

군집 무인기 활용을 위한 합의 기반 자율 탐색 알고리즘

Consensus-based Autonomous Search Algorithm Applied for Swarm of UAVs

박국권·권호준·최은주·유창경*
인하대학교 항공우주공학과

Kuk-Kwon Park · Ho-Jun Kwon · Eunju Choi · Chang-Kyung Ryoo*

Department of Aerospace Engineering, Inha University, Incheon, 22212, Korea

[요 약]

무인기를 이용한 조난자 수색 등의 임무에서 고가의 단일 무인기를 활용하는 것보다 저가의 군집 무인기 운용을 통한 탐색이 효율적이다. 운용하는 무인기의 수가 증가할수록 임무계획에 소요되는 시간이 증가하며 무인기 운용 시스템의 부담이 커진다. 본 논문에서는 확장성, 강건성 및 단순성 측면에서 복수 무인기 운용에 적합한 분산형 지역 탐색 알고리즘을 제안한다. 비용 절감을 위해 각각의 무인기는 근거리 통신, 기본 연산, 그리고 제한된 메모리 능력을 가진다고 가정한다. 근거리 통신에서는 비행 상태 및 기 탐색 정보가 공유되며, 이를 바탕으로 상호간 충돌 회피와 다음 탐색 지역을 결정한다. 미탐색 지역으로의 이동에 대한 가중치를 높이고 중복 탐색 기능을 제공하기 위해 score function을 도입하였다. 제안한 알고리즘 및 임무 수행절차의 성능과 특징을 수치시뮬레이션을 통해 검증하였다.

[Abstract]

Swarm of low-cost UAVs for search mission has benefit in the sense of rapid search compared to use of single high-end UAV. As the number of UAVs forming swarm increases, not only the time for the mission planning increases, but also the system to operate UAVs has excessive burden. This paper addresses a decentralized area search algorithm adequate for multiple UAVs which takes advantages of flexibility, robustness, and simplicity. To down the cost, it is assumed that each UAV has limited ability: close-communication, basic calculation, and limited memory. In close-communication, health conditions and search information are shared. And collision avoidance and consensus of next search direction are then done. To increase weight on un-searched area and to provide overlapped search, the score function is introduced. Performance and operational characteristics of the proposed search algorithm and mission planning logic are verified via numerical simulations.

Key word : Unmanned aerial vehicles, Swarm, Area search, Autonomous, Collision avoidance.

<https://doi.org/10.12673/jant.2017.21.5.443>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 29 August 2017; Revised 17 September 2017
Accepted (Publication) 23 October 2017 (30 October 2017)

*Corresponding Author, Chang-Kyung Ryoo

Tel: +82-32-860-7359

E-mail: ckryoo@inha.ac.kr

1. 서론

현재의 무인기 개발은 괄목할 만한 성장을 이루고 있으며 군용무인기의 정찰임무에 이미 폭넓게 활용되고 있다. 그러나 조난자나 산불원점 탐색과 같이 미지의 영역을 찾는 문제에 있어서 군용무인기와 같은 한두 대의 고가의 대형시스템은 부적절하며, 십여 대 이상의 무인기에 의한 탐색이 보다 효율적이다. 그러나 군집 무인기의 운용은 임무 장비 및 운용자의 임무 부하를 높이고 개체간의 효율적인 임무 분배를 요구하는데 표 1과 같이 무인기의 높은 자율화 수준을 고려하여 운용자 개입 없이 독자적으로 임무를 수행하도록 함으로써 이러한 문제 해결을 도모할 수 있다.

이러한 군집 무인기의 동시 운용 방식으로써 중앙집중형 방식과 분산형 방식의 두 가지가 있다. 중앙집중형 방식은 지상 통제시스템 또는 리더 무인기를 이용하여 전체 무인기의 제어를 수행하는 방식이다. 이는 모든 무인기의 상태를 파악할 수 있어 위협 대처 및 최적의 임무 수행을 위한 제어를 수행할 수 있는 장점이 있지만 무인기의 개체 수 증가에 따른 통신 노드의 증가로 통제시스템에 요구되는 연산량이 기하급수적으로 커진다. 또한 산악이나 해양과 같이 많은 위험이 내포된 환경 하에서의 임무 수행은 무인기의 유실이 불가피하며 일부 무인기의 유실에 따라 통신네트워크의 단절이 발생할 경우 전체 네트워크의 변화를 야기하여 임무 실패를 초래한다.

