

무인항공기의 생존성을 고려한 감시정찰 임무 경로 계획

배민지
국방과학연구소 제1기술본부

UAV Path Planning for ISR Mission and Survivability

Min-Ji Bae

The 1st Research and Development Institute, Agency for Defense Development

요약 고도화되는 전장 환경에서 적진의 정보는 군사 작전을 수행하는 데 있어 중요한 요소이다. 적진의 정보를 획득하기 위한 감시정찰을 목적으로 아군의 인력 손실이 없고 저 비용으로 임무에 투입이 가능한 무인항공기(UAV; Unmanned Aerial Vehicle, 이하 무인기) 운용이 늘어나고 있다. 무인기 임무 수행 환경은 대공위협이 존재하므로 무인기가 격추되지 않고 생존성을 보장할 수 있는 임무공간이 필요하다. 임무공간을 정의하기 위해서는 형상공간(Configuration Space) 개념을 활용하며, 적진의 대공방호영역 및 무인기가 탐지할 수 있는 범위를 고려한다. 무인기는 적진의 정보를 획득하기 위해 임무에 주어진 모든 영역을 방문해야 하며, 이를 위해 커버리지 경로 계획(Coverage Path Planning)을 수행한다. 무인기에 대한 위협 및 획득할 정보의 중요도를 바탕으로 무인기가 우선적으로 방문해야 할 영역을 정의하며, 격자지도를 생성하고 각 격자에 위협 정보를 매핑하여 경로 계획에 활용한다. 본 연구에서는 격자지도에 표시된 위협정보를 바탕으로 커버리지 조건 및 경로 계획 절차를 제시하며, 탐지 효율 향상을 위해 임무공간을 확장한다. 끝으로 본 연구에서 제시한 무인기 경로계획 방법에 대한 시뮬레이션을 수행하고, 관련된 결과를 제시한다.

Abstract In an complicated battlefield environment, information from enemy's camp is an important factor in carrying out military operations. For obtaining this information, the number of UAVs that can be deployed to the mission without our forces' loss and at low cost is increasing. Because the mission environment has anti-aircraft weapons, mission space is needed for UAV to guarantee survivability without being killed. The concept of Configuration Space is used to define the mission space considering with range of weapons and detect range of UAV. UAV must visit whole given area to obtain the information and perform Coverage Path Planning for this. Based on threats to UAV and importance of information that will be obtained, area that UAV should visit first is defined. Grid Map is generated and mapping threat information to each grid for UAV path planning. On this study, coverage conditions and path planning procedures are presented based on the threat information on Grid Map, and mission space is expanded to improve detection efficiency. Finally, simulations are performed, and results are presented using the suggested UAV path planning method in this study.

Keywords : UAV, ISR Mission, Survivability, Configuration Space, Grid Map, Coverage Path Planning

1. 서론

무인기는 일반 항공기에 비해 저렴하며 탑승자가 없으

므로 감시정찰과 같은 대공위협이 예상되는 임무를 수행하는 데 적합하다. 또한, 무인기의 발전에 따라 무인기의 이륙중량 및 체공능력 등이 향상되었으며 다양한 탑재

*Corresponding Author : Min-Ji Bae(Agency for Defense Development)

email: baemj1224@add.re.kr

Received April 8, 2019

Accepted July 5, 2019

Revised May 14, 2019

Published July 31, 2019

센서 및 장비를 이용하여 과거보다 많은 정보를 수집할 수 있다. 실제로 군용 무인기가 유인항공기를 대체하는 비율이 높아지고 있으며 특히, 정찰기의 경우는 이미 절반이 무인기로 대체되었다[1].

자율로 운용되는 무인기의 경우, 이를 위한 경로 계획이 필수적이며 다양한 연구가 진행되고 있다. 군용 무인기의 경로 계획과 관련된 연구는 주로 대공위협을 고려하고 있으며, 출발지에서 목적지까지 대공위협을 최소화하는 최적 경로 연구[2,3], 주어진 경로 점을 방문하면서 대공위협을 최소화하는 최적 경로 연구[4,5] 등에 집중되어 있다. 한편, 무인기의 감시정찰 임무를 위한 경로 계획에서는 임무를 수행하는 영역의 정보를 수집하기 위해 모든 영역을 방문하는 커버리지 경로계획이 필요하다. 무인기의 커버리지와 관련된 연구로는 바람의 영향을 고려한 커버리지 경로 계획[6], 태양광으로 운용되는 무인기의 자세를 고려한 커버리지 경로 계획[7] 그리고 다수의 무인기에 대해 각 무인기가 커버할 영역을 나누는 방법에 대한 연구[8]가 이루어졌다.

