



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0171470
(43) 공개일자 2024년12월09일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G08G 5/00 (2006.01) B64C 39/02 (2023.01)
G05D 1/20 (2024.01) G05D 1/20 (2024.01)
G06Q 10/04 (2023.01)

(52) CPC특허분류

G08G 5/003 (2013.01)
B64C 39/024 (2023.01)

(21) 출원번호 10-2023-0069449

(22) 출원일자 2023년05월30일
심사청구일자 2023년05월30일

(71) 출원인

국방과학연구소

대전광역시 유성구 북유성대로488번길 160 (수남동)

울산과학기술원

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50

(72) 발명자

손홍선

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50

정원모

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

리엔목특허법인

전체 청구항 수 : 총 13 항

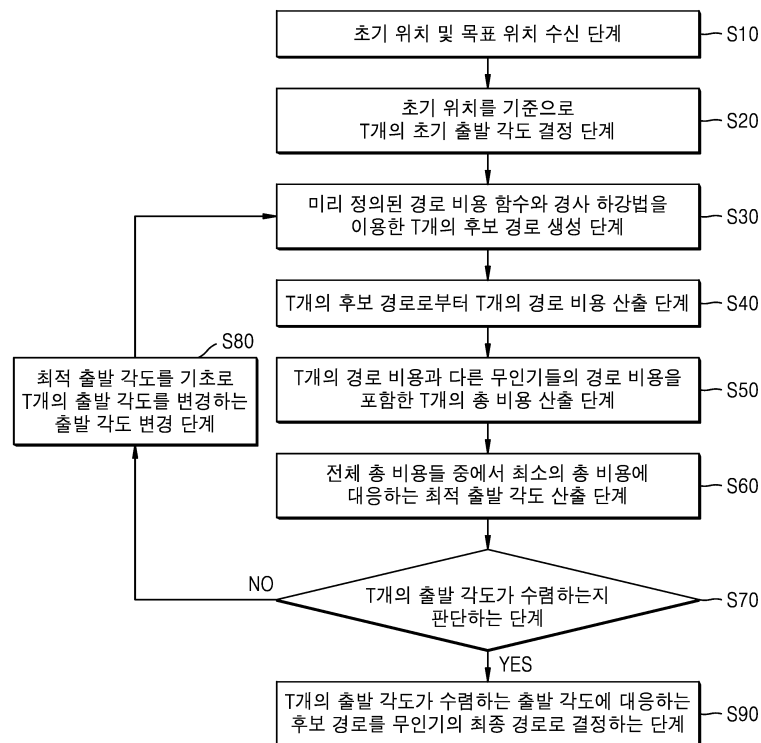
(54) 발명의 명칭 복수의 무인기의 경로 생성 방법

(57) 요약

본 발명은 복수의 무인기의 경로 생성 방법을 개시한다. 상기 방법은 적어도 하나의 컴퓨팅 장치에 의해 수행되는, 복수의 무인기의 경로 생성 방법으로서, 상기 복수의 무인기 각각에 대하여, 초기 위치 및 목표 위치를 수신하는 수신 단계, 상기 초기 위치를 기준으로 T개의 출발 각도를 무작위로 결정하는 초기 출발 각도 결정 단계,

(뒷면에 계속)

대표도 - 도2



미리 정의된 경로 비용 함수와 경사 하강법을 이용하여, 상기 초기 위치에서 상기 T개의 출발 각도로 출발하여 상기 목표 위치에 도달하는 T개의 후보 경로를 각각 생성하는 후보 경로 생성 단계, 상기 T개의 후보 경로로부터 T개의 경로 비용을 산출하는 경로 비용 산출 단계, 상기 T개의 경로 비용과 다른 무인기들의 경로 비용을 포함한 T개의 총 비용을 산출하는 총 비용 산출 단계, 상기 T개의 총 비용을 포함하는 전체 총 비용들 중에서 최소의 총 비용에 대응하는 최적 출발 각도를 결정하는 최적 출발 각도 산출 단계, 상기 최적 출발 각도를 기초로 상기 T개의 출발 각도를 변경하는 출발 각도 변경 단계, 상기 T개의 출발 각도가 수렴할 때까지 변경된 상기 T개의 출발 각도에 대하여, 상기 후보 경로 생성 단계, 상기 경로 비용 산출 단계, 상기 총 비용 산출 단계, 상기 최적 출발 각도 산출 단계, 및 상기 출발 각도 변경 단계를 반복하는 단계, 및 상기 T개의 출발 각도가 수렴하는 출발 각도에 대응하는 후보 경로를 상기 무인기의 최종 경로로 결정하는 단계를 포함한다.

(52) CPC특허분류

G05D 1/0607 (2021.01)

G05D 1/104 (2013.01)

G05D 1/106 (2021.01)

G06Q 10/047 (2023.01)

G08G 5/0069 (2013.01)

(72) 발명자

이상필

경기도 성남시 분당구 판교로 333 판교테크노밸리
(삼평동)

이충희

경기도 성남시 분당구 판교로 333 판교테크노밸리
(삼평동)

김신구

경기도 성남시 분당구 판교로 333 판교테크노밸리
(삼평동)

명세서

청구범위

청구항 1

적어도 하나의 컴퓨팅 장치에 의해 수행되는 복수의 무인기의 경로 생성 방법으로서,
 상기 복수의 무인기 각각에 대하여,
 초기 위치 및 목표 위치를 수신하는 수신 단계;
 상기 초기 위치를 기준으로 T개의 출발 각도를 무작위로 결정하는 초기 출발 각도 결정 단계;
 미리 정의된 경로 비용 함수와 경사 하강법을 이용하여, 상기 초기 위치에서 상기 T개의 출발 각도로 출발하여
 상기 목표 위치에 도달하는 T개의 후보 경로를 각각 생성하는 후보 경로 생성 단계;
 상기 T개의 후보 경로로부터 T개의 경로 비용을 산출하는 경로 비용 산출 단계;
 상기 T개의 경로 비용과 다른 무인기들의 경로 비용을 포함한 T개의 총 비용을 산출하는 총 비용 산출 단계;
 상기 T개의 총 비용을 포함하는 전체 총 비용들 중에서 최소의 총 비용에 대응하는 최적 출발 각도를 결정하는
 최적 출발 각도 산출 단계;
 상기 최적 출발 각도를 기초로 상기 T개의 출발 각도를 변경하는 출발 각도 변경 단계;
 상기 T개의 출발 각도가 수렴할 때까지 변경된 상기 T개의 출발 각도에 대하여, 상기 후보 경로 생성 단계, 상
 기 경로 비용 산출 단계, 상기 총 비용 산출 단계, 상기 최적 출발 각도 산출 단계, 및 상기 출발 각도 변경 단
 계를 반복하는 단계; 및
 상기 T개의 출발 각도가 수렴하는 출발 각도에 대응하는 후보 경로를 상기 무인기의 최종 경로로 결정하는 단계
 를 포함하는 복수의 무인기의 경로 생성 방법.

청구항 2

청구항 1에 있어서,
 상기 출발 각도 변경 단계에서,
 상기 T개의 출발 각도 중 제i 출발 각도(x_i)의 제s 스텝에서의 변화량(v_i^s)은 $v_i^s = w_1 v_i^{s-1} + w_2 r_2 (p_i - x_i^{s-1}) + w_3 r_3 (g - x_i^{s-1})$ 에 따라 산출되고,
 여기서, r_2 와 r_3 는 제s 스텝에서 무작위로 선택되는 0과 1 사이의 실수, w_1 , w_2 , w_3 는 미리 설정된 비중 값,
 x_i^{s-1} 는 제(s-1) 스텝에서의 제i 출발 각도,
 p_i 는 제s 스텝까지의 s개의 제i 출발 각도들 중에서 경로 비용이 최소인 제i 출발 각도,
 g 는 상기 최적 출발 각도로서, 제s 스텝까지의 $s \times T$ 개의 출발 각도들 중에서 총 비용이 최소인 출발 각도인 것
 을 특징으로 하는 복수의 무인기의 경로 생성 방법.

청구항 3

청구항 2에 있어서,
 상기 T개의 출발 각도가 수렴할 때 상기 T개의 출발 각도의 제S 스텝에서의 변화량($v_1^S, \dots, v_i^S, \dots, v_T^S$)으로
 이루어진 벡터의 크기가 미리 설정된 기준치보다 작은 것을 특징으로 하는 복수의 무인기 경로 생성 방법.

청구항 4

청구항 1에 있어서,

상기 T개의 총 비용 중에서 제t 후보 경로에 대응하는 제t 총 비용($J_t(k)$)은 $J_t(k) = \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^{m_i} J_{i,t}(k)$ 에 따라 산출되고,

여기서, N은 상기 복수의 무인기의 개수이고,

$J_{i,t}(k)$ 는 상기 N개의 무인기 중 제i 무인기의 제t 후보 경로의 제k 경로점에서의 비용 함수이고,

m_i 은 상기 제i 무인기의 상기 제t 후보 경로의 총 경로점 개수이고,

$\sum_{k=1}^{m_i} J_{i,t}(k)$ 는 상기 T개의 경로 비용 중 제t 후보 경로에 해당하는 제t 경로 비용인 것을 특징으로 하는 복수의 무인기 경로 생성 방법.

청구항 5

청구항 4에 있어서,

상기 제i 무인기의 제t 후보 경로의 제k 경로점에서의 비용 함수($J_{i,t}(k)$)는 제1 비용 함수($J_{obs,i,t}(k)$), 제2 비용 함수($J_{g,i,t}(k)$), 제3 비용 함수($J_{uav,i,t}(k)$), 및 제4 비용 함수($J_{th,i,t}(k)$)에 기초하여,

$J_{i,t}(k) = w_{obs}J_{obs,i,t}(k) + w_gJ_{g,i,t}(k) + w_{uav}J_{uav,i,t}(k) + w_{th}J_{th,i,t}(k)$ 에 따라 산출되고,

여기서, w_{obs} , w_g , w_{uav} , 및 w_{th} 는 미리 설정된 가중치 값들인 것을 특징으로 하는 복수의 무인기 경로 생성 방법.

청구항 6

청구항 5에 있어서,

상기 제1 비용 함수($J_{obs,i,t}(k)$)는 상기 제i 무인기의 제t 후보 경로가 금지 구역으로부터 멀어지기 위한 비용 함수로서,

$J_{obs,i,t}(k) = f_d(\min_j (\|p_{uav,i,t}(k) - p_{obs,j}\|) - d_{max,j})$ 와 같이 정의되고,

여기서, $f_d(x) = \begin{cases} 0, & \text{if } x > 0 \\ x^2, & \text{if } x \leq 0 \end{cases}$ 와 같이 정의되고,

여기서, $p_{uav,i,t}(k)$ 는 상기 제i 무인기의 제t 후보 경로의 제k 경로점 위치,

$p_{obs,j}$ 는 j번째 금지 구역의 위치,

$d_{max,j}$ 는 상기 j번째 금지 구역의 반지름이고, j는 1 이상의 자연수인 것을 특징으로 하는 복수의 무인기 경로 생성 방법.