분산형 방식은 시스템 설계를 위한 논리적인 접근은 어렵지만 다중 프로세스를 사용하여 운용 무인기의 수가 늘어나도 컴퓨터의 계산 부하가 적고 국지 정보를 이용한 무인기 간의 통신을 수행하므로 무인기의 수에 제한받지 않는 확장성과 무인기 손실 및 임무 실패에 대한 강건성을 가진다. 이러한 분산형 방식에 대한 대표적인 연구로써 곤충 및 동물의 군집에서 발견되는 지능에서 착안된 군집지능을 바탕으로 다양한 연구가 수행되었다[1]. 개미가 군집과 먹이 사이의 경로를 페로몬을 이용하여 찾는 행동에 기초하여 최적 경로를 찾는 개미 군집 최적화(ACO; ant colony optimization)[2]와 새 또는 물고기 군집에서 이동에 관한 행동을 모방하여 최적 위치를 찾는 입자 무리 최적화(PSO; particle swarm optimization)[3] 및 개미의 페로몬 이용에 착안하여 관심 지역의 디지털 페로몬 지도를 이용한 복수 무인기 제어[4]-[5] 등이 연구되었다.

본 논문에서는 군집 무인기를 이용한 미지의 지역에서의 탐색 임무에서 개별 무인기 간의 정보공유에 기반한 합의를 통해 임무 지역을 탐색하고 임무 수행에 필요한 행동을 정의함으로써 무인기의 자율화 수준을 높이고 효율적인 탐색 성능을 갖는 탐색 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 페로몬 전략을 기본으로 하며 개별 무인기가 임무 지역에 대해서 미탐색 지역으로의 탐색을 수행하도록 한다. 2장에서는 탐색 알고리즘의 개요를 설명하며, 3장에서 탐색 알고리즘의 세부 구성요소를 설명한다. 4장에서는 비교 시뮬레이션을 통해 제안한 알고리즘의 효용성을 확인하였으며 5장에서 결론을 내린다.

표 1. UAS(unmanned aerial system)에서의 자율화 수준[6]

Table 1. Automation levels of UAS.

Level	Decisions/Actions of the Automated system	Authority
10	Makes all decisions, human operator not informed.	Completely autonomous
9	Decides whether to inform the human operator of decisions and actions taken.	Completely autonomous
8	Informs the human operator about decisions and actions taken only if requested.	Completely autonomous
7	Executes automatically, but the human operator is continuously informed about decisions and actions taken.	Completely autonomous
6	Informs the human operator and executes automatically if the human operator does not disapprove within a restricted time.	Autonomous with consent
5	Selects actions, but does not execute until approved by the human operator.	Semi-Autonomous
4	Suggests one alternative action to the human operator and the human operator decides whether to reject or approve the suggested alternative	Advisory
3	Narrows down the number of alternative actions to a few from which the human operator decides which alternative is to be executed.	Advisory
2	Complete set of alternative actions is presented, from which the human operator decides which alternative is to be executed.	Advisory
1	None, The human operator has to make all decisions and actions.	None

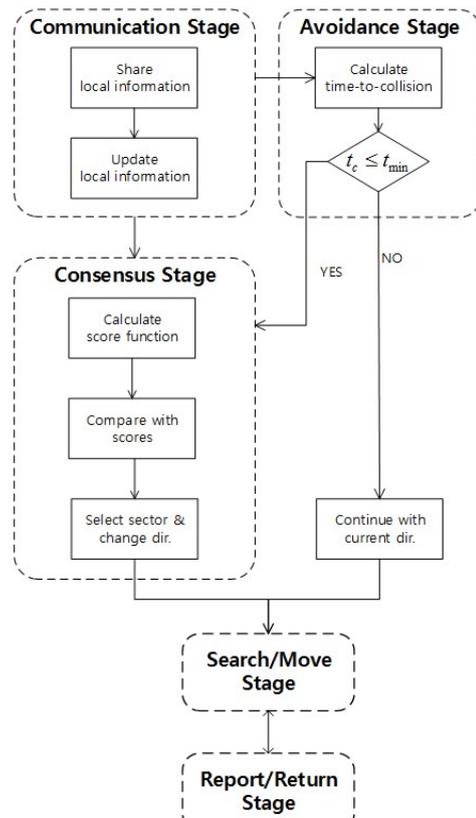


그림 1. 자율 탐색 알고리즘 개요

Fig. 1. Overview of the autonomous search algorithm.

