

# 정찰-공격 드론 연계 운용을 위한 표적할당 모델 연구

신지윤\*, 백승원\*, 김현준\*, 조성식\*  
 \*육군사관학교 기계·시스템공학과  
 e-mail:18-10098@kma.ac.kr

## A Study on Target Assignment Model for Reconnaissance-Attack Drone Cooperative Operations

Jiyun Shin\*, Seungwon Baik\*, Hyeonjun Kim\*, Seongsik Jo\*  
 \*Dept. of Weapon System Engineering, Korea Military Academy

### 요약

본 논문은 현대 지상전에서 정찰 드론과 FPV 자폭 드론의 연계 운용 체계를 대상으로, 탐지된 표적에 대한 공격 드론 할당 최적화 모델을 제안한다. 우크라이나 전쟁에서 확인된 실제 소대 편성 방식을 기반으로 그리드 기반 원형 커버리지 탐지 모델과 WTA(Weapon-Target Assignment) 할당 모델을 결합하였다. 정찰 드론 수( $N_R$ )와 공격 드론 수( $N_A$ )를 독립 파라미터로 두고 민감도 분석을 수행한 결과, 두 파라미터 간 균형점이 존재함을 확인하였으며, 정찰 드론의 탐지 반경이 최적 조합에 유의미한 영향을 미침을 보였다.

## 1. 서론

현대 지상전에서 드론은 단순 정찰 도구를 넘어 핵심 타격 수단으로 자리 잡고 있다. 특히 센서 기술과 통신 네트워크의 결합은 전장의 실시간 ISR 체계를 가능하게 했으며, 일부는 정찰(센서), 일부는 전자전(재밍), 일부는 직접 타격(자폭)으로 역할을 분담하는 이종 드론 협업 체계가 현대전의 핵심으로 부상하고 있다. 우크라이나 전쟁에서는 정찰 드론이 표적을 탐지하고 FPV(First-Person View) 자폭 드론이 타격하는 ISR-Strike 연계 운용이 표준화되고 있다. 실제로 우크라이나군은 여단 내 UAS 중대를 정찰 드론 소대와 FPV 타격 드론 소대로 편성하여 운용하고 있으며, 네비게이터가 정찰 드론 영상을 실시간으로 FPV 파일럿에게 전달하는 방식이 확립되었다.

이러한 맥락에서 한정된 드론 자원을 정찰과 공격에 어떻게 최적 배분할 것인가는 중요한 군사 운용 연구 문제로 대두된다. 기존 이종 UAV 정찰-타격 할당 연구들은 경로 계획과의 통합 최적화 또는 알고리즘 성능 개선에 초점을 맞추고 있다[4,5]. 본 연구는 실제 FPV 드론 소대 편성을 기반으로 현대전 맥락에서 문제를 새롭게 정의하고, 정찰 드론 수( $N_R$ )와 공격 드론 수( $N_A$ )의 독립적 영향을 정량 분석하는 프레임워크를 제시한다.

## 2. 선행연구 검토

### 2.1 무기-표적 할당(WTA)문제

무기-표적 할당(Weapon-Target Assignment, WTA) 문제는 한정된 무기를 표적에 최적 할당하여 총 기대 피해를 최대화하는 NP-완전(NP-complete) 문제로[1] 군사 운용과학의 고전적 최적화 문제로 연구되어 왔다. 기존 연구들은 유전 알고리즘, 탐욕 알고리즘, 강화학습 등 다양한 풀이 기법을 제안하였다 [1,2,3].

### 2.2 UAV 정찰-타격 임무 할당

이종 UAV의 정찰-타격 연계 임무 할당에 관한 연구도 활발히 진행되고 있다. Deng et al.[4]은 탐지 UAV와 타격 UAV로 구성된 이종 군집의 정찰-타격(RAS) 임무 할당 문제를 정의하고 합의 기반 분산 알고리즘을 제안하였다. Cai et al.[5]은 복잡한 제약 조건 하에서 이종 UAV 군집의 동적 임무 할당 문제를 다루었으며, 통신 범위, 임무 시간 제약 등을 모델에 반영하였다. 이러한 연구들은 경로 계획과 임무 할당의 통합 최적화 또는 알고리즘 성능 개선에 중점을 두고 있다.

