

고도를 달리하는 드론들의 협력에 의한 확률기반 목표물 탐색 방법

하일규*

Probability-Based Target Search Method by Collaboration of Drones with Different Altitudes

Il-Kyu Ha*

Department of Computer Engineering, Kyungil University, Gyeongsan, Gyeongbuk 38428, Korea

요 약

넓은 탐색영역에서 활동하는 드론에서 신속한 처치를 요하는 응급환자의 탐색, 신속한 경보와 대응을 요하는 자연재해의 감시와 같은 응용 분야에서 목표물 파악의 시간(time), 즉 신속성의 문제는 매우 중요한 문제가 된다. 드론의 실제 운영에 있어서 목표물을 파악하는 시간은 탐색 영역을 효율적으로 탐색하기 위한 탐색 알고리즘 및 드론 간의 협업과 매우 연관성이 깊다. 따라서 본 연구에서는 드론을 이용한 목표물 탐색에 있어서 신속성의 문제를 해결하기 위하여, 고도를 달리하는 드론들의 협력에 의한 확률기반 목표물 탐색 방법을 제안한다. 특히 제안한 방법은 고(高)고도 드론이 우선 탐색을 실시하고, 탐색 결과를 저(低)고도 드론에 전달하여 보다 정밀한 탐색을 함으로써 탐색 시간을 줄이고 목표물 발견의 확률을 높이는 방법이다. 시뮬레이션을 통하여 제안된 방법의 성능을 분석한다.

ABSTRACT

For the drone that is active in a wide search area, the time to grasp the target in the field of applications such as searching for emergency patients, monitoring of natural disasters requiring prompt warning and response, that is, the speediness of target detection is very important. In the actual operation of drone, the time for target detection is highly related to collaboration between drones and search algorithm to efficiently search the navigation area. In this research, we will provide a search method with cooperation of drone based on target existence probability to solve the problem of quickness in drone target search. In particular, the proposed method increases the probability of finding a target and shorten the search time by transmitting high-altitude drone search results to a low-altitude drone after searching first and performing more precise search. We verify the performance of the proposed method through several simulations.

키워드 : 드론, 목표물 탐색, 확률 탐색, 드론 협업, 무인항공기

Key word : Drone, Target Search, Probability Search, Drone Collaboration, Unmanned Aerial Vehicles

Received 06 October 2017, Revised 16 October 2017, Accepted 24 October 2017

* Corresponding Author Il-Kyu Ha(E-mail: ikha@kiu.kr, Tel:+82-53-600-5564)

Department of Computer Engineering, Kyungil University, Gyeongsan, Gyeongbuk 38428, Korea

Open Access <https://doi.org/10.6109/jkiice.2017.21.12.2371>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©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.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

드론은 골든타임(golden time) 내에 있는 조난자의 구조, 전시(戰時)에서의 군사시설 및 이동무기의 파악, 산불과 같은 자연재해의 감시 등 많은 응용 분야[1, 2]에서 신속성을 요구한다. 드론은 넓은 예상 범위에서 정확한 목표물의 위치를 파악하여야 하므로 데이터의 수집과 전달에 있어서 목표물의 탐색에 많은 시간을 소요한다[3]. 따라서 광범위한 탐색 영역에서 신속하게 목표물이 존재하는 위치를 파악하는 기술이 매우 필요하다. 드론의 실제 운용에 있어서 정확성의 문제는 그림 1과 같이 드론의 고도 변화와 매우 연관성이 깊고, 신속성의 문제는 탐색 영역을 효율적으로 탐색하기 위한 탐색 알고리즘 및 드론 간의 협업과 연관되어 있다[4].

한편, 드론은 원격지에서 사람이 직접 제어하는 데 어려움이 많으므로 목표물을 찾는 작업은 자율적으로 효과적인 행동을 수행하는 자율비행이 필요하다. 따라서 드론의 탐색 알고리즘은 자율비행이라는 조건이 전제된다. 자율비행 방법 중 가장 많이 연구되고 있는 방법은 확률기반 탐색 (Probabilistic Search) 방법이다. 이는 초기 탐색 정보를 기반으로 탐색 행동을 취하면서 확률적인 방법에 의해 목표물의 존재여부를 결정해나가는 방법이다.

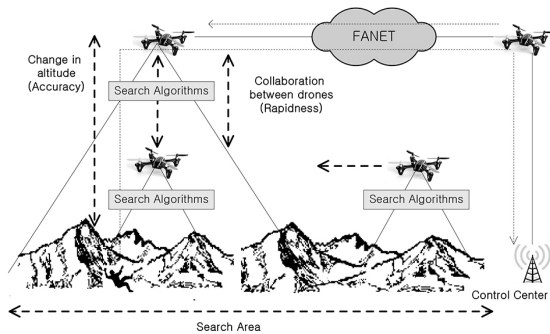


Fig. 1 Rapidness of drone's target detection

본 연구는 드론을 이용한 목표물 탐색에 있어서 신속성의 문제와 정확성의 문제를 함께 해결하기 위하여, 우선 목표물을 신속하게 찾아낼 수 있도록 탐색 영역을 신속히 결정해나가는 최적의 탐색 알고리즘을 고찰하여, 나아가 목표물 탐색의 정확성을 고려하고 탐색의 신속성을 강화하기 위하여 탐색 고도의 제어 방법 및

드론 간의 협업 방법을 연구한다.

