서 통신 시스템에 의해 서로와 수행된다. 실행에서, 전체 운영 공간은 셀들이라고 하는 여러 작은 단위 영역들로 나뉘며, 특정 셀들은 제한 구역들로 지정된다. 운영 영역의 묘사와 궤도 계획 접근법은 자세히 후술될 것이다.

[0022] 설명된 프로세스는 무인기 경로 계획을 위한 2-단계 최적화 접근법을 포함한다. 처음에, 유전 알고리즘이 이동 거리를 최소화하는 것을 목적으로 센서들을 방문할 최적의 순서를 결정한다. 그런 다음, 개미 군집 최적화 방법은 페로몬 흔적들(pheromone trails)과 휴리스틱을 사용하여 인공 개미들을 잠재적 경로들로 안내함으로써 이 시퀀스를 미세화한다. 센서들을 효율적으로 커버하는 최적 또는 거의 최적의 무인기 경로들을 발견하기 위해 탐색(exploration)과 활용(exploitation)을 결합하여 수렴 또는 정지 기준을 충족할 때까지 반복 프로세스가 계속된다. 통합 PGA 알고리즘은 다양한 최적의 솔루션들을 제공하기 위해 파레토 기반 접근법을 사용하여 거리, 센서 커버리지, 및 에너지 소비와 같은 여러 목적들을 고려한다. 이러한 통합은 지상 기반 IoT 센서들로부터의 데이터 수집 효율성을 향상시켜, 중복 이동들을 줄이고 전체 시스템 성능을 향상시킨다.

[0023] 최적화 접근법을 사용하여, 일련의 경유지들로부터 3D 공간에 궤적을 구축하였다. 결과적으로, 하기 [수학식 1]과 같은 벡터 형식이 실현 가능한 경로들를 인코딩하기 위해 사용되며, 벡터 요소 $P_i = (a_i, b_i, c_i)$는 i 번째 경유지를 나타낸다:

수학식 1

[0024] $$P_r = P_1, P_2, P_3, \ldots, P_{N_t}$$

[0025] 여기서, N_t는 실현 가능한 경로에 있는 궤적들의 수를 나타낸다.

[0026] 이 부분에서, 사용하는 다중 무인기 경로 계획 방법에 의해 궤적들로 구성된 다중 목적 적합도 함수가 생성되었다. 최적화를 위한 인덱스들이 두 그룹들로 나뉘고, 각 그룹에 다른 우선 순위 레벨이 부여되었다. 이는 최적화 프로세스에서 최적화 인덱스들이 가지는 다양한 가중치들을 강조하기 위해 수행된다. 이는 두 개의 카테고리들로 구분될 수 있다: 첫 번째 카테고리는 무인기들이 물리적 한계들로 인해 준수해야 하는 제약 조건들이고, 두 번째 카테고리는 이상적인 궤적을 생성하기 위해 최대화되어야 하는 최적화 목적들이다. 결과적으로, 적합도 함수는 하기 [수학식 2]와 같이 정의된다.

수학식 2

[0027] $$FT_{fitness} = FT_{obj} + FT_{const}$$

[0028] 여기서, FT_{obj}는 목적 함수이며, 다른 파라미터들의 측면에서 값들을 최대화하는 데 집중하고, FT_{const}는 물리적 및 환경적 제약 조건들이며, 궤적 계획 전에 완료되어야 한다.

[0029] 함수의 목적들은 경로 계획의 품질 향상을 목적으로 하는 최적화 기준으로 설명된다. 따라서, 목적 함수는 에너지 소비와 비행 위험 추정의 합성으로 정의되고, 하기 [수학식 3]과 같은 방식으로 표현된다:

수학식 3

[0030] $$FT_{obj} = -wt_1 FT_{CE} - wt_2 FT_{RF}$$

[0031] 여기서, wt_1과 wt_2는 목적 요소의 가중치를 설명하기 위해 활용되고, 에너지 소비(FT_{CE}) 및 비행 위험(FT_{RF})은 [0, 1] 범위로 정의된다. 가장 낮은 에너지 소비, 가장 낮은 환경 비행 위험, 그리고 가장 높은 조사를 갖는 이상적인 경로를 만드는 것이 주요 목표였다. 결과적으로, 조사 영역의 관련성이 양의 값으로 지정되고, 그리고 다른 값들이 음의 값으로 지정된다.

[0032] 소형 무인기들의 고유한 물리적 한계들, 특히 배터리 전력 제약 조건들로 인해 세심한 경로 계획이 필수적이다. 이는 무인기가 제한된 배터리 용량을 최적으로 활용하면서 지정된 경로를 효과적으로 조사할 수 있도록 보장한다. 결과적으로, 에너지 소비가 낮은 경로들의 우선 순위들을 지정하는 것이 지속적으로 선호되고 있다. 무인기 운영 중에 일정한 속도가 유지된다고 가정할 때, 하기 [수학식 4]와 같이 에너지 소비(CE)가 계산되었다.

수학식 4

[0033] $$CE = \frac{\sum_{i=1}^{N_{wt}-1} CE_i}{CE_{max}}$$

[0034] 여기서, 개별 에너지 소비(CE_i)는 하기 [수학식 5]와 같이 계산되며, 이는 하기 [수학식 6] 및 [수학식 7]을 기반으로 한다.

수학식 5

[0035] $$CE_i = PO_w \cdot t_{i,i+1}$$

수학식 6

[0036] $$t_{i,i+1} = \frac{dt_{i,i+1}}{v}$$

수학식 7

[0037] $$dt_{i,i+1} = \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2 + (z_{i+1} - z_i)^2}$$

[0038] 여기서, CE_i는 경유지 i에서 경유지 (i+1)까지 사용되는 에너지의 양이다. PO_w는 무인기에서 단위 시간 동안 속도로 사용되는 에너지이고, $t_{i,i+1}$은 무인기가 i 번째 경유지와 (i+1) 번째 경유지 사이를 비행하는 데 걸리는 시간이다. 센서들, 즉, i 번째와 (i+1) 번째 경유지 사이의 직교 좌표 거리를 $dt_{i,i+1}$이라고 한다. 에너지 소비를 정규화한 후 CE_{max}가 하기 [수학식 8]과 같이 계산된다.

수학식 8

[0039] $$CE_{max} = (N_w - 1) \times PO_w \times \frac{dt_{max}}{v}$$

[0040] 여기서, 경유지는 dt로 알려져 있으며, 최대 경유지는 최적의 상태를 찾기 위해 생성되며, 최대 dt는 하기 [수학식 9]와 같이 계산될 수 있다.

수학식 9

[0041] $$dt_{max} = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$$

[0042] 여기서, 3D 환경의 X, Y, Z 경계들이 정의되어 있다. 또한, 높은 고도에서 비행하는 것은 매우 위험할 수 있는데, 이는 바람이 더 많이 불기 때문이며, 운영 공간의 미세한 부분에서 실수로 파괴될 가능성이 증가할 수 있기 때문이다.

[0043] 무인기가 조사 임무를 수행할 때 악천후(예를 들어, 라인 레인(line rain), 강풍, 눈 등)에 더욱 취약하게 되므로, 비행 시간 동안 준수해야 하는 몇 가지의 물리적 제약 조건들이 존재한다. 상황에 따라 두 가지 유형들의 비행 위험들이 결정된다: 환경 위험 및 고 고도 위험.

[0044] 비행 위험을 추정하는 것은 하기 [수학식 10]과 같이 RF로 나타낼 수 있으며, 이는 하기 [수학식 11]을 기반으로 한다.

수학식 10

[0045] $$RF = \frac{\sum_{i=1}^{N_w-1} RF_i}{max\ RF}$$

수학식 11

[0046] $$RF_i = \varphi_{ER} r_{i,i+1}^{e} + \varphi_{HAR} r_{i,i+1}^{ha}$$

[0047] 여기서, ϕ_{HAR}은 고 고도 위험을 의미하고, ϕ_{ER}은 환경 위험을 의미하며, RF_i는 i 번째 경유지에서 (i+1) 번째 경유지로의 비행 위험 예측을 나타낼 수 있다. 본 개시는 추정된 비행 위험을 정규화하고, 하기 [수학식 12]와 같이 최대 FRE 공식을 고안하였다.

수학식 12

[0048] $$max\ RF = (N_w - 1) \times [\varphi_{HAR} \times Z + \varphi_{ER} \times (2maxr^{e})$$

[0049] 결과 경로의 실현 가능성 여부를 판단하기 위해, 음의 제약 함수가 생성되었다. 각 제약은 조건들이 충족되면 0으로 설정되고, 그렇지 않으면 음의 페널티 값 P가 적용되었다. 아래는 제약 함수에 대한 설명이다. 제약 함수는 하기 [수학식 13]과 같이 공식화된다.

수학식 13

[0050] $$FT_{const} = TAC + OAC + CRC + CA$$

[0051] 여기서, 회전각 제약(turning angle constraint; TAC), 운용 영역 제약(operational area constraint; OAC), 커버리지 범위 제약(coverage range constraint; CRC), 및 충돌 회피(collision avoidance; CA)를 FT_{const}로 간주한다. 무인기의 비행 경로는 기동성이 용이하도록 충분한 평활성을 제공해야 하며, 결과적으로 무인기의 회전각은 최대 허용 회전각 이하로 유지되어야 한다. 이 제약, 즉, TAC는 하기 [수학식 14]와 같은 방식으로 표현될 수 있다.

수학식 14

[0052] $$TAC = \sum_{i=1}^{N_w} TAC_i$$

[0053] 여기서, 개별 회전각 제약 TAC_i는 하기 [수학식 15]와 같이 계산된다.

수학식 15

$$TAC_i = \begin{cases} P, if\ \theta > \theta_{max} \\ 0, otherwise \end{cases}$$

[0054]

[0055] 여기서, Θ은 무인기의 3차원 방향들(xi, yi, zi)의 회전각을 정의하며, Θ_{max}는 최대 허용 회전각이다. OAC는 하기 [수학식 16]과 같이 공식화될 수 있다.

수학식 16

$$OAC = \sum_{i=1}^{N_w} OAC_i$$

[0056]

[0057] 여기서, 개별 운영 영역 제약 OAC_i는 하기 [수학식 17]과 같이 계산된다.

수학식 17

$$OAC_i = \begin{cases} P, if\ waypoint\ in\ map(x_j, y_j) \\ 0, otherwise \end{cases}$$

$$Range(x_j, y_j) = \{l_x \le x_j \le u_x\} \cap \{l_y \le y_j \le u_y\}$$

[0058]

[0059] 여기서, N_w는 경유지들의 수, l_x, l_y는 x와 y의 하한들이고, u_x, u_y는 x와 y의 상한들이다.

[0060] 전체 커버리지에 대해, 무인기는 모든 영역들을 커버할 필요가 있다. 경로 계획에 커버리지 영역이 포함될 경우, 페널티는 주어지지 않는다. 커버리지 범위 제약은 하기 [수학식 18]과 같이 공식화될 수 있다.

수학식 18

$$CRC = \sum_{i=1}^{N_w} CRC_i$$

[0061]

[0062] 여기서, 개별 커버리지 범위 제약 CRC_i는 하기 [수학식 19]와 같이 계산된다.

수학식 19

$$CRC_i = \begin{cases} P, \ if \ waypoint \ i \ in \ Range(x_j, y_j) \\ 0, \ otherwise \end{cases}$$

$$range\ (x_j, y_j) = \{l_x \le x_j \le u_x\} \cap \{l_y \le y_j \le u_y\}$$

[0063]

[0064] 여기서, N_w는 경유지들의 수, l_x, l_y는 x와 y의 하한들이고, u_x, u_y는 x와 y의 상한들이다.

[0065] 충돌들을 제거하기 위한 무인기 경로들의 세심한 설계는 실행 가능한 경로 계획을 수립하는 데 있어 중추적인 작업들 중 하나로 간주된다. 별도의 궤적들의 경우, 충돌들을 방지하기 위해 무인기들 간의 최소 거리를 유지하는 것이 필수적이며, 결과적으로 충돌 회피 제약은 하기 [수학식 20]과 같이 설명될 수 있다.

수학식 20

$$CA = \sum_{i=1}^{N_w^p} \sum_{j=1}^{N_w^p} CA_i$$

[0066]

[0067] 여기서, 개별 충돌 회피 제약 CA_i는 하기 [수학식 21]과 같이 공식화된다.