### 2.3 현대전 드론 운용 사례

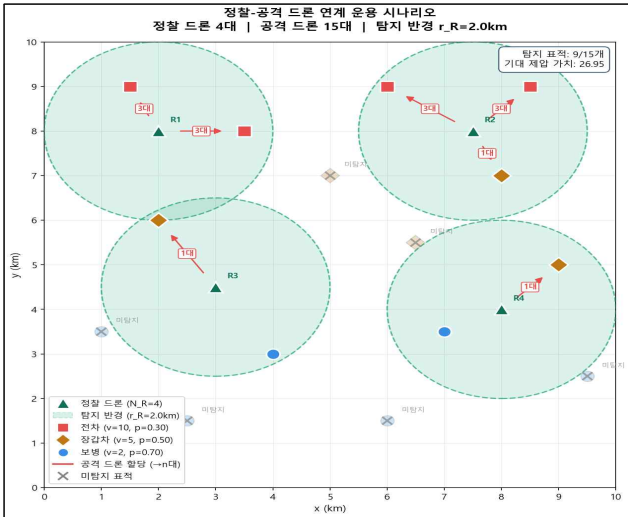
우크라이나 전쟁은 드론 기반 ISR-Strike 연계 운용의 실제 사례를 제공하고 있다. 러시아군은 Orlan-10 정찰 드론으로 표적을 탐지한 후 FPV 드론 또는 포병에 좌표를 전달하는 정찰-타격 복합체계(Reconnaissance-Strike Complex)를 운용하고 있다. 우크라이나군은 여단 내 UAS 중대를 정찰 드론 소대와 FPV 타격 드론 소대로 편성하여 드론을 팀 구분 없이 상황에 따라 유연하게 재배분하는 분권화 운용 방식을 채택하고 있으며, FPV 드론의 전술적 운용과 대드론 대응 체계가 확립되고 있다.

기존 연구들이 알고리즘 성능 또는 경로 계획 통합에 집중한 것과 달리, 본 연구는 실제 전장 편성을 기반으로 정찰-공격 드론 연계 운용 문제를 정의하고, 정찰 드론 수( $N_R$ )와 공격 드론 수( $N_A$ )를 독립 파라미터로 설정하여 각각의 영향을 정량 분석하는 프레임워크를 제시한다.

### 3. 문제정의 및 모델

#### 3.1 시나리오 설정

G×G 그리드로 표현된 작전 지역에 전차, 장갑차, 보병 등 이종 표적이 분포한다. 아군은 정찰 드론  $N_R$ 대와 공격 드론  $N_A$ 대를 독립적으로 보유하고, 두 기종은 서로 다른 파라미터로 설정한다. 정찰 드론은 그리드 내 균등 배치를 가정하며, 경로 최적화는 완료된 것으로 가정한다.



[그림 1] 정찰-공격드론 연계운용 시나리오

운용 흐름은 다음과 같다. 정찰 드론  $N_R$ 대가 배치되어 원형 탐지 반경  $r_R$ 내 표적을 탐지하고, 탐지된 표적에 대해 WTA

기반으로 공격 드론을 할당한다. [그림 1]은 본 연구의 시나리오를 나타낸다.

#### 3.2 탐지 모델

정찰 드론  $k$ 가 위치  $(x_k, y_k)$ 에 배치될 때, 표적  $i$ 의 탐지 여부는 다음과 같이 결정된다. 표적  $i$ 의 탐지 여부는 탐지 반경  $r_R$  이내에 정찰 드론이 존재하는지에 따라 이진(binary)으로 결정된다. 탐지 반경  $r_R$  이내에 위치한 표적은 탐지됨( $d_i = 1$ ), 그 외는 미탐지( $d_i = 0$ )로 정의한다.

$$d_i = \begin{cases} 1, & \min_k \sqrt{(x_i - x_k)^2 + (y_i - y_k)^2} \leq r_R \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