청구항 7

청구항 6에 있어서,

상기 제2 비용 함수($J_{g,i,t}(k)$)는 상기 제i 무인기의 제t 후보 경로가 지표면으로부터 멀어지기 위한 비용 함수로서,

$J_{g,i,t}(k) = f_d(\|r_{g,min}\| \text{sign}(r_{g,min} \cdot n_g) - d_{max,g})$ 와 같이 정의되고,

여기서, $r_{g,min}$ 은 경로점과 지표면과의 거리가 최소가 되게 하는 상기 지표면의 위치로부터 상기 경로점까지의 벡터로,

$r_{g,min} = \underset{r_{g,j}}{\operatorname{argmin}}(\|r_{g,j}\|)$ 에 따라 산출되고,

여기서 $r_{g,j} = p_{uav,i,t}(k) - p_{g,j}$ 와 같이 정의되고,

여기서, $p_{g,j}$ 는 제j 지표면 그리드의 위치,

n_g 는 상기 지표면 그리드의 노말 벡터(normal vector),

$d_{max,g}$ 는 상기 지표면의 위치와 상기 경로점 간의 안전 거리인 것을 특징으로 하는 복수의 무인기 경로 생성 방법.

청구항 8

청구항 6에 있어서,

상기 제3 비용 함수($J_{uav,i,t}(k)$)는 상기 제i 무인기의 제t 후보 경로가 상기 제i 무인기와 다른 제j 무인기로부터 멀어지기 위한 비용 함수로서,

$J_{uav,i,t}(k) = f_d(\min_j(\|p_{uav,i,t}(k) - p_{uav,j}\|) - d_{max,uav})$ 와 같이 정의되고,

여기서, $p_{uav,j}$ 는 상기 제j 무인기의 최적 출발 각도에 대응하는 최적 경로,

$d_{max,uav}$ 는 상기 제i 무인기와 상기 제j 무인기 간의 안전거리인 것을 특징으로 하는 복수의 무인기 경로 생성 방법.

청구항 9

청구항 5에 있어서,

상기 제4 비용 함수($J_{th,i,t}(k)$)는 상기 제i 무인기의 제t 후보 경로의 길이를 줄이기 위한 비용 함수로서,

$J_{th,i,t}(k) = [\phi^2 + c(\phi, \phi_{max}) + \theta^2 + c(\theta, \theta_{max})]$ 와 같이 정의되고,

여기서 $c(\phi, \phi_{max}) = \begin{cases} 0 & , if \ \|\phi\| \leq \|\phi_{max}\| \\ \exp(\|\phi\| - \|\phi_{max}\|) - 1 & , if \ \|\phi\| > \|\phi_{max}\| \end{cases}$,

$c(\theta, \theta_{max}) = \begin{cases} 0 & , if \ \|\theta\| \leq \|\theta_{max}\| \\ \exp(\|\theta\| - \|\theta_{max}\|) - 1 & , if \ \|\theta\| > \|\theta_{max}\| \end{cases}$ 와 같이 정의되고,

여기서 θ 는 상기 제i 무인기의 제t 후보 경로의 제(k-1) 경로점에서 제k 경로점까지의 경로와 상기 제k 경로점에서 제(k+1) 경로점까지의 경로가 이루는 경로 각도 중 고도각,

ϕ 는 상기 경로 각도 중 방위각,

θ_{max} 는 상기 고도각(θ)의 최대값,

ϕ_{max} 는 상기 방위각(ϕ)의 최대값인 것을 특징으로 하는 복수의 무인기 경로 생성 방법.

청구항 10

청구항 1에 있어서,

상기 출발 각도는 방위각 및 고도각을 포함하는 것을 특징으로 하는 복수의 무인기의 경로 생성 방법.

청구항 11

청구항 1에 있어서,

상기 출발 각도는 상기 초기 위치와 상기 목표 위치 사이의 직선을 기준으로 정의되는 것을 특징으로 하는 복수의 무인기의 경로 생성 방법.

청구항 12

컴퓨팅 장치를 이용하여 제1항 내지 제11항 중 어느 한 항의 방법을 실행시키기 위하여 매체에 저장된 컴퓨터 프로그램.

청구항 13

컴퓨팅 장치에 제1항 내지 제11항 중 어느 한 항의 방법을 실행시키기 위한 프로그램을 기록한 컴퓨터로 읽을 수 있는 매체.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 복수의 무인기의 경로 생성 방법에 관한 것으로서, 더욱 구체적으로는 무인기의 경로 비용을 최소화 함으로써 복수의 무인기의 경로를 생성하는 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 무인기(Unmanned Aerial Vehicle)는 조종사가 탑승하지 않고 자동으로 운행되는 항공기로, 군사용 목적으로 개발되어 현재 군용 및 산업 전반에 걸쳐 연구, 개발 및 상용되고 있다. 무인기의 사용이 늘어감에 따라 무인기로 인한 사고가 증가하고 있으며, 구조물과의 충돌, 비행장 등 금지구역 침범 등의 사고가 그중 하나이다. 이를 방지하고 보다 안전한 임무수행을 위해서 금지구역과 지형정보를 고려한 충돌 회피 경로 생성 알고리즘의 역할이 중요하다. 또한, 군용 무인기의 경우도 방공망 등 위협이 되는 지역과 산악지형을 고려하여 다수의 무인기로 표적을 타격하기 위한 경로 생성 알고리즘의 개발이 중요하다.

[0003] 군용 무인기의 경우 다수의 무인기가 동시에 타격하는 일제공격 임무를 위한 유도제어 연구가 활발히 진행 되었으며 대공 위협을 회피하여 타격하기 위한 연구도 진행되고 있다. 유도제어 방법을 이용해 회피 경로의 생성이 어려운 복잡한 환경의 경우, Voronoi diagram, Dijkstra 등 지상 로봇의 경로 생성에 사용되던 방법들도 적용되고 있다. 또한, 고정익 무인기 특성을 반영하기 위해 Dubins curve를 사용한 회피와 유체역학의 특성을 반영한 Rapid-Random-Tree(RRT) 등 다양한 방향으로 연구가 진행되고 있다. 각 연구의 경우 대공 위협, 지형 정보, 무인기 간의 거리, 고정익의 특성 중 일부를 고려한 알고리즘을 제안하고 있다. 모든 요소들을 고려하여 3차원 공간에서 경로를 생성하는 경우 단시간 내에 경로를 생성하기가 어려워진다.

[0004] 이러한 문제를 개선하고자 하는 방법 중 하나로 Genetic algorithm(GA)과 Particle swarm optimization(PSO) 등 생물학에서 영감을 받은 군집 지능 알고리즘이 존재한다. 이 방법들의 경우 다소 경험적인 방법으로 대부분 이론적으로 최적 값에 수렴함을 수학적으로 증명하고 있지는 않지만, 초기 값에 의한 최적화 여부에 덜 민감하며 지역적 최적 값에 빠지지 않고 비교적 빠르게 전역 최적 값에 도달한다. 한 연구에 따르면, 3차원 공간에서 지형 정보를 고려한 다수 무인기의 표적 공격 경로를 생성하기 위해 각각 박쥐와 비둘기들의 움직임에서 영감을 받은 알고리즘을 사용 및 개선하였고, 무인기에 연속적인 경로를 제공하기 위해 B-spline을 이용한 스무딩을 적용하였다. GA를 경로 생성에 적용한 연구의 경우, 각 경로점들이 유전자 역할을 하고 경로점들로 이뤄진 염색체로 하여 다양한 경로들의 비용 함수를 샘플링하고 보다 나은 염색체들을 생존시키고 번이시킴으로써 최적 경로를 찾아나간다. PSO를 이용한 경로 생성도 활발히 연구되고 있다. PSO 자체의 최적화 성능 개선을 위해 수렴 속도를 개선하는 연구와 지역적 최솟값에 수렴하는 경우를 줄여주는 연구들이 진행되고 있다. 하지만 상기 연구들의 경우, 무인기들의 경로점 전체가 Swarm의 입자들이 가진 최적화 변수이기 때문에 무인기 개수뿐 아니라 경로점 개수가 증가하여도 최적화 변수 차원이 증가하여 지역적 최솟값에 빠질 가능성과 수렴까지의 시간이 증가하게 된다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 복수의 무인기가 경로 비용을 최소화하며 최적의 경로를 생성하는 방법을 제안한다.

