

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0140098

(43) 공개일자 2022년10월18일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G08G 5/00 (2006.01) G05D 1/02 (2020.01)

G08G 5/04 (2006.01)

(52) CPC특허분류

G08G 5/0043 (2013.01)

G05D 1/0202 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2021-0046138

(22) 출원일자 2021년04월08일

심사청구일자 2021년04월08일

(71) 출원인

인하대학교 산학협력단

인천광역시 미추홀구 인하로 100(용현동, 인하대학교)

(72) 발명자

유창경

인천광역시 연수구 해돋이로 107, (송도동, 더샵퍼스트월드)4동 903호

김정훈

인천광역시 미추홀구 한나루로463번길 98, (용현동) 주은빌 205호

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

특허법인아이더스

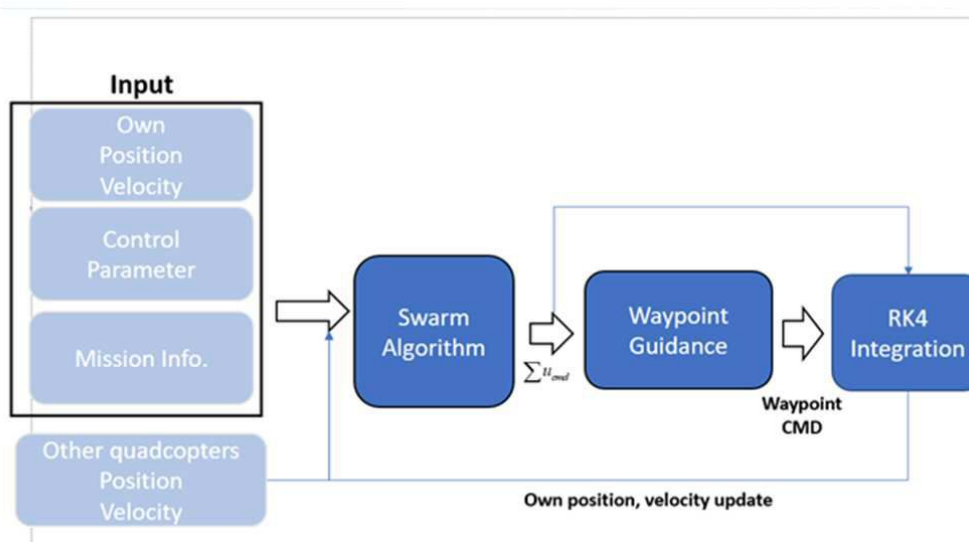
전체 청구항 수 : 총 9 항

(54) 발명의 명칭 군집지능을 이용한 복수 무인기의 자율 비행 제어방법

(57) 요약

본 발명은 군집지능을 이용한 복수 무인기의 자율 비행 제어방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 다른 무인 비행체의 위치 및 속도 정보와 임무정보 및 제어상수 등을 입력받아 군집 비행 중인 무인 비행체들의 인력과 척력 즉, 무인 비행체들 사이의 거리를 좁히는 방향과 멀어지는 방향으로의 제어가 가능하도록 하여 개별 무인기들에 대한 중앙의 통제 또는 별도의 선도 무인기 없이도 자율적 비행이 가능하도록 함으로써 지진, 화재 등의 환경적으로 위험이 큰 재난 상황에서의 생존자 탐색 등의 임무를 보다 효율적으로 수행할 수 있도록 하는 군집지능을 이용한 복수 무인기의 자율 비행 제어방법에 관한 것이다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

G08G 5/045 (2013.01)

(72) 발명자

박국권

충청북도 증평군 증평읍 초중10길 41, 가온빌 402호

김문정

서울특별시 중랑구 봉화산로56길 123, (신내동, 중앙하이츠아파트)3동 1403호

김효중

경기도 김포시 통진읍 김포대로 2282, 201동 1401호 (마송2차 현대아파트)

명세서

청구범위

청구항 1

군집지능을 이용한 복수 무인기의 비행 제어방법에 있어서,
 상기 무인기의 위치 및 속도 데이터를 수신하여 군집 알고리즘에 입력하는 데이터 입력단계와,
 상기 군집 알고리즘에 입력된 데이터를 이용하여 무인기들의 가속도를 산출하는 가속도 산출단계와,
 상기 군집 알고리즘에 의해 산출된 무인기의 가속도를 경로점 유도 모듈(Waypoint Guidance)을 이용하여 경로점 정보로 전환시키는 경로점 유도단계 및
 상기 경로점 유도 모듈에 의해 전환된 경로점을 이용하여 각 무인기의 경로점 명령을 산출하는 경로점 명령단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 군집지능을 이용한 복수 무인기의 자율 비행 제어방법.

청구항 2

제 1항에 있어서,
 상기 경로점 명령단계에서의 전송된 경로점으로서의 이동이 완료된 무인기의 위치 및 속도 데이터는 다시 군집 알고리즘으로 입력되어 새로운 경로점 생성에 사용되는 것을 특징으로 하는 군집지능을 이용한 복수 무인기의 자율 비행 제어방법.

청구항 3

제 1항에 있어서,
 상기 데이터 입력단계에서는 무인기의 임무 정보와, 상기 임무 정보에 따른 제어상수 및 댐핑계수가 군집 알고리즘에 추가적으로 입력되는 것을 특징으로 하는 군집지능을 이용한 복수 무인기의 자율 비행 제어방법.

청구항 4

제 1항에 있어서,
 상기 무인기들 사이의 근거리 통신에 의한 위치 및 속도 정보 교환을 통해 다수의 무인기들이 자체적으로 대형을 형성 및 유지하는 대형 형성 및 유지단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 군집지능을 이용한 복수 무인기의 자율 비행 제어방법.

청구항 5

제 4항에 있어서,
 상기 대형 형성 및 유지단계는,
 무인기들 사이의 상대 거리 및 상대 속도 정보를 이용하여 서로 간의 충돌을 회피하는 충돌회피단계와,
 상기 무인기와 임무경계 사이의 상대 거리 정보를 이용하여 무인기가 임무 경계를 벗어나는 것을 방지하는 임무경계 유지단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 군집지능을 이용한 복수 무인기의 자율 비행 제어방법.

청구항 6

제 5항에 있어서,

상기 충돌회피단계에서는,

$$\vec{U}_i = \begin{cases} \sum_{j=1, j \neq i}^N \left(\frac{k}{|\vec{d}_{ij}|^2} \cdot \frac{\vec{d}_{ij}}{|\vec{d}_{ij}|} + c\vec{d}_{ij} \right), & |d_{ij}| > d_{ref} \\ \sum_{j=1, j \neq i}^N \left(\frac{k}{|\vec{d}_{ij}|^2} \cdot \frac{\vec{d}_{ji}}{|\vec{d}_{ij}|} + c\vec{d}_{ij} \right), & |d_{ij}| \leq d_{ref} \end{cases}$$

에 의해 무인기들이 자체적으로 대형을 형성하는 것을 특징으로 하는 군집지능을 이용한 복수 무인기의 자율 비행 제어방법.

(여기서, $\vec{U}_i$ 는 i번째 무인기에 작용하는 다른 무인기와의 제어명령 합벡터, N은 운용되는 무인기의 개수, k는 제어상수, c는 댐핑계수, $\vec{d}_{ij}$ 는 i번째 무인기와 j번째 무인기 사이의 상대거리 및 d_{ref} 는 무인기 사이의 대형 유지를 위한 기준거리를 의미하는 것임.)

청구항 7

제 6항에 있어서,

상기 제어상수(k) 및 댐핑계수(c)는 무인기들의 대형 형성 속도가 빠르고 밀집도가 높을 수록 크게 설정되는 것을 특징으로 하는 군집지능을 이용한 복수 무인기의 자율 비행 제어방법.

청구항 8

제 5항에 있어서,

상기 임무경계 유지단계에서는,

$$\vec{U}_i = \begin{cases} 0, & |d_{ib}| > d_{ref} \\ \sum_{j=1, j \neq i}^N \left(\frac{k}{|\vec{d}_{ib}|^2} \cdot \frac{\vec{d}_{bi}}{|\vec{d}_{ib}|} \right), & |d_{ib}| \leq d_{ref} \end{cases}$$

에 의해 무인기들이 자체적으로 임무경계를 벗어나지 않는 것을 특징으로 하는 군집지능을 이용한 복수 무인기의 자율 비행 제어방법.