따라서, 본 연구에서는 드론의 자율비행에서 목표물 탐색시간을 최소화 할 수 있는 개선된 확률기반 탐색 알고리즘을 제안한다. 특히 제안된 알고리즘에서는 고고도의 드론과 저고도의 드론이 서로 협력하여 목표물을 탐색함으로써 탐색 시간을 최소화한다. 탐색 시나리오를 제시하고 몇 가지 비교 시뮬레이션을 통해 제안된 방법의 성능을 검증하고 분석한다.

II. 관련 연구

현재까지 제안된 드론의 탐색관련 알고리즘 중 잘 알려진 방법은 Greedy heuristics 알고리즘, Potential-based 알고리즘, Partially Observable Markov Decision Process(POMDP) 알고리즘 등이다[5].

Greedy Heuristics 알고리즘은 다음 셀을 위한 센싱 (sensing) 작업 이후에, 희생자가 존재할 가능성에 대한 확신을 높이기 위하여 가장 높은 신뢰도 (highest belief) 를 가지는 이웃 셀로 이동하는 방법이다. Potential-based 알고리즘은 탐색영역에서 셀의 attractive potential과 repulsive potential의 합을 구하고 최소 potential을 가진 셀로 이동하는 방법이다. Attractive potential 은 UAV가 목표물로부터 떨어질 때 증가하고, Repulsive potential은 UAV가 장애물에 근접할 때 증가한다. 이웃하는 다음 셀을 선택할 때 두 potential의 합이 가장 작은 셀을 선택하도록 한다. MDP (Markov Decision Process)는 순차적 의사결정 문제 해결을 위한 일반적인 모델로, 의사결정 주체인 에이전트가 어떠한 행동을 수행하면 행동과 환경의 상태에 따라 그 결과인 보상값 (reward)이 주어진다. MDP 모델은 이러한 앞으로 받을 수 있는 보상값을 최대화할 수 있는 행동을 알고리즘을 이용하여 계산하고 선택하게 한다[6]. 드론의 목표물 탐색에서는 현재 상태를 부정확하게 관찰가능한 경우가 많으므로 정확한 관찰을 전제하는 MDP 모델보다는 POMDP 방법을 사용한다.

앞서 언급한 세 가지 방법 중 가장 최근의 탐색 방법은 POMDP 탐색 알고리즘이라고 할 수 있다[5]. 하지만, POMDP 방법은 계산의 복잡성으로 인해 넓은 영역에 적용되기에는 매우 곤란한 측면이 있다. 즉, 탐색영역이 증가함에 따라 매우 높은 계산 복잡도를 가지기

때문이다. 따라서 본 연구에서는 드론의 자율비행이라는 조건을 감안하여, 드론 스스로 탐색 영역을 비행하며 목표물 존재의 가능성을 판단하는 확률기반 탐색 방법[5]을 기반으로 탐색 알고리즘을 설계한다. 본 연구에서 제안한 확률기반 탐색 방법은 고고도 드론과 저고도 드론의 협력에 의해 탐색시간을 최소화하며 탐색의 정확도를 높이는 방법이다.

현재까지 진행된 확률기반 탐색에 관한 연구를 정리하면 표 1과 같다. [7]은 초기의 확률탐색 방법에 대한 연구로서 탐색의 문제와 탐색 모델을 제시하고 있으며, 각 탐색 셀의 신뢰도를 구하기 위한 신뢰도 함수(belief, probability function)를 제시하고 있다. [8]은 고고도 드론과 저고도 드론의 협력 방법을 제시한 초기의 연구이다. 하지만 이는 구체적인 탐색 알고리즘이 제시되어 있지 않고 협력과 비협력의 비교에 중점을 두고 있다. [9]는 신뢰도 업데이트 함수를 위한 α 와 β 값을 실험적으로 결정하는데 의의가 있다. α 는 거짓 탐지(false alarm) 확률을 의미하고, β 는 누락 탐지(missed detection) 확률을 의미한다. [10]은 한 셀의 신뢰도 업데이트 함수를 다수 셀에 적용할 수 있도록 확장하였고, 셀 구분 경계선에 정확하게 일치하지 않는 관측을 고려하였다. [7]은 앞서 언급한 탐색 알고리즘을 소개하고 특정한 실험 환경에서 시뮬레이션을 통해 각 알고리즘의 성능을 비교 분석하고 있다.

Table. 1 Studies related to probabilistic search

Study	Features	Weakness
[7]	Definition of drone's target detection problem	No collaboration between drones
[8]	Suggestion of cooperation between drones	No specific search algorithm
[9]	Determination α and β values for probability update function through experiments	No specific search algorithm and No collaboration between drones
[10]	Consideration of multiple complete cell observations and unaligned cell observations	No specific search environment
[5]	Analysis of drone search algorithms	No unique search algorithm

위에서 제시한 대부분의 확률기반 탐색에 관한 연구는 드론의 확률 탐색을 위한 구체적인 드론 간의 협업

방법, 구체적인 탐색 환경을 제시한 드론의 탐색 방법 등이 부족한 편이다[11].