과제의 해결 수단

- [0006] 본 발명은 상기와 같은 종래의 기술적 문제를 해결하기 위한 기술적 수단으로서, 본 발명의 일 측면에 따른 복수의 무인기의 경로 생성 방법은, 상기 복수의 무인기 각각에 대하여, 초기 위치 및 목표 위치를 수신하는 수신 단계, 상기 초기 위치를 기준으로 T개의 출발 각도를 무작위로 결정하는 초기 출발 각도 결정 단계, 미리 정의된 경로 비용 함수와 경사 하강법을 이용하여, 상기 초기 위치에서 상기 T개의 출발 각도로 출발하여 상기 목표 위치에 도달하는 T개의 후보 경로를 각각 생성하는 후보 경로 생성 단계, 상기 T개의 후보 경로로부터 T개의 경로 비용을 산출하는 경로 비용 산출 단계, 상기 T개의 경로 비용과 다른 무인기들의 경로 비용을 포함한 T개의 총 비용을 산출하는 총 비용 산출 단계, 상기 T개의 총 비용을 포함하는 전체 총 비용들 중에서 최소의 총 비용에 대응하는 최적 출발 각도를 결정하는 최적 출발 각도 산출 단계, 상기 최적 출발 각도를 기초로 상기 T개의 출발 각도를 변경하는 출발 각도 변경 단계, 상기 T개의 출발 각도가 수렴할 때까지 변경된 상기 T개의 출발 각도에 대하여, 상기 후보 경로 생성 단계, 상기 경로 비용 산출 단계, 상기 총 비용 산출 단계, 상기 최적 출발 각도 산출 단계, 및 상기 출발 각도 변경 단계를 반복하는 단계, 및 상기 T개의 출발 각도가 수렴하는 출발 각도에 대응하는 후보 경로를 상기 무인기의 최종 경로로 결정하는 단계를 포함한다.
- [0007] 일 예에 따르면, 상기 출발 각도 변경 단계에서, 상기 T개의 출발 각도 중 제i 출발 각도(x_i)의 제s 스텝에서의 변화량(v_i^s)은 $v_i^s = w_1 v_i^{s-1} + w_2 r_2 (p_i - x_i^{s-1}) + w_3 r_3 (g - x_i^{s-1})$ 에 따라 산출되고, 여기서, r_2 와 r_3 는 제s 스텝에서 무작위로 선택되는 0과 1 사이의 실수, w_1 , w_2 , w_3 는 미리 설정된 비중 값, x_i^{s-1} 는 제(s-1) 스텝에서의 제i 출발 각도, p_i 는 제s 스텝까지의 s개의 제i 출발 각도들 중에서 경로 비용이 최소인 제i 출발 각도, g 는 상기 최적 출발 각도로서, 제s 스텝까지의 $s \times T$ 개의 출발 각도들 중에서 총 비용이 최소인 출발 각도인 것을 특징으로 할 수 있다.
- [0008] 다른 예에 따르면, 상기 T개의 출발 각도가 수렴할 때 상기 T개의 출발 각도의 제S 스텝에서의 변화량($v_1^S, \dots, v_i^S, \dots, v_T^S$)으로 이루어진 벡터의 크기가 미리 설정된 기준치보다 작은 것을 특징으로 할 수 있다.
- [0009] 또 다른 예에 따르면, 상기 T개의 총 비용 중에서 제t 후보 경로에 대응하는 제t 총 비용($J_t(k)$)은 $J_t(k) = \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^{m_i} J_{i,t}(k)$ 에 따라 산출되고, 여기서, N은 상기 복수의 무인기의 개수이고, $J_{i,t}(k)$ 는 상기 N개의 무인기 중 제i 무인기의 제t 후보 경로의 제k 경로점에서의 비용 함수이고, m_i 는 상기 제i 무인기의 상기 제t 후보 경로의 총 경로점 개수이고, $\sum_{k=1}^{m_i} J_{i,t}(k)$ 는 상기 T개의 경로 비용 중 제t 후보 경로에 해당하는 제t 경로 비용인 것을 특징으로 할 수 있다.
- [0010] 또 다른 예에 따르면, 상기 제i 무인기의 제t 후보 경로의 제k 경로점에서의 비용 함수($J_{i,t}(k)$)는 제1 비용 함수($J_{obs,i,t}(k)$), 제2 비용 함수($J_{g,i,t}(k)$), 제3 비용 함수($J_{uav,i,t}(k)$), 및 제4 비용 함수($J_{th,i,t}(k)$)에 기초하여, $J_{i,t}(k) = w_{obs} J_{obs,i,t}(k) + w_g J_{g,i,t}(k) + w_{uav} J_{uav,i,t}(k) + w_{th} J_{th,i,t}(k)$ 에 따라 산출되고, 여기서, w_{obs} , w_g , w_{uav} , 및 w_{th} 는 미리 설정된 가중치 값들인 것을 특징으로 할 수 있다.
- [0011] 또 다른 예에 따르면, 상기 제1 비용 함수($J_{obs,i,t}(k)$)는 상기 제i 무인기의 제t 후보 경로가 금지 구역으로부터 멀어지기 위한 비용 함수로서, $J_{obs,i,t}(k) = f_d(\min_j (\|p_{uav,i,t}(k) - p_{obs,j}\|) - d_{max,j})$ 와 같이 정의되고, 여기서 $f_d(x) = \begin{cases} 0, & \text{if } x > 0 \\ x^2, & \text{if } x \leq 0 \end{cases}$ 와 같이 정의되고, 여기서 $p_{uav,i,t}(k)$ 는 상기 제i 무인기의 제t 후보 경로의 제k 경로점 위치, $p_{obs,j}$ 는 j번째 금지 구역의 위치, $d_{max,j}$ 는 상기 j번째 금지 구역의 반지름이고, j는 1 이상의 자연수인 것을 특징으로 할 수 있다.
- [0012] 또 다른 예에 따르면, 상기 제2 비용 함수($J_{g,i,t}(k)$)는 상기 제i 무인기의 제t 후보 경로가 지표면으로부터 멀어지기 위한 비용 함수로서, $J_{g,i,t}(k) = f_d(\|r_{g,min}\| \text{sign}(r_{g,min} \cdot n_g) - d_{max,g})$ 와 같이 정의되고, 여기서 $r_{g,min}$ 은 경로점과 지표면과의 거리가 최소가 되게 하는 상기 지표면의 위치로부터 상기 경로점까지의 벡터로, $r_{g,min} = \underset{r_{g,j}}{\operatorname{argmin}} (\|r_{g,j}\|)$ 에 따라 산출되고, 여기서 $r_{g,j} = p_{uav,i,t}(k) - p_{g,j}$ 와 같이 정의되고, 여기서 $p_{g,j}$ 는 제j

지표면 그리드의 위치, n_g 는 상기 지표면 그리드의 노말 벡터(normal vector), $d_{\max,g}$ 는 상기 지표면의 위치와 상기 경로점 간의 안전 거리인 것을 특징으로 할 수 있다.

[0013] 또 다른 예에 따르면, 상기 제3 비용 함수($J_{uav,i,t}(k)$)는 상기 제i 무인기의 제t 후보 경로가 상기 제i 무인기와 다른 제j 무인기로부터 멀어지기 위한 비용 함수로서, $J_{uav,i,t}(k) = f_d(\min_j(\|p_{uav,i,t}(k) - p_{uav,j}\|) - d_{\max,uav})$ 와 같이 정의되고, 여기서 $p_{uav,j}$ 는 상기 제j 무인기의 최적 출발 각도에 대응하는 최적 경로, $d_{\max,uav}$ 는 상기 제i 무인기와 상기 제j 무인기 간의 안전거리인 것을 특징으로 할 수 있다.

[0014] 또 다른 예에 따르면, 상기 제4 비용 함수($J_{th,i,t}(k)$)는 상기 제i 무인기의 제t 후보 경로의 길이를 줄이기 위한 비용 함수로서, $J_{th,i,t}(k) = [\phi^2 + c(\phi, \phi_{\max}) + \theta^2 + c(\theta, \theta_{\max})]$ 와 같이 정의되고, 여기서 $c(\phi, \phi_{\max}) = \begin{cases} 0, & \text{if } \|\phi\| \leq \|\phi_{\max}\| \\ \exp(\|\phi\| - \|\phi_{\max}\|) - 1, & \text{if } \|\phi\| > \|\phi_{\max}\| \end{cases}$, $c(\theta, \theta_{\max}) = \begin{cases} 0, & \text{if } \|\theta\| \leq \|\theta_{\max}\| \\ \exp(\|\theta\| - \|\theta_{\max}\|) - 1, & \text{if } \|\theta\| > \|\theta_{\max}\| \end{cases}$ 와 같이 정의되고, 여기서 θ 는 상기 제i 무인기의 제t 후보 경로의 제(k-1) 경로점에서 제k 경로점까지의 경로와 상기 제k 경로점에서 제(k+1) 경로점까지의 경로가 이루는 경로 각도 중 고도각, ϕ 는 상기 경로 각도 중 방위각, $\theta_{\max}$ 는 상기 고도각(θ)의 최대값, $\phi_{\max}$ 는 상기 방위각(ϕ)의 최대값인 것을 특징으로 할 수 있다.

[0015] 또 다른 예에 따르면, 상기 출발 각도는 방위각 및 고도각을 포함하는 것을 특징으로 할 수 있다.

[0016] 또 다른 예에 따르면, 상기 출발 각도는 상기 초기 위치와 상기 목표 위치 사이의 직선을 기준으로 정의되는 것을 특징으로 할 수 있다.

[0017] 상술한 기술적 과제들을 달성하기 위한 기술적 수단으로서, 본 발명의 일 측면에 따른 컴퓨터 프로그램은 컴퓨팅 장치를 이용하여 전술한 복수의 무인기의 경로 생성 방법을 실행시키기 위하여 매체에 저장된다.

[0018] 상술한 기술적 과제들을 달성하기 위한 기술적 수단으로서, 본 발명의 일 측면에 따른 컴퓨터로 읽을 수 있는 매체는 컴퓨팅 장치를 이용하여 전술한 복수의 무인기의 경로 생성 방법을 실행시키기 위한 프로그램을 기록할 수 있다.

발명의 효과

[0019] 본 발명에 따르면, 복수의 무인기들의 경로 생성시 다른 무인기와의 거리, 금지 구역과의 거리, 지형, 경로 각도 등을 고려하여 무인기 개수와 각각의 무인기 경로의 경로점 개수가 증가할 경우에도 지역적 최적 경로를 생성하는 문제를 해결함으로써 복수의 무인기들의 전역적 최적 경로를 생성할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0020] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 경로 생성 방법을 실행하기 위한 컴퓨팅 장치의 개략적인 블록도이다.

도 2는 본 발명에 따른 복수의 무인기의 경로 생성 방법을 설명하기 위한 순서도를 도시한다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따라 복수의 무인기의 경로를 결정하는 변수를 설정하여 최적 경로를 생성하는 과정을 개략적으로 도시한다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따라 복수의 무인기 중 하나의 무인기의 경로 생성 과정을 개략적으로 도시한다.

도 5a는 경사 하강법에 따라 복수의 무인기에 의해 생성된 경로를 개략적으로 도시한다.

도 5b는 본 발명의 일 실시예에 따라 복수의 무인기에 의해 생성된 경로를 개략적으로 도시한다.

도 5c는 경사 하강법에 따라 복수의 무인기에 의해 생성된 경로의 측면을 개략적으로 도시한다.

도 5d는 본 발명의 일 실시예에 따라 복수의 무인기에 의해 생성된 경로의 측면을 개략적으로 도시한다.

도 6a는 경사 하강법에 의해 생성된 경로와 본 발명의 일 실시예에 의해 생성된 경로의 경로 비용의 차를 무인기의 개수에 따라 개략적으로 도시한다.

도 6b는 경사 하강법에 의해 생성된 경로와 본 발명의 일실시예에 의해 생성된 경로의 경로 비용의 차를 금지 구역의 개수에 따라 개략적으로 도시한다.

도 7a는 본 발명의 다른 실시예에 따라 두 대의 무인기에 의해 생성된 경로를 2차원 평면에서 개략적으로 도시한다.

도 7b는 본 발명의 다른 실시예에 따라 두 대의 무인기에 의해 생성된 경로를 3차원 공간에서 개략적으로 도시한다.

도 7c는 본 발명의 다른 실시예에 따라 두 대의 무인기가 이동한 위치 경로를 도시한다.

도 7d는 본 발명의 다른 실시예에 따라 두 대의 무인기 중 하나의 무인기의 경로 정보를 그래프로 도시한다.