수학식 21

$$CA_i = \begin{cases} P, \ if \ d_{ij}^{mn} < d_{min} \\ 0, \ otherwise \end{cases}$$

[0068]

[0069] 여기서, d_{min}은 충돌을 피할 수 있는 최소 안전 거리이고, d_{ij}^{mn}는 p 번째 무인기 궤적의 i 번째 경유지와 q 번째 UAV 궤적의 j번째 경유지 사이의 데카르트 거리(Cartesian distance)이다.

[0070] 2.1. 유전 알고리즘

[0071] 모집단에는 N 개의 개체들이 있으며, 이는 다중 무인기 시스템에 대한 경로 선택 계획의 솔루션으로 간주될 수 있다. 각 무인기는 임의로 N 개의 경로들 $\{l_i^1, l_i^2, \ldots, l_i^N\}$을 선택하므로, 모든 무인기들은 모집단 $\{ind_1, ind_2, \ldots, ind_N\}$을 구성한다. 글로벌 솔루션들을 평가하기 위해 중앙 집중식 GA 글로벌 정보의 적합도 함수를 사용한다. 분산식 GA의 적합도 함수는 로컬 지식만 활용할 수 있다. 전자는 무인기들이 더 큰 이점들을 가진 경로에 쉽게 접근할 수 있도록 하는 반면, 후자는 로컬 최적 솔루션들에서 벗어날 수 있도록 도와준다. l_i^N의 적합도는 하기 [수학식 22]와 같이 표현된다:

수학식 22

$$fit_i^n = 1 - \frac{f_i(l_i^n)^{\log(t_i(a,cGA))}}{\sum_{n'=1}^{N} f_i(l_i^n)^{\log(t_i(a',cGA))}}$$

$$t_i(a, cGA) = t_i(a, cGA - 1) + \sum_{n'=1}^{N} \langle l_i^{n'} = a \rangle$$

[0072]

[0073] 여기서, $f_i(l_i^n)$는 l_i^n에 대응하는 개별 목적 함수 반환 값을 나타내고, a 및 a'은 값들이고, cGA는 GA의 현재 반복 횟수이고, 반복은 모든 유전 연산자들의 실행을 나타내고, $\langle l_i^{n'} = a \rangle$ 은 $l_i^{n'}$이 a와 같으면 1을 반환하는 지시 함수이고, $t_i(a', cGA)$는 cGA까지 교차점 U_i가 a'를 선택한 횟수이고, $t_i(a', cGA)$의 값이 클수록 a'이 로컬 최적일 가능성이 높다. U_i는 적합도 함수에 따라 경로들을 평가한다. 교차할 개체들을 선택하기 위해, 룰렛 휠 선택 연산자가 도입되어, U_i에 대한 N 개의 인덱스들로 구성된 교차 목록 $crossList_i$를 생성하며, 이에 앞서 하기 [수학식 23]과 같은 생존 확률 p_i^n이 l_i^n에 할당된다.

수학식 23

$$p_i^n = \frac{fit_i^n}{\sum_{n'=1}^{N} fit_i^{n'}}$$

[0074]

[0075] 교차점에서, U_i는 값들을 확률 p_{cross}로 $crossList_i$ 순으로 재정렬하여 새로운 개체들을 생성한다. p_{cross}는 하기 [수학식 24]와 같이 설계된다.

수학식 24

$$p_{cross} = \frac{\log(mGA - cGA)}{\sqrt{mGA}}$$

[0076]

[0077] 여기서, mGA는 GA의 최대 반복 횟수이다.

[0078] 선택 및 교차 연산자들에서는 적합도가 높은 값들이 보존될 가능성이 높으며, 점차 모집단의 대부분을 차지하게 되어 모집단의 다양성이 저하될 것이다.

수학식 25

$$p_{mut}^{i,n} = \frac{fit_i^n \times e^{-\frac{\left(cGA-\frac{1}{4}mGA\right)^2}{mGA}} \times (mGA - cGA)}{mGA}$$

[0079]

[0080] 경향성을 늦추기 위해, 적합도가 높은 값들은 돌연변이 연산에서 변경될 가능성이 높아지므로, 상기 [수학식 25]에서 돌연변이 확률 p_{mut}은 적합도 fit와 양의 상관관계를 가진다.

[0081] 2.2 ACO의 수학적 모델

[0082] ACO는 개미들이 야생에서 어떻게 먹이를 찾는 지에서 영감을 끌어내는 생체공학 알고리즘이다. 개미 군집은 먹이를 찾을 때 항상 개미 둥지에서 먹이원으로 가는 최선의 경로를 찾을 수 있다. 보통, 개미들은 먹이를 찾아 여행할 때, 다른 개미들이 같은 종에 속한다고 인식할 수 있는 페로몬을 방출한다. 대부분의 경우, 페로몬이 시간이 지남에 따라 증발하기 때문에, 남아 있는 페로몬 농도는 더 짧은 경로에서 더 높다. 결과적으로, 개미 무리는 가장 좋은 경로를 선택할 수 있고, 강력한 페로몬 신호들의 방향으로 이동하는 경향이 있다.

[0083] 첫 번째 단계는 ACO의 파라미터들을 초기화하는 것이다. 이 변수들에는 최대 반복 횟수(K), 총 개미 수(M), 예상 휴리스틱 인자(α), 페로몬 증발 인자(β), 및 페로몬 강도 값(Q)이 포함된다. 또한, 경로 라우팅 메모리 행렬, 휴리스틱 정보 행렬, 및 페로몬 값을 동일한 방식으로 초기화할 필요가 있다. ACO의 중요한 단계들 중 하나는 최상의 동작 코스를 선택하는 방법을 학습하는 것이다. 룰렛 휠 선택은 전통적인 ACO에서 사용된다. 이 방법에 따르면, 각 후보의 선택 가능성은 적합도와 반비례 관계에 있다. 전통적인 ACO에서, 하기 [수학식 26]은 k 번째 개미에 대해 i 번째 점에서 j 번째 점으로 이동하는 개미에 대한 확률 선택 규칙을 정의한다.

수학식 26

$$pb[i,j] = \frac{((T[C_l][i,j])^{\alpha}) \times (H[C_l[i,j]^{\beta}))}{S_{pb}}$$

[0084]

[0085] 여기서, 확률의 합(S_{pb}), 확률(pb)이 있다. 한편, 최근 센서와 다음 센서 사이의 최적 경로를 계산하기 위해서는, 하기 [수학식 27], [수학식 28], 및 [수학식 29]를 기반으로 페로몬 행렬 T를 업데이트해야 한다.

수학식 27

$$\delta T[i][j] = \frac{1}{Tr_c}$$

[0086]

수학식 28

$$T[i][j] = (1 - \rho) \times T[i][j] + \Sigma(\delta T[i][j])$$

[0087]

수학식 29

$$T[i][j] = (1-\rho) \times T[i][j] + \Sigma \frac{1}{Tr_c}$$

[0088]

[0089] 여기서, T는 페로몬 행렬이고, Tr_c는 투어 비용이다.

[0090] 2.3. 파레토 최적 솔루션 이론

[0091] 다중 목적 최적화 문제(multi-objective optimization problem; MOP)들에서, 최적화로 예정된 다양한 목적들은 종종 상충하는 경향들을 보인다. 결과적으로, 이 문제들은 단 하나의 확정적인 최적 솔루션이 부족하고 직접 해결할 수 없다. 가능한 한 많은 목적들을 최적화하기 위해 노력해야 종종 파레토 최적 솔루션 세트라고 불리는 타협 솔루션 세트에 도달할 수 있다. 이어서, 개체들은 별개의 요구 사항들에 기초하여 이 세트에서 자신이 선호하는 솔루션을 선택할 수 있다. 보다 넓은 맥락에서, 파레토 솔루션 세트를 넘어서는 우수한 솔루션은 존재하지 않으므로, 궁극적인 솔루션 세트로 간주된다. MOP들은 일반적으로 하기 [수학식 30]를 사용하여 나타낼 수 있다.

수학식 30

$$F(x) = [f_1(x), f_2(x), \ldots, f_m(x)]$$

$$x = (x_1, x_2, \ldots, x_n) \in D$$

[0092]

[0093] 여기서 x는 n 개의 의사결정 변수들의 벡터이고, $D \subset R^n$은 의사결정 공간이다. m은 목적들의 수이고, $F(x) \in \Lambda \subset R^m$은 m 개의 목적들을 갖는 목적 벡터이다. Λ은 목적 공간이다. x로 표시되는 의사결정 변수들은 이러한 맥락에서 중추적인 역할을 한다. x에 대한 정확한 값을 선택함으로써, 최적화 문제에 대한 이상적인 솔루션를 얻을 수 있다. 파레토 솔루션 세트 내의 솔루션들이 모든 목적들의 최적화를 동시에 가져오지 않을 수도 있음을 유의해야 한다. 그러나, 일단 하나의 목적이 고정되면, 파레토 솔루션은 다른 목적들이 그들의 최적 값들에 도달할 수 있게 해 줄 수 있다. 결과적으로, 최적 솔루션을 찾을 때, 초점은 오직 파레토 솔루션 세트에만 맞추어야 한다. 파레토 솔루션들은 다른 목적 함수를 손상시키는 특성을 보이는데, 이는 MOP들의 속성들과 완벽하게 일치하는 특성이다. 이러한 파레토 솔루션들은 다른 대안들을 지배하거나 능가하지 않는 솔루션이며, 그것들은 비지배적 솔루션들로 지정된다. 임의의 인위적인 기준이 없는 경우, 그것들은 MOP들 내에서 동등한 지위를 갖고, 종종 파레토 프론티어(pareto frontier)로 집합하여 간주된다. 솔루션이 하기 [수학식 31]과 [수학식 32]를 충족하고, 벡터 x'에 적용된 목적 함수 G가 벡터 x에 적용된 목적 함수 G의 값 이하이면, 그것은 파레토 솔루션의 자격을 얻는다.

수학식 31

$$G(x') \leq G(x)$$

[0094]

수학식 32

[0095] $$\text{Other Goals: } G(x') \geq G(x)$$

[0096] 파레토 지배 관계는 의사결정 변수들 F(x)=[f1(x), ..., fm(x)] 및 x1, x2∈X 쌍에 적용할 수 있는 m 개의 목적 성분들로 구성된 최소화된 다중 목적 벡터 a에 대해 설정된다. i∈{1, 2, ..., m}이면 fi(x1)<fi(x2)이고, x1이 x2보다 지배적이며, 이는 x1>x2로 기록된다. 전체 솔루션 공간(S)에서, 파레토 솔루션 세트는 모든 비지배 솔루션들로 구성되는 세트이다. 파레토 프론티어는 다음과 같이 정의된다: 일련의 비지배 솔루션들은 파레토 솔루션 세트(PS)를 형성하며, 대응하는 벡터들로 구성된 표면은 파레토 프론티어(PF)이다.

[0097] 모든 제약 조건들이 볼록으로 변환되고, 최적화 문제는 하기 [수학식 33], [수학식 34], [수학식 35], 및 [수학식 36]과 같이 재구성될 수 있다.

수학식 33

[0098] $$max\ S,\ C, f \sum_{i=1}^{U} -\alpha_i \times f_i$$

수학식 34

[0099] $$y_i \leq -\frac{1}{2}x_i^2,\ i = 1,2,\ldots,U$$

수학식 35

[0100] $$m_i \geq 2^{q_i} - 1$$

수학식 36

[0101] $$q_i \geq \frac{d_o(1-\sigma)}{B_i t_i}$$

[0102] y_i, $B_i t_i$, m_i, x_i 업데이팅 변수들의 초기값을 설정하고 문제가 수렴될 때까지 반복하면 최적의 결과들이 얻어질 수 있다.

[0103] **3. PGA 알고리즘**

[0104] 도 3은 본 개시에 따른 PGA 알고리즘을 이용한 다중 무인기 경로 계획을 도시하는 도면이다.

[0105] 도 3을 참조하면, PGA 알고리즘은 다중 무인기 경로 계획 시스템의 중추 역할을 하며 지상 기반 IoT 센서들과 무인기들 간의 데이터 획득 및 통신의 효율성과 효과를 혁신한다. 이 알고리즘은 PGA 최적화 프로세스와 ISAC

프레임워크를 원활하게 연결할 수 있도록 세심하게 설계되어, 데이터 수집, 전송, 및 실시간 통신 간의 조화로운 상호 작용을 보장한다. 특히, 지상 기반 IoT 센서들의 센서 데이터 수집을 극대화하도록 설계되었다.