(여기서, $\vec{U}_i$ 는 i번째 무인기와 임무경계 사이에 작용하는 제어명령 합벡터, N은 운용되는 무인기의 개수, k는 제어상수, $\vec{d}_{ib}$ 는 i번째 무인기와 임무경계 사이의 상대거리 및 d_{ref} 는 무인기와 임무경계 사이의 충돌 회피를 위한 기준거리를 의미하는 것임.)

청구항 9

제 5항에 있어서,

상기 충돌회피단계와 임무경계 유지단계는 상기 가속도 산출단계에서의 가속도 산출에 활용될 수 있는 것을 특징으로 하는 군집지능을 이용한 복수 무인기의 자율 비행 제어방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 군집지능을 이용한 복수 무인기의 자율 비행 제어방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 다른 무인 비행체의 위치 및 속도 정보와 임무정보 및 제어상수 등을 입력받아 군집 비행 중인 무인 비행체들의 인력과 척력 즉, 무인 비행체들 사이의 거리를 좁히는 방향과 멀어지는 방향으로의 제어가 가능하도록 하여 개별 무인기들에 대한 중앙의 통제 또는 별도의 선도 무인기 없이도 자율적 비행이 가능하도록 함으로써 지진, 화재 등의 환경적으로 위험이 큰 재난 상황에서의 생존자 탐색 등의 임무를 보다 효율적으로 수행할 수 있도록 하는 군집지능을 이용한 복수 무인기의 자율 비행 제어방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 최근 들어 산업발달과 그에 따른 환경적인 요인 등을 이유로 하여, 화재, 지진, 홍수 등의 재난 사고의 발생이 증가하고 있다.

[0004] 이러한 재난 사고의 발생시, 인명 구조를 위한 탐색 작업이 이루어지는데, 기존의 탐색 작업에서는 주로 군용 무인기가 이용되고 있다.

[0005] 하지만, 군용 무인기의 경우 운용 비용이 많이 소요될 뿐만 아니라, 광역 탐색 임무를 수행하여야 하는 경우 한 두대의 군용 무인기를 이용하는 것이 시간 및 정확성 등의 측면에서 비효율적이므로 최근에는 저가의 소형 무인기 다수를 운용하는 시스템에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다.

[0006] 이러한, 다수의 소형 무인기를 운용하기 위한 대표적인 시스템은 곤충이나 동물의 집단에서 나타나는 지능적인 움직임에 모티브를 둔 군집지능(Swarm Intelligence)을 활용한 방법이 대표적인데, 재난 상황과 같은 광범위하고 불확실한 임무 환경에서 복수의 무인기를 동시에 운용할 경우, 한 두 대의 무인기로는 수행이 불가능한 다양한 임무 수행이 가능하고, 무인기 별 유효 임무 수행 영역이 감소되므로 임무 수행시간이 단축될 뿐만 아니라, 일부 무인기가 고장 등에 의해 비행이 불가능하더라도 나머지 무인기들에 의해 임무 수행이 가능하므로 임무의 성공률이 증가하고, 전자광학(EO)/적외선(IR) 장비, 영상레이더(SAR) 장비, 통신중계기 등 상이한 임무장비를 장착한 무인기들이 무리를 이루어 비행하므로 다양한 정보 획득이 가능하다는 장점이 있다.

[0007] 이와 같은, 복수의 무인기를 이용하는 시스템의 일례로 대한민국 등록특허공보 제10-2010568호에는 다수의 무인 비행체 시스템과 군집 지능을 사용한 현실 3D 공간 탐색 시스템 및 방법이 게재되어 있다.

[0008] 상기 종래기술은 다수의 무인비행체(UAV)인 드론들에 대하여 군집 기반 탐색최적화 알고리즘(Swarm-based Optimization Algorithm)의 원리에 따라 군집 드론의 각각의 드론의 최대 가속도와 최대 속도, 위치 정보를 실시간으로 군집 제어 서버에서 수집 공유하며, 제어 컴퓨터와 군집 탐색 알고리즘(Swarm Search)이 적용된 군집 제어 서버를 구비한 군집 제어 시스템의 제어에 따라 지능적으로 드론 군집을 탐색하여 드론 개체간 교차 방지, 이동체 수렴 방식을 제어하여 충돌을 방지하도록 각 드론의 다음 이동 위치를 결정하며, 빠르고 정확하게 탐색 결과를 얻을 수 있도록 구성된 것에 기술적 특징이 있으나, 다수의 드론을 군집 제어 서버에 의해 1: N 방식에 의해 제어하므로 제어해야 하는 드론의 개수가 증가할수록 운용 성능이 저하될 수 있는 문제점이 있다.

[0009] 즉, 상기 종래기술은 각각의 드론의 최대 가속도와 최대 속도, 위치 정보를 실시간으로 군집 제어 서버로 수집 공유하고, 상기 군집 제어 서버가 드론 군집을 탐색하고, 원격 제어에 의해 1: N 방식으로 사전에 각 드론의 최대 속도와 최대 가속도를 반영하여 각각의 드론의 충돌을 감지하고 드론 개체간 교차를 방지하며, t-1 시점 후에 t 시점의 각각의 드론의 다음 이동 위치를 결정하고, 각각의 드론으로 다음 이동 위치, 속도, 가속도를 포함하는 제어 명령을 전송하는 방식에 의해 드론의 비행을 제어하는데, 상기와 같은 제어방법은 다수의 드론의 위치를 각각 연산하여 파악하고, 파악된 드론의 위치를 기준으로 하여 드론의 충돌 위험을 개별적으로 연산하여야 할 뿐만 아니라, 각 시점마다의 드론의 위치를 개별적으로 연산하여 모든 드론의 다음 위치를 개별적으로 제어해야 하므로, 드론의 숫자가 증가할수록 늘어나는 연산의 양이 급증하게 되고, 그에 따라 실시간으로 수행되어야 하는 드론의 제어가 어려울 뿐만 아니라 통신에 대한 의존도가 높아지므로 통신이 불가능하거나 잘 이루어지지 않는 지역에서의 임무에는 사용될 수 없고, 드론의 자율 비행 또한 불가능하다는 문제점이 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0011] (특허문헌 0001) 1. 대한민국 등록특허공보 제10-2010568호(2019. 08. 07. 등록)

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0012] 본 발명은 상기와 같은 종래기술의 문제점들을 해결하기 위하여 안출된 것으로 본 발명의 목적은 군집알고리즘을 통해 연산된 가속도를 경로점 정보로 전환하여 경로점 명령으로 산출함으로써 다수 무인기들의 자율 비행이 가능하도록 하고, 그에 따라 지진, 화재 등의 환경적으로 위험이 큰 재난 상황에서 복수의 무인기를 운용하여 효율적으로 생존자를 탐색할 수 있도록 하는 군집지능을 이용한 복수 무인기의 자율 비행 제어방법을 제공함에 있다.
- [0013] 또한, 본 발명은 각각의 무인기가 주변 무인기들의 정보를 이용하여 자율적인 행동양식으로 대형을 형성하도록 함으로써 임무에 투입되는 무인기 수의 증가에 따른 연산량 증가가 최소화될 수 있고, 일부 무인기가 임무를 실패하여도 나머지 무인기들에 의한 임무 수행이 가능하므로 임무 수행에 대한 강건성을 향상시킬 수 있는 군집지능을 이용한 복수 무인기의 자율 비행 제어방법을 제공함에 다른 목적이 있다.
- [0014] 또한, 본 발명은 중앙의 통제를 최소화할 수 있고, 선도 무인기가 불필요하며, 대형 내에서 각 무인기의 위치가 정해질 필요가 없으므로 탐색 지형에 따른 효율적 탐색이 가능한 대형을 자유롭게 형성시킬 수 있도록 하는 군집지능을 이용한 복수 무인기의 자율 비행 제어방법을 제공함에 또 다른 목적이 있다.