상기의 연구[5-8]는 커버리지 영역 내부의 운용 불가 지역을 고려하지 않았다. 실제 감시정찰 임무를 수행할 적진 환경에서는 대공위협이 존재할 확률이 매우 높으므로 대공위협이 존재하는 영역에서는 운용이 불가하며, 운용 불가 지역을 포함하는 무인기의 커버리지 경로계획 연구가 필요하다. 항공기의 생존성은 인위적인 적대적 환경에서 항공기가 피하거나 견뎌내는 능력으로 정의된다[9]. 감시정찰 임무는 적진 환경에서 수행되는 특성에 따라 무인기의 생존성이 중요하게 고려되어야 한다. 본 연구에서 무인기는 일정 고도에서 운용한다고 가정한다. 무인기의 비행 성능, 탑재된 센서 및 장비의 운용 제한 거리 또는 날씨의 영향 등으로 무인기가 적진의 대공무기 사거리 보다 낮게 운용될 경우 대공위협을 회피하기 위한 방법이 모색되어야하며, 무인기가 적진의 대공무기 사거리 보다 높게 운용될 경우는 고려하지 않는다. 또한, 무인기가 임무를 수행함에 있어 위협과 정보의 중요도에 따라 탐지 우선순위를 설정하는 방안을 제시하고자 한다.

최근 인공지능 기술의 발달로 인공지능으로 수집된 영상정보 등을 이용하여 지형지물의 파악이 가능하다. 본 연구에서는 이를 기반으로 대공위협을 식별하여 무인기가 대공무기 사거리 보다 낮게 운용되는 경우 대공위협을 회피하는 생존성을 고려한 임무 경로계획을 수행하고자 한다.

2. 본론

본 연구에서는 적진의 대공방호영역(대공무기 사거리 영역)으로 진입하는 모든 항공기는 격추된다고 가정하며, 이러한 위협을 회피하여 무인기가 운용될 수 있는 공간을 정의한다. 또한, 무인기는 임무를 수행하기 위해 주어진 공간의 모든 곳을 방문해야 하며, 이는 커버리지 경로를 결정하는 문제로 다루어 질 수 있다. 커버리지 경로를 계획함에 있어서, 위협을 고려하여 커버리지 우선순위를 정하기 위해 격자지도를 생성하고 각 격자에 위협정보를 매핑하여 활용한다. 마지막으로 제시한 방법으로 주어진 영역에 대해 무인기 경로 계획에 대한 시뮬레이션을 수행하고 결과를 나타내고자 한다.

2.1 임무공간의 정의

무인기의 경로계획에 앞서 먼저 무인기의 생존성을 고려한 임무공간을 정의하고자 한다.

무인기의 경우 지상에서 운용되는 이동로봇에 비해 물리적인 장애물이 존재하지 않으므로 경로 계획이 비교적 자유롭다. 반면에 이동 로봇에 대한 연구는 출발점으로부터 도착점까지 경로상의 장애물을 회피하여 이동함을 목적으로 한다. 이러한 목적으로 사용되는 개념 중 하나가 형상공간(Configuration Space or C-space)의 개념이다[10]. 무인기의 경우 대공위협을 회피하기 위해 주로 보로노이 다이어그램(Voronoi diagram)이 활용되지만 [2,3], 이는 커버리지 경로계획에 적합하지 않으므로, 앞서 언급된 형상공간의 개념을 활용하여 적진의 대공방호영역을 장애물로 취급하는 임무공간을 정의한다.