[0106] ISAC를 위해 제안된 PGA 알고리즘은 다중 무인기 시스템들에서 데이터 수집과 통신을 조화시키는 혁신적인 솔루션이다. 이 알고리즘은 PGA의 최적화 기능을 활용하여, 무인기들이 신뢰할 수 있는 통신 링크들을 유지하면서 지상 기반 IoT 센서들로부터 데이터를 효율적으로 수집할 수 있도록 보장한다. 이러한 감지 및 통신 구성 요소들의 원활한 통합은 시스템이 실시간 데이터 획득, 향상된 상황 인식, 및 도전적인 지형들의 효율적인 모니터링을 달성할 수 있도록 지원하며, 다양한 도메인들에서의 혁신적인 응용들을 위한 잠재력을 강조한다.

[0107] 이 프로세스는 모집단 크기, 세대들의 수를 초기화함으로써 PGA 알고리즘에 대한 파라미터들을 설정하고, 최적화 프로세스에 영향을 미치는 상기 [수학식 24]를 이용하는 교차 확률(p_{cross}) 및 상기 [수학식 25]를 이용하는 돌연변이 확률(p_{mut})을 결정하는 것으로 시작된다. PGA의 유전 알고리즘 구성 요소는 먼저 방문할 센서들의 최적 순서를 결정하는 데 활용된다. 센서들에 대한 상이한 순열들을 평가함으로써, 유전 알고리즘은 센서들 간에 이동할 수 있는 최적의 순서를 식별한다. 이 프로세스는 무인기들이 이동하는 전체 거리를 최소화하는 것을 목표로 한다. 개미 군집 최적화 메커니즘은 얻어진 센서 순서를 미세화하고 각 센서 쌍 간의 최적 경로를 결정하는 데 사용되며, 상기 [수학식 27]로 페로몬 행렬을 계산하여 두 센서들 사이의 최적 궤적을 계산하고, 이 계산을 센서 포인트들 간의 모든 경유지들로 확장한다. 다중 반복이 실행되어, 다양한 경로 카피들을 생성하고, 상기 [수학식 2]를 이용하여 이동 적합도 함수($FT_{fitness}$)를 포함하는 다수의 적합도 함수들을 계산한다. 마지막으로, 알고리즘은 상기 [수학식 31]과 [수학식 32]에서 설명한 것과 같이 비교하여 상기 [수학식 30]에서 최상의 F(x) 값을 식별한다. 최적 경로의 궁극적인 선택은 유전 알고리즘(GA), 개미 군집 최적화(ACO), 다수의 적합도 함수들, 및 파레토 솔루션들의 조합을 통해 달성된다.

[0108] 통합 PGA 알고리즘은 무인기들에 대한 최적 또는 거의 최적의 경로들을 발견한다. 이러한 경로들은 이동 거리를 최소화하고 감지 구역들의 모든 센서들을 효율적으로 커버하는 것을 목표로 한다. PGA 알고리즘의 통합을 통해, 다중 목적 최적화 프로세스는 이동 거리, 센서 커버리지, 및 에너지 소비와 같은 목적들을 고려한다. 파레토 기반 접근법은 결과 경로들이 이러한 목적들 간의 상충 관계를 나타내도록 보장하며, 다양한 최적의 솔루션들의 세트를 제공한다. PGA 알고리즘을 이용한 다중 무인기 경로 계획은 도 3에 도시되어 있으며, 이는 센서 데이터 수집을 최대화할 수 있다. 이 프로세스는 PGA 알고리즘에 의해 생성된 최적 경로로 인도되는 무인기가 여정을 시작하는 것으로 시작된다. 무인기가 센서에 접근하면, 웨이크업 신호 방송을 시작한다. 이 신호를 수신하면, 지상 IoT 센서가 각성하여 이전에 수집된 환경 데이터를 무인기에 전송하기 시작한다. 무인기는 중개 역할을 하며, 다음 센서 위치로 이동하기 전에 이 데이터를 지정된 기지국에 전달한다. 특히 무인기는 대역폭을 지능적으로 할당하여, 초기에 감지 작업과 통신 작업을 50%로 균등하게 분할한다. 그러나, 무인기는 실시간 요구사항들을 기반으로 이 할당을 동적으로 조정할 수 있는 기능을 보유하여, 임무 전반에 걸쳐 효율적이고 적응 가능한 데이터 수집 및 통신 프로세스를 보장한다. 이 통합 접근법은 IoT 센서 네트워크들에서 무인기를 통한 데이터 수집 및 전송의 전반적인 효과를 향상시킨다.

[0109] 도 4는 본 개시에 따른 PGA 알고리즘을 이용한 다중 무인기 경로 계획을 위한 의사 코드를 제공하는 알고리즘 1을 나타내는 도면이다. PGA 알고리즘을 통해 얻은 최적화된 경로들은 무인기들이 센서들을 가장 효과적으로 횡단하도록 보장하여, 중복 이동들을 줄이고 전체 시스템 성능을 향상시킨다. PGA 알고리즘의 의사 코드는 도 4에 도시된 알고리즘 1에 제시되어 있으며, 이는 센서 데이터 획득을 극대화할 수 있다.

[0110] 웨이크업 무선 신호(wake-up radio signal; WUR)를 위해, 낮은 전력 소비, 높은 감도, 간섭에 대한 저항, 및 빠른 웨이크업이 고려되어야 한다. 필요한 최소 감도에 대한 통찰력을 얻기 위해, 프리스(Friis) 전송 방정식이 작동한다. 프리스 전송 방정식은 이상화된 조건 내에서, 수신 안테나의 단자들에서의 전력과 수신파의 전력 밀도 및 수신 안테나의 유효 어퍼처(aperture)의 곱 사이에 동일성을 설정한다. 이 방정식은 어느 정도 거리에서 알려진 양의 전력을 전송하는 다른 안테나를 고려할 때 적용 가능하다. 수신 전력(P_r)은 하기 [수학식 37]과 같이 표현된다.

수학식 37

[0111] $$P_r = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^n}$$

[0112] 이 수학식에서, P_t는 송신 전력을 나타내고, G_t와 G_r은 송신측과 수신측에서의 안테나 이득을 각각 나타낸다. 변수 d는 송신 거리를 나타내고, λ는 이용 주파수의 파장을 나타내며, n은 경로 손실 지수를 나타낸다.

[0113] **4. ISAC에 대한 자원 할당**

[0114] 통합 감지 및 통신 시스템들에서, 자원 할당은 감지 및 통신 작업들 모두의 성능과 효율성을 결정하는 중대한 문제이다. 이 시스템들은 감지 및 통신 활동들을 모두 수행하기 위해 동일한 하드웨어 및 스펙트럼 자원들을 공유하는 것을 목표로 한다. 개선된 알고리즘은 두 작업들을 동시에 고려하며, 전체 시스템 성능을 최대화하는 방식으로 대역폭을 할당한다. 일반적으로, 목적은 시스템 성능의 일부 측정치를 최대화하는 것이다. 이는 스펙트럼 효율성, 신호 대 잡음비(signal-to-noise ratio; SNR), 또는 감지 및 통신 작업들 모두를 고려하는 복합 지표일 수 있다. 이는 수학적으로 하기 [수학식 38]과 같이 표현될 수 있다.

수학식 38

[0115] $$maximize\ f(x)$$

[0116] 여기서, f(x)는 할당 벡터를 나타내는 변수 x에 종속되는 목적 함수이다. 단순한 목적 함수 $f(x_c, x_s)$는 각각 통신 및 감지 작업들의 품질 또는 효과를 나타내는 일부 유틸리티 함수들 $U_c(x_c)$와 $U_s(x_s)$의 합을 최대화하는 것을 목표로 할 수 있다. 이는 수학적으로 하기 [수학식 39]와 같이 표현될 수 있다.

수학식 39

[0117] $$maximize\ f(x_c, x_s) = U_c(x_c) + U_s(x_s)$$

[0118] 유틸리티 함수들 $U_c(x_c)$ 및 $U_s(x_s)$는 데이터 속도, 신호 대 잡음비, 또는 임의의 기타 성능 지표와 같은 다양한 요인들에 따라 달라질 수 있다. 이는 하기 [수학식 40] 및 [수학식 41]과 같이 계산할 수 있다.

수학식 40

[0119] $$U_c(x_c) = \log(1 + SNR_c \times x_c)$$

수학식 41

[0120] $$U_s(x_s) = \log(1 + SNR_s \times x_s)$$

[0121] 감지 작업에 할당된 대역폭에 대해, T를 감지에 할당된 시간, Rs를 샘플링 속도, 그리고 N을 수집된 총 샘플 수라고 가정해 보자. 수집된 샘플들의 수인 총 샘플 수 N은 하기 [수학식 42]와 같이 주어질 수 있다.

수학식 42

[0122] $$N = T \times R_s$$

[0123] 감지 작업에 대한 데이터 수집 속도 D_s는 종종 초당 비트 수(bps) 또는 이와 유사한 단위로 측정되며, 하기 [수학식 43]과 같이 제공될 수 있다.

수학식 43

[0124] $$D_s = x_s \times log_2(1 + SINR_s)$$

[0125] 여기서, $SINR_s$는 감지 작업에 대한 신호 대 잡음비이다. T 시간 동안 수집된 총 데이터 D_t는 하기 [수학식 44] 및 [수학식 45]와 같이 표현될 수 있다.

수학식 44

[0126] $$D_t = D_s \times T$$

수학식 45

[0127] $$D_t = x_s \times log_2(1 + SINR_s) \times T$$

[0128] 여기서, D_t와 $X_c + X_s \leq B$를 최대화하고자 한다. 볼록 최적화 기법들은 통합 감지 및 통신 시스템들의 대역폭 할당을 포함하는 자원 할당 문제들을 해결하는 데 매우 효과적일 수 있다. 이러한 기법들은 볼록 세트 내에서 최적의 솔루션을 찾는 것을 목표로 하며, 종종 글로벌 최소로의 수렴을 보장하는 알고리즘을 사용한다. 이 시나리오에서 목적은 QoS(Quality of Service), 지연 시간, 및 스펙트럼 효율과 같은 다양한 제약 조건들에 따라 전체 시스템 성능을 최대화하는 방식으로 대역폭을 할당하는 것이다.

[0129] 도 5는 본 개시에 따른 볼록 최적화 자원 할당을 이용한 ISAC 자원 할당 알고리즘2를 나타내는 도면이다. 알고리즘 2에서 볼록 최적화 자원 할당을 이용한 ISAC 자원 할당은 감지(S)와 통신(C)을 초기화함으로써 시작된다. 이 프로세스는 반복되어, 최적의 자원 할당 S와 C를 목표로 한다. 목적은 사용자 고유의 가중치들 α_i를 합하여 f 함수를 최대화하는 것이다. 이 알고리즘은 목표에 수렴될 때까지 수학적 표현을 사용하여 반복된다. 프로세스가 종료되면 자원 할당이 종료된다.

[0130] 도 6은 본 개시의 다양한 실시예들에 따른 컴퓨터 시스템(100)의 구성을 개략적으로 도시하는 도면이다.

[0131] 도 6을 참조하면, 컴퓨터 시스템(100)는 ISAC 프레임워크 하에서 지상 IoT 센서 네트워크를 위한 다중 무인기 경로 계획을 위한 것으로, 통신 모듈(110), 입력 모듈(120), 출력 모듈(130), 메모리(140), 또는 프로세서(150) 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 일부 실시예들에서, 컴퓨터 시스템(100)의 구성 요소들 중 적어도 하나가 생략될 수 있으며, 적어도 하나의 다른 구성 요소가 추가될 수 있다. 일부 실시예들에서, 컴퓨터 시스템(100)의 구성 요소들 중 적어도 두 개가 하나의 통합된 회로로 구현될 수 있다. 일부 실시예들에서, 컴퓨터 시스템(100)의 구성 요소들은 적어도 두 개의 장치들에 분산되어 배치될 수 있으며, 여기서, 해당 장치들은 서로와 통신 가능하게 연결될 수 있다. 일 예로, 컴퓨터 시스템(100)은 기지국들을 통해 무인기들과 통신할 수 있다. 다른 예로, 컴퓨터 시스템(100)은 코어 컴퓨터로서, 기지국들 및 에지 컴퓨터들을 통해 무인기들과 통신할 수 있다.