따라서 본 연구에서는 고고도 드론과 저고도 드론의 고도 제어 방법, 고고도 드론과 저고도 드론의 협업에 의한 구체적인 탐색 방법을 포함하는 확률기반 목표물 탐색 방법을 제안한다.

III. 제안 알고리즘

3.1. 목표물 탐색 문제

본 연구에서는 목표물 탐색 문제를 아래와 같이 정의한다[5, 7].

- 1) 드론은 탐색 영역 A안에 있는 단독, 정적 목표물 x_T 를 찾는 것을 목표로 한다.
- 2) 탐색 영역 A는 $|A|$ 개 그리드(grid) 셀들로 분해된다. 이때, 목표물은 최소한 하나의 셀에 존재한다.
- 3) 드론은 탐색 센서와 감시 센서를 갖추고 있다. 탐색 센서는 탐색 셀 안의 드론의 위치를 알기 위한 것이고, 감시 센서는 드론이 날고 있는 셀에 대해 목표물의 탐지/미탐지 정보를 알려주는 역할을 한다.
- 4) k 번째 드론의 탐지 센서는 M_{hk} 셀을 커버한다. 이때 h_k 는 드론의 고도이다.
- 5) 제어 입력은 드론이 다음으로 이동할 셀로 향하는 이동 방향 waypoint)이다.

각 고도에서의 드론은 $|A|$ 셀로 구성된 신뢰도맵(probabilistic map, belief map)을 가지고 있다. 신뢰도맵을 구성하는 각 셀은 목표물이 그 셀에 존재할 확률을 가진다. 신뢰도 맵은 드론이 사전에 가지고 있는 지형 지물 등 탐색 영역에 대한 정보이다.

본 연구에서 사용하는 탐색 모델은 다음과 같이 정의한다. d_a^t 는 시간 t 에서 셀 a 에 대한 탐색 측정치를 말하며 0 또는 1의 값을 가지는 이진 변수이다. $x_T=a$ 는 a 번째 셀에 목표물이 존재함을 나타낸다.

$Pr_h(d_a^t = 1 | x_T = a) = 1 - \beta_h$ (있다고 측정하고 실제 있을 확률)

$Pr_h(d_a^t = 0 | x_T = a) = \beta_h$ (없다고 측정하고 실제 있을 확률, missed detection)

$\Pr_h(d_a^t = 0 | x_T \neq a) = 1 - \alpha_h$ (없다고 측정하고실제 없을 확률)

$\Pr_h(d_a^t = 1 | x_T \neq a) = \alpha_h$ (있다고 측정하고실제 없을 확률, false alarm)

이때, \Pr_h 는 고도 h 에서 셀 a 에 대한 탐색 후의 목표물 존재의 확률을 의미한다. α_h 는 고도 h 에서 거짓 탐지(false alarm)를 의미하고, β_h 는 누락 탐지(missed detection)를 의미한다. 탐지 확률은 UAV의 고도에 크게 의존한다. 탐색 공간은 UAV의 고도에 따라 증가한다. 고고도의 UAV는 저고도의 UAV보다 큰 탐색 커버 영역을 가지고 낮은 센싱 해상도(낮은 탐색 확률)를 가지므로, 본 연구에서는 고도가 높아짐에 따라 거짓 탐지와 누락 탐지의 확률이 증가하는 것으로 가정한다.

UAV의 탐색의 문제는 목표 위치의 초기 신뢰도(initial belief)를 나타내는 사전 확률 분배 함수(prior probability distribution function, PDF)의 가정으로부터 시작한다. 이 작업은 가우시안 분배(Gaussian distribution)[12] 또는 강 또는 산과 같은 환경적 특징에 의존하는 목표물 위치의 개략적인 예측이 된다[5]. 이를 통해 초기 신뢰도 맵이 구성되고, 이를 기반으로 목표물이 해당 영역에 있을 확률이 확률 업데이트 함수(probability update function)를 통해 계산되고 각 관측 후에 순환적으로 함수를 통해 확률값이 계산된다.

D^t 를 시간 t 에서의 모든 셀들의 측정치라고 하고 $\Pr(x_T=a)$ 를 셀 a 에 목표물이 존재할 확률이라고 하면, 셀 a 의 이전($t-1$) 확률과 셀 a 에서의 측정치가 주어졌을 때, 목표물이 셀 a 에 존재할 확률은 베이스 정리(Bayes rule)[13]를 이용하여 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\Pr(x_T = a | D^t) = \frac{\Pr(d_a^t | x_T = a, D^{t-1}) \Pr(x_T = a | D^{t-1})}{\Pr(d_a^t | D^{t-1})}$$

이때, 식을 구성하는 각 요소의 의미는 다음과 같다.