과제의 해결 수단

- [0016] 상기와 같은 목적들을 달성하기 위한 본 발명은,
- [0017] 군집지능을 이용한 복수 무인기의 비행 제어방법에 있어서, 상기 무인기의 위치 및 속도 데이터를 수신하여 군집 알고리즘에 입력하는 데이터 입력단계와, 상기 군집 알고리즘에 입력된 데이터를 이용하여 무인기들의 가속도를 산출하는 가속도 산출단계와, 상기 군집 알고리즘에 의해 산출된 무인기의 가속도를 경로점 유도 모듈(Waypoint Guidance)을 이용하여 경로점 정보로 전환시키는 경로점 유도단계 및 상기 경로점 유도 모듈에 의해 전환된 경로점을 이용하여 각 무인기의 경로점 명령을 산출하는 경로점 명령단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0018] 이때, 상기 경로점 명령단계에서의 전송된 경로점으로서의 이동이 완료된 무인기의 위치 및 속도 데이터는 다시 군집 알고리즘으로 입력되어 새로운 경로점 생성에 사용되는 것을 특징으로 한다.
- [0019] 또한, 상기 데이터 입력단계에서는 무인기의 임무 정보와, 상기 임무 정보에 따른 제어상수 및 댐핑계수가 군집 알고리즘에 추가적으로 입력되는 것을 특징으로 한다.
- [0020] 그리고, 상기 무인기들 사이의 근거리 통신에 의한 위치 및 속도 정보 교환을 통해 다수의 무인기들이 자체적으로 대형을 형성 및 유지하는 대형 형성 및 유지단계를 더 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0021] 여기서, 상기 대형 형성 및 유지단계는, 무인기들 사이의 상대 거리 및 상대 속도 정보를 이용하여 서로 간의 충돌을 회피하는 충돌회피단계와, 상기 무인기와 임무경계 사이의 상대 거리 정보를 이용하여 무인기가 임무 경계를 벗어나는 것을 방지하는 임무경계 유지단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0022] 이때, 상기 충돌회피단계에서는,

$$\vec{U}_i = \begin{cases} \sum_{j=1, j \neq i}^N \left(\frac{k}{|\vec{d}_{ij}|^2} \cdot \frac{\vec{d}_{ij}}{|\vec{d}_{ij}|} + c\vec{d}_{ij} \right), & |\vec{d}_{ij}| > d_{ref} \\ \sum_{j=1, j \neq i}^N \left(\frac{k}{|\vec{d}_{ij}|^2} \cdot \frac{\vec{d}_{ji}}{|\vec{d}_{ij}|} + c\vec{d}_{ij} \right), & |\vec{d}_{ij}| \leq d_{ref} \end{cases}$$

[0023] 에 의해 무인기들이 자체적으로 대형을 형성하는 것을 특징으로 한다. (여기서, $\vec{U}_i$ 는 i번째 무인기에 작용하는 다른 무인기와의 제어명령 합벡터, N은 운용되는 무인기의 개수, k는 제어상수, c는 댐핑계수, $\vec{d}_{ij}$ 는 i번째 무인기와 j번째 무인기 사이의 상대거리 및 d_{ref} 는 무인기 사이의 대형 유지를 위한 기준거리를 의미하는 것임.)

[0024] 그리고, 상기 제어상수(k) 및 댐핑계수(c)는 무인기들의 대형 형성 속도가 빠르고 밀집도가 높을 수록 크게 설정되는 것을 특징으로 한다.

[0025] 또한, 상기 임무경계 유지단계에서는,

$$\vec{U}_i = \begin{cases} 0, & |\vec{d}_{ib}| > d_{ref} \\ \sum_{j=1, j \neq i}^N \left(\frac{k}{|\vec{d}_{ib}|^2} \cdot \frac{\vec{d}_{bi}}{|\vec{d}_{ib}|} \right), & |\vec{d}_{ib}| \leq d_{ref} \end{cases}$$

[0026] 에 의해 무인기들이 자체적으로 임무경계를 벗어나지 않는 것을 특징으로 한다. (여기서, $\vec{U}_i$ 는 i번째 무인기와 임무경계 사이에 작용하는 제어명령 합벡터, N은 운용되는 무인기의 개수, k는 제어상수, $\vec{d}_{ib}$ 는 i번째 무인기와 임무경계 사이의 상대거리 및 d_{ref} 는 무인기와 임무경계 사이의 충돌 회피를 위한 기준거리를 의미하는 것임.)

[0027] 그리고, 상기 충돌회피단계와 임무경계 유지단계는 상기 가속도 산출단계에서의 가속도 산출에 활용될 수 있는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0029] 본 발명에 따르면, 개별 무인기에 탑재될 수 있는 군집알고리즘을 통해 연산된 가속도를 경로점 정보로 전환하여 경로점 명령으로 산출함으로써 다수 무인기들의 자율 비행이 가능하도록 하고, 그에 따라 지진, 화재 등의 환경적으로 위험이 큰 재난 상황에서 복수의 무인기를 운용하여 효율적으로 생존자를 탐색할 수 있는 뛰어난 효과를 갖는다.

[0030] 또한, 본 발명에 따르면 각각의 무인기가 주변 무인기들의 정보를 이용하여 자율적인 행동양식으로 대형을 형성하도록 함으로써 임무에 투입되는 무인기 수의 증가에 따른 연산량 증가가 최소화될 수 있고, 일부 무인기가 임무를 실패하여도 나머지 무인기들에 의한 임무 수행이 가능하므로 임무 수행에 대한 강건성을 향상시킬 수 있는 효과를 추가로 갖는다.

[0031] 또한, 본 발명에 따르면 중앙의 통제를 최소화할 수 있고, 그에 따라 통신에 대한 의존도를 최소화할 수 있을 뿐만 아니라, 관제사의 피로도를 줄일 수 있는 효과를 추가로 갖는다.

[0032] 또한, 본 발명에 따르면 제어상수와 댐핑계수를 포함하는 설계변수의 변경을 통해 다수의 무인기가 투입되는 임무의 종류에 따라 무인기의 대형 변화 과정의 유동성을 최적화할 수 있는 효과를 추가로 갖는다.

도면의 간단한 설명

[0034] 도 1은 본 발명에 따른 군집지능을 이용한 복수 무인기의 자율 비행 제어방법을 순차적으로 나타낸 흐름도.

도 2는 본 발명에 사용되는 비행제어 통합 알고리즘을 개념적으로 나타낸 도면.

도 3은 도 1에 나타난 본 발명 중 경로점 유도단계에서 경로점을 생성시키는 방법을 개념적으로 나타낸 도면.

도 4는 본 발명에서 사용될 수 있는 Pursuit Guidance를 개념적으로 나타낸 도면.

도 5는 본 발명에 따른 군집지능을 이용한 복수 무인기의 자율 비행 제어방법에 의해 무인기가 자체적으로 대형을 유지하는 모습을 개념적으로 나타낸 도면.

도 6은 본 발명에 적용되는 제어상수와 댐핑계수에 따른 상대거리 변화 시뮬레이션의 초기조건을 나타낸 도면.