[0132] 통신 모듈(110)은 컴퓨터 시스템(100)에서 외부 기기와 통신을 수행할 수 있다. 통신 모듈(110)은 컴퓨터 시스템(100)와 외부 기기 간 통신 채널을 수립하고, 통신 채널을 통해, 외부 기기와 통신을 수행할 수 있다. 여기서, 외부 기기는 에지 컴퓨터, 기지국, 또는 무인기 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 통신 모듈(110)은 유선 통신 모듈 또는 무선 통신 모듈 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 유선 통신 모듈은 외부 기기와 유선으로 연결되어, 유선으로 통신할 수 있다. 무선 통신 모듈은 근거리 통신 모듈 또는 원거리 통신 모듈 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 근거리 통신 모듈은 외부 기기와 근거리 통신 방식으로 통신할 수 있다. 예를 들면, 근거리 통신 방식은, 블루투스(Bluetooth), 와이파이 다이렉트(WiFi direct), 또는 적외선 통신(IrDA; infrared data association) 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 원거리 통신 모듈은 외부 기기와 원거리 통신 방식으로 통신할 수 있다. 여기서, 원거리 통신 모듈은 네트워크를 통해 외부 기기와 통신할 수 있다. 예를 들면, 네트워크는 셀룰러 네트워크, 인터넷, 또는 LAN(local area network)이나 WAN(wide area network)과 같은 컴퓨터 네트워크 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0133] 입력 모듈(120)은 컴퓨터 시스템(100)의 적어도 하나의 구성 요소에 사용될 신호를 입력할 수 있다. 입력 모듈(120)은, 사용자에 의해 직접적으로 입력되는 신호를 검출하거나, 주변의 변화를 감지하여 신호를 발생하도록 구성될 수 있다. 예를 들어, 입력 모듈(120)은 마우스(mouse), 키패드(keypad), 마이크로폰(microphone), 또는 적어도 하나의 센서를 갖는 센싱 모듈 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 일부 실시예들에서, 입력 모듈(120)은 터치를 감지하도록 설정된 터치 회로(touch circuitry) 또는 터치에 의해 발생되는 힘의 세기를 측정하도록 설정된 센서 회로 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0134] 출력 모듈(130)은 컴퓨터 시스템(100)의 외부로 정보를 출력할 수 있다. 출력 모듈(130)은 정보를 시각적으로 출력하도록 구성되는 표시 모듈 또는 정보를 오디오 신호로 출력할 수 있는 오디오 출력 모듈 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 예를 들면, 오디오 출력 모듈은 스피커 또는 리시버 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0135] 메모리(140)는 컴퓨터 시스템(100)의 적어도 하나의 구성 요소에 의해 사용되는 다양한 데이터를 저장할 수 있다. 예를 들면, 메모리(140)는 휘발성 메모리 또는 비휘발성 메모리 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 데이터는 적어도 하나의 프로그램 및 이와 관련된 입력 데이터 또는 출력 데이터를 포함할 수 있다. 프로그램은 메모리(140)에 적어도 하나의 명령을 포함하는 소프트웨어로서 저장될 수 있으며, 운영 체제, 미들 웨어 또는 어플리케이션 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0136] 프로세서(150)는 메모리(140)의 프로그램을 실행하여, 컴퓨터 시스템(100)의 적어도 하나의 구성 요소를 제어할 수 있다. 이를 통해, 프로세서(150)는 데이터 처리 또는 연산을 수행할 수 있다. 이 때, 프로세서(150)는 메모리(140)에 저장된 명령을 실행할 수 있다.

[0137] 다양한 실시예들에 따르면, 프로세서(150)는 미리 정의된 알고리즘을 이용하여, 복수의 무인기들에 대한 복수의 IoT 센서들을 경유하는 다수의 목적들을 고려한 최적의 경로들을 결정하고, 무인기들이 경로들을 따라 이동하면서 IoT 센서들을 통한 감지 작업 및 통신 작업을 수행하게 하도록 구성될 수 있다. 이 때, 알고리즘은 유전 알고리즘, 개미 군집 최적화 메커니즘, 및 파레토 기반 최적화 알고리즘의 조합으로 이루어지는 PGA 알고리즘일 수 있다. 그리고, 목적들은 무인기들의 이동 거리 감소, IoT 센서들의 커버리지 최대화, 및 무인기들의 에너지 소비 최적화를 포함할 수 있다. 구체적으로, PGA 알고리즘은 파레토 기반 최적화 알고리즘을 이용하여, 목적들에 대응하는 파라미터들의 값들을 변경하면서 유전 알고리즘 및 개미 군집 최적화 메커니즘을 반복적으로 실행시켜 무인기들에 대한 상이한 솔루션들의 세트를 결정할 수 있다. 여기서, 솔루션들의 각각은 무인기들에 대해 목적들을 적어도 부분적으로 최적화하기 위한 최적의 경로들을 나타낼 수 있다. 아울러, 프로세서(150)는 ISAC 프레임워크를 기반으로 구현되는 ISAC 시스템에 대한 자원 할당을 고려하여 최적의 경로들을 결정할 수 있다. 이로써, 프로세서(150)는 무인기들이 최적의 경로들을 따라 이동하면서 IoT 센서들을 통한 감지 작업 및 통신 작업을 수행하도록 할 수 있다.

[0138] 도 7은 본 개시의 다양한 실시예들에 따른 컴퓨터 시스템(100)의 다중 무인기 경로 계획 방법을 도시하는 도면이다.

[0139] 도 7을 참조하면, 컴퓨터 시스템(100)는 210 단계 내지 270 단계에서 미리 정의된 알고리즘을 이용하여, 복수의 무인기들에 대한 복수의 IoT 센서들을 경유하는 다수의 목적들을 고려한 최적의 경로들을 결정할 수 있다. 이 때, 알고리즘은 유전 알고리즘, 개미 군집 최적화 메커니즘, 및 파레토 기반 최적화 알고리즘의 조합으로 이루어지는 PGA 알고리즘일 수 있다. 그리고, 목적들은 무인기들의 이동 거리 감소, IoT 센서들의 커버리지 최대화, 및 무인기들의 에너지 소비 최적화를 포함할 수 있다. 구체적으로, PGA 알고리즘은 파레토 기반 최적화 알고리즘을 이용하여, 목적들에 대응하는 파라미터들의 값들을 변경하면서 유전 알고리즘 및 개미 군집 최적화 메커니

즘을 반복적으로 실행시켜 무인기들에 대한 상이한 솔루션들의 세트를 결정할 수 있다. 여기서, 솔루션들의 각각은 무인기들에 대해 목적들을 적어도 부분적으로 최적화하기 위한 최적의 경로들을 나타낼 수 있다. 아울러, 프로세서(150)는 ISAC 프레임워크를 기반으로 구현되는 ISAC 시스템에 대한 자원 할당을 고려하여 최적의 경로들을 결정할 수 있다. 이 때, 자원 할당은 감지 작업 및 통신 작업을 모두 고려하여 ISAC 시스템의 성능을 최대화하는 방식으로 이루어질 수 있다. 이에 구체적인 절차는 다음과 같다.

[0140] 먼저, 프로세서(150)는 210 단계에서 다수의 목적들에 대한 파라미터들의 값들을 설정할 수 있다. 여기서, 프로세서(150)는 반복 횟수를 1로 설정할 수 있다. 다음으로, 프로세서(150)는 220 단계에서 유전 알고리즘을 이용하여, 파라미터들에 대해 설정되는 값들을 기반으로 무인기들의 각각에 대한 IoT 센서들의 최적의 순서를 결정할 수 있다. 이어서, 프로세서(150)는 230 단계에서 개미 군집 최적화 메커니즘을 이용하여, 무인기들의 각각에 대한 순서에 따라 인접한 두 개의 IoT 센서들 사이의 최적의 궤적들을 계산할 수 있다. 계속해서, 프로세서(150)는 240 단계에서 파레토 기반 최적화 알고리즘을 이용하여, 궤적들로 이루어지는 솔루션에 대해 목적들에 각각 대응하는 적합도 함수들로 구성되는 목적 벡터에 설정되는 값들을 적용하여 결과 값을 계산할 수 있다. 그런 다음, 프로세서(150)는 250 단계에서 솔루션을 생성하고 그 결과 값을 계산하는 절차를 반복할 지의 여부를 판단할 수 있다. 여기서, 프로세서(150)는 현재 반복 횟수가 미리 정해진 최대 반복 횟수에 도달했는 지를 판단할 수 있다.

[0141] 250 단계에서 반복해야 하는 것으로 판단되는 경우, 프로세서(150)는 250 단계로 진행할 수 있다. 즉, 현재 반복 횟수가 최대 반복 횟수에 도달하지 않은 경우, 프로세서(150)는 260 단계에서 목적들에 대한 파라미터들의 값들을 변경할 수 있다. 여기서, 프로세서(150)는 반복 횟수를 1만큼 증가시킬 수 있다. 그런 다음, 프로세서(150)는 220 단계 내지 260 단계 중 적어도 일부를 반복할 수 있다. 이러한 방식으로, 프로세서(150)는 최대 반복 횟수까지 반복함에 따라, 상이한 솔루션들의 세트를 결정할 수 있다. 결과적으로, 250 단계에서 반복하지 않아도 되는 것으로 판단되는 경우, 프로세서(150)는 270 단계로 진행할 수 있다. 즉, 현재 반복 횟수가 최대 반복 횟수에 도달한 경우, 프로세서(150)는 240 단계에서 세트 내 솔루션들의 결과 값들을 기반으로 솔루션들 중 하나의 최적의 경로들을 선택할 수 있다.

[0142] 마지막으로, 컴퓨터 시스템(100)은 280 단계에서 무인기들이 최적의 경로들을 따라 이동하면서 IoT 센서들을 통한 감지 작업 및 통신 작업을 수행하도록 할 수 있다. 프로세서(150)는 통신 모듈(110)을 통해 무인기들에 대해 최적의 경로들을 각각 제공할 수 있다. 이로써, 각 무인기는 각자의 최적의 경로를 따라 여정을 시작할 수 있다. 그리고, 해당 무인기는 IoT 센서들 중 하나에 접근하면, 웨이크업 신호를 방송하고, 해당 IoT 센서로부터 웨이크업 신호에 응답하여 전송되는 데이터를 수신하고, 기지국에 해당 데이터를 전달할 수 있다.

[0143] 본 개시는 PGA 알고리즘을 사용하여 ISAC 프레임워크 하에서 무인기 이동 거리를 최소화하는 동시에 에너지 소비를 최적화하여, 다중 목적 최적화를 실현한다. 지상 기반 IoT 센서들과 볼록 최적화 자원 할당 알고리즘을 통한 원활한 무인기 통신의 시너지 효과는 실시간 데이터 수집을 강화하고 상황 인식을 향상시킨다. 본 개시의 자원 할당을 고려한 무인기 경로 계획 PGA 알고리즘은 지상 기반 센서 데이터 수집의 효율성을 극대화하도록 설계된다. 본 개시에 따르면, 다양한 도메인들에서 향상된 효율성, 견고성, 및 혁신적인 솔루션을 촉진하는 이러한 선구적인 접근법을 통해 다중 무인기 데이터 수집 시스템을 발전시키는 데 앞장설 것이다. 본 개시의 시스템은 시스템 용량의 최대 95 %에 달하는 놀라운 처리량을 달성한다.

[0144] 시뮬레이션

[0145] 본 개시에서는 MATLAB 버전 R2023a를 사용하여 운영 환경을 개발했다. 이 환경은 ISAC와 관련된 지상 기반 IoT 센서 네트워크 내에서 다중 무인기 경로 계획을 위해 특별히 맞춤화된 PGA 알고리즘의 작동 성능을 평가하기 위한 플랫폼 역할을 합니다. 시뮬레이션에는 무선 센서 네트워크와 무인기의 동작과 성능을 종합적으로 형성하는 다양한 중요 매개변수가 포함된다. 시뮬레이션은 30x30의 셀 영역 내에서 이루어진다. 이러한 맥락에서 30개의 IoT 센서들은 네트워크의 데이터 수집 메커니즘에 필수적이다. 무인기의 감지 범위는 최대 30 m입니다. 시뮬레이션에는 100~300 m 범위의 고도에서 비행할 수 있는 유연성을 갖춘 세 대의 무인기들이 포함되어 있어 작동 프로필에 다양성을 부여한다. 시뮬레이션에는 각 무인기에 대해 250번의 반복이 수반되므로 네트워크 역학에 대한 심층적인 분석이 용이합니다. 최적화 전략은 GA 및 ACO 접근 방식에 의해 뒷받침된다. GA 프레임워크 내에서 선택 확률(0.02~0.1 범위), 돌연변이 확률(0.08로 고정), 모집단 크기(10~30 범위)와 같은 매개변수가 최적화 프로세스에 영향을 미친다. ACO 방법론은 휴리스틱 요소 1을 통합하고 다양한 수의 개미(10~30 개)를 배포하여 네트워크 효율성을 향상시킨다. 무선 통신 매개변수에는 전송 전력 23 dBm, 반송파 주파수 3.75 kHz, 사용 가능한 대역폭 180 kHz가 포함된다. 센서들은 1.5 m 높이에 배치되어 가시선 및 데이터 수집 기능을 최적화한다. 4 dB

의 그림자 페이딩 표준 편차는 환경 조건으로 인한 신호 변화를 설명한다. 특히, 전송되는 데이터 크기는 1 KB에서 2 MB 사이로 다양하며 시뮬레이션에서 다양한 데이터 유형과 크기를 수용한다. 주요 시뮬레이션 매개변수는 하기 [표 1]에 나열되어 있다.