도 7e는 본 발명의 다른 실시예에 따라 두 대의 무인기 중 다른 하나의 무인기의 경로 정보를 그래프로 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0021] 아래에서는 첨부한 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시 예에 대하여 상세히 설명한다.
- [0022] 본 발명을 상세하게 설명하기 전에, 본 명세서에서 사용된 용어나 단어는 통상적이거나 사전적인 의미로 무조건 한정하여 해석되어서는 아니되며, 본 발명의 발명자가 자신의 발명을 가장 최선의 방법으로 설명하기 위해서 각종 용어의 개념을 적절하게 정의하여 사용할 수 있다. 더 나아가 이들 용어나 단어는 본 발명의 기술적 사상에 부합하는 의미와 개념으로 해석되어야 함을 알아야 한다. 즉, 본 명세서에서 사용된 용어는 본 발명의 바람직한 실시 예를 설명하기 위해서 사용되는 것일 뿐이고, 본 발명의 내용을 구체적으로 한정하려는 의도로 사용된 것이 아니다. 이들 용어는 본 발명의 여러 가지 가능성을 고려하여 정의된 용어임을 알아야 한다.
- [0023] 본 명세서에 있어서, 단수의 표현은 문맥상 명확하게 다른 의미로 지시하지 않는 이상, 복수의 표현을 포함할 수 있다. 유사하게 복수로 표현되어 있다고 하더라도 단수의 의미를 포함할 수 있음을 알아야 한다.
- [0024] 본 명세서에서 어떤 요소가 다른 요소와 "연결"되어 있다고 기술될 때, 이는 "직접적으로 연결"되어 있는 경우 뿐 아니라 그 중간에 다른 요소를 사이에 두고 "간접적으로 연결"되어 있는 경우도 포함한다. 어떤 요소가 다른 요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 요소 외에 또 다른 요소를 배제하는 것이 아니라 또 다른 요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.
- [0025] 그리고, 본 발명의 명세서, 특허청구범위 및 도면에 기재된 용어 "제1", "제2" 등은 유사한 대상을 구별하기 위한 것으로 특정된 순서 또는 선후 순서를 표시하기 위한 것이 아니다.
- [0026] 더욱이, 본 발명의 명세서에서는, "...부", "...기", "모듈", "장치" 등의 용어는, 사용된다면, 하나 이상의 기능이나 동작을 처리할 수 있는 단위를 의미한다. 이는 하드웨어 또는 소프트웨어, 또는 하드웨어와 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있음을 알아야 한다.
- [0027] 이하에서, 본 발명을 설명함에 있어서, 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 구성, 예를 들어, 종래 기술을 포함하는 공지 기술에 대한 상세한 설명은 생략될 수도 있다.
- [0028] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 경로 생성 방법을 실행하기 위한 컴퓨팅 장치의 개략적인 블록도이다.
- [0029] 도 1을 참조하면, 컴퓨팅 장치(1000)는 프로세서(1100), 메모리(1200), 및 DB(1300)를 포함한다.
- [0030] 프로세서(1100)는 통상적으로 컴퓨팅 장치(1000)의 전반적인 동작을 제어한다. 프로세서(1100)는 기본적인 산술, 로직 및 입출력 연산을 수행함으로써, 컴퓨터 프로그램의 명령을 처리하도록 구성될 수 있다. 프로세서(1100)는 미리 정의된 경로 비용 함수를 이용하여 본 발명에 따른 무인기의 경로 비용을 산출할 수 있다. 프로세서(1100)는 메모리(1200) 및 DB(1300)에 저장된 데이터를 수신받고, 데이터를 메모리(1200) 및 DB(1300)로 송신할 수 있다.
- [0031] 메모리(1200)는 컴퓨팅 장치(1000)가 관독할 수 있는 기록 매체로서, RAM(random access memory), ROM(read only memory) 및 디스크 드라이브와 같은 비소멸성 대용량 기록장치(permanent mass storage device)를 포함할 수 있다.
- [0032] 메모리(1200)는 본 발명의 일 실시예에 따라서 복수의 무인기의 경로를 생성하기 위한 프로그램 코드, 상기 프로그램 코드를 실행하는 데에 필요한 데이터들 및 상기 프로그램 코드를 실행하는 과정에서 생성되는 데이터들

을 저장할 수 있다. 상기 프로그램 코드는 입자 군집 최적화(PSO) 알고리즘 코드를 포함할 수 있다. 메모리(1200)는 미리 정의된 경로 비용 함수를 저장할 수 있다.

[0033] DB(1300)는 프로세서(1100)가 판독할 수 있는 기록 매체로서, 디스크 드라이브와 같은 비소멸성 대용량 기록장치를 포함할 수 있다. DB(1300)는 본 발명에 따른 복수의 무인기의 경로 생성 방법을 실행하는 데 필요한 데이터들을 저장할 수 있다. 예를 들면, DB(1300)는 다수의 시뮬레이션 시행을 통해 선정된 미리 설정된 가중치 값(w_{obs} , w_g , w_{uav} , w_{th})을 저장할 수 있다. DB(1300)는 경로 생성 방법을 실행하는데 필요한 금지구역의 위치 및 반지름, 고도를 포함하는 지형 정보, 무인기의 개수, 무인기 각각의 경로가 가지는 경로점 개수, 미리 설정된 기준치에 관한 데이터를 저장할 수 있다. 본 발명에 따른 경로 생성 방법을 실행하는 데 필요한 데이터들 중 적어도 일부는 메모리(1200)에 저장될 수 있다.

[0034] 일 실시예에 따르면, 컴퓨팅 장치(1000)는 프로세서(1100), 메모리(1200), DB(1300) 외에, 통신 모듈, 입출력 장치, 또는 저장 장치 등을 더 포함할 수 있다. 예를 들면, 컴퓨팅 장치(1000)는 통신 모듈을 통해 복수의 무인기, 금지구역의 위치, 및 지형과 같은 정보를 수신할 수 있다.

[0035] 다양한 실시 예들에 따른 프로세서(1100)의 동작에 대하여 아래에서 더욱 자세히 설명한다.

[0036] 도 2는 본 발명에 따른 복수의 무인기의 경로 생성 방법을 설명하기 위한 순서도를 도시한다.

[0037] 도 2를 참조하면, 복수의 무인기 각각에 대하여, 복수의 무인기 각각에 대하여 초기 위치 및 목표 위치를 수신한다(S10). 초기 위치 및 목표 위치의 개수는 무인기 개수와 같을 수 있다. 일 실시예에 따르면, 복수의 무인기 중 일부 무인기 간의 초기 위치나 목표 위치는 동일할 수 있다. 예를 들어, 목표 위치는 무인기가 이동하고자 하는 이동 점 또는 무인기가 공격하고자 하는 목표 대상으로 미리 설정될 수 있다. 지상통제 장치(GCS)에서 복수의 무인기들의 위치 및 FCC(Federal Communications Commission)에 정의된 매개변수들을 수신할 수 있다. 그 외에도 GCS에는 주어진 임무 범위 내의 지형과 금지구역에 관한 정보를 포함할 수 있다. 지형 정보의 경우, 주어진 임무 범위 내의 2차원 좌표가 일정한 크기의 격자로 나뉘지며 각 격자에 해당하는 2차원 위치 및 해당 위치 지형의 고도 정보가 포함될 수 있다. 금지구역에 관한 정보의 경우, 원형으로 가정하여 중심점과 반지름에 관한 정보를 포함할 수 있다.

[0038] 수신된 무인기의 초기 위치를 기준으로 T개의 출발 각도를 무작위로 결정한다(S20). 여기서, T는 2 이상의 자연수이다. 출발 각도는 고도각과 방위각을 포함할 수 있다.

[0039] 미리 정의된 경로 비용 함수와 경사 하강법을 이용하여, 초기 위치에서 T개의 출발 각도로 출발하여 목표 위치에 도달하는 T개의 후보 경로를 각각 생성한다(S30). T개의 출발 각도에 따라 T개의 초기 경로가 생성될 수 있다. 초기 경로는 초기 위치에서 목표 위치까지의 직선 경로를 기준으로 초기 위치 및 목표 위치에서 출발 각도만큼 떨어진 경로로 생성될 수 있다. 예를 들어, 초기 경로는 상기 직선 경로를 기준으로 출발 각도를 밑각으로 하는 이등변 삼각형의 두 변 형태로 생성될 수 있다. T개의 초기 경로로부터 경사 하강법(gradient descent)을 이용하여 T개의 후보 경로를 생성할 수 있다. T개의 후보 경로는 복수의 무인기 마다 생성될 수 있다.

[0040] 미리 정의된 경로 비용 함수를 이용해 단계(S40 및 S50)에 따른 비용을 산출할 수 있다.

[0041] T개의 후보 경로로부터 T개의 경로 비용을 산출한다(S40). T개의 경로 비용 중 제t 후보 경로에 해당하는 제t 경로 비용은 $\sum_{k=1}^{m_i} J_{i,t}(k)$ 에 따라 산출될 수 있다. 여기서, $J_{i,t}(k)$ 는 복수의 무인기 중 제i 무인기의 제t 후보 경로의 제k 경로점에서의 비용 함수이고, m_i 은 제i 무인기의 제t 후보 경로의 총 경로점 개수일 수 있다. 제i 무인기의 제t 후보 경로의 제k 경로점에서의 비용 함수($J_{i,t}(k)$)는 제1 비용 함수($J_{obs,i,t}(k)$), 제2 비용 함수($J_{g,i,t}(k)$), 제3 비용 함수($J_{uav,i,t}(k)$), 및 제4 비용 함수($J_{th,i,t}(k)$)에 기초하여, $J_{i,t}(k) = w_{obs}J_{obs,i,t}(k) + w_gJ_{g,i,t}(k) + w_{uav}J_{uav,i,t}(k) + w_{th}J_{th,i,t}(k)$ 에 따라 산출될 수 있다. 여기서, w_{obs} , w_g , w_{uav} , 및 w_{th} 는 미리 설정된 가중치 값들일 수 있다.

[0042] 제1 비용 함수($J_{obs,i,t}(k)$)는 $J_{obs,i,t}(k) = f_d(\min_j(\|p_{uav,i,t}(k) - p_{obs,j}\|) - d_{max,j})$ 와 같이 정의되고, 여기서

$f_d(x) = \begin{cases} 0, & \text{if } x > 0 \\ x^2, & \text{if } x \leq 0 \end{cases}$ 와 같이 정의될 수 있다. 여기서 $p_{uav,i,t}(k)$ 는 제i 무인기의 제t 후보 경로의 제k 경로점 위치, $p_{obs,j}$ 는 j번째 금지 구역의 위치, $d_{max,j}$ 는 j번째 금지 구역의 반지름이고, j는 1 이상의 자연수 일 수

있다. 제2 비용 함수($J_{g,i,t}(k)$)는 제i 무인기의 제t 후보 경로가 지표면으로부터 멀어지기 위한 비용 함수로서, $J_{g,i,t}(k) = f_d(\|r_{g,min}\| \text{sign}(r_{g,min} \cdot n_g) - d_{max,g})$ 와 같이 정의될 수 있다. 여기서 $r_{g,min}$ 은 경로점과 지표면과

의 거리가 최소가 되게 하는 지표면의 위치로부터 경로점까지의 벡터로, $r_{g,min} = \underset{r_{g,j}}{\operatorname{argmin}}(\|r_{g,j}\|)$ 에 따라 산출

될 수 있다. 여기서 $r_{g,j} = p_{uav,i,t}(k) - p_{g,j}$ 와 같이 정의되고, $p_{g,j}$ 는 제j 지표면 그리드의 위치, n_g 는 지표면 그리드의 노말 벡터(normal vector), $d_{max,g}$ 는 지표면의 위치와 경로점 간의 안전 거리일 수 있다. 제3 비용 함수($J_{uav,i,t}(k)$)는 제i 무인기의 제t 후보 경로가 제i 무인기와 다른 제j 무인기로부터 멀어지기 위한 비용 함수로

서, $J_{uav,i,t}(k) = f_d(\min_j(\|p_{uav,i,t}(k) - p_{uav,j}\|) - d_{max,uav})$ 와 같이 정의될 수 있다. 여기서 $p_{uav,j}$ 는 제j 무