II. 합의 기반 자율 탐색 알고리즘 개요

본 논문에서 제안하는 자율 탐색 알고리즘은 크게 탐색/이동부, 회피부, 통신부, 합의부, 복귀/보고부의 5가지 부분으로 그림 1과 같이 구성된다. 탐색 임무를 수행하기 위해 간단한 행동 절차를 수립하여 복잡도를 최소화하며, 군집 무인기의 운용을 위해 분산형 방식을 고려하여 인접 무인기들의 공유 정보 또는 무인기의 내부 정보를 이용한 방향 전환을 수행한다.

탐색/이동 시 무인기 진행 방향으로 직진 비행하며 이동 경로에 있는 지역을 탐색한다. 무인기들이 근접 접근 시 개체 간의 통신으로 서로의 정보를 공유하고 충돌을 방지하기 위하여 공유한 상태정보를 바탕으로 충돌을 인지하고 회피를 수행하도록 한다. 또한 무인기 간의 공유한 탐색 지역 정보를 이용하여 효율적인 탐색 지역 분배 전략을 수립한다. 마지막으로 무인기의 제한된 비행 시간 및 통신 거리를 고려하기 위하여 탐색 중 목표를 인지하거나 임무 지속이 불가(배터리 부족)할 경우 기지로 복귀하도록 한다.

III. 합의 기반 자율 탐색 알고리즘

3-1 Search/Move Stage

탐색/이동은 임무 지역에 대한 경로점 설정 및 최적의 경로 계획을 수행하는 것이 아닌 개별 무인기의 연산 부담을 최소화하기 위하여 직진 비행을 기본으로 하며 특정 상황에서의 방향 전환만을 고려한다. 방향 전환은 지형과의 충돌 회피, 임무 외 지역으로 이탈, 타 무인기의 접근에 따른 충돌 회피, 합의에 따른 탐색 지역 전환 상황에서 발생하며 이후에는 지정 방향으로의 직진 비행한다.

무인기가 이동 시 특정 범위 내의 목표물 및 지역을 탐색한다고 가정하며 임무 지역에 대하여 격자로 구성된 지도를 생성한다. 그림 2와 같이 격자는 길이가 d 인 정사각형이며 임무 지역의 i 행 j 열에 있는 격자를 S_{ij} 로 정의한다. 무인기가 설정된 격자의 일정 범위로 접근하면 그 지역은 탐색된 것으로 간주하며 그 크기는 무인기의 상태 및 탑재체(영상 카메라)의 성능을 고려하여 설정 가능하다. 탐색 영역은 무인기의 고도와 탑재체의 FOV(field of view)로부터 도출되며, 이 때 무인기의 GPS 오차에 따라 탐색 영역의 변화가 나타나므로 오차에 의한 불확실성을 최소화하기 위하여 GPS 오차를 고려한 최소 탐색 영역 기준으로 한다. 격자의 크기와 최소 탐색 영역을 통해 격자 탐색 여부는 식 (1)과 (2)와 같이 주어진다.

$$R_{\min} = h \tan \lambda - \epsilon_{GPS} = R - \epsilon_{GPS} \quad (1)$$

$$\epsilon = R_{\min} - d / \sqrt{2} \quad (1)$$

$$\text{Search if } \|P - c_{ij}\| \leq \epsilon \quad (2)$$

여기서 ϵ_{GPS} 는 GPS의 위치 오차를, λ 는 탑재체의 FOV, R_{\min} 은 최소 탐색 범위이다. 또한 P 는 무인기의 현재 위치, c_{ij} 는 격자 S_{ij} 의 중심 위치이다.

3-2 Avoidance Stage

개별 무인기가 탐색을 수행하기 위해 주변 지형 및 인접 무인기에 대한 생존성 확보를 위하여 충돌 회피를 고려한다. 단순 충돌 회피 알고리즘을 적용하여 무인기들이 일정 거리 내에서 임의의 방향으로의 회피를 고려할 수 있지만 이는 다양한 충돌

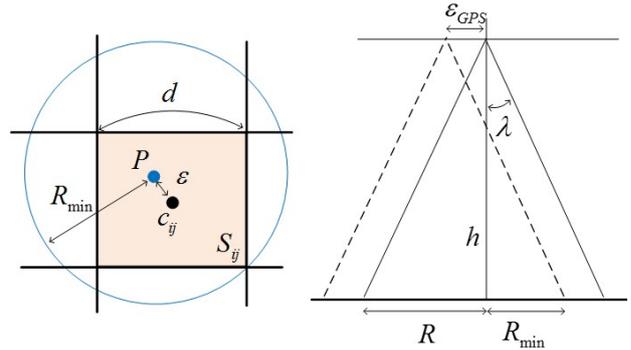


그림 2. 탐색 영역의 단순화

Fig. 2. Simplification of the search area.