- $D^t = \{d^1, \dots, d^t\}, D^{t-1} = \{d^1, \dots, d^{t-1}\}$: 모든 셀 측정치
- $\Pr(d_a^t | x_T = a, D^{t-1})$: 시간 t 에서 셀 a 에 대한 탐색 결과
- $\Pr(x_T = a | D^{t-1})$: 이전 단계에서 목표물이 셀 a 에 존재할 확률값
- $\Pr(d_a^t | D^{t-1})$: 측정의 주변화(the marginalization of the measurement)

측정의 주변화는 다음과 같이 나타낼 수 있으며, 이때 H 는 목표물 존재의 결정을 위한 이진 변수로 해당 영역에 목표물이 존재하면 1, 존재하지 않으면 0의 값을 갖는다.

$$\Pr(d_k^t | D^{t-1}) = \sum_{H=\{0,1\}} \Pr(d_k^t | H, D^{t-1}) \Pr(H | D^{t-1})$$

셀 업데이트 메커니즘은 그리드 셀이 서로 독립적이라고 가정할 때, 즉, 신뢰도맵은 관측이 일어나는 단지 그 셀에만 업데이트가 일어난다고 가정할 때, 순환 베이시안 예측(recursive Bayesian estimator)[14]을 통한 업데이트 방정식은 아래와 같이 요약하여 계산할 수 있다. 시간 t 에서의 관측이 존재($d^t=1$)인가 부존재($d^t=0$)인가에 따라 아래와 같은 각각 다른 식이 적용된다.

$$P_t = \begin{cases} \frac{(1-\beta_h)P_{t-1}}{(1-\beta_h)P_{t-1} + \alpha_h(1-P_{t-1})}, & \text{if } d^t = 1 \\ \frac{(\beta_h)P_{t-1}}{(\beta_h)P_{t-1} + (1-\alpha_h)(1-P_{t-1})}, & \text{if } d^t = 0 \end{cases}$$

3.2. 고도 제어 방법

드론의 고도 제어에 있어서 가장 먼저 고려해야 할 것은 탐색 고도(높이)의 분할 문제, 즉 탐색 고도를 몇 개의 레벨로 분할 할 것인가에 관한 문제이다. 탐색 영역을 한 번의 길이가 a 로 동일한 정사각 형태라고 가정할 때, 그림 2와 같이 탐색 영역은 높이의 제곱에 비례한다. 이는 아래의 식과 같이 표현할 수 있다[15].

$$\frac{A_2}{A} = \frac{(\frac{2h}{4})^2}{h^2}$$

따라서 최고 상위 드론의 높이가 h 라고 할 때, 탐색 영역은 A 이고, 높이가 $2/4h$ 인 하위 드론의 탐색 영역은 $1/4A$ 가 된다. 높이의 문제에 관하여 [5]에서는 Level 1, Level 2 라고만 기술되어 있고 구체적인 높이에 관한 언급이 없고, [6]에서도 저고도, 고고도 무인기로 구분하여 탐색 역할을 나누고 있지만 구체적인 고도에 관한 언급이 없다. 본 연구에서는 고고도 드론과 저고도 드론이 고도차를 $1/2h$ 로 유지하면서 탐색하는 방법을 연구한다.

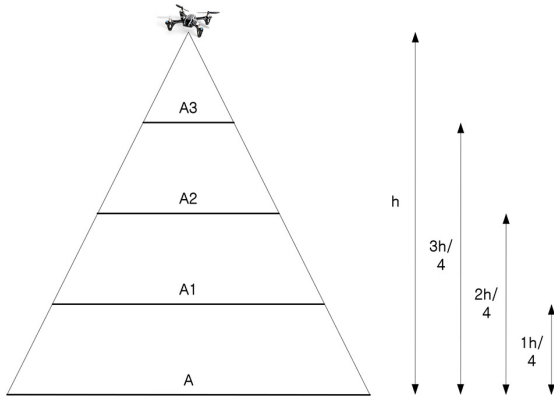


Fig. 2 Relationship between search altitude and search area

둘째 문제는 탐색 영역의 분할 문제이다. 이는 드론의 높이와 관련된다. 드론의 높이가 결정되면 관측 영역이 계산된다. 드론의 카메라는 광각(어안) 렌즈로 되어 있다. 광각 렌즈는 사각(寫角)이 180°를 넘는 초광각 렌즈를 말한다. 이 렌즈의 가장자리 부분은 왜곡이 심하게 발생하며, 일반렌즈에 비해 초점 조절이 쉽지 않은 특징을 가지고 있다. 따라서 획득된 영상은 넓게 보이지만 그림 3과 같이 계산의 편의성과 정확성을 위해 탐색 영역을 사각형 형태로 한다. 초기 탐색 영역이 원형이라고 할 때 반지름은 a가 되고 a와 높이 h는 아래와 같은 관계를 가진다.