도 7의 (a),(b)는 도 6에 나타난 시뮬레이션의 결과를 나타낸 그래프.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0035] 이하, 첨부된 도면을 참고로 하여 본 발명에 따른 군집지능을 이용한 복수 무인기의 자율 비행 제어방법의 바람직한 실시예들을 상세히 설명하기로 한다.
- [0036] 본 발명을 설명하기에 앞서 이하에서 설명되는 제어방법에서 사용되는 무인기의 데이터들은 공지의 무선통신에 의해 컴퓨터의 메인서버로 전송되어 공지의 분석프로그램이나 연산프로그램에 의해 분석 및 연산되거나 무인기에 자체적으로 구비되는 분석 및 연산프로그램에 의해 분석 및 연산될 수 있고, 분석 및 연산프로그램에 의해 생성된 제어명령은 마찬가지로 공지의 무선통신에 의해 무인기로 전송되거나 무인기들 사이의 무선통신에 의해 전송될 수 있는 것으로, 본 발명에서 사용되는 하드웨어나 소프트웨어적인 시스템은 본 발명에서 권리로서 청구하고자 하는 바가 아니므로 이에 대한 상세한 설명들은 생략하기로 한다.
- [0037] 또한, 이하에서 설명되는 본 발명은 여러 산업분야에서 사용되고 있는 각종 소형 무인기의 비행 제어방법에 범용적으로 적용될 수 있는 것이지만, 설명의 편의를 위해 소형 무인기의 일종인 쿼드콥터를 이용한 탐색 임무를 수행하는 방법을 대상으로 하여 설명하기로 한다.
- [0038] 또한, 이하의 본 발명에서는 설명의 편의를 위해 무인기를 질점 모델로 가정하고, 군집 대형 형성 및 유지를 위한 무인기의 운동을 고도 유지를 가정하여 2차원 평면상에서 이루어지는 것으로 한다.
- [0040] 도 1은 본 발명에 따른 군집지능을 이용한 복수 무인기의 자율 비행 제어방법을 순차적으로 나타낸 흐름도이고, 도 2는 본 발명에 사용되는 비행제어 통합 알고리즘을 개념적으로 나타낸 도면이며, 도 3은 도 1에 나타난 본 발명 중 경로점 유도단계에서 경로점을 생성시키는 방법을 개념적으로 나타낸 도면이고, 도 4는 본 발명에서 사용될 수 있는 Pursuit Guidance를 개념적으로 나타낸 도면이며, 도 5는 본 발명에 따른 군집지능을 이용한 복수 무인기의 자율 비행 제어방법에 의해 무인기가 자체적으로 대형을 유지하는 모습을 개념적으로 나타낸 도면이고, 도 6은 본 발명에 적용되는 제어상수와 댐핑계수에 따른 상대거리 변화 시뮬레이션의 초기조건을 나타낸 도면이며, 도 7의 (a),(b)는 도 6에 나타난 시뮬레이션의 결과를 나타낸 그래프이다.
- [0042] 본 발명은 다른 무인 비행체의 위치 및 속도 정보와 임무정보 및 제어상수 등을 입력받아 군집 비행 중인 무인 비행체들의 인력과 척력 즉, 무인 비행체들 사이의 거리를 좁히는 방향과 멀어지는 방향으로의 제어가 가능하도록 하여 개별 무인기들에 대한 중앙의 통제 또는 별도의 선도 무인기 없이도 자율적 비행이 가능하도록 함으로써 지진, 화재 등의 환경적으로 위험이 큰 재난 상황에서의 생존자 탐색 등의 임무를 보다 효율적으로 수행할 수 있도록 하는 군집지능을 이용한 복수 무인기의 자율 비행 제어방법(이하, '비행 제어방법'이라 한다)에 관한 것이다.
- [0043] 즉, 본 발명은 도 2에 나타난 바와 같이, 다른 무인기의 위치 정보와 임무 정보 및 제어 상수 등을 입력으로 받아 무인기들이 군집을 이루며 임무를 수행할 수 있도록 하는 인력과 척력을 군집 알고리즘을 이용하여 연산하는 방법으로, 무인기의 제어에 사용되는 입력과 척력은 가속도 명령으로 출력되고, 출력된 가속도 명령은 경로점으로 전환되어 무인기들의 비행 제어에 사용될 수 있다.
- [0044] 이하에서 상세히 설명될 본 발명은 무인기들을 제어하기 위한 관제센터의 메인서버(미도시) 등의 구성에 의해 수행될 수도 있으나, 무인기에 자체적으로 탑재되는 통신모듈 및 연산모듈 등에 의해 수행되어 무인기들이 자율적으로 모침과 흩어짐 등의 비행 제어를 수행할 수도 있다.
- [0045] 보다 상세히 설명하면, 본 발명에 따른 비행 제어방법은 도 1에 나타난 바와 같이, 데이터 입력단계(S10), 가속도 산출단계(S20), 경로점 유도단계(S30) 및 경로점 명령단계(S40)를 포함할 수 있는데, 먼저 상기 데이터 입력

단계(S10)는 임무에 투입되는 다수의 무인기들의 위치 데이터 및 속도 데이터를 수신하여 군집 알고리즘에 입력하는 단계로, 상기 무인기들의 위치 및 속도 데이터는 근거리 무선 통신에 의해 주변 무인기들로 전송되거나 무선 통신에 의해 관제센터의 메인서버로 전송되어 후술할 군집 알고리즘의 입력 데이터로 사용될 수 있다.

[0046] 이때, 상기 데이터 입력단계(S10)에서 군집 알고리즘에 입력되는 정보로는 무인기의 임무 정보와, 상기 임무 정보에 따른 제어 상수(k) 및 댐핑 계수(c)가 더 포함될 수 있는데, 이에 대해서는 후술하기로 한다.

[0047] 다음, 상기 가속도 산출단계(S20)는 데이터 입력단계(S10)에서 입력된 정보들을 이용하여 군집 알고리즘에 의해

무인기들의 가속도($\sum u_{cmd}$)를 산출하는 단계로, 상기 군집 알고리즘은 각 무인기로부터 전송된 위치 데이터를 통해 다른 무인기들과의 상대거리를 연산하고, 연산된 상대거리와 무인기의 속도 데이터를 이용하여 무인기들의

가속도($\sum u_{cmd}$)를 출력으로 산출할 수 있다.

[0048] 이때, 상기 가속도 산출단계(S20)에서는 후술할 대형 형성 및 유지단계(S50)의 충돌회피단계(S52) 및 임무경계 유지단계(S54)에서의 연산 결과를 반영하여 무인기들의 가속도를 산출할 수도 있는데 이에 대한 보다 상세한 내용은 후술하기로 한다.

[0049] 다음, 상기 경로점 유도단계(S30)는 가속도 산출단계(S20)에서 군집 알고리즘에 의해 산출된 무인기의 가속도

($\sum u_{cmd}$)를 경로점 유도 모듈(Waypoint Guidance)을 이용하여 경로점(Waypoint)으로 전환시키는 역할을 하는 것으로, 상기 경로점은 무인기의 다음 목표지점, 즉 무인기가 이동해야 할 지점이 될 수 있다.

[0050] 보다 상세히 설명하면, 상기 군집 알고리즘에 의해 출력된 무인기의 가속도는 도 3에 나타난 바와 같은 커맨드 모듈(Command Module)에 의해 경로점으로 전환될 수 있는데, 먼저 아래의 (1)식에 의해 군집 알고리즘에 의해 출력된 무인기의 가속도를 x,y 방향 성분으로 나누어 가속도의 방향을 연산한다.

$$\psi_{acc} = \frac{a_y}{a_x} \dots (1)$$

[0051] 여기서, a_x 및 a_y 는 각각 가속도의 x,y 방향 성분을 의미하고, ψ_{acc} 는 가속도의 방향을 의미하는 것으로, 상기 (1)식에 의해 연산된 가속도의 방향을 무인기가 이동해야 할 방향으로 정한다.

[0053] 아래의 (2)식에 나타난 바와 같이, 상기 (1)식에 의해 연산된 방향에 계인 K를 곱해주어 현재 위치에서 가속도 방향으로 K만큼 떨어진 경로점을 생성할 수 있다.

$$\begin{aligned} x_{wp} &= x + K \cos(\psi_{acc}) \\ y_{wp} &= y + K \sin(\psi_{acc}) \dots (2) \end{aligned}$$

[0055] 여기서, x,y는 각각 무인기의 현재 위치에 해당하는 x,y 좌표이고, x_{wp} , y_{wp} 는 각각 연산된 경로점의 x,y 좌표이다.

[0056] 이때, 가속도가 0일 때에는 경로점의 x,y 좌표가 (0,0)이 되므로, 무인기가 좌표계의 원점으로 계속 이동하려는 현상이 발생할 수 있으므로, 이러한 현상을 방지하기 위해 현재 위치를 기준으로 하여 가속도 방향으로 K만큼 떨어진 경로점이 생성되도록 할 수 있다.

[0057] 다음, 상기 경로점 명령단계(S40)는 경로점 유도단계(S30)에서 생성된 경로점을 이용하여 각 무인기에 경로점 명령(Waypoint CMD)을 산출함으로써 무인기들이 경로점을 향해 이동하도록 하는 단계로, 이와 같은 경로점 명령은 무인기들 사이의 근거리 무선통신을 통해 전송될 수 있고, 관제센터의 메인서버를 통한 무선통신에 의해 각 무인기들에 전송될 수도 있다.

[0058] 보다 상세히 설명하면, 상기 경로점 명령단계(S40)에서는 추적 유도방식(Pursuit Guidance)에 의해 경로점 명령

을 산출할 수 있는데, 상기 추적 유도방식은 구형 유도탄에서 주로 사용되는 유도 방식으로 유도탄의 속도 벡터가 항상 목표물, 즉 시선각의 방향을 갖도록 유도탄을 조종하는 방식이다.