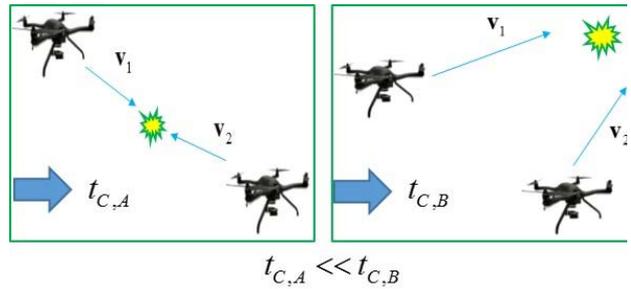


그림 3. 충돌시간을 고려한 회피 개념

Fig. 3. Concept of avoidance with time-to-collision.

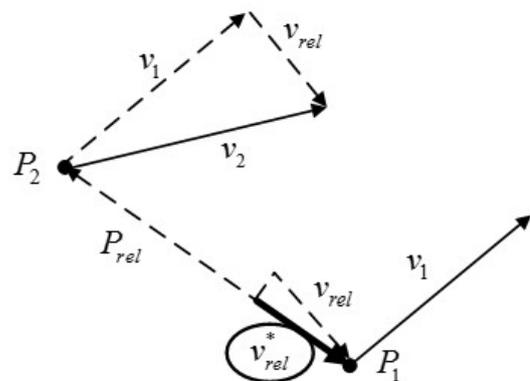


그림 4. 무인기 간 충돌 기하

Fig. 4. Collision geometry between UAVs.

기하에 따른 현실성이 배제되어 있다. 그림 3은 속력 v_1, v_2 로 비행하는 두 무인기의 충돌 기하를 나타내며 접근 방향에 따른 충돌시간(time-to-collision) 차이를 보여준다. B의 경우 두 무인기가 유사한 방향으로 비행 중이며 충돌시간이 긴 반면, A는 충돌시간이 짧으며 즉각적인 대응을 필요로 한다. 단순 상대거리가 아닌 충돌시간을 회피의 기준으로 함으로써 보다 유연한 대처를 가능하게 한다.

충돌시간은 그림 4에서와 같이 무인기의 상대 접근 속도에 대한 상대 위치로 계산할 수 있으며 이는 식 (3)과 (4)와 같다.

$$P_{rel} = P_2 - P_1$$

$$v_{rel} = v_2 - v_1$$

$$v_{rel}^* = \left(\frac{P_{rel} \cdot v_{rel}}{\|P_{rel}\|} \right) \frac{P_{rel}}{\|P_{rel}\|} \tag{3}$$

$$t_c = \frac{\|P_{rel}\|}{\|v_{rel}^*\|} = \frac{\|P_{rel}\|^2}{P_{rel} \cdot v_{rel}} \tag{4}$$

무인기는 식 (4)에서 계산된 충돌시간으로부터 대응시간을 고려한 기준시간과의 비교를 통해 충돌 회피한다. 충돌 기하 상에서 두 무인기가 점근적으로 접근해 올 경우 대응시간이 충분하더라도 무인기의 안전거리를 확보하기 위해 2차 안전장치로써 상대거리를 또한 적용한다.

3-3 Communication Stage

자율 탐색 알고리즘에서는 중앙관제시스템 또는 리더 무인기 주체의 정보 공유, 종합, 결정과 같은 통제에 따르지 않고 개별 무인기 간의 직접적인 통신으로부터 임무를 수행한다. 이에 대하여 다수 시스템 간의 복잡한 통신 링크나 패킷을 설정할 필요 없이 인접 무인기 간의 상태 정보(위치, 속도)와 임무 정보(합의 정보, 탐색 정보)만을 다룬다. 두 무인기가 서로 인접할 때마다 임무 지역에 대한 정보를 공유하기 때문에 단일 무인기의 임무 커버리지가 높지 않더라도 빠르게 전체 임무 지역 탐색이 가능하다. 본 논문에서는 무인기의 통신은 지연 없이 즉각적으로 이루어진다고 가정한다.