인기의 최적 출발 각도에 대응하는 최적 경로, $d_{max,uav}$ 는 제i 무인기와 제j 무인기 간의 안전거리일 수 있다. 제4 비용 함수($J_{th,i,t}(k)$)는 제i 무인기의 제t 후보 경로의 길이를 줄이기 위한 비용 함수로서,

$J_{th,i,t}(k) = [\phi^2 + c(\phi, \phi_{max}) + \theta^2 + c(\theta, \theta_{max})]$ 와 같이 정의되고, 여기서

$$c(\phi, \phi_{max}) = \begin{cases} 0 & , \text{if } \|\phi\| \leq \|\phi_{max}\| \\ \exp(\|\phi\| - \|\phi_{max}\|) - 1 & , \text{if } \|\phi\| > \|\phi_{max}\| \end{cases},$$

$c(\theta, \theta_{max}) = \begin{cases} 0 & , \text{if } \|\theta\| \leq \|\theta_{max}\| \\ \exp(\|\theta\| - \|\theta_{max}\|) - 1 & , \text{if } \|\theta\| > \|\theta_{max}\| \end{cases}$ 와 같이 정의될 수 있다. 여기서 θ 는 제i 무인기의 제t 후보 경로의 제(k-1) 경로점에서 제k 경로점까지의 경로와 상기 제k 경로점에서 제(k+1) 경로점까지의 경로가 이루는 경로 각도 중 고도각, ϕ 는 상기 경로 각도 중 방위각, θ_{max} 는 고도각(θ)의 최대값, ϕ_{max} 는 방위각(ϕ)의 최대값일 수 있다.

[0043] T개의 경로 비용과 다른 무인기들의 경로 비용을 포함한 T개의 총 비용을 산출한다(S50). 복수의 무인기마다 T개의 후보 경로로부터 T개의 경로 비용이 산출될 수 있으므로(S40), 복수의 무인기들의 경로 비용이 포함된 T개의 총 비용을 산출할 수 있다. T개의 총 비용 중에서 제t 후보 경로에 대응하는 제t 총 비용($J_t(k)$)은 $J_t(k) = \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^{m_i} J_{i,t}(k)$ 에 따라 산출되고, 여기서 N은 상기 복수의 무인기의 개수이고, $\sum_{k=1}^{m_i} J_{i,t}(k)$ 는 단계(S50)에서 산출된 T개의 경로 비용 중 제t 후보 경로에 해당하는 제t 경로 비용이다.

[0044] T개의 총 비용을 포함하는 전체 총 비용들 중에서 최소의 총 비용에 대응하는 최적 출발 각도를 결정한다(S60). 예를 들어, T개의 총 비용 중 제a 총 비용($J_a(k)$)이 최소인 경우, 제a 후보 경로에 대응하는 출발 각도를 최적 출발 각도로 결정할 수 있다. 상기 최적 출발 각도는 단계(S80)에서 T개의 출발 각도를 변경할 경우에 이용될 수 있다.

[0045] T개의 출발 각도가 수렴하는지 판단한다(S70). 일 실시예에 따라, 단계(S30 내지 S80)를 한 번 반복하는 것을 1 스텝으로 가정하면, 단계(S30 내지 S80)를 s번 반복한 단계는 제s 스텝일 수 있다. T개의 출발 각도가 수렴하는지는, T개의 출발 각도의 제s 스텝에서의 변화량($v_1^s, \dots, v_i^s, \dots, v_T^s$)으로 이루어진 벡터의 크기가 미리 설정된 기준치보다 작은 지로 판단할 수 있다. T개의 출발 각도 중 제i 출발 각도(x_i)의 제s 스텝에서의 변화량(v_i^s)은 $v_i^s = w_1 v_i^{s-1} + w_2 r_2(p_i - x_i^{s-1}) + w_3 r_3(g - x_i^{s-1})$ 에 따라 산출되고, 여기서, r_2 와 r_3 는 제s 스텝에서 무작위로 선택되는 0과 1 사이의 실수, w_1, w_2, w_3 는 미리 설정된 비중 값, x_i^{s-1} 는 제(s-1) 스텝에서의 제i 출발 각도, p_i 는 제s 스텝까지의 s개의 제i 출발 각도들 중에서 경로 비용이 최소인 제i 출발 각도, g 는 상기 최적 출발 각도로서, 제s 스텝까지의 s×T개의 출발 각도들 중에서 총 비용이 최소인 출발 각도인 것을 특징으로 할 수 있다.

[0046] T개의 출발 각도가 수렴하는 경우, T개의 출발 각도 중 제i 출발 각도(x_i)의 제s 스텝에서의 변화량($v_1^s, \dots, v_i^s, \dots, v_T^s$)으로 이루어진 벡터의 크기가 미리 설정된 기준치보다 작은 것을 특징으로 할 수 있다. 상기 벡터

의 크기는 유클리드 노름(Euclidean norm)에 따라 산출되며, 벡터의 크기는 $\sqrt{|v_1^s|^2 + \dots + |v_i^s|^2 + \dots + |v_T^s|^2}$ 에 따라 산출될 수 있다.

- [0047] T개의 출발 각도가 수렴하지 않는 경우, 최적 출발 각도를 기초로 T개의 출발 각도를 변경한다(S80). T개의 출발 각도 중 제i 출발 각도(x_i)가 제(s-1) 스텝에서 제s 스텝으로 변경될 때의 변화량(v_i^s)은 $v_i^s = w_1 v_i^{s-1} + w_2 r_2(p_i - x_i^{s-1}) + w_3 r_3(g - x_i^{s-1})$ 로 단계(S70)에서 산출되는 변화량이다.
- [0048] T개의 출발 각도가 수렴할 때까지 단계(S80)에 따라 변경된 T개의 출발 각도에 대하여, 후보 경로 생성 단계(S30), 경로 비용 산출 단계(S40), 총 비용 산출 단계(S50), 최적 출발 각도 산출 단계(S60), 및 출발 각도 변경 단계(S80)를 반복한다.
- [0049] T개의 출발 각도가 수렴하는 경우, T개의 출발 각도가 수렴하는 출발 각도에 대응하는 후보 경로를 무인기의 최종 경로로 결정한다(S90). T개의 출발 각도가 수렴할 때는 T개의 출발 각도의 제S 스텝에서의 변화량($v_1^S, \dots, v_i^S, \dots, v_T^S$)으로 이루어진 벡터의 크기가 미리 설정된 기준치보다 작은 것을 특징으로 할 수 있다.
- [0050] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따라 복수의 무인기의 경로를 결정하는 변수를 설정하여 최적 경로를 생성하는 과정을 개략적으로 도시한다.
- [0051] 도 3을 참조하면, 본 발명은 복수의 무인기의 초기 위치, 목표 위치, 및 금지 구역을 설정하고, 초기 위치에서 목표 위치까지의 경로를 분할 및 변수화하여 최적의 경로를 생성할 수 있다. 일 실시예에 따르면, 복수의 무인기의 경로에 대한 최적화는 동시에 진행된다. 예를 들어, 최적화하고자 하는 목표 대상은 무인기의 경로와 금지 구역 간의 거리, 무인기의 경로 간 거리, 무인기와 지형 간의 거리, 고정익 무인기에서 경로 지점간의 각도일 수 있다. 상기 목표 대상들을 최적화함으로써 복수의 무인기 각각에 대해 경로점에서의 각도를 조절하여 복수의 무인기의 최적 경로를 생성할 수 있다.
- [0052] 복수의 무인기 각각에 대해 초기 위치 및 목표 위치를 수신할 수 있다(S11). 초기 위치 및 목표 위치는 미리 설정된 위치일 수 있다. 금지 구역은 원으로 가정하여 금지구역의 위치 및 반지름은 미리 설정될 수 있다.
- [0053] 초기 위치 및 목표 위치를 기초로 복수의 무인기의 경로를 결정하는 변수들이 설정될 수 있다(S12). 상기 변수는 무인기의 초기 위치로부터 목표 위치까지의 직선 경로를 일정 간격으로 나누고, 나뉜 지점에서 직선과 수직인 방향으로의 변위로 설정될 수 있다. 상기 나뉜 지점과 무인기의 경로가 만나는 지점은 무인기의 경로점일 수 있다. 본 발명에 따르면, 무인기는 3차원 경로를 생성하는 것이므로 하나의 경로점이 가지는 변수는 2개의 하위 변수를 포함할 수 있다. 하나의 경로점에서의 변수는 제(k-1) 경로점에서 제k 경로점까지의 경로와 상기 제k 경로점에서 제(k+1) 경로점까지의 경로가 이루는 경로 각도로, 2개의 하위 변수는 상기 경로 각도의 방위각 및 고도각으로 설정될 수 있다.
- [0054] 일 실시예에 따르면, 변수는 $[w_i, A]$ 로 설정될 수 있다. $[w_i, A]$ 는 제i 무인기의 제A 경로점이 가지는 변수, 즉 제i 무인기의 제A 경로점에서의 방위각 및 고도각에 관한 정보를 포함할 수 있다. 예를 들어, 도 3을 참조하면 2개 무인기의 경로를 결정하는 변수를 제1 무인기(uav1)에 대해서는 $[[w1,1], [w1,2], \dots, [w1,N-1], [w1,N]]$, 제2 무인기(uav2)에 대해서는 $[[w2,1], [w2,2], \dots, [w2,M-1], [w2,M]]$ 로 설정할 수 있다. 여기서 N은 제1 무인기의 직선 경로를 나눈 개수로, 제1 무인기의 경로점 개수일 수 있다. M은 제2 무인기의 직선 경로를 나눈 개수로, 제2 무인기의 경로점 개수일 수 있다. 경로점에서의 변수는 무작위로 결정될 수 있다.
- [0055] 본 발명에 따른 경로 생성 방법에 의해 최적 경로를 생성할 수 있다(S13). 제1 무인기 및 제2 무인기 각각의 초기 위치에서의 변수($[w1,1], [w2,1]$)에 따라 출발 각도가 결정되고, 제1 무인기 및 제2 무인기는 미리 정의된 경로 비용 함수와 경사 하강법을 이용하여 각각 상기 출발 각도로 출발하여 목표 위치에 도달하는 후보 경로를 생성할 수 있다. 상기 후보 경로로부터 본 발명에 따른 경로 비용 산출 단계, 총 비용 산출 단계, 최적 출발 각도 산출 단계, 출발 각도 변경 단계를 반복(도 2 참조)함으로써 최적 경로를 생성할 수 있다. 최적 경로는 복수의 무인기 각각에 대해 초기 위치에서부터 목표 위치까지 금지 구역과 같은 장애물과 다른 무인기간의 충돌을 피하여 생성된 경로일 수 있다.
- [0056] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따라 복수의 무인기 중 하나의 무인기의 경로 생성 과정을 개략적으로 도시한다.
- [0057] 도 4를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따라 복수의 무인기의 경로 생성 과정 중 하나의 무인기의 경로 생성 과정을 그림으로 도식화한 것이다.
- [0058] 하나의 무인기에서 초기 위치 및 목표 위치는 동일한 것으로 가정할 수 있다. 일 실시예에 따르면, S100 내지

S300 단계를 한 번 진행하는 것을 1스텝으로 가정하고, S100 내지 S300 단계를 s번째 반복했을 때의 단계를 제s 스텝으로 가정할 수 있다.