[0059] 본 발명에서는 무인기가 경로점 명령을 따라가도록 하기 위한 목적으로 상기 추적 유도방식을 사용하였는데, 도 4에 나타난 바와 같이, 무인기는 속도 V 방향으로 방위각(heading angle) Ψ 를 갖고, 목표 경로점 방향으로의 목표 방위각(desired heading angle) Ψ_T 를 갖는다.

[0060] 2차원 직교 좌표계에서 추적 유도방식 적용을 위한 운동방정식은 아래의 (3)식과 같다.

$$\dot{x} = V \cos \psi$$

$$\dot{y} = V \sin \psi \quad \dots (3)$$

[0062] 그리고, 가속도의 크기($\dot{V}$)는 아래의 (4)식에 나타난 바와 같이, 속도 오차에 대하여 게인 K_T 를 곱해주는 방식으로 구할 수 있다.

[0063] 또한, V_D 를 무인기의 최대 속도라 할 경우 가속도의 방향($\dot{\Psi}$)은 무인기의 속도 V 로 나눈 방위각 오차에 대해 게인 K_P 를 곱해주는 방식으로 구할 수 있다.

$$\dot{V} = K_T (V_D - V)$$

$$\dot{\psi} = a/V = -K_P (\psi - \psi_T)/V \quad \dots (4)$$

[0065] 이때, 상기 K_T 와 K_P 는 각각 1/시간 및 가속도의 단위를 가지며 추적 유도방식에 의해 경로점을 따라 이동하는 무인기의 반응성에 영향을 줄 수 있다.

[0066] 따라서, 상기 경로점 명령단계(S40)에서는 경로점 유도단계(S30)에서 전환된 경로점 정보를 이용하여 추적 유도 방식에 의해 산출된 경로점 명령, 즉 경로점 방향으로의 가속도를 각 무인기로 전송함으로써 무인기들이 경로점을 향해 비행할 수 있도록 한다.

[0067] 상기와 같은 경로점 명령에 의해 경로점으로의 이동이 완료된 무인기의 위치 및 속도 데이터는 다시 군집 알고리즘으로 입력되어 새로운 가속도 산출과 그에 따른 경로점 생성 및 경로점 명령 산출에 활용될 수 있다.

[0068] 한편, 본 발명에 따른 비행 제어방법은 대형 형성 및 유지단계(S50)를 더 포함할 수 있는데, 상기 대형 형성 및 유지단계(S50)는 임무 중인 다수의 무인기들이 서로 간의 근거리 무선통신에 의해 위치 정보 및 속도 정보를 교환함으로써 자체적으로 군집 상태의 대형을 형성 및 유지하는 것으로, 충돌회피단계(S52)와 임무경계 유지단계(S54)를 포함할 수 있다.

[0069] 즉, 군집 지능을 이용하여 탐색 임무를 수행하는 경우, 다수의 무인기는 대형을 이루어 임무를 수행하게 되는데, 이러한 경우 임무 지역의 지형과 다른 무인기와의 충돌 방지 등을 위해서는 무인기의 대형 변화가 필수적으로 수반된다.

[0070] 그러므로, 본 발명에서는 무인기들 사이의 근거리 무선통신에 의해 공유되는 국지 정보, 즉 무인기의 위치 및 속도 정보를 바탕으로 한 가상의 힘을 작용시켜 무인기들이 대형을 형성 또는 유지할 수 있도록 하는데, 이러한 경우 별도의 선도 무인기가 불필요하고, 대형 내에서 개별 무인기들의 위치가 정해져 있지 않으므로 탐색지형 및 임무의 종류 등에 따라 보다 효율적인 대형을 형성할 수 있다.

[0071] 이러한 대형 형성 및 유지단계(S50)는 각 무인기들에 구비되는 통신모듈 및 연산모듈에 의해 수행되어 별도의 중앙제어 없이 무인기들이 자체적으로 대형 형성 및 유지를 위한 제어를 할 수 있도록 구성될 수 있는데, 이러한 무인기들에 작용하는 제어명령은 전술한 바와 같이 크기와 방향을 갖는 무인기의 가속도 명령에 의해 이루어질 수 있다.

[0072] 상기 대형 형성 및 유지단계(S50)에서는 개별 무인기들의 연산 부담을 최소화하기 위하여 무인기들의 행동 양식을 단순화하는데, 근거리 무선통신에 의해 공유되는 무인기들의 위치 정보 및 속도 정보를 이용하여 무인기들

사이의 상대거리 및 무인기와 임무경계 사이의 상대거리를 연산하고, 도 5에 나타낸 바와 같이, 연산된 상대거리와 후술할 기준거리(d_{ref}) 사이의 비교를 통해 자체적으로 제어명령($\vec{U}_i$)을 생성할 수 있다.

[0073] 보다 상세히 설명하면, 상기 충돌회피단계(S52)는 무인기들 사이의 상대 거리 및 상대 속도 정보를 이용하여 서로 간의 충돌을 회피하는 제어명령을 생성하는 단계로, 근거리 무선통신에 의해 공유되는 무인기들의 위치 정보 및 속도 정보를 이용하여 연산된 무인기들 사이의 상대거리가 기설정된 무인기들 사이의 기준거리(d_{ref}) 이상인 경우 무인기들 사이의 상대거리가 가까워지는 방향, 즉 무인기들끼리 서로 잡아당기는 방향으로 제어명령을 생성하고, 무인기들 사이의 상대거리가 상기 기준거리(d_{ref}) 미만인 경우 무인기들을 서로 밀어내는 방향으로 제어명령을 생성할 수 있다.

[0074] 또한, 상기 임무경계 유지단계(S54)는 마찬가지로 근거리 무선통신에 의해 공유되는 무인기들의 위치 정보 및 속도 정보와, 기설정된 임무경계의 위치정보를 이용하여 연산된 무인기와 임무경계 사이의 상대거리 정보를 이용하여 무인기가 임무경계를 벗어나는 것을 방지하는 제어명령을 생성하는 단계로, 연산된 무인기와 임무경계 사이의 상대거리가 기설정된 무인기와 임무경계 사이의 기준거리(d_{ref}) 미만인 경우, 무인기가 임무경계로부터 멀어지는 방향, 임무경계가 무인기를 밀어내는 방향으로 제어명령을 생성할 수 있다.

[0075] 보다 상세히 설명하면, 무인기를 질점 모델로 가정하고, 무인기의 운동을 고도가 유지되는 2차원 평면 상의 운동으로 가정할 경우, 무인기의 운동방정식은 아래의 (5)식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{cases} \vec{p}_i = \vec{v}_i \\ \vec{v}_i = \vec{U}_i \end{cases} \dots (5)$$

[0077] 여기서, $\vec{p}_i, \vec{v}_i, \vec{U}_i$ 는 각각 다수의 무인기 중 i번째 무인기의 위치벡터, 속도벡터 및 제어명령을 의미한다.

[0078] 또한, 무인기 사이의 상대거리벡터와 상대속도벡터는 아래의 (6)식과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} \vec{d}_{ij} &= \vec{p}_j - \vec{p}_i \\ \vec{v}_{ij} &= \vec{v}_j - \vec{v}_i \end{aligned} \dots (6)$$

[0080] 여기서, $\vec{d}_{ij}$ 와 $\vec{v}_{ij}$ 는 각각 i번째 무인기와 j번째 무인기 사이의 상대거리벡터와 상대속도벡터를 나타낸다.

[0081] 상기 (6)식에서 연산된 상대거리와 상대속도는 충돌회피단계(S52)에서 각 무인기에 적용되는 제어명령($\vec{U}_i$)의 생성에 사용되는데, 상기 제어명령($\vec{U}_i$)은 아래의 (7)식에 의해 정의될 수 있다.

$$\vec{U}_i = \begin{cases} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N \left(\frac{k}{|\vec{d}_{ij}|^2} \cdot \frac{\vec{d}_{ij}}{|\vec{d}_{ij}|} + c\vec{v}_{ij} \right), & |\vec{d}_{ij}| > d_{ref} \\ \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N \left(\frac{k}{|\vec{d}_{ij}|^2} \cdot \frac{\vec{d}_{ji}}{|\vec{d}_{ij}|} + c\vec{v}_{ij} \right), & |\vec{d}_{ij}| \leq d_{ref} \end{cases} \dots (7)$$

[0083] 여기서, $\vec{U}_i$ 는 i번째 무인기에 작용하는 다른 무인기와의 제어명령 합벡터이고, N은 운용되는 무인기의 개수, k는 제어상수, c는 댐핑계수, $\vec{d}_{ij}$ 는 i번째 무인기와 j번째 무인기 사이의 상대거리 및 d_{ref} 는 무인기 사이의 대형 유지를 위한 기준거리, 즉 대형이 형성될 때 무인기 사이에 유지되어야 하는 거리를 의미하는 것이다.