#### 3.3 파괴 확률 모델

탐지된 표적  $i$ 에 대한 파괴 확률은 거리 감쇠를 반영하여 다음과 같이 정의한다. 공격 드론이 표적까지 이동하는 거리가 길수록 적의 전자전(재밍), 요격, 배터리 소모 등 복합 요인으로 인해 표적 파괴 확률이 감소하며, 이를 거리 감쇠 함수로 모델링한다.

$$p_{ik} = p_i^{(0)} \cdot e^{-\lambda \cdot dist_{ik}}$$

이때  $dist_{ik} = \sqrt{(x_i - x_k)^2 + (y_i - y_k)^2}$ 는 공격 드론 출발 위치에서 표적까지의 유클리드 거리이며 공격 드론의 출발 위치는 정찰 드론 위치와 동일하다고 가정한다.  $\lambda$ 는 거리 감쇠 계수,  $p_i^{(0)}$ 는 표적 종류별 기본 파괴 확률을 의미한다.

#### 3.4 목적함수

본 연구의 목적함수는 가치 가중 기대 제압량 최대화로 다음과 같이 정의한다.

$$\max \sum_{i \in I} v_i (1 - (1 - p_i)^{x_i})$$

#### 3.5 제약 조건

제약조건은 다음과 같다.

$$\sum_i x_i \leq N_A \quad (1)$$

$$x_i = 0 \quad (d_i = 0) \quad (2)$$

$$x_i \in Z \geq 0 \quad (3)$$

제약조건 (1)은 팀별 공격 드론 수를 제한한다. (2)는 미탐지 표적 공격 불가. (3)은 정수 변수를 나타낸다. 할당 알고리즘은 매 단계 한계이득(marginal gain)이 최대인 표적에 공격 드론 1대씩 순차 배분하는 탐욕 알고리즘(greedy algorithm)을 사용한다. 서로 다른 정찰 드론의 커버리지가 중첩되는 경우, 표적과 가장 가까운 정찰 드론이 탐지 및 유도를 담당하는 것으로 가정한다.

### 4. 실험 및 결과

#### 4.1 실험 설정

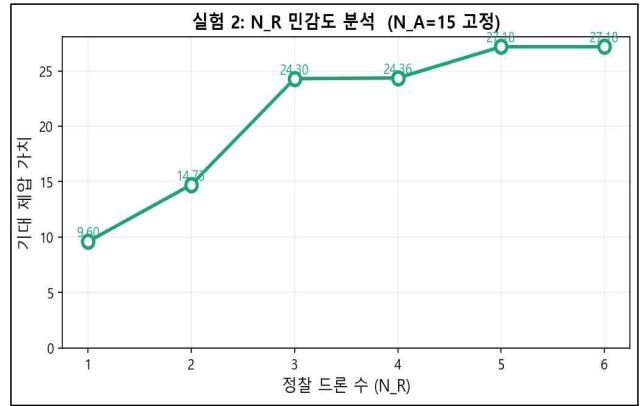
그리드 크기  $G=10\text{km}$ , 탐지 반경  $r_R=2.0\text{km}$ , 거리 감쇠 계수  $\lambda=0.2$ 로 설정하였다. 표적은 전차 4개, 장갑차 5개, 보병 6개로 총 15개이다. 기본 시나리오는  $N_R=4$ 대,  $N_A=15$ 대로 고정하며, 민감도 분석에서  $N_R$ 은 1~6대,  $N_A$ 는 5~30대,  $r_R$ 은 1.0~4.0km 범위에서 변화시킨다.

#### 4.2 기본 시나리오

$N_R=4$ ,  $N_A=15$  고정 시나리오에서 탐지된 표적은 15개 중 9개이며, 총 기대 제압 가치는 19.83으로 산출되었다. 탐욕 알고리즘 기반 WTA 할당 결과, 가치가 높은 전차에 공격 드론이 우선적으로 집중 배분됨을 확인하였다.