[0059] 원은 금지구역을 지칭하고, 별은 T개의 초기 경로 및 T개의 후보 경로를 식별하기 위한 것일 수 있다. 예를 들어, 도 4에서 검정색 별에 대응되는 제i 후보 경로는 무인기의 T개의 출발 각도들 중에서 경로 비용(cost)이 최소인 제i 출발 각도를 기초로 생성된 것일 수 있다. 상기 제i 출발 각도를 기초로 T개의 출발 각도를 변경할 수 있다. 도 4에 도시되어 있지는 않지만, 복수의 무인기의 경로를 생성하는 경우, 제s 스텝까지의 s×T개의 출발 각도들 중에서 총 비용이 최소인 출발 각도를 최적 출발 각도로 산출하고, 산출된 최적 출발 각도를 기초로 T개의 출발 각도를 변경할 수 있다(S300).

[0060] 단계(S100)은 도 2의 S10 내지 S40 단계를 그림으로 간략하게 도식화한 것이다. 단계(S100)은 복수의 무인기 각각에 대해 초기 위치 및 목표 위치를 수신하는 수신 단계(도 2의 S10), 초기 위치를 기준으로 T개의 출발 각도를 무작위로 결정하는 초기 출발 각도 결정 단계(도 2의 S20), 미리 정의된 경로 비용 함수와 경사 하강법을 이용하여, 초기 위치에서 T개의 출발 각도로 출발하여 목표 위치에 도달하는 T개의 후보 경로를 각각 생성하는 후보 경로 생성 단계(도 2의 S30), 및 T개의 후보 경로로부터 T개의 경로 비용을 산출하는 경로 비용 산출 단계(도 2의 S40)를 포함한다. 도 4에 도시되어 있지는 않지만, 복수의 무인기 각각이 가지는 T개의 경로 비용과 다른 무인기들의 경로 비용을 포함한 T개의 총 비용을 산출하는 총 비용 산출 단계(도 2의 S50) 및 T개의 총 비용을 포함하는 전체 총 비용들 중에서 최소의 총 비용에 대응하는 최적 출발 각도를 결정하는 최적 출발 각도 산출 단계(도 2의 S60)를 더 포함할 수 있다.

[0061] 단계(S200)은 T개의 출발 각도가 수렴하는지 판단하는 단계로, 도 2의 S70에 대응되는 단계일 수 있다. 상기 T개의 출발 각도가 수렴하는지는, T개의 출발 각도의 제S 스텝에서의 변화량($v_1^S, \dots, v_i^S, \dots, v_T^S$)으로 이루어진 벡터의 크기가 미리 설정된 기준치보다 작은 지 판단하는 것을 특징으로 할 수 있다.

[0062] 단계(S200)에서 T개의 출발 각도가 수렴하지 않는다고 판단된 경우, 단계(S300)을 수행할 수 있다. 단계(S300)은 최적 출발 각도를 기초로 T개의 출발 각도를 변경하는 단계(도 2의 S80)로, 변경된 T개의 출발 각도를 기초로 T개의 초기 경로를 업데이트하여 이후 단계(S100 및 S200)을 반복할 수 있다. 단계(S300)에 도시된 그래프에서 x축 변수는 출발 각도일 수 있다. T개의 출발 각도가 수렴할 때까지, 단계(S100 내지 S300)를 반복할 수 있다.

[0063] 단계(S200)에서 T개의 출발 각도가 수렴한다고 판단된 경우, 즉 T개의 출발 각도의 제S 스텝에서의 변화량($v_1^S, \dots, v_i^S, \dots, v_T^S$)으로 이루어진 벡터의 크기가 미리 설정된 기준치보다 작은 경우, T개의 출발 각도가 수렴하는 출발 각도에 대응하는 후보 경로를 무인기의 최종 경로로 결정할 수 있다(S400). 상기 벡터의 크기는 유클리드 노름(Euclidean norm)을 이용해서 산출될 수 있다.

[0064] 도 5는 본 발명의 경로 생성 방법의 유효성을 확인하기 위해 동일한 환경에서 시뮬레이션을 수행하여 경사 하강법을 통해 생성된 경로와 본 발명에 따라 생성된 경로를 비교한 결과를 도시한다. 상기 시뮬레이션의 경우, Matlab 환경에서 프로그래밍된 알고리즘과 지형 설정 코드를 통해 수행될 수 있다. 예를 들어, 미리 설정된 가중치 값($W_{obs}, W_g, W_{uav}, W_{th}$)들은 다수의 시뮬레이션 시행을 통해 선정될 수 있으며, 각각 5, 2, 3, 7로 선정될 수 있다. 금지구역은 3개로 설정될 수 있으며, 금지구역 3개의 위치는 각각 [1.0, 1.1], [1.8, 1.2], [1.1, 2.2] km이고, 각각 2.5, 1.5, 3.5 km의 반지름을 가질 수 있다. 지형 정보는 고도 0m 에서 50m 이내에서 무작위하게 생성될 수 있다.

[0065] 도 5는 3개의 무인기의 경로 생성 결과로 도 5a와 도 5c는 경사 하강법에 따라 생성된 무인기의 경로 결과, 도 5b와 도 5d는 본 발명에 따라 생성된 무인기의 경로 결과이다. 예를 들어, 도 5에서 삼각형은 각 무인기의 초기 위치, 별 모양은 목표 위치를 나타내며, 두 지점을 잇는 생성된 경로 중 실선은 제1 무인기의 경로, 점선은 제2 무인기의 경로, 1점 쇄선은 제3 무인기의 경로일 수 있다.

[0066] 도 5a는 경사 하강법에 따라 복수의 무인기에 의해 생성된 경로를 개략적으로 도시한다. 도 5b는 본 발명의 일 실시예에 따라 복수의 무인기에 의해 생성된 경로를 개략적으로 도시한다.

[0067] 도 5a 및 도 5b에 따르면, 고도 정보는 음영으로 표현될 수 있고, 흰색 영역과 점 영역의 중심(약 [1.5, 2.0] km 지점)은 각각 0m 에서 40m 를 나타내며 원은 금지 구역을 나타낼 수 있다. 제3 무인기의 경로는 경사 하강법을 이용하여 생성된 경로(도 5a)와 본 발명에 따라 생성된 경로(도 5b)가 비슷하나, 제1 무인기 및 제2 무인기

의 경로는 초기 값으로 인해 도 5b에서 도 5a와 비교해 더 짧은 경로로 수렴한 것을 알 수 있다.

- [0068] 도 5c는 경사 하강법에 따라 복수의 무인기에 의해 생성된 경로의 측면을 개략적으로 도시한다. 도 5c는 도 5a의 경로를 x축이나 y축에 수평하지 않은 비스듬한 측면에서 바라본 경로를 도시한 것으로 도 5c의 가로축은 도 5a의 x축 (0 1000 2000 3000), 도 5a의 y축 (0 2000)에 대응되는 값일 수 있다.
- [0069] 도 5d는 본 발명의 일 실시예에 따라 복수의 무인기에 의해 생성된 경로의 측면을 개략적으로 도시한다. 도 5d는 도 5b의 경로를 x축이나 y축에 수평하지 않은 비스듬한 측면에서 바라본 경로를 도시한 것으로 도 5d의 가로축은 도 5b의 x축 (0 1000 2000 3000), 도 5b의 y축 (0 2000)에 대응되는 값일 수 있다. 도 5c 및 도 5d에 따르면, 지형 정보는 음영(점 영역)으로, 금지구역은 사선 영역으로 표현될 수 있고, 세로축인 z축은 고도를 나타낼 수 있다.
- [0070] 도 5c 및 도 5d에 따르면, 제3 무인기 경로는 도 5c와 도 5d에서 비슷하나 제1 무인기 및 제2 무인기의 경로는 초기 값으로 인해 비교적 급격한 경로로 수렴하는 것을 알 수 있다. 제2 무인기 경로의 경우 도 5a 및 도 5b의 비교를 통해서도 경로가 줄어든 것이 확인되지만, 도 5c에서 지형 정보에 따른 언덕 지형을 넘기 위해 20 m까지 올라갔던 고도가 도 5d에서는 5 m까지 감소하여 경로가 짧아진 것을 확인할 수 있다.
- [0071] 도 6a는 경사 하강법에 의해 생성된 경로와 본 발명의 일 실시예에 의해 생성된 경로의 경로 비용(cost)의 차를 무인기의 개수에 따라 개략적으로 도시한다. 도 6b는 경사 하강법에 의해 생성된 경로와 본 발명의 일 실시예에 의해 생성된 경로의 경로 비용의 차를 금지 구역의 개수에 따라 개략적으로 도시한다.
- [0072] 도 6a 및 도 6b에 따르면, 다양한 환경에서의 본 발명에 따른 성능 확인을 위해 무인기 개수를 1에서 5 사이 무작위수(도 6a), 금지구역 개수는 1에서 10 사이의 무작위수(도 6b), 무인기들의 초기 위치, 목표 위치, 및 장애물들의 위치 및 지름을 범위 내에서 무작위하게 생성하여 본 발명에 따른 경로 생성 방법을 반복하여 시뮬레이션을 진행할 수 있다. 도 6a 및 도 6b에 명시적으로 값이 도시되어 있지는 않으나 시뮬레이션 결과에 따른 도 6a 및 도 6b의 그래프 값들을 기초로 경로 비용의 평균과 최댓값을 산출할 수 있다. 경사 하강법을 이용하여 경로를 생성한 경우(도 6a) 경로 비용의 평균, 최댓값이 각각 5576, 78616으로 산출되었으며, 본 발명에 따라 경로를 생성한 경우(도 6b) 경로 비용의 평균과 최댓값이 각각 2268, 34697로, 두 배 이상 낮게 나와 경사 하강법을 이용한 경우 보다 본 발명을 이용하여 경로를 생성한 경우에 더 효율적으로 복수의 무인기의 경로를 생성하는 것을 알 수 있다. 무인기 개수와 금지구역의 개수가 증가하여 지역적 최솟값이 나오기 쉬운 환경일수록 경로 비용의 차이가 커지며 본 발명에 따라 생성된 무인기의 경로가 경사 하강법에 따라 생성된 무인기의 경로보다 효율적임을 알 수 있다.
- [0073] 도 7은 본 발명의 다른 실시예에 따라 두 대의 무인기를 시뮬레이션 하여 생성된 경로 결과를 도시한다. 도 7의 일 실시예의 결과에 따라 금지 구역 및 지형으로부터 안전거리를 유지하는 복수의 무인기의 경로 생성이 가능할 수 있다.
- [0074] 도 7a는 본 발명의 다른 실시예에 따라 두 대의 무인기에 의해 생성된 경로를 2차원 평면에서 개략적으로 도시한다. 도 7a에 따르면, 도 6a 및 도 6b와 같은 3개의 금지구역(도 7a의 원)이 적용되었으며, 무작위로 생성된 지형 정보가 적용될 수 있다. 예를 들어, 지형 정보는 고도 정보로서 음영으로 표현될 수 있고, 흰색 영역은 0m를 각각의 음영은 각각의 고도를 나타낼 수 있다.
- [0075] 도 7b는 본 발명의 다른 실시예에 따라 두 대의 무인기에 의해 생성된 경로를 3차원 공간에서 개략적으로 도시한다. 도 7b는 2차원 평면에서 생성된 무인기의 경로(도 7a)를 3차원 공간에서 도시한 것이다. 실선은 제1 무인기의 경로이고, 점선은 제2 무인기의 경로, 삼각형은 초기 위치, 별 모양은 목표 위치일 수 있다.
- [0076] 도 7c는 본 발명의 다른 실시예에 따라 두 대의 무인기가 이동한 위치 경로를 도시한다.
- [0077] 도 7c를 참조하면, 무인기가 이동한 위치 경로는 3차원에서 생성되는 경로이므로, 도 7c(a)는 무인기의 x축 방향으로의 위치 경로, 도 7c(b)는 무인기의 y축 방향으로의 위치 경로, 및 도 7c(c)는 무인기의 z축 방향으로의 위치 경로일 수 있다. 도 7c에 따르면, 실선은 제1 무인기의 경로, 점선은 제2 무인기의 경로일 수 있다.
- [0078] 도 7d는 본 발명의 다른 실시예에 따라 두 대의 무인기 중 하나의 무인기의 경로 정보를 그래프로 도시한다.
- [0079] 도 7d를 참조하면, 제1 무인기의 경로 정보로, 도 7d(a)는 제1 무인기가 생성한 경로의 금지구역으로부터의 최소 거리, 도 7d(b)에서 실선은 제1 무인기의 고도, 1점 쇄선은 지형 고도를 나타낼 수 있다. 예를 들어 도 7d에 따르면, 제1 무인기의 경우 운행 중 금지구역과의 최소 거리는 약 126m, 지형으로부터의 최소 거리는 약 13m 정