[0084] 이때, 상기 기준거리(d_{ref})는 운용하고자 하는 무인기의 시야각(FOV; Field Of View)과, 무인기 사이에 충돌하지 않기 위한 여유거리(margin) 및 정보공유를 위해 공유하는 다른 무인기 위치정보의 불확실성 등을 고려하여 결정될 수 있다.

[0085] 그리고, 상기 제어상수(k)와 댐핑계수(c)는 일종의 설계변수로서 무인기들이 수행하여야 하는 임무의 성격에 따라 설정할 수 있는데, 이에 대해서는 후술하기로 한다.

[0086] 상기 충돌회피단계(S52)에서 생성되는 무인기의 제어명령 $\vec{U}_i$ 은 자기자신을 제외한 모든 무인기들과 작용하는 밀어내는 제어명령($\vec{U}_{rep}$)과 잡아당기는 제어명령($\vec{U}_{att}$)의 합벡터로, 전술한 바와 같이 이웃하는 다른 무인기와의 상대거리가 기준거리(d_{ref}) 보다 짧을 경우에는 충돌을 방지하기 위해 밀어내는 제어명령($\vec{U}_{rep}$)이 작용하고, 이웃하는 다른 무인기와의 상대거리가 기준거리(d_{ref}) 이상인 경우에는 대형을 유지하기 위해 잡아당기는 제어명령($\vec{U}_{att}$)이 작용할 수 있다.

[0087] 한편, 상기 무인기가 임무를 수행하는 영역의 경계선인 임무경계는 곡선으로 가정하여 아래의 (8)식과 같이 곡선의 방정식으로 표현할 수 있고, 곡선의 차수를 결정하여 임무경계 유지단계(S54)에서의 제어명령을 생성할 수 있다.

$$y = a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \dots + a_0 \quad \dots (8)$$

[0089] 여기서, $a_n, a_{n-1}, \dots, a_0$ 는 곡선으로 가정한 임무경계의 곡선의 방정식 계수이다.

[0090] 상기 (8)식을 토대로 하여 질점으로 가정된 무인기의 위치좌표와, 곡선 위의 한 점의 최단거리 산출법을 통해 아래의 (9)식에 의해 i번째 무인기와 임무경계 사이의 최단거리와, 그 때의 최단위치를 산출할 수 있다.

$$\begin{aligned} \vec{p}_{bound} &= [x_{bound}, y_{bound}]^T \\ y_{bound} &= a_n x_{bound}^n + a_{n-1} x_{bound}^{n-1} + \dots + a_0 \\ |d_{ib}| &= \sqrt{(x_{bound} - x_i)^2 + (y_{bound} - y_i)^2} \\ g(x_{bound}) &= (x_i - x_{bound})^2 + (y_i - y_{bound})^2 \\ g'(x_{bound}) &= 0 \end{aligned} \quad \dots (9)$$

[0092] 여기서, $\vec{p}_{bound}$ 는 i번째 무인기와 임무경계 사이의 최단 위치벡터이고, $[x_{bound}, y_{bound}]$ 는 최단위치에 해당하는 임무경계의 위치좌표이며, d_{ib} 는 최단위치에서의 i번째 무인기와 임무경계 사이의 상대거리이고, x_i, y_i 는 최단위치에서의 i번째 무인기의 위치좌표이다.

[0093] 상기 (9)식에 의해 도출된 임무경계와 무인기 사이의 상대거리(d_{ib})는 임무경계 유지단계(S54)에서 임무경계와 무인기 사이의 충돌을 방지하기 위해 적용되는 제어명령($\vec{U}_i$)을 산출하는데 사용되는데, 상기 임무경계 유지단계(S54)에서의 제어명령($\vec{U}_i$)은 아래의 (10)식과 같이 정의될 수 있다.

$$\vec{U}_i = \begin{cases} 0, & |d_{ib}| > d_{ref} \\ \sum_{j=1}^N \left(\frac{k}{|d_{ib}|^2} \cdot \frac{\vec{d}_{bi}}{|d_{ib}|} \right), & |d_{ib}| \leq d_{ref} \end{cases} \quad \dots (10)$$

[0095] 여기서, $\vec{U}_i$ 는 각 무인기와 임무경계 사이에 작용하는 제어명령의 합벡터이고, N은 운용되는 무인기의 개수, k

는 제어상수, d_{ib} 는 임무경계와 무인기 사이의 상대거리 및 d_{ref} 는 무인기와 임무경계의 충돌을 방지하기 위한 무인기와 임무경계 사이의 기준거리를 뜻하는 것으로, 무인기와 임무경계 사이에는 오직 충돌을 방지하기 위한 밀어내는 제어명령만 작용할 수 있다.

[0096] 즉, 상기 임무경계 유지단계(S54)에서의 제어명령($\overrightarrow{U}_i$)은 상기 (10)식에서 확인할 수 있는 바와 같이, 무인기와 임무경계 사이의 상대거리(d_{ib})가 기설정된 기준거리(d_{ref}) 보다 긴 경우에는 아무런 제어명령($\overrightarrow{U}_i$)도 작용하지 않고, 오직 무인기와 임무경계 사이의 상대거리(d_{ib})가 기설정된 기준거리(d_{ref}) 이하인 경우에만 임무경계와의 충돌 회피를 위한 임무경계로부터 밀어내는 제어명령($\overrightarrow{U}_{rep}$)을 적용하게 된다.

[0097] 한편, 상기 충돌회피단계(S52) 및 임무경계 유지단계(S54)에서 사용되는 설계변수, 즉 제어상수(k)와 댐핑계수(c)는 다수의 무인기가 투입되는 임무의 성격에 맞게 설정되어야 하는데, 이러한 설계변수의 설정을 위해 설계변수에 따른 무인기 사이의 상대거리 변화를 시뮬레이션을 통해 산출할 수 있다.

[0098] 보다 상세히 설명하면, 도 6 및 아래의 (표 1)에 표시된 시뮬레이션 조건에서 제어상수(k)와 댐핑계수(c)에 따른 상대거리 변화를 측정하였는데, 이때 두 무인기의 진동특성에 따라 정확히 기준거리(d_{ref}) 만큼의 거리에서 정지하지 않고, 기준거리(d_{ref})에 근사한 위치에서 진동하며 거리를 유지하였고, 기준거리(d_{ref})로부터 $\pm 0.002m$ 에서 진동하며 상대거리(d_{ij})가 늘어났다 줄어들었다 하는 특성을 보여 기준거리(d_{ref})로부터 처음 $\pm 0.002m$ 인 지점을 수렴시점으로 가정하였다.

표 1

Parameter	Description	Value
N	무인기 개수	2
d_{ref}	기준거리(m)	1
Vel	초기속도(m/s)	0
d	상대거리(m)	6

[0099]

[0100] 먼저, 상기 댐핑계수(c)를 0.5로 고정된 상태에서 제어상수(k)를 1, 3, 5, 10, 20으로 변화시켜가며 상대거리(d_{ij})를 측정하였는데, 그 결과를 시간에 따른 두 무인기(i,j)의 기준거리(d_{ref}) 도달정도 $\left(\frac{d_{ij}-d_{ref}}{d_{ref}}\right)$ 로 나타낸 것을 도 7의 (a)에 도시하였다.

[0101] 또한, 수렴시간은 아래의 (표 2)와 같이 나타났는데, 제어상수(k)가 커질수록 두 무인기 사이의 상대거리(d_{ij})가 기준거리(d_{ref})에 도달하는 속도가 빨랐지만, 다시 멀어지려는 제어명령($\overrightarrow{U}_{rep}$) 또한 커서 진동폭이 크게 나타났다.