3-4 Consensus Stage

다수의 무인기들은 독립적으로 비행을 하면서 타 무인기와 근접할 때 상태 정보 및 탐색 정보를 공유한다. 이 때 개별 무인기의 방향 전환이 탐색 임무의 중요한 요소가 되며 탐색 성능을 좌우한다. 기존의 연구들에서는 종합적인 탐색 지역 정보에서 탐색 횟수에 따른 확률 모델에 기반하여 방향을 선택한다. 이는 동일한 미탐색 지역으로의 이동을 방지하며 미탐색 지역에 대한 선택 확률을 높여 광역 탐색을 가능하게 한다. 그러나 무인기의 제한된 자원 상황을 고려하지 않으며 모든 무인기가 공통된 탐색 정보를 갖는다는 한계점이 있다. 따라서 개별 및 공유된 탐색 정보에서의 미탐색 지역과 무인기의 자원 상황을 반영

한 score function을 정의하고 이를 바탕으로 탐색 방향 선택을 고려한다. 공유 정보로부터 미탐색 지역을 분류한 후 두 무인기에 미탐색 지역 방향을 분배하며, 기본적으로 무인기 간의 통신 및 합의는 일대일 상황을 가정하므로 미탐색 지역까지의 최소/최대 거리를 산출하여 적용한다.

무인기 간의 합의를 위한 score function은 식 (5)와 같이 공유된 탐색 정보와 무인기 health를 고려한 지수함수 형태로 정의된다. 또한 식 (6)과 (7)과 같이 인접한 두 무인기는 기존의 합의된 score보다 높은 score를 따르게 되며, 각 무인기에서 산출한 최대 score를 기준으로 하여 높은 쪽이 최댓값을, 작은 쪽 최솟값을 갖도록 합의한다.

$$s_i^k = \lambda^{-a}, (\lambda \geq 1, a \geq 0)$$

$$\left(\lambda = \frac{N_{search}}{n_{search}}, a = \frac{r_{\min, \max}}{VT_{battery}} \right) \tag{5}$$

$$\text{if } S_i^{k-1} > S_i^k$$

$$S_i^k = S_i^{k-1} \tag{6}$$

$$\text{if } (s_i^k)_{\max} > (s_j^k)_{\max}$$

$$S_i^k = (s_i^k)_{\max}, S_j^k = (s_j^k)_{\min} \tag{7}$$

여기서 s_i^k 는 k-번째에서 산출된 i-번 무인기의 score이며, S_i^k 는 k-번째에서 합의된 i-번 무인기의 score이다. $r_{\min, \max}$ 는 미탐색 지역까지의 최소/최대 거리, V 는 무인기 속력, $T_{battery}$ 는 잔여 배터리(잔여비행시간), N_{search} 는 기탐색 지역의 수, n_{search} 는 미탐색 지역의 수(≥ 1)를 나타낸다. λ 는 탐색 지역 대비 미탐색 지역의 수를 의미하여 미탐색 지역의 수가 적을수록 가중치가 매우 커지며 진행 방향에 대한 의존도를 높이는 효과를 나타낸다. 또한 a 는 도달거리와 잔여비행거리의 비로써 무인기의 임무수행능력을 의미한다.

Score function을 적용할 때 적은 수의 미탐색 지역이 남을 경우 다수의 무인기가 국소 해에 빠지는 문제가 발생할 수 있다. 일괄적으로 소수의 미탐색 지역으로 이동할 경우 동일한 탐색 지역으로 이동하는 것뿐만 아니라 일정 지역으로의 밀집을 유도하여 과도한 충돌 부담을 야기할 수 있다. 특히 미탐색 지역의 수가 무인기 수보다 적을 경우 무인기 간의 불필요한 합의가 발생한다. 이러한 문제에서 미탐색 지역에 대한 정의를 일정 횟수 이내로 탐색된 지역으로 재정의함으로써 동일한 score function을 가져갈 수 있다. 이러한 방식은 미탐색 지역뿐만 아니라 탐색 횟수가 적은 기탐색 지역으로의 이동을 고려하기 때문에 의도적으로 기탐색 지역에 대한 중복 탐색을 고려할 수 있다. 무인기를 이용한 탐색 임무에서 지형/지물에 의한 영상 사각이 발생하며 정밀 탐색을 위해서는 탐색 지역에서 사각을 고려한 경로계획이 이루어지거나 정밀한 위치/자세 제어가 이루어져야 한다. 다양한 사각 환경 정보를 고려하는 것은 임무의 복잡도를 증대시키기 때문에 제안한 알고리즘에서는 높은 중복 탐색률을 고려함으로써 추가적인 절차 및 기법 구현 없이 탐색 지역 사각에 대한 문제를 다룬다.