표 1

[0146]

매개변수	값
셀 영역 센서 네트워크	30x30
무인기들의 수	3
IoT 센서들의 수	30
센서 타입	5~8
선택 확률(GA)	0.02~0.1
돌연변이 확률(GA)	0.08
모집단 크기(GA)	10~30
휴리스틱 요소(ACO)	1
개미들의 수(ACO)	10~30
센서 타입	CAT-M1 IOT
센서들의 수(각 무인기에 대해)	10
감지 범위	30 m
무인기 고도	100~300 m
무인기당 반복 수	250
전송 파워	23 dBm
대역폭	1.4 MHz
센서들의 높이	1.5 m
그림자 페이딩 표준 편차	4 dB
전송되는 데이터 크기	1 KB 내지 2 MB

[0147] 도 8은 본 개시에 따른 PGA 알고리즘을 사용하여 경로 계획이 생성된 감지 영역을 도시하는 도면들이며, 여기서, 도 8의 (a) 무작위로 분산된 센서들을 나타내고, 도 8의 (b) 생성된 경로를 3D 보기로 나타내고, 도 8의 (c)는 생성된 경로를 평면 보기로 나타낸다. 도 8의 (a)에서는 무작위로 분산된 지상 기반 IoT 센서를 사용하여 작동 환경을 관찰한다. 이 설정은 센서가 감지 영역 전체에서 귀중한 데이터를 수집하는 실제 시나리오를 나타낸다. 그러나, 문제는 리소스 할당을 최적화하면서 이 데이터를 효율적으로 수집하고 전송하는 것이다.

[0148] 도 8의 (b)와 (c)는 PGA 알고리즘에 의해 생성된 세 가지 무인기, 즉 빨간색으로 표시된 무인기1, 녹색으로 표시된 무인기2, 파란색으로 표시된 무인기3에 대한 최적화된 경로를 나타낸다. 이러한 경로는 데이터 수집 및 통신을 위한 리소스를 효율적으로 할당하는 PGA 알고리즘의 능력을 생생하게 보여준다. 도 8의 (b)와 (c)는 PGA 알고리즘에 의해 생성된 계획된 경로의 3D 보기를 보여준다. 이 경로 최적화 프로세스에는 이동 거리 최소화, 센서 적용 범위 최대화, 에너지 소비 최적화 및 통신 제약 사항 고려와 같은 여러 목표가 통합되어 있다. GA와 ACO의 알고리즘 혼합은 무인기가 가장 효율적인 경로를 통과하여 통신 범위 제한을 준수하면서 에너지 소비를 최소화하고 데이터 수집을 최적화하도록 보장한다.

[0149] 도 9는 본 개시에 다른 커버리지 셀 거리(a) 및 센서들의 수(b)에 따른 다중 무인기 에너지 소비량을 나타내는 도면이다.

[0150] 도 9의 (a)에서는 적용되는 셀 수와 관련하여 무인기 에너지 소비에 대한 포괄적인 분석을 제시한다. x축은 약 45개 셀의 초기 범위부터 다양한 셀 수를 나타낸다. 동시에 y축은 0에서 대략 20단위까지의 해당 에너지 소비를 나타낸다. 이 묘사는 무인기 에너지 활용과 셀룰러 범위 범위 사이의 복잡한 상호 작용을 보여주는 식별 가능한 추세를 보여준다.

[0151] 도 9의 (b)는 사용된 센서 수와 관련된 에너지 소비를 조사하여 이 조사를 확장한다. x축은 실험 설정 전반에 걸쳐 일관되게 10으로 유지되는 센서의 수량을 나타낸다. y축은 0에서 약 20단위까지 다양한 해당 에너지 소비량을 나타낸다. 특히, 센서를 점진적으로 추가할 때마다 에너지 소비가 점진적으로 증가한다. 놀랍게도 도 9의 (a)와 (b) 사이의 유사점은 관찰된 에너지 소비 패턴의 주목할 만한 일관성을 강조한다.

[0152] 도 10은 본 개시에 따른 방법과 기존 알고리즘의 비교 분석을 나타내는 도면이다.

[0153] 도 10에서는 기존 경로 계획 아키텍처와 포괄적인 비교를 수행했다. A* 알고리즘[45], A*+GA 알고리즘, ACO+GA

의 세 가지 접근법을 사용하여 최적 경로의 효용 가치를 평가했다. 이들 방법은 모두 제안된 효용함수를 갖추고 있었다. A*+GA 알고리즘의 경우 제안된 교차 및 돌연변이 기술을 통합했다. 또한 ACO+GA 알고리즘의 셀 선택 확률 조건을 통합했다. 특히, 다양한 셀 선택 확률 조건에서 본 개시에 따른 PGA 방법은 지속적으로 다른 방법보다 성능이 뛰어나며 가장 높고 가장 유리한 유틸리티 값을 보여준다.

[0154] 도 11은 본 개시에 따른 무인기 통신을 위한 IoT 기반 센서 데이터 수집을 나타내며, 도 11의 (a)는 센서 노드의 교차점들을 나타내고, 도 11의 (b)는 센서 노드별 SINR(dB)의 3D 표현을 나타낸다.

[0155] 도 11의 (a)는 통신 성능에 대한 귀중한 통찰력을 제공하는 SINR(신호 대 간섭 및 잡음 비율) 교차점 개념에 중점을 둔다. 이러한 교차점은 SINR 값이 겹치는 위치를 표시한다. 이는 통신 품질이 균형을 이루고 최적의 자원 할당과 간섭 최소화 신호를 보내는 영역을 나타낸다. 도 11의 (b)에서는 무인기와 지상 기반 IoT 센서 간의 통신 역학을 조사하기 위해 SINR에 중점을 둔다. 이 도면은 각 지점이 작업 영역 내의 특정 위치에 해당하는 3D 표현을 보여준다. 각 지점의 SINR 값은 색상으로 구분되어 통신 품질을 시각적으로 표현한다. 이 시각화에서 색상 스펙트럼은 SINR 값의 범위를 나타낸다. 진한 파란색 색상은 -6 dB보다 낮은 SINR 값에 해당하며, 간섭이나 잡음 수준이 높아 통신 품질이 상대적으로 약한 영역을 나타낸다. 반면, 노란색과 같은 밝은 색상은 8 dB보다 큰 SINR 값을 나타내며, 이는 통신 품질이 견고한 지역을 나타낸다.

[0156] 도 12는 본 개시에 따른 IoT 기반 다중 무인기 업링크 통신에서 ISAC 시스템의 성능을 나타내며, 도 12의 (a)는 처리량을 나타내고, 도 12의 (b)는 지연 시간을 나타낸다.

[0157] 도 12의 (a)에서 최대 처리량 값(6e7)에 더 가까운 센서 막대는 무인기 경로 계획 PGA 알고리즘을 사용하여 볼록 최적화 자원 할당 기술을 사용하여 최적의 자원을 할당한 센서 막대이다. 이 센서는 가능한 최고 속도로 데이터를 전송할 수 있다. 처리량 값이 최소 처리량 값(4.5e7)에 더 가까운 센서는 유리한 리소스 할당을 받지 못했을 수 있다. 결과적으로 데이터 전송 속도가 약간 낮다. 처리량 값이 최대값과 최소값 사이에 있는 센서는 중간 리소스 할당 범위를 나타낸다. 이러한 센서는 특정 리소스 할당에 해당하는 처리량 값을 달성한다. 도 12의 (b)로 이동하면 ISAC 시스템의 지연 시간에 대한 센서 수의 영향을 조사한다. 특히 최대 대기 시간은 240마이크로초로 유지되는 반면 최소 대기 시간은 약 150 마이크로초로 유지되었다. 평균 대기 시간은 195마이크로초인 것으로 나타났다.

[0158] 도 13은 본 개시에 따른 IoT 기반 다중 무인기 업링크 통신에서 ISAC 자원 할당 성능을 나타내며, 도 13의 (a)는 처리량을 나타내고, 도 13의 (b)는 지연 시간을 나타낸다.

[0159] 도 13은 개별 센서의 실행 시간 역학을 효과적으로 시각화하여 ISAC의 감지 및 통신 프로세스 결합의 효율성을 강조한다. 이 보고서는 무인기-지상 센서 통신의 업링크 처리량에 대한 리소스 할당의 영향에 대한 조사 결과를 공개한다. 도 13의 (a)는 리소스 할당 여부에 따른 업링크 처리량 비교를 보여준다. 도 13의 (a)의 리소스 할당 곡선은 효과적인 리소스 할당 전략에 따른 업링크 처리량을 보여준다. 최고 6.5e7부터 최저 4.2e7까지 확장되어 성능이 크게 향상되었다. 대조적으로, 자원 할당 없는 곡선은 최대 0.45e7 및 최소 0.4e7에 도달하는 상당히 낮은 업링크 처리량 값을 나타낸다. 이러한 연구 결과는 무인기와 지상 기반 IoT 센서 간의 통신 효율성을 높이는 데 있어 리소스 할당의 중추적인 역할을 강조한다.

[0160] 도 13의 (b)는 자원 할당 유무에 따른 시나리오를 고려하여 IoT 및 무인기 통신의 업링크 지연 성능과 ISAC의 센싱 성능을 비교한 것이다. 그래프는 데이터 전송에 대한 시간 지연을 반영하는 업링크 지연 곡선을 나타낸다. 리소스 할당이 구현되면 업링크 지연 시간 범위는 1.75e-7 초(최대)에서 1.2e-7 초(최소)이며 이는 효과적인 리소스 분배의 이점을 나타낸다. 반대로, 리소스 할당이 없는 경우 업링크 지연 시간은 0.22e-7 초(최대)에서 0.15e-7 초(최소)까지 다양한 더 높은 값을 나타낸다. 특히 그래프에는 개별 센서를 나타내는 30 개의 센서 인덱스가 포함되어 있다. 이러한 지수는 무인기-지상 센서 통신의 업링크 대기 시간에 대한 통찰력을 제공하여 리소스 할당이 통신 및 감지 성능에 어떤 영향을 미치는지에 대한 미묘한 이해를 제공한다. 이 분석은 IoT 지원 무인기 배포에서 업링크 대기 시간을 줄이고 전반적인 시스템 효율성을 향상시키는 데 있어 리소스 할당의 중요성을 강조한다.

[0161] 이상에서 설명된 장치는 하드웨어 구성 요소, 소프트웨어 구성 요소, 및/또는 하드웨어 구성 요소 및 소프트웨어 구성 요소의 조합으로 구현될 수 있다. 예를 들어, 실시예들에서 설명된 장치 및 구성 요소는, 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 어플리케이션을 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.

[0162] 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, 구성 요소(component), 물리적 장치, 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.