표 2

제어상수(k)	수렴시간
k=1	8.3sec
k=3	5.7sec
k=5	4.9sec
k=10	4.5sec
k=20	4.0sec

[0102]

[0103] 다음, 상기 제어상수(k)를 5로 고정시킨 상태에서 댐핑계수(c)를 각각 0.1, 0.3, 0.5, 0.7 및 0.9로 변화시켜가며 상대거리(d_{ij})를 측정하였고, 그 결과를 마찬가지로 시간에 따른 두 무인기(i,j)의 기준거리(d_{ref}) 도달정도 $\left(\frac{d_{ij}-d_{ref}}{d_{ref}}\right)$ 로 나타낸 것을 도 7의 (b)에 도시하였다.

[0104] 이때, 수렴시간은 아래의 (표 3)과 같이 나타났는데, 제어상수(k)가 고정이므로 댐핑상수(c)의 증가에 따라 두 무인기 사이의 상대거리(d_{ij})가 처음으로 기준거리(d_{ref})에 도달한 시간은 차이가 없었지만, 댐핑상수(c)가 증가할수록 진동폭이 점점 작아져 결국 상대거리(d_{ij})가 기준거리(d_{ref})에 수렴하는 시간은 점점 빨라지는 것을 확인할 수 있다.

표 3

댐핑계수(c)	수렴시간
c=0.1	25.6sec
c=0.3	8.1sec
c=0.5	5.2sec
c=0.7	4.3sec
c=0.9	3.5sec

[0105]

[0106] 상기와 같은 시뮬레이션 결과, 무인기가 빠르고 밀집도가 높게 대형을 형성해야 하는 경우에는 제어상수(k)와 댐핑계수(c)를 높게 설정하고, 반대로 무인기가 천천히 낮은 밀집도로 대형을 형성해야 하는 경우에는 상대적으로 제어상수(k)와 댐핑계수(c)를 낮게 설정해야 함을 알 수 있으며, 이러한 제어상수(k)와 댐핑계수(c)의 설정은 다수의 무인기들이 투입되어야 하는 임무의 성격에 따라 기설정되어 전술한 데이터 입력단계(S10)에서 무인기의 위치 및 속도 데이터와 함께 군집 알고리즘으로 입력될 수 있다.

[0107] 전술한 바와 같은 충돌회피단계(S52)와 임무경계 유지단계(S54)에서의 제어명령은 상기 가속도 산출단계(S20)에서의 가속도 산출에 활용될 수 있는데, 상기 군집 알고리즘에서는 상기 충돌회피단계(S52)에서의 밀어내는 제어명령($\vec{U}_{rep}$)과 잡아당기는 제어명령($\vec{U}_{att}$) 및 임무경계 유지단계(S54)에서의 밀어내는 제어명령($\vec{U}_{rep}$)이 혼합된 합벡터 방향으로 최종 제어명령, 즉 가속도를 산출할 수 있고, 이와 같이 산출된 가속도가 경로점 유도단계(S30)에서 경로점으로 전환되어 경로점 명령단계(S40)에서 각 무인기로의 제어명령으로 생성될 수 있다.

[0108] 또한, 전술한 바와 같이, 개별 무인기의 연산모듈에 군집 알고리즘과 커맨드 모듈(Command Module) 및 추적 유도방식(Pursuit Guidance)이 포함되어 무인기들이 자체적으로 제어명령을 생성하여 자율적으로 비행하는 것이 가능할 뿐만 아니라, 그에 따라 중앙의 통제를 최소화하고, 통신에 대한 의존도를 최소화할 수 있게 된다.

[0109] 한편, 본 발명에 따른 비행 제어방법에 의한 다수 무인기의 이동에 따른 대형변화를 확인하기 위해 2차원 사각형 모양의 임무경계에서 아래의 (표 4)와 같은 조건에 제어상수(k)와 댐핑계수(c)를 바꾸어가며 총 세 번의 시뮬레이션을 수행하였다.

표 4

Parameter	Description	Value
N	무인기 개수	10
Pos	무인기 위치(m)	X: U(0,20)
		Y: U(0,20)
ψ	무인기 방향(rad)	U(0, π)
V	무인기 속도(m/s)	2
d_{ref}	기준거리(m)	1

[0110]

[0111] 전체적으로, 제어상수(k) 및 댐핑계수(c)의 크기와 상관없이 랜덤한 위치와 속도를 갖는 무인기들이 제어명령을 통해 뭉치는 현상과 충돌을 회피하는 현상이 반복적으로 나타나면서 최종적으로 하나의 대형을 형성하여 비행하는 것을 시뮬레이션을 통해 확인할 수 있었다.

[0112]

그리고, 제어상수(k) 및 댐핑계수(c)의 크기를 모두 크게 설정한 시뮬레이션은 무인기 사이의 뭉치는 속도가 빠르고 임무경계와의 충돌시 대형이 흐트러지는 현상이 적은 반면, 제어상수(k) 및 댐핑계수(c)의 크기를 모두 작게 설정한 시뮬레이션에서는 초기에 무인기 사이의 뭉치는 속도가 느려 대형이 천천히 형성되고 임무경계 또는 다른 무인기와의 충돌 회피시 대형이 흐트러졌다가 다시 형성되는 현상을 보였다.

[0113]

또한, 제어상수(k)의 크기는 크게 설정하고, 댐핑계수(c)의 크기는 작게 설정한 시뮬레이션에서는 무인기들이 초기에 빠르게 모이지만 대형을 한 번에 형성하지 못하고 다시 퍼졌다가 빠르게 뭉치는 현상을 확인할 수 있었다.

[0114]

상기와 같은 시뮬레이션 결과를 통해, 다수의 무인기를 이용한 임무의 성격에 따라 설계변수 즉, 제어상수(k)와 댐핑계수(c)의 값을 조절하여 무인기의 대형 변화과정의 유동성을 결정할 수 있음을 알 수 있다.

[0115]

따라서, 전술한 바와 같은 본 발명에 따른 비행 제어방법에 의하면, 개별 무인기에 탑재될 수 있는 군집알고리즘을 통해 연산된 가속도를 경로점 정보로 전환하여 경로점 명령으로 산출함으로써 다수 무인기들의 자율 비행이 가능하도록 하고, 그에 따라 지진, 화재 등의 환경적으로 위험이 큰 재난 상황에서 복수의 무인기를 운용하여 효율적으로 생존자를 탐색할 수 있고, 각각의 무인기가 주변 무인기들의 정보를 이용하여 자율적인 행동양식으로 대형을 형성하도록 함으로써 임무에 투입되는 무인기 수의 증가에 따른 연산량 증가가 최소화될 수 있으며, 일부 무인기가 임무를 실패하여도 나머지 무인기들에 의한 임무 수행이 가능하므로 임무 수행에 대한 강건성을 향상시킬 수 있을 뿐만 아니라, 중앙의 통제를 최소화할 수 있어 통신에 대한 의존도와 관제사의 피로도를 최소화할 수 있고, 제어상수와 댐핑계수를 포함하는 설계변수의 변경을 통해 다수의 무인기가 투입되는 임무의 종류에 따라 무인기의 대형 변화 과정의 유동성을 최적화할 수 있는 등의 다양한 장점을 갖는 것이다.

[0117]

전술한 실시예들은 본 발명의 가장 바람직한 예에 대하여 설명한 것이지만, 상기 실시예에만 한정되는 것은 아니며, 본 발명에 따른 비행 제어방법을 중앙 관제센터의 메인 서버에서 수행하여 다수의 무인기들의 비행을 제어할 수 있는 등 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범위 내에서 다양한 변형이 가능하다는 것은 당업자에게 있어서 명백한 것이다.

산업상 이용가능성

[0119]

본 발명은 군집지능을 이용한 복수 무인기의 자율 비행 제어방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 다른 무인 비행체의 위치 및 속도 정보와 임무정보 및 제어상수 등을 입력받아 군집 비행 중인 무인 비행체들의 인력과 척력

즉, 무인 비행체들 사이의 거리를 좁히는 방향과 멀어지는 방향으로의 제어가 가능하도록 하여 개별 무인기들에 대한 중앙의 통제 또는 별도의 선도 무인기 없이도 자율적 비행이 가능하도록 함으로써 지진, 화재 등의 환경적으로 위험이 큰 재난 상황에서의 생존자 탐색 등의 임무를 보다 효율적으로 수행할 수 있도록 하는 군집지능을 이용한 복수 무인기의 자율 비행 제어방법에 관한 것이다.