3-5 Report/Return Stage

무인기의 운용에 있어서 작은 배터리 용량에 따른 짧은 운용 시간은 광역 탐색 임무에서 큰 문제를 야기한다. 또한 지형/지물이 많은 곳에서는 무인기와 지상 통제소(GCS; ground control station)와의 원활한 통신을 위해 가시선이 확보되어야 하며 정보 교환을 위해 긴 통신 거리를 필요로 한다. 임무 환경에 의한 제약 사항과 GCS와 무인기의 통신 부담을 줄이는 방안으로 무인기가 목표물 또는 특이사항을 인지할 때 GCS로 복귀하여 관련 정보를 전달하도록 한다. 기존의 복수 무인기 운용에 있어서 GCS는 개별 무인기 상태 모니터링과 임무 재계획 역할을 수행한 것과 달리 제안한 알고리즘에서 GCS는 제 3의 무인기의 역할을 하여 무인기 간의 정보 공유를 보조하고 핵심적으로는 무인기에서 전달받은 영상을 정밀 분석하는 역할을 한다.

정보 전달이 아닌 배터리 교체를 위한 복귀는 무인기의 잔여 비행시간 대비 GCS까지의 최단 도달시간을 기준으로 수행한다. 중간 경로에서의 불확실한 환경을 고려하여 식 (8)과 같은 방식으로 여유 운용시간을 설정하여 복귀를 결정한다.

$$\text{Return if } \frac{\|P_{UAV} - P_{GCS}\|}{V} \leq \eta T_{battery} \quad (8)$$

여기서 $P_{(.)}$ 는 UAV 및 GCS의 위치이며, $\eta(\leq 1)$ 는 잔여비행시간에 대한 margin을 나타낸다.

IV. 시뮬레이션 결과

본 논문에서는 이동, 충돌 회피 등 5가지 절차를 수행하는 합의 기반 자율 탐색 알고리즘을 적용한 탐색 성능을 확인하기 위하여 표 2와 같은 조건에서 시뮬레이션을 수행하였으며, 무인기는 수평면에서의 운동을 고려하였다.

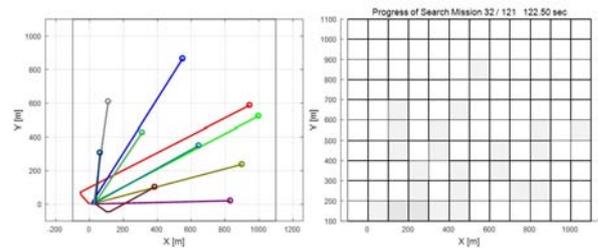
그림 5는 표 2의 초기 조건으로 자율 탐색 알고리즘을 적용한 시뮬레이션 결과로 탐색률 100%까지의 무인기 궤적 및 탐색 지역 정보를 나타내며, 탐색 지역은 탐색 횟수가 증가할수록 짙은 색으로 나타난다. 임무 초기에는 이동에 따른 중복 탐색이 적어 탐색 효율(탐색률/탐색 소요 시간)이 높지만 점차 효율은 저하된다(a) - 0.204, (b) - 0.235, (c) - 0.210, (d) - 0.121). 그러나 제안한 알고리즘은 단순히 탐색 효율만이 아니라 중복 탐색을 동시에 고려하며 탐색률 100%에서 76%, 임무 종료 시점에서는 88%의 중복 탐색률을 확보할 수 있어 불확실한 환경에서도 정확한 탐색을 기대할 수 있다.

또한 자율 탐색 알고리즘의 효용성을 확인하기 위하여 랜덤 탐색 알고리즘과의 비교 시뮬레이션을 수행하였다. 랜덤 탐색 알고리즘은 제안한 알고리즘과 동일하게 탐색/이동, 충돌 회피, 복귀 절차를 수행하지만, 탐색 방향 합의 방식이 아닌 무인기 간의 인접 시 임의의 방향으로 방향 전환하여 탐색 임무를 수행한다.

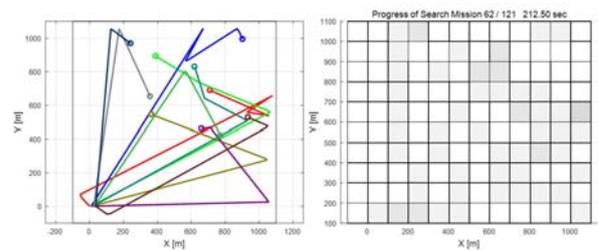
표 2. 시뮬레이션 조건

Table 2. Simulation conditions.