임무를 위해 주어진 공간을 실제공간(Real space, R) 이라하고, 적진의 대공방호영역을 실제위협공간(Real Threat Space, RT)이라 할 때, 무인기가 격추되지 않고 운용될 수 있는 영역인 자유실제공간(Free Real Space, R_{free})은 Eq. (1)과 같이 표현할 수 있다. Fig. 1은 R 을 나타낸 그림이며, 원형 영역과 점은 RT 와 무인기의 위치를 나타낸 것이다.

$$R_{free} = R \setminus \cup_i RT_i \quad (1)$$

감시정찰 임무를 수행하는 무인기는 탑재된 센서 및 장비로 정보를 획득한다. 센서 및 장비의 탐지범위가 무인기보다 클 때, 무인기는 R_{free} 의 모든 공간을 움직여 탐지할 필요가 없으며, 탐지에 필요한 최소 공간 내에서 운

용할 수 있다. 이러한 공간을 임무공간(Mission Space, M)이라 한다. 무인기의 중심(x, y)에 탐지 장비가 위치하고, 탐지반경을 r 이라 했을 때, 탐지범위(Detect Range, D)를 무인기의 위치 $m = (x, y)$ 으로 Eq. (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$D(m) = \{(x', y') | (x - x')^2 + (y - y')^2 \leq r^2\} \quad (2)$$

M 의 위협을 임무위협공간(Mission Threat Space, MT)이라 하고, Eq. (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$MT_i = \{m \in M | D(m) \cap MT_i \neq \emptyset\} \quad (3)$$

M 과 MT 를 통해 대공위협을 피해 무인기가 탐지를 수행하는 자유임무공간(Free Mission Space, M_{free})을 Eq. (4)와 같이 나타낼 수 있다. M_{free} 는 무인기의 탐지범위를 포함하여 정의되었으므로 무인기를 점으로 취급하여 임무 경로를 계획할 수 있다.

$$M_{free} = M \setminus \bigcup_i MT_i \quad (4)$$

Fig. 2는 M 을 나타낸 그림이며, 무인기의 위치를 포함하는 원형 영역은 탐지범위를 나타낸 것이다. 이러한 탐지범위에 따라 선으로 표시된 M 과 MT 를 나타낼 수 있다.

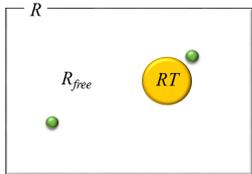


Fig. 1. Real Space

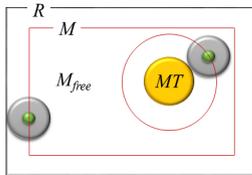


Fig. 2. Mission Space

2.2 격자지도 생성 및 위협정보 매핑

주어진 영역에 대한 위협에 따라 커버리지가 수행되는 순위를 결정하기 위해 격자지도 생성 및 위협정보를 매핑하고자 한다.

M_{free} 내에서 적진의 대공방호영역 외부로 일정 거리 내부에서는 위협이 존재할 수 있으며 이러한 영역을 준위협영역이라 명명한다. 준위협영역의 반경은 임무의 목적 및 상황에 따라 변경될 수 있으나, 본 연구에서는 MT 와 RT 반경의 합으로 정한다. 이외의 영역에 대해서 직접적인 위협은 없으나 적진 환경이라는 점을 고려하여 저위협영역이라 명명한다. 이 때, 임무를 위해 주어진 영역에서 적진의 대공방호영역의 경우 아군에 있어 정보의 중요도가 높다고 할 수 있으나 무인기의 생존성을 위해 진입할 수 없다. 이에 비해 준위협영역의 경우 무인기가 생존할 수 있으며 정보의 중요도 또한 저위협영역에 비해 높으므로 커버리지가 수행될 때 준위협영역이 먼저 수행되어야 한다. 이를 바탕으로 격자지도에 위협정보를 매핑함에 있어 위협 및 정보의 중요도가 높은 격자에 위협순위를 높게 매핑하며, 순위가 높은 격자를 먼저 커버함으로써 상대적으로 중요한 정보를 먼저 확보할 수 있다.