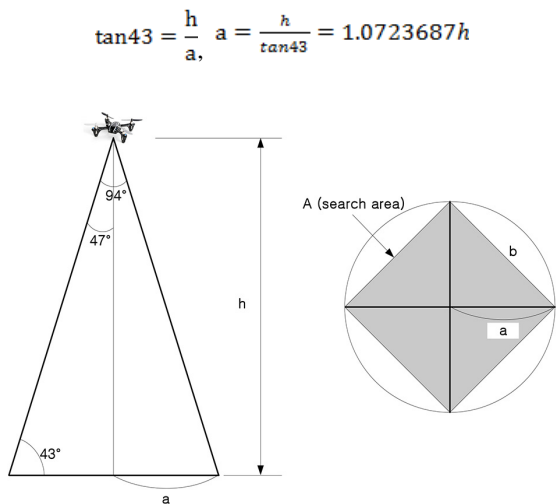


Fig. 3 Relationship between search altitude and search area

또한, 실제 탐색 영역 A를 구하기 위해서는 b값을 알아야 한다. b와 a는 아래와 같은 관계를 가지며, 따라서 탐색 영역 A는 다음과 같이 구할 수 있다. 이를 통해 높이 h에 따른 탐색 영역 A의 크기를 구할 수 있다.

$$b = \sqrt{2} \times a$$

$$A = b \times b = (\sqrt{2} \times a)^2 = 2a^2 = 2(1.0723687h)^2$$

3.3. 제안 알고리즘

본 연구에서는 탐색 고도의 조절에 따라 고고도에서 우선 탐색을 실시하고 이에 대한 정보를 기반으로 저고도에서 상세한 탐색을 실시하는 방법을 제안한다. 그림 4는 제안된 고도차를 가지는 드론간의 협력에 의한 확률기반 알고리즘을 보여준다. 알고리즘에서 Max_h 와 Min_h 는 드론의 최대탐색고도와 최소탐색고도를 의미하고, Th_b 는 탐색성공확률의 문턱값을 의미하며, A_i 는 레벨 i에서의 탐색영역을 의미하고, h_i 는 레벨 i의 고도를 의미하여, c_i 는 레벨 i에서의 각 셀의 신뢰도를 의미한다.

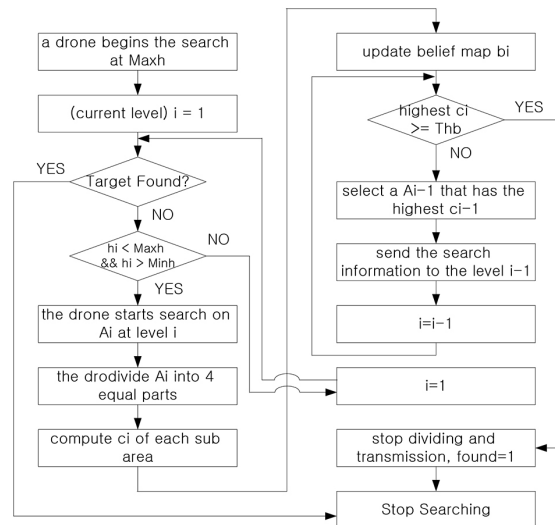


Fig. 4 The proposed probabilistic search algorithm

제안된 알고리즘의 동작은 다음과 같다. 우선 고고도 드론이 탐색 영역을 초기 탐색한다. 탐색 영역을 1/4등분하여 가장 높은 신뢰도를 가진 셀을 포함하는 영역을 정하고 이러한 정보를 저고도 드론에 전달한다. 저고도

드론은 전달받은 정보를 가지고 해당 영역을 탐색한다. 저고도 드론은 고고도 드론의 동작과 같이 탐색 영역을 1/4등분하여 가장 높은 신뢰도를 가진 셀을 포함하는 영역을 정하고 이에 대한 정보를 저고도 드론에 전달한다. 이때 신뢰도가 문턱값 이상인 경우 하위 드론으로의 정보 전달을 중지하고 탐색 성공으로 간주하여 탐색을 종료한다.

3.4. 탐색 시나리오

고도를 달리하는 드론들은 그림 4에서 제시된 알고리즘에 따라 협업에 의해 목표물을 탐색할 수 있다. 그림 5는 상위 드론과 하위 드론의 협업 시나리오의 예를 보여준다. 그림과 같이 상위 드론(H)과 하위 드론(L)은 원점(0,0)위치에서 탐색을 시작한다. 정한 한계 최대 높이에 따라 상위 드론의 최초 탐색 영역이 정해지고 (여기서는 4 x 4), 상위 드론이 탐색을 시작한다. 탐색 영역을 1/4로 나누고 가장 신뢰도가 높은 사분면 영역이 어디 인지 파악한다. 보다 상세한 파악을 위하여 파악한 정보를 하위 드론에게 전달한다. 하위 드론은 원점에서 탐색을 시작하고 상위 드론이 초기 탐색을 할 동안 탐색 영역의 가운데 지점으로 이동한다. 그 후 상위 드론에서 신뢰도가 가장 높은 사분면 영역이 결정되면 상위 드론의 정보를 받아서 해당 사분면의 중심으로 이동한다. 해당 위치에 도착하면 하위 드론은 상세 탐색을 하여 가장 신뢰도가 높은 영역을 찾고 목표물의 존재를 결정한다.