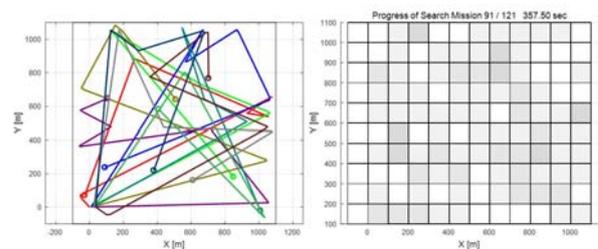
Parameter	Description	Value
n	Number of UAVs	10
V	UAV's speed (m/s)	10
P	UAV's position (m)	$[0, 0] + \mathcal{N}(0, 4^2)$
Map	Mission area (m × m)	1000 × 1000
d	Search sector (m)	100
r_{com}	Communication range (m)	50
$T_{battery}$	Endurance/Battery (min)	$25 + \mathcal{N}(0, 1^2)$



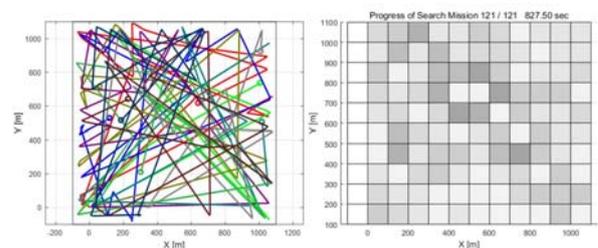
(a) search rate 25%



(b) Search rate 50%



(c) Search rate 75%



(d) Search rate 100%

그림 5. 탐색을 별 궤적 및 탐색 지역

Fig. 5. Trajectory and search area with search rate.

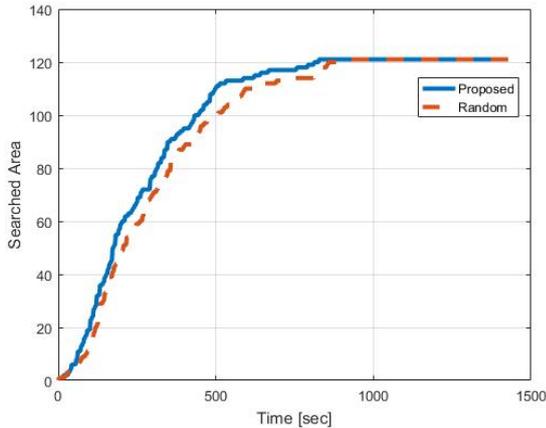


그림 6. 알고리즘 비교
 Fig. 6. Comparison of algorithms.

그림 6은 동일한 시뮬레이션 조건에서 두 탐색 알고리즘을 비교한 결과로 시간에 따른 탐색 coverage를 나타낸다. 탐색 초기에는 두 알고리즘 모두 탐색 효율이 높지만 시간이 지나면서 점차 효율이 감소한다. 특히 랜덤 탐색 알고리즘은 무인기의 방향을 임의로 전환하기 때문에 미탐색 지역으로의 방향 전환을 보장하기 어려워 탐색 coverage가 커짐에 따라 성능 저하 및 결과의 변화폭도 크다. 그러나 제안한 알고리즘은 무인기 간의 정보 공유 및 합의를 통해 score가 높은 무인기의 이동을 장려하기 때문에 탐색 coverage가 커져도 보다 높은 성능을 갖는다.

위의 시뮬레이션에서 탐색 소요 시간은 약 1400 sec이며 탐색률 100%에 소요된 시간은 약 800 sec이다. 무인기는 통신 거리 내에서 무인기 및 GCS와의 정보 교환으로 탐색 지역 정보를 갱신하고 탐색률 100%를 달성하는 과정에서 GCS는 개별 무인기의 정보를 종합하여 탐색 지역 정보를 확보하지만 통신 거리 제약으로 인해 일부 무인기는 탐색 정보의 공백이 발생하여 탐색률 100%를 만족하기 위해 임무를 지속하게 된다. 이러한 추가적인 임무 수행으로 인해 탐색 성능이 저하되는데 무인기 및 GCS와의 통신 거리를 충분히 확보하여 무인기 간의 정보 불일치를 해결함으로써 탐색 성능 향상이 가능할 것을 기대할 수 있다.

군집 무인기의 운용에서는 통신 거리와 같은 무인기 성능뿐만 아니라 운용 대수가 주요한 성능 향상 요소로 작용한다. 표 3은 무인기 운용 대수를 10 ~ 30대를 고려하여 시뮬레이션을 수행한 결과로 운용 대수에 따른 알고리즘별 탐색 소요 시간을 나타낸다. 두 알고리즘 모두 랜덤 요소를 포함하고 있기 때문에 20회의 결과에 대한 평균치를 나타내었다. 랜덤 탐색 알고리즘의 경우 운용 대수 증가에도 성능이 향상되지 않으며 오히려 과도한 방향 전환으로 인해 탐색 성능이 저하된다. 제안한 알고리즘의 경우 대수 증가에 따라 탐색 성능이 향상되는 것을 확인할 수 있다. 그러나 대수 증가와 성능 향상 정도가 비례하지 않기 때문에 무인기 성능과 운용 대수에 대해 적절한 선택이 필요하다.