격자지도를 생성함에 있어 장비의 탐지범위를 고려하여 격자의 크기를 결정한다. Fig. 3은 격자지도에서 무인기의 탐지범위를 나타낸 그림이며, 무인기가 격자의 중심을 지나면 그 하나의 격자에 해당하는 영역에 대해 커버가 완료될 수 있다. 따라서, 격자지도에서 격자의 간격 d 는 무인기에 탑재된 센서의 탐지반경 r 과 Eq. (5)의 관계를 가진다.

탐지반경이 정해지면 이를 통해 R 에 격자지도를 생성할 수 있다. 위협정보는 격자의 중심이 M_{free} 에 위치하는 경우 매핑되며, MT 에 격자의 중심이 위치할 경우 위협정보는 매핑되지 않는다. 즉, 무인기는 위협정보가 존재하는 격자에 대해서만 커버한다.

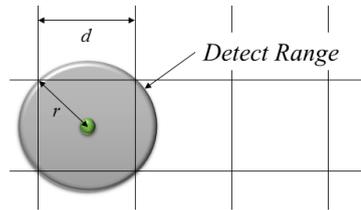


Fig. 3. Detect Range on Grid Map

$$d = 2r / \sqrt{2} \quad (5)$$

MT 에 가까운 M_{free} 의 격자부터 높은 위협순위를 매핑하고, MT 에서 멀어짐에 따라 위협순위를 낮추어 매핑한다. 저위협영역은 준위협영역보다 낮은 위협순위를 매핑한다.

2.3 커버리지 경로 계획

2.3.1 커버리지 조건

앞서 수행한 절차를 바탕으로 무인기가 임무를 수행하기 위한 커버리지에 필요한 조건을 아래와 같이 정리하였다.

- 1) 무인기는 M_{free} 에서 운용한다.
- 2) 무인기는 위협정보가 존재하는 격자의 중심을 지나가며, 방문한 격자의 영역을 커버한다.
- 3) 위협순위가 높은 격자를 먼저 커버한다.
- 4) 무인기는 커버리지를 위해 지그재그로 움직인다.
- 5) 무인기는 격자 중심에서 인접한 8방향의 격자로 한 칸씩 이동한다.
- 6) 무인기가 커버리지를 수행하지 않고 이동하는 경우, 격자와 상관없이 최단거리로 이동한다.

조건 1)~3)은 앞 절에 설명된 내용이며, 조건 4)~6)는 실제 경로를 계획할 때 필요한 내용이다.

조건 4)는 커버리지를 수행하는 무인기의 운용 방법이며, 한쪽 끝에서 다른 끝까지 움직여 커버한 후 방향을 전환하여 다시 다른 한쪽 끝에서 다른 끝까지 커버하는 지그재그 방법(Zigzag, "mowing the lawn" pattern)[11]을 이용한다. 조건 5)는 무인기가 격자에서 움직이는 방법을 설명하였으며, 현재 위치하는 격자를 중심으로 상하좌우 및 대각선 방향의 8방향의 인접한 격자로 자유롭게 이동이 가능하다. 조건 6)은 커버리지를 수행하지 않고 이동하는 경우 무인기의 이동방법을 설명하였으며, 조건 5)를 무시하고 격자와 상관없이 최단거리로 이동한다.

2.3.2 커버리지 경로 계획 절차

커버리지 경로를 계획함에 있어 가장 고전적이고 널리 쓰이는 방법은 셀 분해 방법(Cellular Decomposition Method)[11]으로 주어진 영역을 단순한 다수의 영역으로 나눈 뒤, 각 영역을 단순한 움직임으로 커버하고 커버되지 않은 다른 영역으로 이동하여 커버하는 절차를 반복하여 주어진 전체 영역의 커버리지를 완료하는 방법이다. 이 방법에서 영역을 나누는 이유는 주어진 영역의 복잡성을 낮추어 단순한 움직임으로 커버리지를 완료하기 위함이다. 본 연구에서는 추가적으로 영역을 나누는 절차를 거치지 않고 단순한 지그재그 방법으로 커버리지를 완수할 수 있도록 영역을 단순화하여 커버리지를 수행한다. 준위협영역에 대한 커버리지를 마친 뒤, 이 영역을

포함하는 최소 크기의 사각형 영역 내부의 커버리지를 먼저 수행하여 나머지 저위협영역의 형상을 단순화시킨다. 단순화된 저위협영역은 지그재그 방법으로 커버리지를 수행할 수 있다.