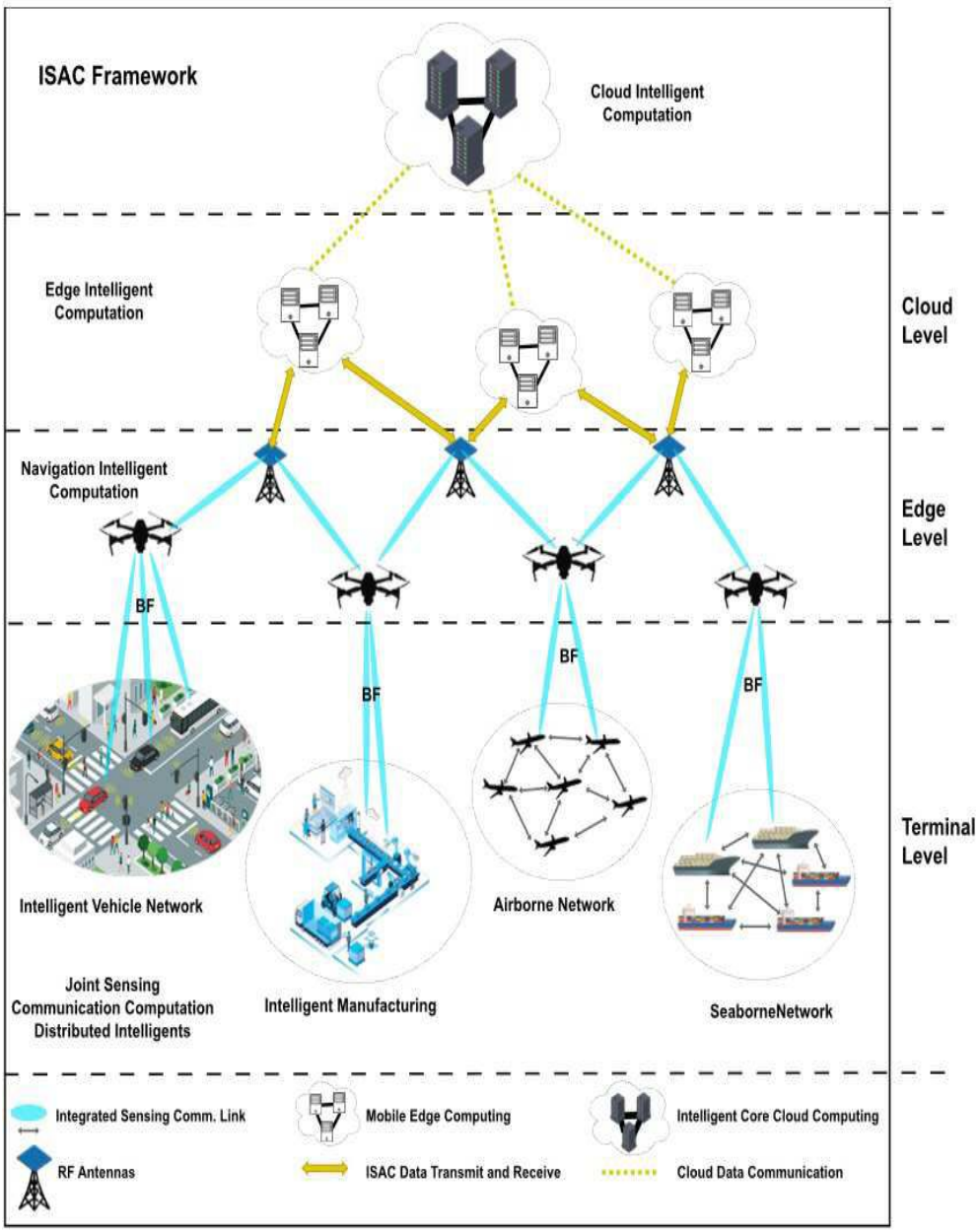
[0163] 다양한 실시예들에 따른 방법은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 이 때 매체는 컴퓨터로 실행 가능한 프로그램을 계속 저장하거나, 실행 또는 다운로드를 위해 임시 저장하는 것일 수도 있다. 그리고, 매체는 단일 또는 수 개의 하드웨어가 결합된 형태의 다양한 기록수단 또는 저장수단일 수 있는데, 어떤 컴퓨터 시스템에 직접 접속되는 매체에 한정되지 않고, 네트워크 상에 분산 존재하는 것일 수도 있다. 매체의 예시로는, 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체, CD-ROM 및 DVD와 같은 광기록 매체, 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광 매체(magneto-optical medium), 및 ROM, RAM, 플래시 메모리 등을 포함하여 프로그램 명령어가 저장되도록 구성된 것이 있을 수 있다. 또한, 다른 매체의 예시로, 어플리케이션을 유통하는 앱 스토어나 기타 다양한 소프트웨어를 공급 내지 유통하는 사이트, 서버 등에서 관리하는 기록매체 내지 저장매체도 들 수 있다.

[0164] 본 문서의 다양한 실시예들 및 이에 사용된 용어들은 본 문서에 기재된 기술을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 해당 실시 예의 다양한 변경, 균등물, 및/또는 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 도면의 설명과 관련하여, 유사한 구성 요소에 대해서는 유사한 참조 부호가 사용될 수 있다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함할 수 있다. 본 문서에서, "A 또는 B", "A 및/또는 B 중 적어도 하나", "A, B 또는 C" 또는 "A, B 및/또는 C 중 적어도 하나" 등의 표현은 함께 나열된 항목들의 모든 가능한 조합을 포함할 수 있다. "제 1", "제 2", "첫째" 또는 "둘째" 등의 표현들은 해당 구성 요소들을, 순서 또는 중요도에 상관없이 수식할 수 있고, 한 구성 요소를 다른 구성 요소와 구분하기 위해 사용될 뿐 해당 구성 요소들을 한정하지 않는다. 어떤(예: 제 1) 구성 요소가 다른(예: 제 2) 구성 요소에 "(기능적으로 또는 통신적으로) 연결되어" 있다거나 "접속되어" 있다고 언급된 때에는, 상기 어떤 구성 요소가 상기 다른 구성 요소에 직접적으로 연결되거나, 다른 구성 요소(예: 제 3 구성 요소)를 통하여 연결될 수 있다.

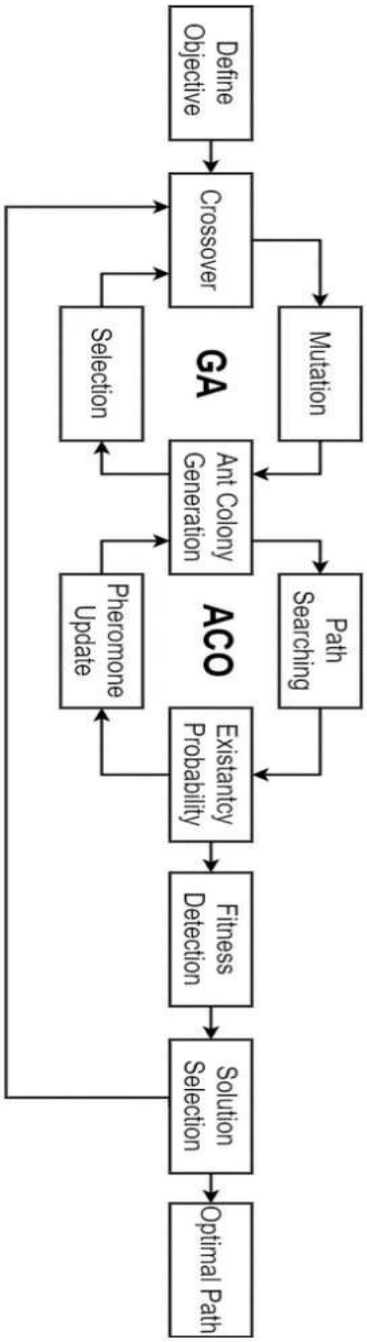
[0165] 다양한 실시예들에 따르면, 기술한 구성 요소들의 각각의 구성 요소(예: 모듈 또는 프로그램)는 단수 또는 복수의 개체를 포함할 수 있다. 다양한 실시예들에 따르면, 전술한 해당 구성 요소들 중 하나 이상의 구성 요소들 또는 단계들이 생략되거나, 또는 하나 이상의 다른 구성 요소들 또는 단계들이 추가될 수 있다. 대체적으로 또는 추가적으로, 복수의 구성 요소들(예: 모듈 또는 프로그램)은 하나의 구성 요소로 통합될 수 있다. 이런 경우, 통합된 구성 요소는 복수의 구성 요소들 각각의 구성 요소의 하나 이상의 기능들을 통합 이전에 복수의 구성 요소들 중 해당 구성 요소에 의해 수행되는 것과 동일 또는 유사하게 수행할 수 있다. 다양한 실시예들에 따르면, 모듈, 프로그램 또는 다른 구성 요소에 의해 수행되는 단계들은 순차적으로, 병렬적으로, 반복적으로, 또는 휴리스틱하게 실행되거나, 단계들 중 하나 이상이 다른 순서로 실행되거나, 생략되거나, 또는 하나 이상의 다른 단계들이 추가될 수 있다.

도면

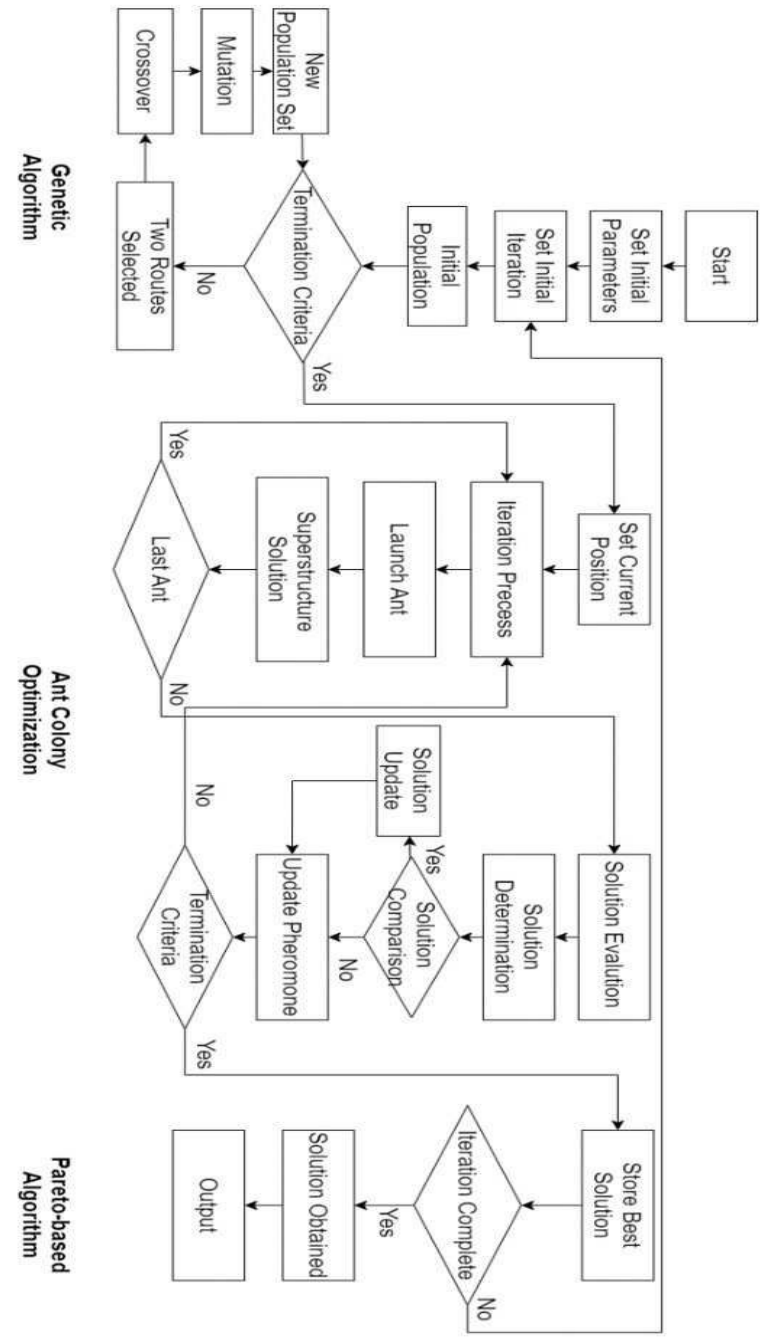
도면1


ISAC Framework
Cloud Intelligent Computation
Edge Intelligent Computation
Navigation Intelligent Computation
Cloud Level
Edge Level
Terminal Level
BF
BF
BF
BF
Intelligent Vehicle Network
Joint Sensing
Communication Computation
Distributed Intelligents
Intelligent Manufacturing
Airborne Network
SeabomeNetwork
Integrated Sensing Comm. Link
RF Antennas
Mobile Edge Computing
ISAC Data Transmit and Receive
Intelligent Core Cloud Computing
Cloud Data Communication

도면2


Define Objective
Crossover
Selection
GA
Mutation
Ant Colony Generation
Pheromone Update
ACO
Path Searching
Existantcy Probability
Fitness Detection
Solution Selection
Optimal Path

도면3


Genetic Algorithm
Start
Set Initial Parameters
Set Initial Iteration
Initial Population
Termination Criteria
No
Two Routes Selected
Crossover
Mutation
New Population Set
Yes
Ant Colony Optimization
Set Current Position
Iteration Precess
Launch Ant
Superstructure Solution
Last Ant
Yes
No
Solution Evaluation
Solution Determination
Solution Comparison
Solution Update
Yes
No
Update Pheromone
Termination Criteria
No
Yes
Pareto-based Algorithm
Store Best Solution
Iteration Complete
Yes
No
Solution Obtained
Output