표 3. 무인기 수에 따른 알고리즘 비교

Table 3. Comparison of algorithms for various No.UAVs.

No.UAVs	Search performance(Time, sec)	
	Random search algorithm	Proposed search algorithm
10	1348	1316
20	1337	1031
30	1489	913

V. 결 론

본 논문에서는 무인기 간의 정보 공유에 기반하여 군집 무인기 활용을 위한 자율 탐색 알고리즘을 제안하였다. 운용자의 개입을 최소화 하고 무인기의 자율 탐색을 위하여 탐색/이동, 충돌 회피, 통신, 합의, 복귀/보고의 절차를 수립하고 연산 부담을 줄이기 위해 행동을 단순화하였다. 탐색 방향 합의를 위해 score function을 도입하여 미탐색 지역으로의 이동에 대한 가중치와 무인기의 임무수행능력을 반영하였으며 동시에 특정 지역으로의 포화를 방지하고 탐색 사각 해결을 위해 누적 탐색을 고려하였다. 제안한 알고리즘의 성능을 확인하기 위하여 랜덤 탐색 알고리즘과의 비교 시뮬레이션을 수행하였으며 특히 합의를 바탕으로 하여 무인기 운용 대수 증가에 따라 성능이 향상됨을 확인하였다. 무인기를 이용한 탐색에 있어서 운용자의 개입 없이 효율적으로 임무를 수행할 수 있는 가능성을 확인하였으며, 향후 실제 임무 환경 및 무인기의 하드웨어 특성을 반영한 시뮬레이션과 더불어 비행시험을 통한 알고리즘 검증할 예정이다.

Acknowledgments

본 논문은 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단, 무인이동체 미래선도 핵심기술 개발사업단의 지원을 받아 수행된 연구(No. 3148204857)의 일환으로써, 관계부처에 감사드립니다.

References

[1] E. Bonabeau, M. Dorigo, and G. Theraulaz, *Swarm Intelligence : from Natural to Artificial Systems*, Oxford University Press, 1999.
 [2] J. Kennedy and R. Eberhart, "Particle swarm optimization," in *Proceedings of the IEEE International Conference on Neural Networks*, Piscataway, pp.1942~1948, 1995.
 [3] M. Dorigo and T. Stutzle, *Ant Colony Optimization*, MIT Press, 2004.
 [4] C. A. Erignac, "An exhaustive swarming search strategy

based on distributed pheromone maps,” in *AIAA Infotech@Aerospace 2007 Conference and Exhibit*, California, 2007.

[5] E. Kuiper, and S. Nadjm-Tehrani, “Mobility models for UAV group reconnaissance applications,” in *Proceedings of the International Conference on Wireless and Mobile*

Communications, Romania, pp. 33-38, 2006.

[6] R. Parasuraman, T. B. Sheridan, and C. D. Wickens, “A model for types and levels of human interaction,” *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Systems and humans*, Vol.30, No. 3, 2000.



박 국 권 (Kuk-Kwon Park)

2014년 2월 : 인하대학교 항공우주공학과 (공학사)
2014년 3월 ~ 현재 : 인하대학교 항공우주공학과 통합과정
※ 관심분야 : 유도, 항법 및 제어



권 호 준 (Ho-Jun Kwon)

2017년 2월 : 인하대학교 항공우주공학과 (공학사)
2017년 3월 ~ 현재 : 인하대학교 항공우주공학과 석사과정
※ 관심분야 : 유도, 항법 및 제어



최 은 주(Eunju Choi)

2017년 2월 : 인하대학교 항공우주공학과 (공학사)
2017년 3월 ~ 현재 : 인하대학교 항공우주공학과 석사과정
※ 관심분야 : 유도, 항법 및 제어



유 창 경 (Chang-Kyung Ryoo)

1991년 2월 : 한국과학기술원 항공우주공학과 (공학석사)
2006년 2월 : 한국과학기술원 항공우주공학과 (공학박사)
2006년 9월 ~ 현재 : 인하대학교 항공우주공학과 교수
※ 관심분야 : 유도, 항법 및 제어