도입을 확인할 수 있다.

[0080] 도 7e는 본 발명의 다른 실시예에 따라 두 대의 무인기 중 다른 하나의 무인기의 경로 정보를 그래프로 도시한다.

[0081] 도 7e를 참조하면, 제2 무인기의 경로 정보로, 도 7e(a)는 제2 무인기가 생성한 경로의 금지구역으로부터의 최소 거리, 도 7e(b)에서 점선은 제2 무인기의 고도, 1점 쇄선은 지형 고도를 나타낼 수 있다. 예를 들어 도 7e에 따르면, 제2 무인기의 경우 운행 중 금지구역과의 최소 거리는 약 128m, 지형으로부터의 최소 거리는 약 11m 정도임을 확인할 수 있다.

[0082] 이상, 일부 예를 들어서 본 발명의 바람직한 여러 가지 실시 예에 대해서 설명하였지만, 본 "발명을 실시하기 위한 구체적인 내용" 항목에 기재된 여러 가지 다양한 실시 예에 관한 설명은 예시적인 것에 불과한 것이며, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이상의 설명으로부터 본 발명을 다양하게 변형하여 실시하거나 본 발명과 균등한 실시를 행할 수 있다는 점을 잘 이해하고 있을 것이다.

[0083] 또한, 본 발명은 다른 다양한 형태로 구현될 수 있기 때문에 본 발명은 상술한 설명에 의해서 한정되는 것이 아니며, 이상의 설명은 본 발명의 개시 내용이 완전해지도록 하기 위한 것으로 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 본 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것일 뿐이며, 본 발명은 청구범위의 각 청구항에 의해서 정의될 뿐임을 알아야 한다.