도면4

Algorithm 1: Multi UAV Path Planning Using PGA Algorithm

Input:
num of iterations: Number of iterations for the algorithm
num of ants: Number of ants to explore the search space
α : Weight parameter for pheromone levels
β: Weight parameter for heuristic information
ρ: Pheromone evaporation rate
Initial PP sequences: Initial paths for each UAV
S_{pb}: Sum of probabilities for pheromone updating
T: Pheromone matrix
H: Heuristic matrix
Output:
Initialize Initial PP sequences randomly;
Repeat for t = 1 to num of iterations:
Create m ants to explore the search space:
Current sensing location to each unvisited sensing area i:
$\Sigma((T[C_l][i])^{\alpha}) \times (H[C_l[i]^{\beta}))$
For each unvisited sensing area i:
$pb[i] \frac{((T[C_l][i])^{\alpha}) \times (H[C_l[i]^{\beta}))}{S_{pb}}$
Update Tr_c
$\delta T[i][j] = \frac{1}{Tr_c}$
$T[i][j] = (1-\rho) \times T[i][j] + \Sigma(\delta T[i][j])$ for all ants
Apply Pheromone Evaporation:
Update T[i][j] as follows: $T[i][j] = (1-\rho) \times T[i][j]$
Return Tr_c
$pb[i] = \frac{T[S_s][i]^{\alpha} \times H[S_s][i]^{\beta}}{\Sigma(T[S_s][i]^{\alpha} \times H[S_s][i]^{\beta})}$ for all unvisited sensors j
Update Pareto Frontier
Update T based on Pareto Frontier
$T[i][j] = (1-\rho) \times T[i][j] + \Sigma \frac{1}{Tr_c}$
$FT_{fitness} = FT_{obj} + FT_{const}$ for all tours in Pareto Frontier
Perform update on T: $T[i][j] = (1-\rho) \times T[i][j]$
Return Pareto Solution
End

도면5

Algorithm 2: ISAC Resource Allocation using convex optimization resource allocation Algorithm

Input:

U: Number of users

α_i: Weight parameter for user i

f_i: Utility function for user i

S: Sensing matrix for resource allocation

C: Communication matrix for resource allocation

Output:

- Optimal Resource Allocation $(S,\ C)$

Initialize sensing and communication for resource allocation S and C.

Repeat for optimal resource allocation S and C

$$max\ S,\ C, f \sum_{i=1}^{U} -\alpha_i \times f_i$$

Until the objective value converges

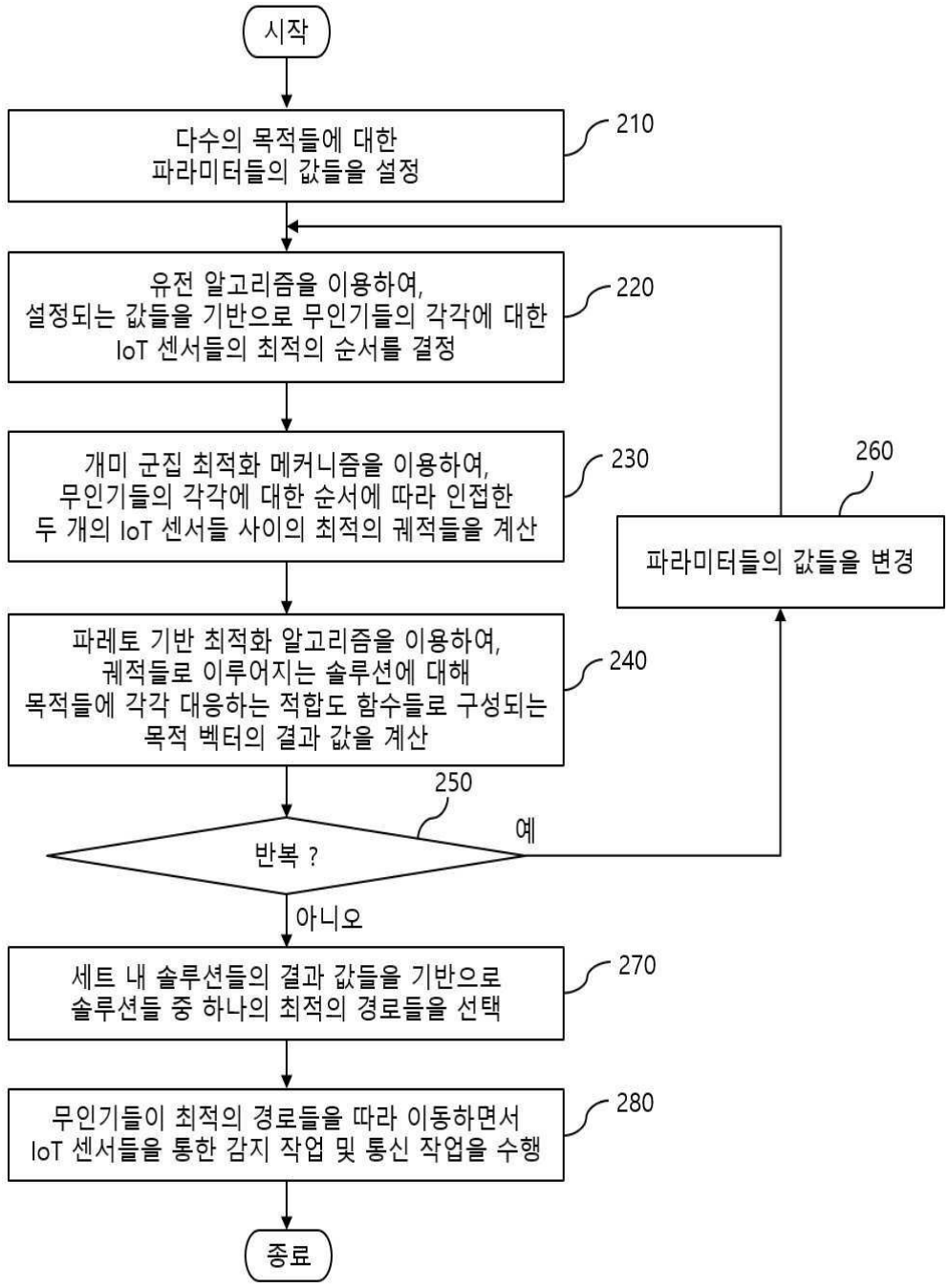
$$max\ S,\ C \sum_{i=1}^{U} e^{-\frac{1}{2}m \left[\frac{N_o B_i \left[2\left[\frac{d_0(1-o_i)}{B_i i_0}\right]-1\right]}{\delta P_i}\right]^2_{\times n(o_i)}}$$

End

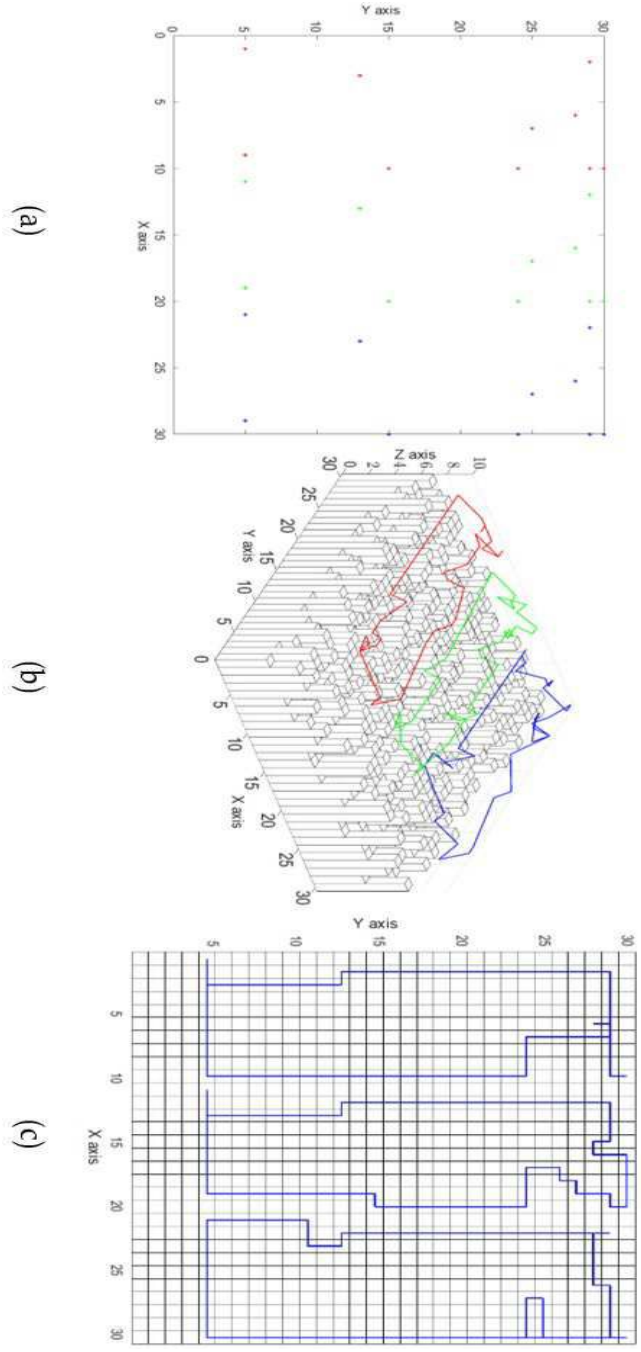
도면6



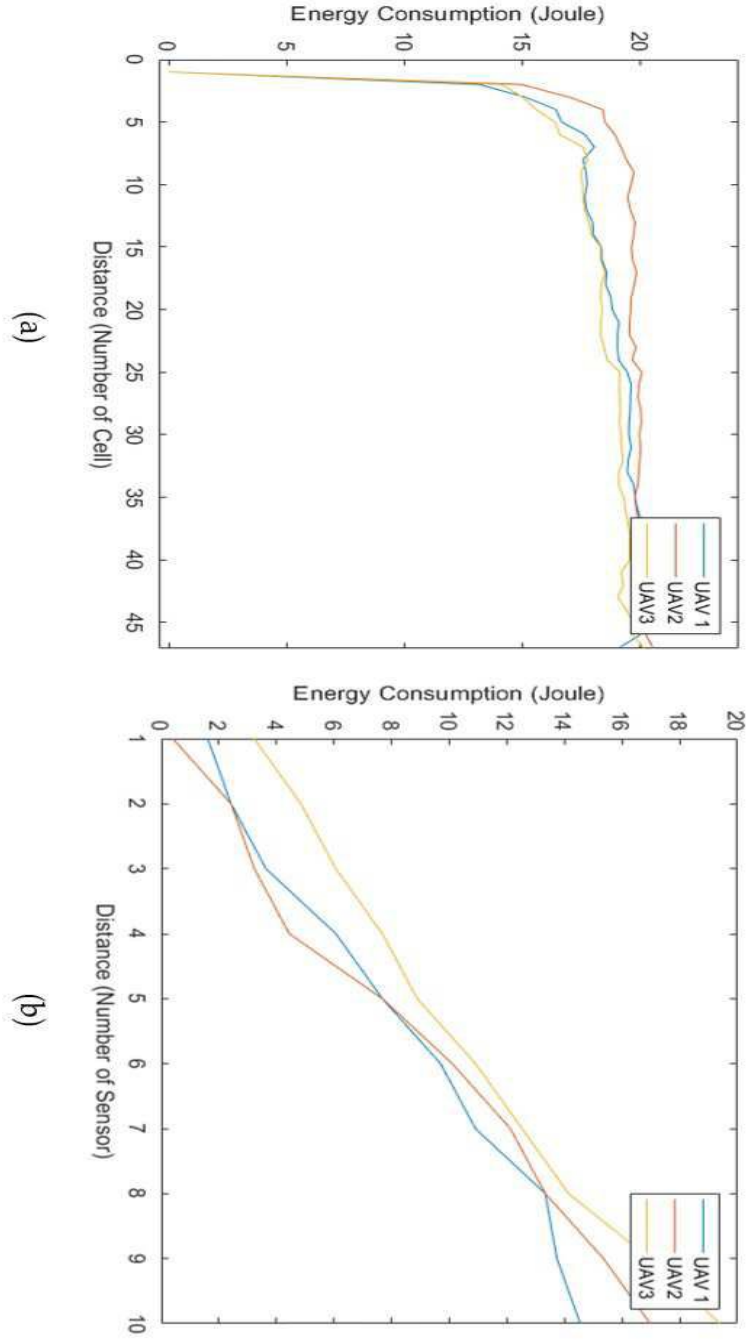
도면7


시작
다수의 목적들에 대한
파라미터들의 값들을 설정
210
유전 알고리즘을 이용하여,
설정되는 값들을 기반으로 무인기들의 각각에 대한
IoT 센서들의 최적의 순서를 결정
220
개미 군집 최적화 메커니즘을 이용하여,
무인기들의 각각에 대한 순서에 따라 인접한
두 개의 IoT 센서들 사이의 최적의 궤적들을 계산
230
파레토 기반 최적화 알고리즘을 이용하여,
궤적들로 이루어지는 솔루션에 대해
목적들에 각각 대응하는 적합도 함수들로 구성되는
목적 벡터의 결과 값을 계산
240
250
반복 ?
예
아니오
260
파라미터들의 값들을 변경
세트 내 솔루션들의 결과 값들을 기반으로
솔루션들 중 하나의 최적의 경로들을 선택
270
무인기들이 최적의 경로들을 따라 이동하면서
IoT 센서들을 통한 감지 작업 및 통신 작업을 수행
280
종료