상위 드론은 초기 탐색 위치 Hs에서 탐색을 시작하고 탐색 결과를 하위 드론에게 전달하고 다음 위치로 이동한다. 이동 위치는 상, 하, 좌, 우가 가능하며 선택 방법(알고리즘)은 앞서 논했던 Greedy Heuristic, Potential-based, Linear search 방법 등이 가능하다. 따라서 상위 드론은 H1 또는 H2 지점으로 이동한다. 하위 드론은 Ls 지점(예)에서 탐색을 시작하고 문턱값 이상의 신뢰도를 가지는 목표물을 찾지 못할 경우 상위 드론에 따라서 다음 영역으로 움직인다. 하위 드론은 상위 드론이 새로 탐색을 시작하는 위치에서 함께 대기하며 탐색을 시작한다. 즉 H1 또는 H2 지점으로 이동하여 상위 드론이 정보를 제공할 때까지 대기한다.

상위 드론의 최초 탐색 영역의 크기는 드론의 한계 최대 높이에 따라 결정된다. 한계 최대 높이를 낮게 할 경우, 상위 드론의 탐색 영역이 좁아지고 상위 드론과

하위 드론 간에 정보 전달 등 협업에 의한 에너지 소모가 심할 것이며, 한계 최대 높이를 너무 높게 할 경우, 최상위 드론의 초기 탐색 결과에 대한 신뢰도 결정에 따라 하위 드론이 탐색을 하게 되므로 초기 탐색의 결과가 매우 중요하며 잘못된 결정일 경우 위험 부담이 매우 크다. 따라서 카메라의 성능, 한계 신뢰도 등을 감안하여 한계 최대 높이를 결정하여야 한다. 그림 5의 격자 모양 탐색 영역에서 4x4 크기가 상위드론의 최초 탐색 영역의 크기가 되고, 하위드론의 탐색 영역은 2x2가 된다.

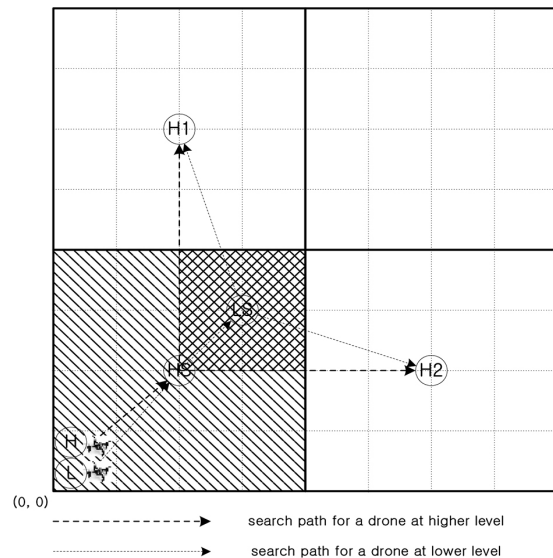


Fig. 5 Collaboration scenario between higher-altitude drone and lower-altitude drone

IV. 성능 분석

4.1. 시뮬레이션 환경

시뮬레이션을 위해 사용하는 탐색영역(area, map)은 그림 6과 같다. 탐색영역에는 강(R)과 산책로(W), 나무(T), 건물(B) 등 지형지물이 존재하고 목표물은 하나가 랜덤한 지점에 존재한다고 가정한다. 드론은 사전에 탐색 영역의 지형을 알고 있다고 가정하고, 목표물이 존재할 가능성에 따라 사전 신뢰도 계산에 필요한 가중치를 부여한다. 산책 또는 등산 중에 쓰러지는 등 길 위에서 위급상황을 맞게 되는 경우가 많으므로 산책길은 비

교적 목표물이 존재할 가능성이 높다고 판단하여 신뢰도(probability) 계산에서 +0.2의 값을 적용하고, 강은 -0.2, 건물은 -0.2, 나무는 -0.1의 값을 적용한다. 목표물은 랜덤한 위치에 하나 존재하며, (1,1) 지점에서 두 대의 드론이 출발한다고 가정한다. 그림과 같이 전체 탐색영역은 8*8로 가정하고, 고고도 드론의 탐색영역은 4*4, 저고도 드론 탐색영역은 2*2로 한다. 시뮬레이션을 위한 구체적인 환경은 표 2와 같다. 신뢰도 업데이트를 위한 α 와 β 값은 [9]의 같은 고도에서의 실험 측정치를 이용하고 고고도 드론의 이웃 영역 선택 방법은 선형(linear)으로 한다.

8					W		R	
7				W			R	
6			W	T			R	
5		T	W				R	
4		W						R
3	W	B						R
2								
1								
	1	2	3	4	5	6	7	8

Fig. 6 Search area for simulation

Table. 2 Simulation environments

Category	Contents
Simulation tool	MATLAB
Size of search area	8 x 8 units
Number of drone	2
Average speed of drones	15km/h (4.166667 m/s)
Search area of the high-altitude drone	4 x 4 units (altitude: 20m)
Search area of the low-altitude drone	2 x 2 units (altitude: 10m)
Search area of the lowest-altitude drone	1 x 1 units (altitude: 5m)
Limit probability	0.99
α and β values	Experimental value of [7]

4.2. 결과 및 분석

제안된 알고리즘의 성능 분석을 위하여 3.4절에서 언급한 제안된 협력 알고리즘의 시나리오와 저고도 드론에 의한 선형 탐색 방법을 비교한다. 시뮬레이션 결과는 아래와 같다. 그림 7은 두 방법의 CPU time을 비교

한 것이다. 저고도 드론에 의한 선형 검색보다는 고고도 드론과 저고도 드론의 협력을 기반으로 하는 검색 방법이 보다 효율적인 것으로 나타난다.