무인기의 커버리지 경로 계획 절차를 제시하면 다음과 같다.

- 1) 시작점에서 다수 준위협영역에 대해 위협순위가 높고 가장 가까운 격자로 이동한다.
- 2) 하나의 MT 에 대한 준위협영역의 커버리지를 수행한다.
- 3) 준위협영역을 포함하는 사각형 영역 내부의 커버되지 않는 격자를 커버한다.
- 4) 커버되지 않은 준위협영역에 대해 위협순위가 높고 가장 가까운 격자로 이동한다.
- 5) 모든 준위협영역의 커버리지가 완수 될 때 까지 2)~4)을 반복한다.
- 6) 가장 가까운 커버되지 않은 격자로 이동하여 저위협영역에 대한 커버리지를 수행한다.

2.3.3 커버리지 효율 향상을 위한 임무공간의 확장

M 과 격자지도를 활용한 커버리지 경로계획에 있어 커버리지 효율을 향상 시킬 수 있도록 M 을 확장하여 정의한다.

격자지도가 생성된 영역의 외곽을 살펴보면 Fig. 4와 같다. M 의 정의에 의해 무인기는 A와 같이 운용될 수 있으며, 외곽 경계로부터 탐지반경 r 만큼 떨어진 점선 내부로 M 이 생성된다. 이에 따라 외곽에 위치한 격자 중심은 M_{free} 에 포함되지 않으며, 위협정보를 매핑하지 못하므로 커버될 수 없다. 따라서 Fig. 4에 음영으로 표시된 격자까지만 커버가 가능하며 이는 전체적인 커버리지 효율을 저하시킨다. 이러한 문제를 해결하기 위해 외곽 격자에 위협정보가 매핑될 수 있도록 M 을 최소로 확장하여 수정한다. 외곽 경계로부터 $r/\sqrt{2}$ 만큼 떨어진 일점쇄선으로 M 을 확장하면 외곽에 위치한 격자 중심이 M_{free} 에 포함되며, 무인기는 B와 같이 외곽의 격자를 커버할 수 있다.

이로써, 커버할 수 없는 외곽의 격자를 커버할 수 있도록 M 을 수정하여 전체적인 커버리지 효율을 증대시킬 수 있다. 확장된 영역은 R_{free} 이므로 무인기의 생존성을 보장할 수 있다.

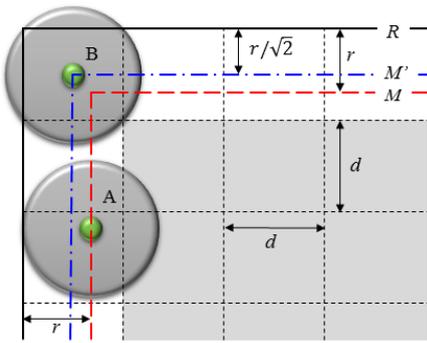


Fig. 4. Extension of Mission Space

2.4 시뮬레이션 수행

무인기의 임무를 위한 경로 계획 시뮬레이션을 위해 주어진 조건은 Table 1, 계산된 값은 Table 2와 같다.

Fig. 5는 시뮬레이션 각 단계별 결과를 나타낸 것이다. Fig. 5(a)는 시뮬레이션에 주어진 영역을 나타낸 것이며, R 으로 나타낼 수 있다. 점은 대공무기의 위치이며 원은 대공무기의 위치 및 사거리에 따라 대공방호영역에 해당하는 RT 를 표시한 것이다. Fig. 5(b)에서는 점선으로 M 을 표시하였다. Table 2에 나타내었듯이 R 과 M 의 간격은 2.3.3절의 내용에 따라 0.5이며, MT 의 반경은 Eq. (3) 및 Eq. (4)에 의해 각각의 대공무기 사거리에 탐지범위 반경을 더한 값과 같다. Fig. 5(c)는 격자지도와 위협정보를 나타내었다. 격자의 크기는 Eq. (5)에 의해 1로 계산되며, 현 단계에서 영역별, 위협순위 별로 격자의 개수를 Table 3에 정리하여 나타내었다. Fig. 5(d)는 무인기가 시작점에서 출발하여 이동한 경로와 첫 번째 준위협영역에 대한 커버리지를 음영으로 나타내었다. 이때, 준위협영역의 반경은 2.2절의 내용에 따라 MT 와 RT 반경의 합이며 Table 2에 나타내었다. Fig. 5(e)는 첫 번째 준위협영역을 포함하는 사각형 영역을 위해 추가적으로 커버되는 영역을 음영으로 나타내었으며, Fig 5(f)는 두 번째 준위협영역에 대한 커버리지 및 추가적 영역에 대한 커버리지를 음영으로 나타내었다.