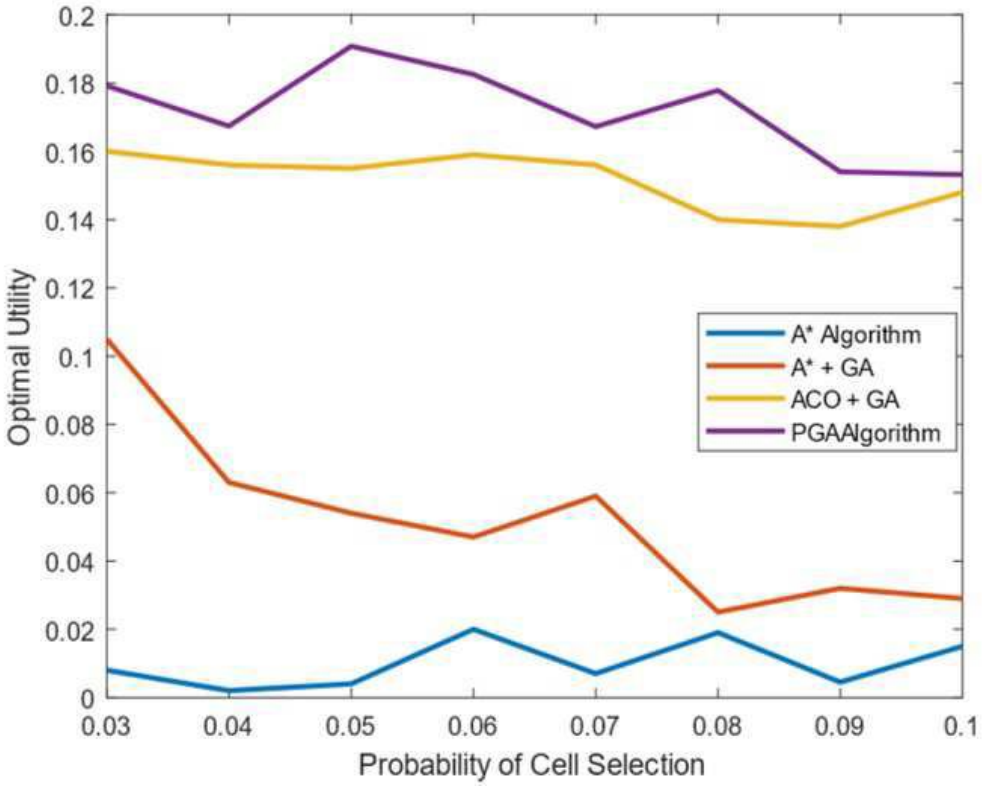
도면8



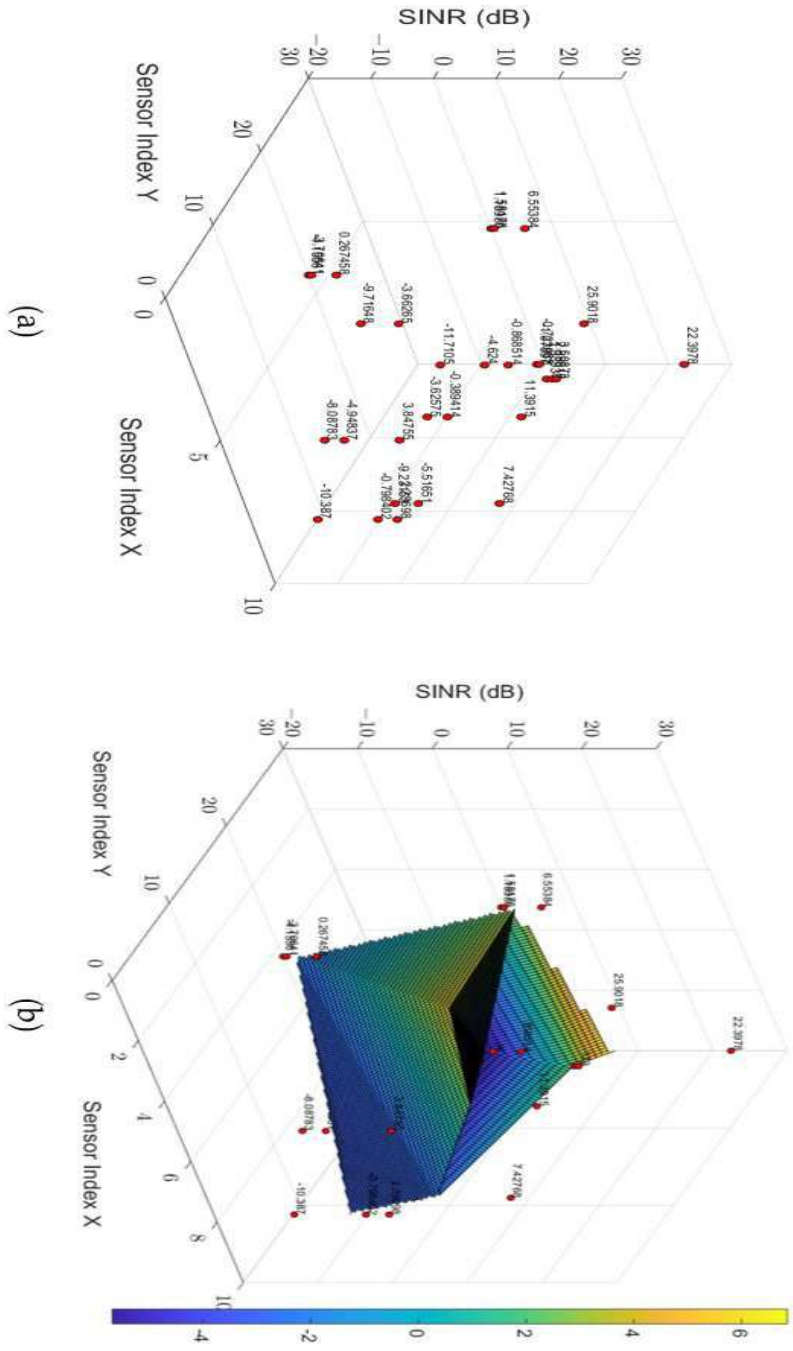
도면9


(a)
Energy Consumption (Joule)
Distance (Number of Cell)
UAV 1
UAV2
UAV3
(b)
Energy Consumption (Joule)
Distance (Number of Sensor)
UAV 1
UAV2
UAV3

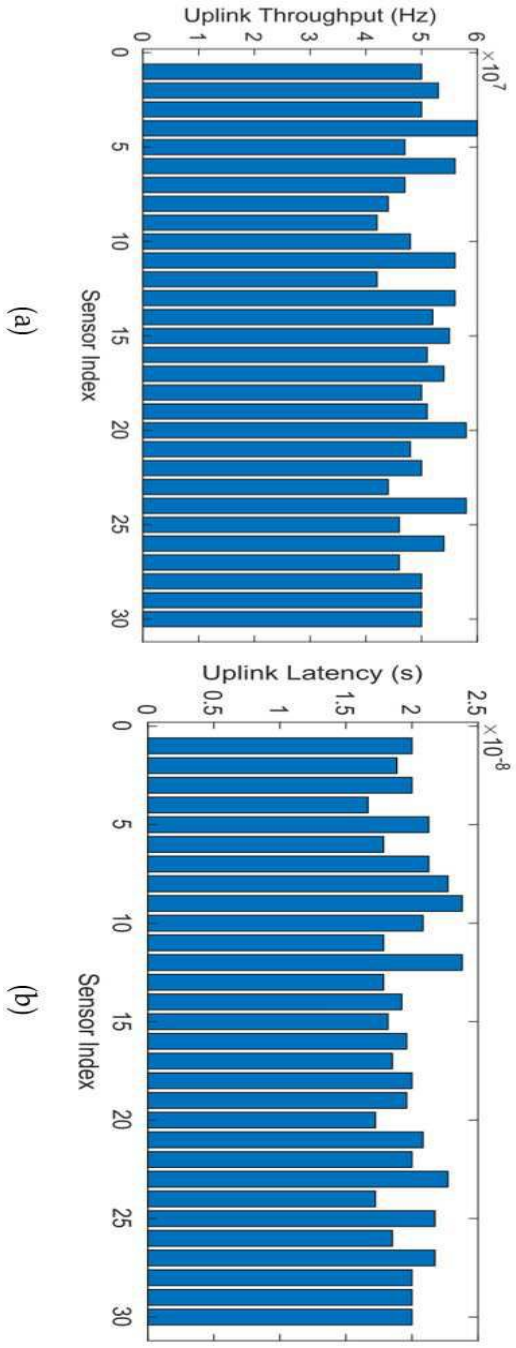
도면10


0.2
0.18
0.16
0.14
0.12
0.1
0.08
0.06
0.04
0.02
0
Optimal Utility
0.03
0.04
0.05
0.06
0.07
0.08
0.09
0.1
Probability of Cell Selection
A* Algorithm
A* + GA
ACO + GA
PGAAlgorithm

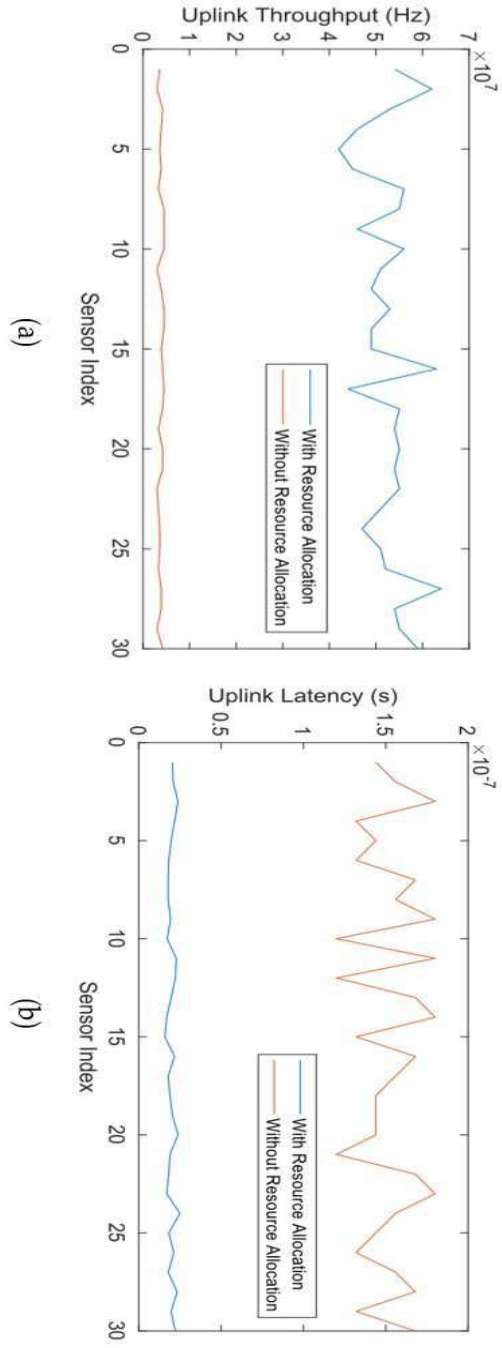
도면11


(a)
SINR (dB)
Sensor Index Y
Sensor Index X
(b)
SINR (dB)
Sensor Index Y
Sensor Index X

도면12


(a)
Uplink Throughput (Hz)
×10^7
Sensor Index
(b)
Uplink Latency (s)
×10^-8
Sensor Index

도면13


Uplink Throughput (Hz)
×10^7
Sensor Index
With Resource Allocation
Without Resource Allocation
(a)
Uplink Latency (s)
×10^-7
Sensor Index
With Resource Allocation
Without Resource Allocation
(b)