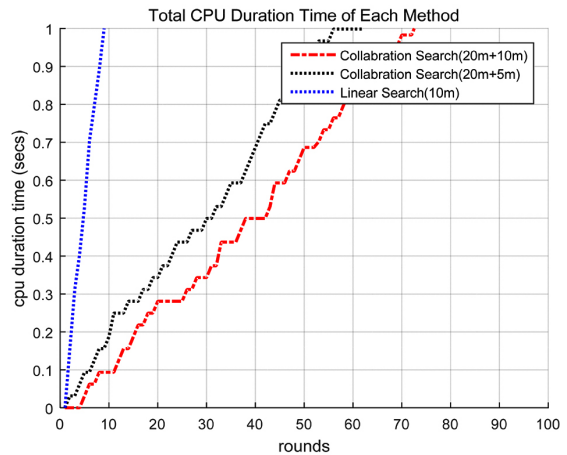


Fig. 7 Comparison of the cumulative CPU time of each method

그림 8은 탐색 이후 탐색 성공의 간주(considered success) 까지 드론이 움직인 거리를 비교한 것이다. 고고도 드론의 탐색 영역을 4등분하면서 탐색해나가는 방법이 선형 탐색보다 탐색 성공까지 비교적 적은 거리를 이동하는 것으로 나타난다.

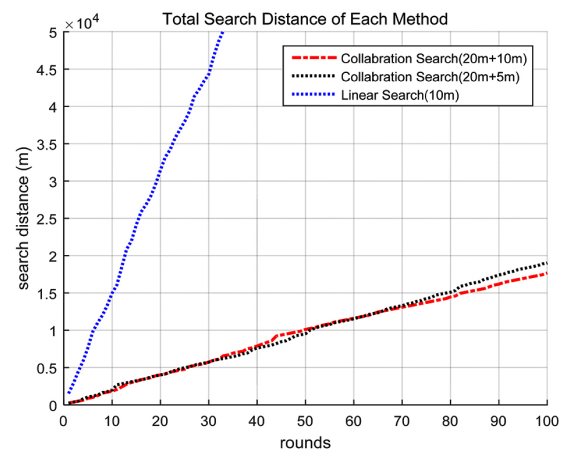


Fig. 8 Comparison of the total search distance of each method

그림 9는 두 방법의 탐색 성공까지 소요되는 누적 시

간을 비교한 것이다. 시간의 계산에는 15km/h의 드론 속도를 가정하였고, 두 고도의 드론 모두 동일한 속도를 가지는 것으로 가정하였다. 그림과 같이 협력에 의한 탐색 방법이 탐색 성공까지 비교적 적은 시간이 소요되는 것으로 나타난다. 시간과 거리 측면 모두에서 고고도 드론과 저고도 드론의 고도가 각각 h 와 $1/2h$ 일 때의 협력이 h 와 $1/4h$ 일 때의 협력보다 근소한 차이로 효율적인 것으로 나타난다.

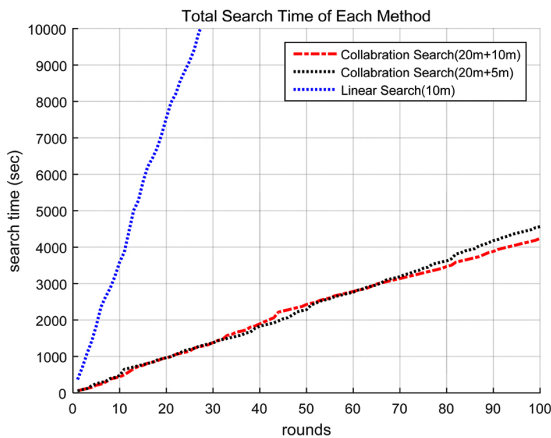


Fig. 9 Comparison of the total search time of each method

V. 결론

본 연구에서는 드론의 실제 운영에 있어서 광범위한 탐색 영역에서 신속하게 목표물이 존재하는 위치를 파악하는 방법으로 고도를 달리하는 드론의 협력에 의한 확률기반 탐색 방법을 제안하였다. 특히 제안된 방법은 탐색 시간을 줄이기 위하여 고고도 드론과 저고도 드론이 협력하여 탐색을 수행하도록 하고, 고고도 드론에서 파악한 정보를 저고도 드론에 전달하여 보다 상세한 탐색을 하도록 하였다. 또한 광범위한 탐색영역에서 탐색 성공율과 계산시간을 줄이기 위하여 고고도 드론의 탐색영역을 4등분하여 가장 신뢰도가 높은 하위 영역을 선택하여 이에 대한 정보를 저고도 드론에 전달하는 방법을 이용하였다.