Table 1. Given Parameter for Simulation

Parameter	Value
Given Area	20 x 20
Anti Aircraft Weapon 1	(7, 13)
Range of Weapon 1	2.7
Anti Aircraft Weapon 2	(16, 5)
Range of Weapon 2	1.4
Radius of UAV Detect Range	$\sqrt{2}/2$
Start Point	(0, 0)

Table 2. Calculated Parameter on Simulation

Parameter	Value
Grid Distance	1
Distance between R and M	0.5
Radius of MT_1	$2.7 + \sqrt{2}/2$
Radius of MT_2	$1.4 + \sqrt{2}/2$
Radius of Mid-Threat of AAW_1	$5.4 + \sqrt{2}/2$
Radius of Mid-Threat of AAW_2	$2.8 + \sqrt{2}/2$

Table 3. Number of Grid on Each Space and Threat Information

Space	Grid	Threat Information	
		Rank	Grid
M	400	-	-
AAW_1	MT_1	32	-
	Mid-Threat	1	28
		2	28
		3	36
Additional	20	4	20
AAW_2	MT_2	16	-
	Mid-Threat	1	16
		2	20
	Additional	10	3
Low-Threat	194	5	194

시뮬레이션의 결과, 커버리지 완료율은 Table 4와 같으며 주어진 영역에 대한 최종 커버리지 경로 및 커버리지 완료 영역은 Fig. 6과 같다. 표와 그림에서 알 수 있듯이 M_{free} 의 격자에 대한 커버리지 완료율은 100 %이므로 무인기가 운용될 수 있는 모든 영역에 대해 커버리지를 완수하였다. 여기에서 MT 에 해당하는 48개의 격자는 생존성을 위하여 커버하지 않으나, 이 영역을 포함하여 커버리지 완료율을 나타내면 88 %이다. 위와 같은 결과로 미루어 볼 때, 본 경로 계획법을 활용하여 무인기는 감시정찰 임무를 완수할 수 있다. 여기서, 임무공간이 확장되지 않았을 경우 외곽의 격자 76개의 커버리지는 이루어질 수 없다. Table 5는 임무공간 확장 전 커버리지 완료율에 대해 나타내었으며, 확장 전 M 에 대한 커버리지 완료율 85 %에 비해 앞서 제시한 확장 후 M 에 대한 커버리지 완료율은 88 %로 3 % 높아진 것을 확인할 수 있다. 따라서 임무공간 확장에 따른 효용성을 확인할 수 있다. 또한, 적진의 대공방호영역으로 진입하지 않으므로 무인기의 생존성을 보장하였으며, 준위협영역을 먼저 커버함으로서 중요한 정보를 우선적으로 확보가 가능하다. 마지막으로 단순한 커버리지를 위해 추가적 영역을 먼저 커버함으로서 저위협영역에 대한 커버리지 경로가 간단히 이루어졌음을 확인할 수 있다.