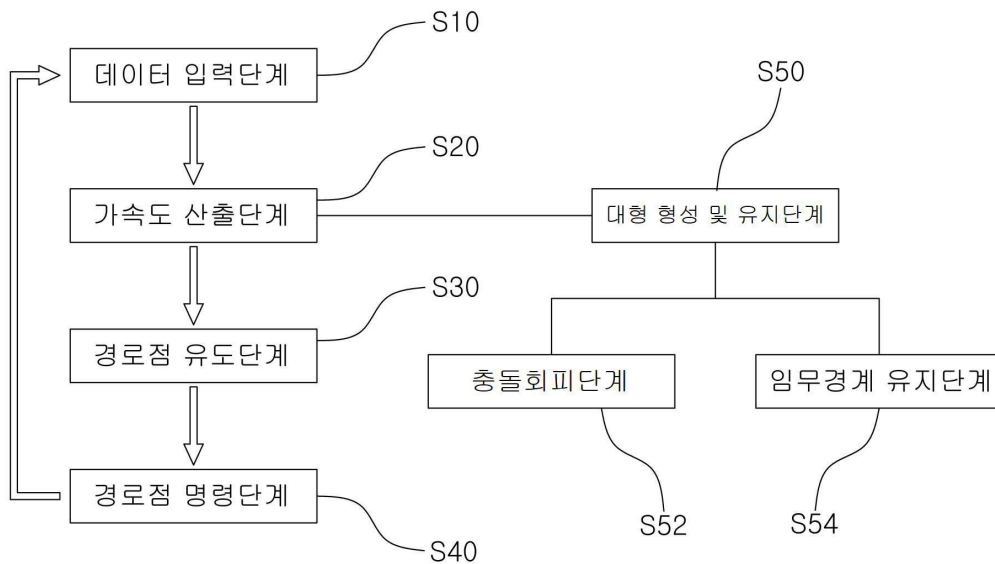
부호의 설명

[0121]

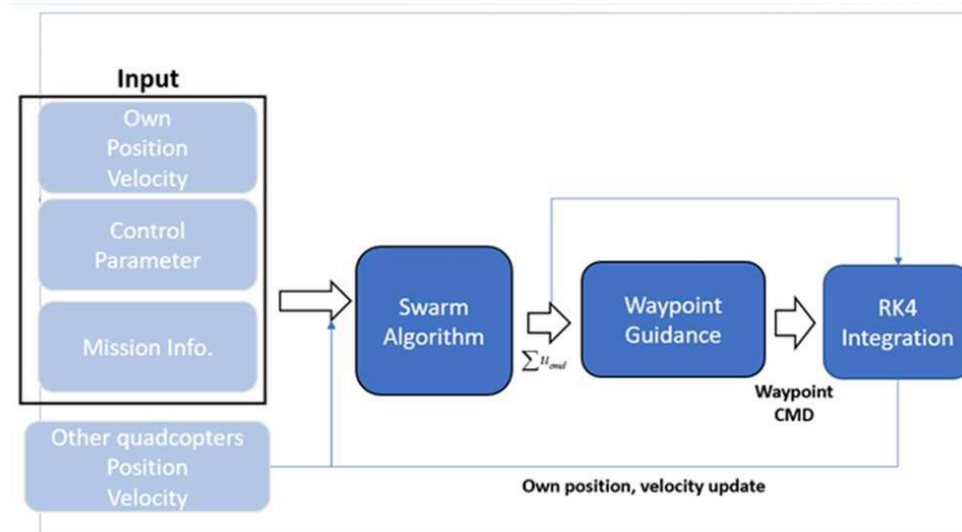
S10 : 데이터 입력단계 S20 : 가속도 산출단계
S30 : 경로점 유도단계 S40 : 경로점 명령단계
S50 : 대형 형성 및 유지단계 S52 : 충돌회피단계
S54 : 임무경계 유지단계

도면

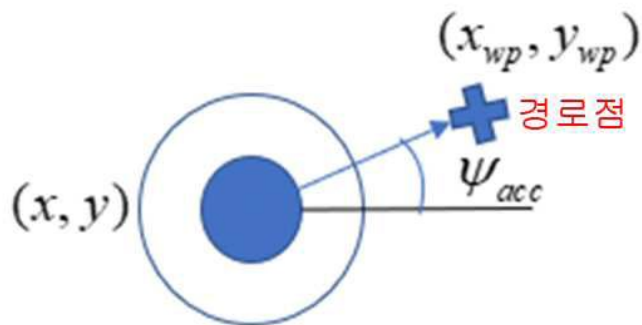
도면1



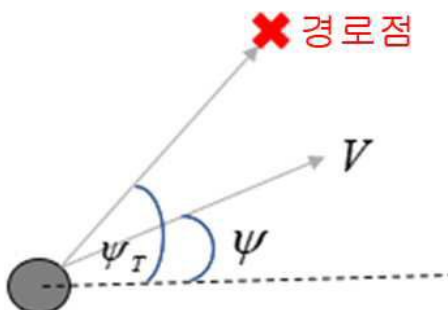
도면2



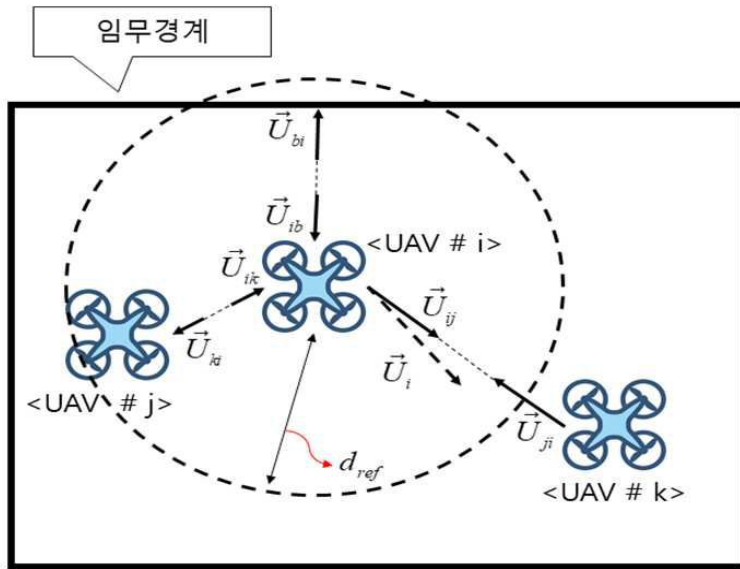
도면3



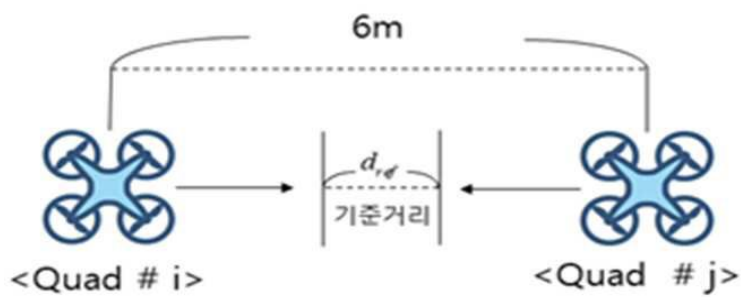
도면4



도면5

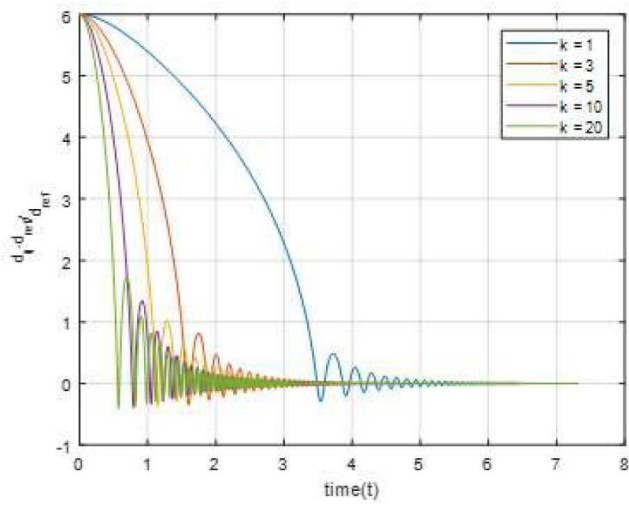


도면6



도면7

(a)



(b)