몇 가지 시뮬레이션을 통해 제안된 방법과 저고도 드론에 의한 선형 탐색을 비교하였다. CPU time에 있어서

제안된 방법이 선형탐색보다 비교적 우수한 성능을 보이는 것으로 나타났고, 탐색 성공 간주까지 드론이 이동한 거리와 소요된 시간 측면에서도 제안된 방법이 선형탐색보다 비교적 우수한 것으로 나타났다.

향후 탐색영역을 보다 확장하여 이웃셀 선택 전략과 함께 보다 확장된 영역을 효과적으로 탐색하는 방법을 연구할 예정이고, 실험 환경에 가장 적합한 α 와 β 값을 결정하는 방법에 대해서도 추가로 연구할 계획이다.

ACKNOWLEDGMENTS

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education (2017R1D1A1B03029895).

REFERENCES

- [1] D. Kim, J. Shin and J. Kim, "Design and Implementation of Wi-Fi based Drone to Save People in Maritime," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol.21, no.1, pp.53-60, Jan. 2017.
- [2] S. Kim, "For summarizing the collected information like the airway of unmanned aerial vehicles drone Enhancing Snippet Extraction Method using Fuzzy Inclusion Relation and K-means Clustering," *Asia-pacific Journal of Multimedia Services Convergent with Art, Humanities, and Sociology*, vol.6, no.6, pp.479-488, June 2016.
- [3] I. Bekmezci, O. Sahingoz and S. Temel, "Flying Ad-Hoc Networks (FANETs): A survey," *Ad Hoc Networks*, vol. 11, pp.1254-1270, May 2013.
- [4] O. Sahingoz, "Networking Models in Flying Ad-Hoc Networks (FANETs): Concepts and Challenges," *Journal Intelligence Robot System*, vol. 74, pp.513-527, Apr. 2014.
- [5] S. Waharte and N. Trigoni, "Supporting Search and Rescue Operations with UAVs," in *Proceedings of the International Conference on Emerging Security Technologies(EST)*, pp.142-147, 2010.

- [6] D. Kim, J. Lee, J. Choi and K. Kim, "A POMDP Framework for Dynamic Task Allocation and Reconnaissance of Multiple Unmanned Aerial Vehicles," *Journal of KIISE(The Korean Institute of Information Scientists and Engineers)*, vol. 39, no. 6, pp.453-463, Feb. 2012.
- [7] T. Chung and J. Burdick, "A Decision-Making framework for control strategies in probabilistic search," in *Robotics and Automation, 2007 IEEE International Conference on*, pp. 4386-4393, 2007.
- [8] S. Waharte and N. Trigoni, "Coordinated Search with a Swarm of UAVs," in *Proceedings of the 2009 6th Annual IEEE Communications Society Conference on Sensor, Mesh and Ad Hoc Communications and Networks Workshops*, pp.1-3, 2009.
- [9] A. Symington, S. Waharte, S. J. Julier, and N. Trigoni, "Probabilistic target detection by camera-equipped uavs," in *Proceedings of the 2010 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp.4076-4082, 2010.
- [10] N. Trigoni, S. Waharte, and A. Symington, "Probabilistic search with agile uavs," in *Proceedings of the 2010 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 2840-2845, 2010.
- [11] I. Ha, "An Improvement of the Search Algorithm for Drone's Target Quick Searching," in *Proceedings of spring conference of Korea Multimedia Society*, vol. 20, no. 1, pp.554-556, 2017.
- [12] M. Deisenroth, D. Fox, and C. Edward, "Gaussian Processes for Data-Efficient Learning in Robotics and Control," *IEEE TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE*, vol. 37, no. 2, pp.408-423, Nov. 2015.
- [13] P. Smaragdis, C. Fevotte, G. Mysore, N. Mohammadiha and M. Hoffman, "Static and Dynamic Source Separation Using Nonnegative Factorizations: A unified view," *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 31, no. 3, pp.66-75, May 2014.
- [14] N. Schneider and D. Gavrila, "Pedestrian Path Prediction with Recursive Bayesian Filters: A Comparative Study," in *Proceedings of German Conference on Pattern Recognition 2013*, pp.174-183, 2013.
- [15] P. Zarco-Tejada, R. Diaz-Varela, V. Angileria, and P. Loudjani, "Tree height quantification using very high resolution imagery acquired from an unmanned aerial vehicle (UAV) and automatic 3D photo-reconstruction methods," *European Journal of Agronomy*, vol. 55, pp.89-99, Apr. 2014.



하일규(Hail-Kyu Ha)

1992.2 영남대학교 전산공학과 학사
 2003.8 영남대학교 컴퓨터공학과 박사
 1992~1995 증권감독원 전산업무실 5급사무원
 2002~2007, 2008~2015 영남대학교 컴퓨터공학과 강사, 객원교수, 선임연구원
 2015~현재 경일대학교 컴퓨터공학과 조교수
 ※관심분야 : 무선센서네트워크, Body Area Networks, UAV응용, 빅데이터분석및처리 등