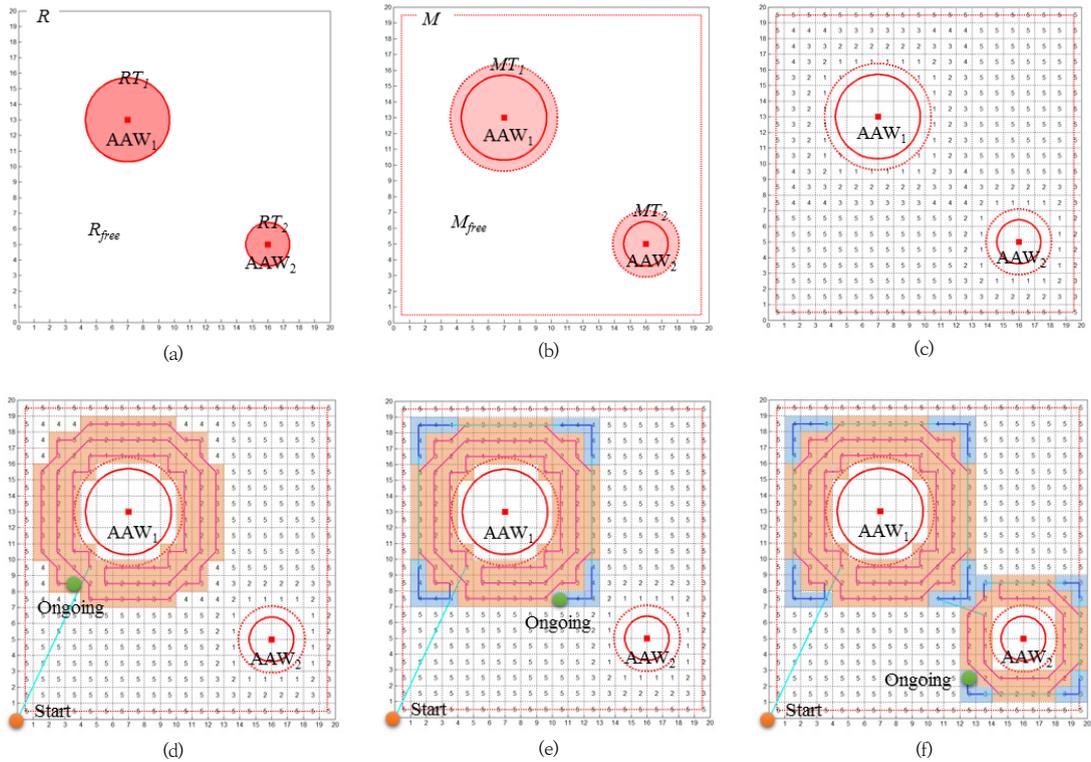


Fig. 5. Simulation Steps

(a) Given Area and Real Space (b) Mission Space (c) Create Grid Map and Mapping Threat Information (d) Coverage for Mid-threat Area of AAW₁ (e) Coverage for Additional Area of AAW₁ (f) Coverage for Mid-threat Area of AAW₂ and Additional Area of AAW₂

Table 4. Percentage of Coverage Completion

	Candidate Grid	Covered Grid	Coverage Rate(%)
Grid on M	400	352	88
Grid on M_{free}	352	352	100

Table 5. Percentage of Coverage Completion Before Extension of M

	Candidate Grid	Covered Grid	Coverage Rate(%)
Grid on M_{origin}	324	276	85

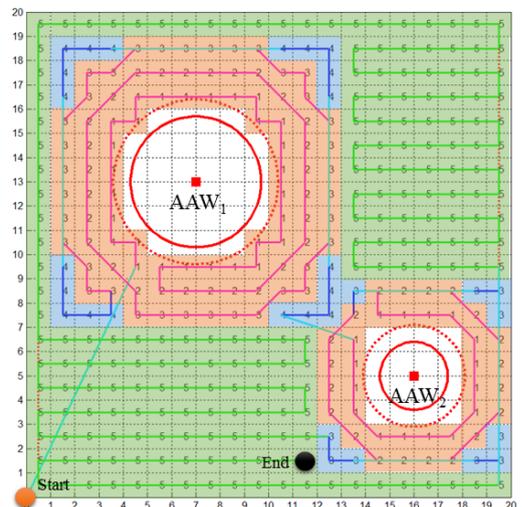


Fig. 6. Simulation Result

3. 결론

본 연구에서는 무인기의 감시정찰 임무를 수행함에 있어 생존성을 고려한 경로계획 방법을 제시하였으며, 이에 따라 시뮬레이션 결과를 제시하였다. 이로써, 제시한 무인기의 경로 계획 방법을 활용하면 대공위협이 존재하는 영역에서 생존성을 보장한 감시임무 정찰 임무의 완수가 가능하며, 위협정보를 바탕으로 필요 영역에 대해 우선적 탐지가 가능하다. 한편, 격자지도를 활용한 방법으로 인해 원형의 MT 경계를 커버하는 데 한계가 있으며, 이를 위한 추가 연구가 필요하다. 또한, 임무 영역의 외곽형태가 사각형보다 복잡한 영역에 대한 추가 연구가 필요하다.