부호의 설명

[0084] 1000 : 컴퓨팅 장치

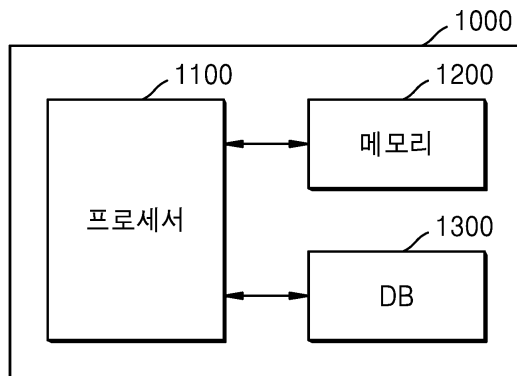
1100 : 프로세서

1200 : 메모리

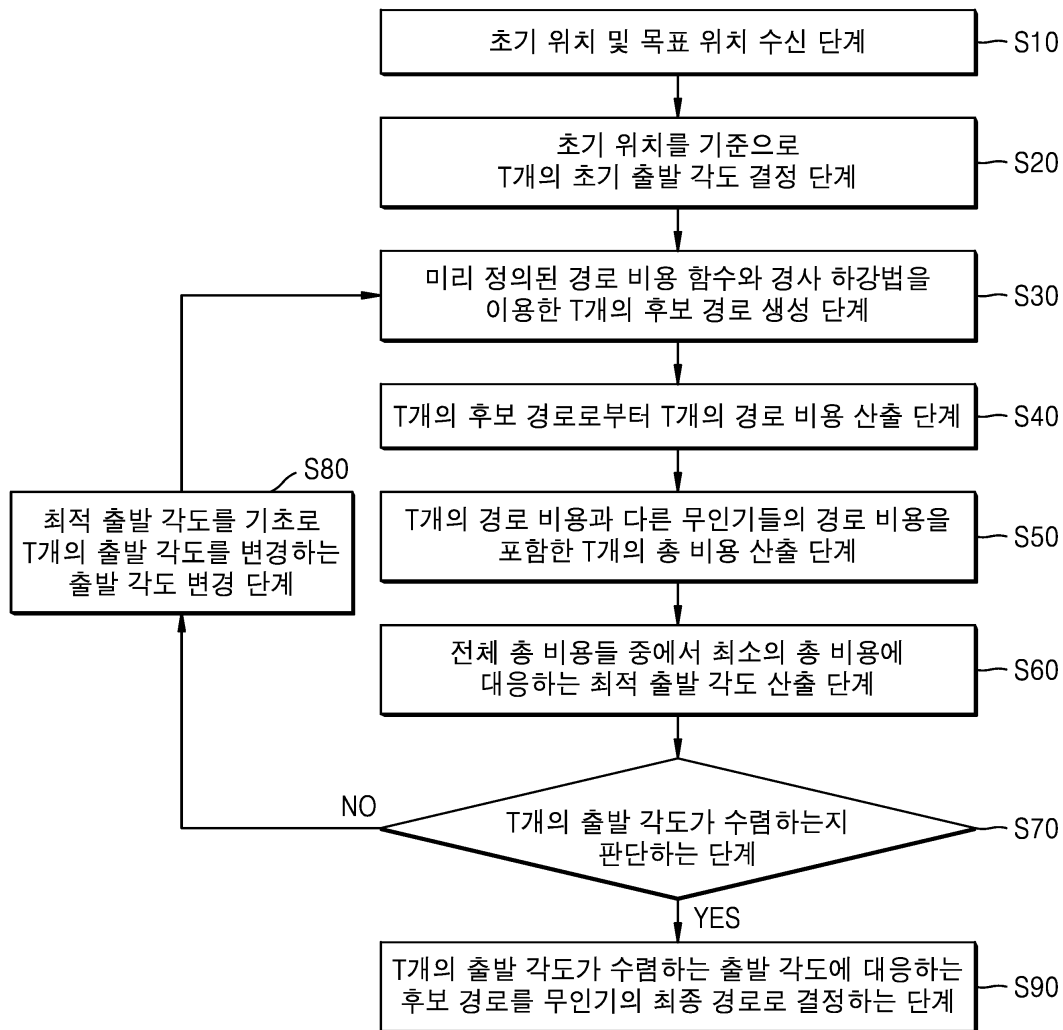
1300 : DB

도면

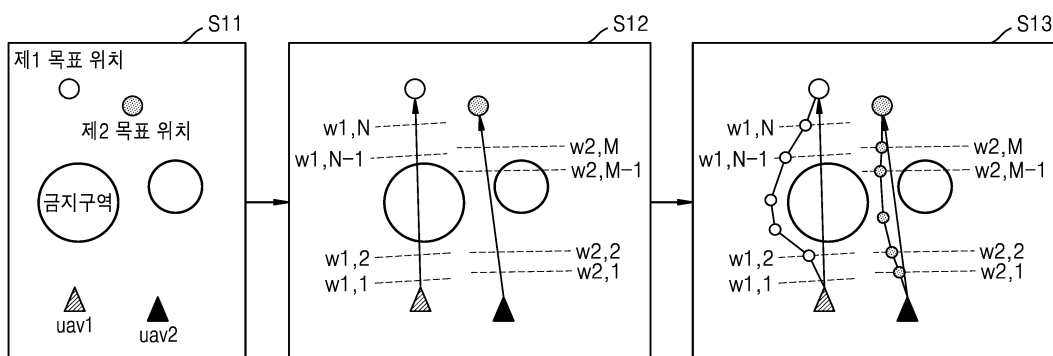
도면1



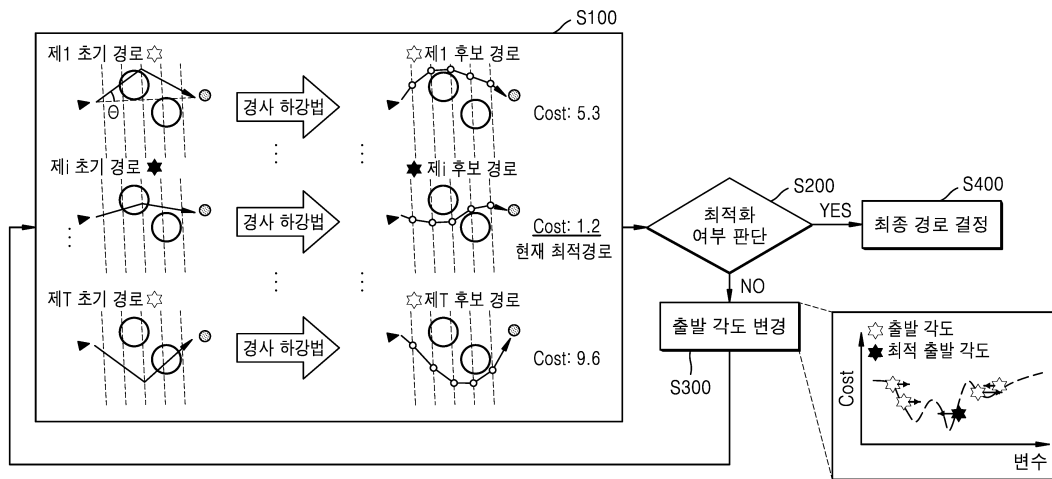
도면2



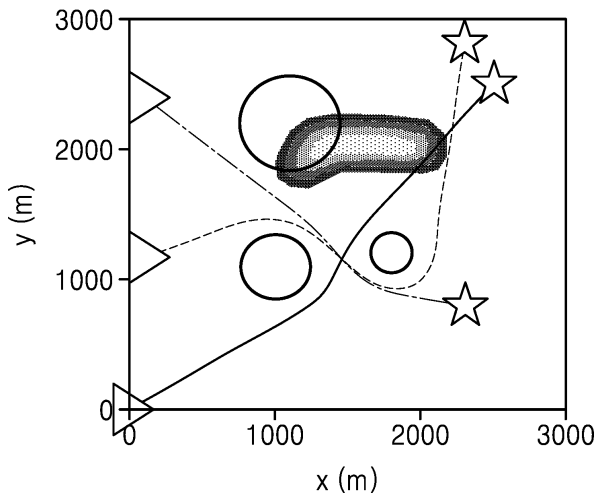
도면3



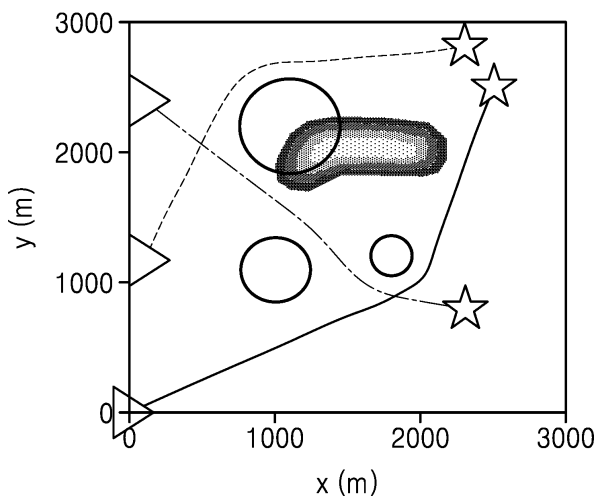
도면4



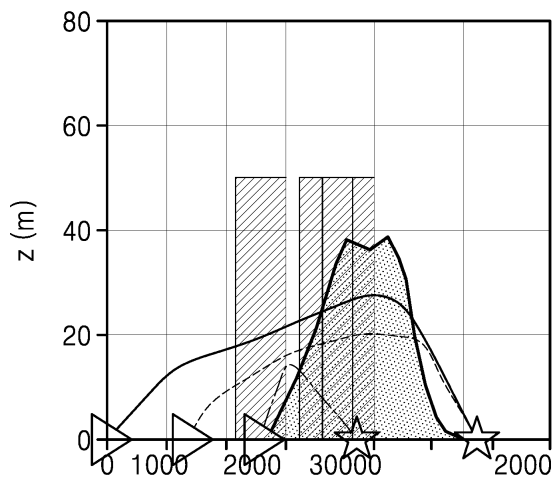
도면5a



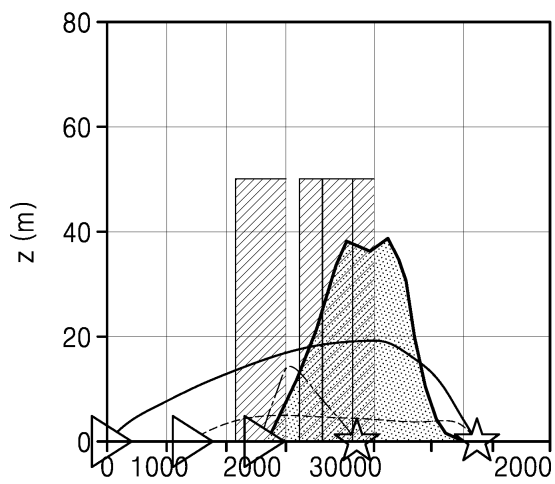
도면5b



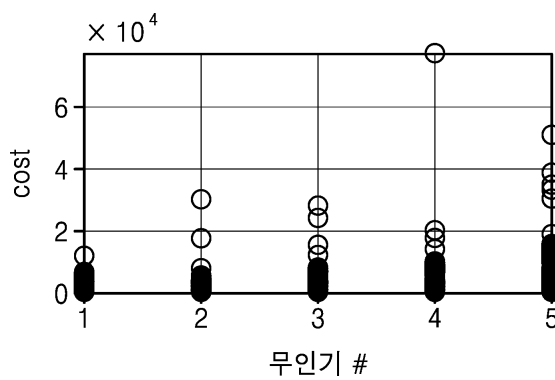
도면5c



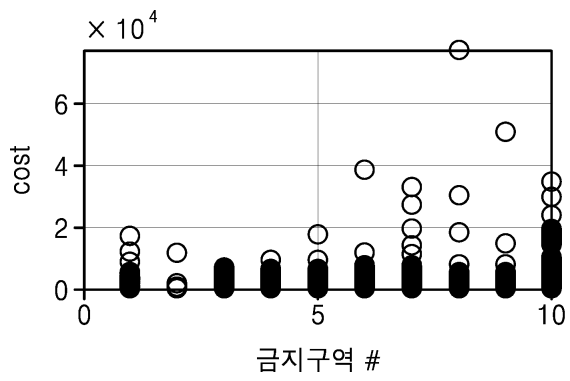
도면5d



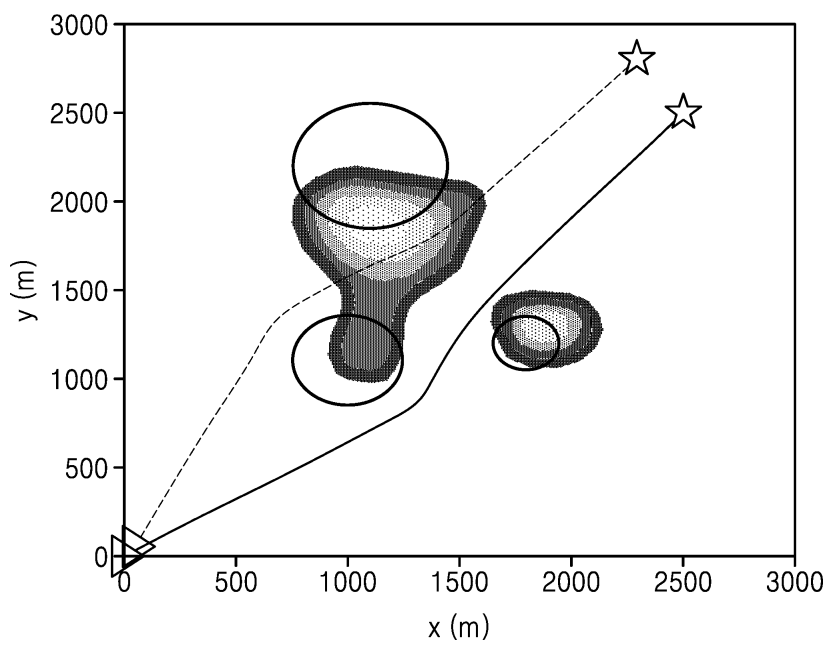
도면6a



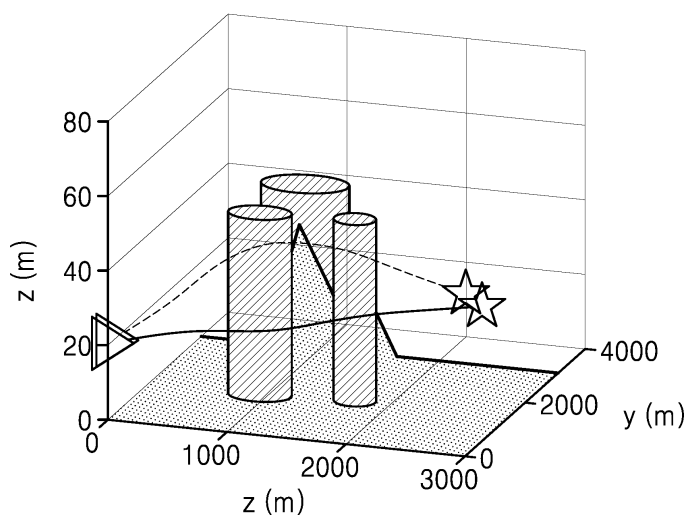
도면6b



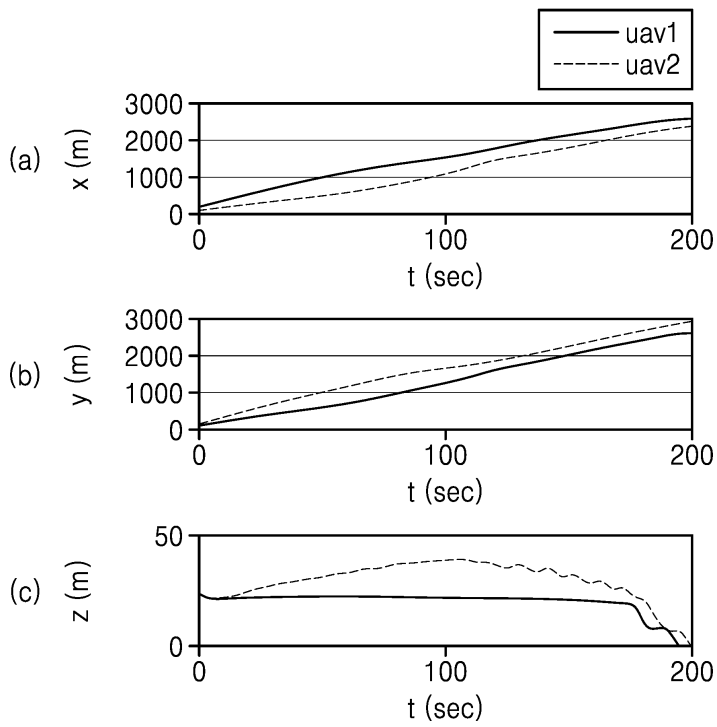
도면7a



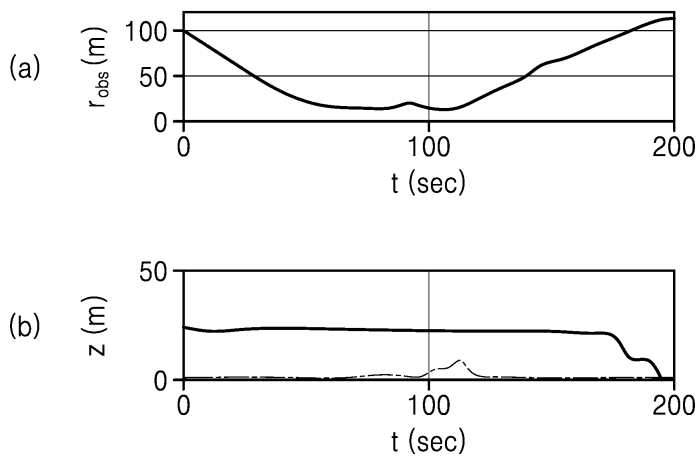
도면7b



도면7c



도면7d



도면7e