References

- [1] I. Hawng, C. H. Lee, K. H. Im, "A study on our forces' countermeasures for UAVs activation", *Defense & Technology*, No. 445, pp.70-85, Mar, 2016.
- [2] S. H. Park, J. H. Hong, H. J. Ha, C. K. Ryoo, W. Y. Shin, "Determination of Waypoints to Maximize the Survivability of UAV against Anti-air Threats", *Journal of the Korean Society for Aeronautical & Space Sciences*, Vol. 42, No. 2, pp.127~133, Feb, 2014.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5139/JKSAS.2014.42.2.127>
- [3] B. S. Kim, C. K. Ryoo, H. C. Bang, Eulho Chung, "Optimal Path Planning for UAVs under Multiple Ground Threats", *Journal of the Korean Society for Aeronautical & Space Sciences*, Vol. 34, No. 1, pp. 74-80, Jan, 2006.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5139/JKSAS.2006.34.1.074>
- [4] S. S. Jeong, D. S. Jang, H. J. Park, T. H. Seong, J. M. Ahn, "Optimal path planning and analysis for the maximization of multi UAVs survivability for missions involving multiple threats and locations", *Journal of the Korean Society for Aeronautical & Space Sciences*, Vol. 43, No. 6, pp.488-496, Jun, 2015.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5139/JKSAS.2015.43.6.488>
- [5] H. R. Kim, B. I. Jeon, N. R. Lee, S. D. Choi, Y. K. Chang, "Development of Mission Analysis and Design Tool for ISR UAV Mission Planning", *Journal of the Korean Society for Aeronautical & Space Sciences*, Vol. 42, No. 2, pp.181-190, Feb, 2014.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5139/JKSAS.2014.42.2.181>
- [6] Matthew Coombes, Wen-Hua Chen, Cunjia Liu, "Boustrophedon coverage path planning for UAV aerial surveys in wind", *2017 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*, pp.1563~1571, Jun, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.1109/ICUAS.2017.7991469>
- [7] Soumya Vasisht and Mehran Mesbahi. "Trajectory Design and Coverage Control for Solar-Powered UAVs", *AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference, AIAA SciTech Forum*, Jan, 2015.
DOI: <https://doi.org/10.2514/6.2015-1314>
- [8] Sai Chen, C. Y. Li, Shuo Zhuo, "A Distributed Coverage Algorithm for Multi-UAV with Average Voronoi Partition", *2017 17th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS)*, pp.1083~1086, Oct, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.23919/ICCAS.2017.8204377>
- [9] Ball, Robert E, "Fundamentals of Aircraft Combat Survivability Analysis and Design (2nd Edition)", pp.1-3, *American Institute of Aeronautics and Astronautics*, 2003.
DOI: <https://doi.org/10.2514/4.862519>
- [10] Howie Choset, Kevin M. Lynch, Seth Hutchinson, George A. Kantor, Wolfram Burgard, Lydia E. Kavraki, Sebastian Thrun, "Principles of Robot Motion-Theory, Algorithms, and Implementations", pp.13-15, 39-44, *MIT Press*, 2005.
DOI: <https://doi.org/10.1017/S0263574706212803>
- [11] Enric Galceran, Marc Carreras, "A survey on coverage path planning for robotics", *Robotics and Autonomous Systems*, Vol. 61, Issue 12, pp.1258-1276, Dec, 2013.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.robot.2013.09.004>

배민지(Min-Ji Bae)

[정회원]



- 2013년 2월 : 부경대학교 일반대학원 (메카트로닉스공학 석사)
- 2013년 9월 ~ 현재 : 국방과학연구소 연구원

<관심분야>

국방기술, 경로계획, 시뮬레이션