#### 4.3 $N_R$ 민감도 분석

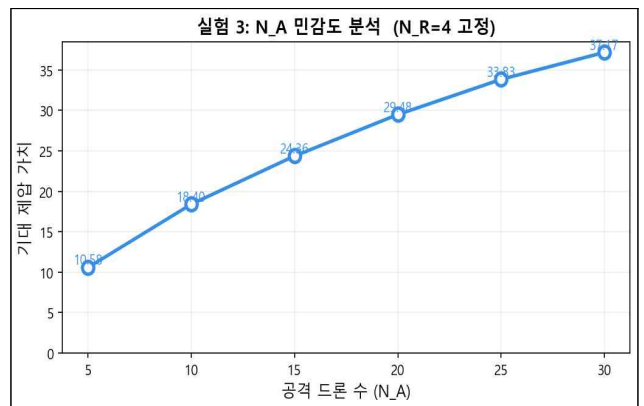
$N_A=15$  고정,  $N_R=1\sim6$  변화 시 기대 제압 가치 변화를 [그림 2]에 나타냈다.  $N_R$  증가에 따라 커버리지가 확대되어 제압 가치가 증가하나,  $N_R=4$  이후 포화(saturation) 현상이 나타남을 확인하였다. 이는 그리드를 충분히 커버한 이후 추가 정찰 드론의 한계효용이 감소하기 때문이다.



[그림 2]  $N_R$  민감도 분석

#### 4.4 $N_A$ 민감도 분석

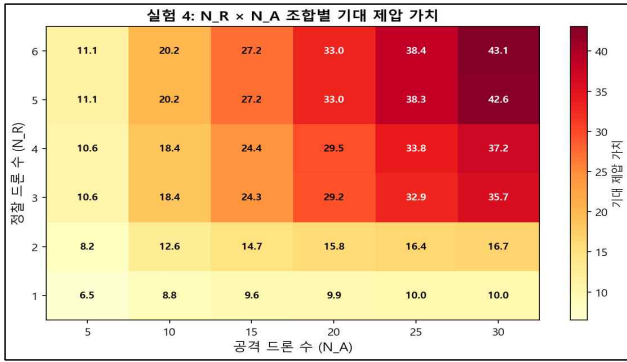
$N_R=4$  고정,  $N_A=5\sim30$  변화 시 결과를 [그림 3]에 나타냈다. 탐지된 표적 수가 고정(9개)이므로  $N_A$ 가 일정 수준 이상 증가하면 제압 가치가 포화됨을 확인하였다. 이는 탐지 표적 수보다 공격 드론이 많아지면 한계효용이 체감됨을 보여준다.



[그림 3]  $N_A$  민감도 분석

#### 4.5 $N_R \times N_A$ 2차원 분석

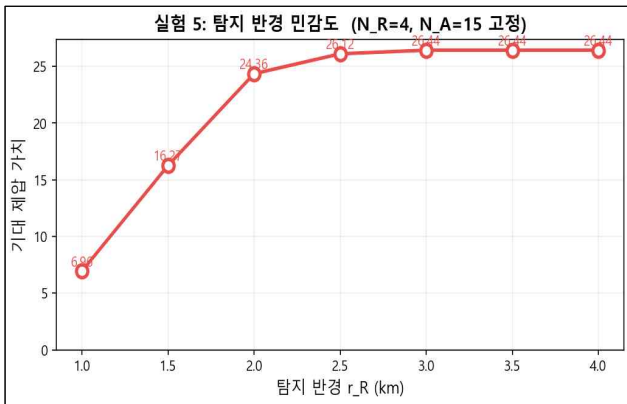
[그림 4]는  $N_R$ 과  $N_A$ 를 동시에 변화시킨 2차원 히트맵이다.  $N_R$ 이 너무 적으면 탐지 부족으로,  $N_A$ 가 너무 적으면 타격 부족으로 양쪽 모두 성능이 저하되는 균형점이 명확하게 나타난다. 본 실험 조건에서  $N_R=4\sim5$ ,  $N_A=20\sim25$  부근에서 높은 제압 가치가 관찰되었다.



[그림 4]  $N_R \times N_A$  2차원 분석

#### 4.6 $r_R$ 민감도 분석

[그림 5]는  $r_R=1.0\sim 4.0\text{km}$  변화에 따른 결과이다.  $r_R$ 이 증가할수록 제압 가치가 증가하며  $r_R=3.0\text{km}$  이후 포화됨을 확인하였다. 주목할 점은  $r_R$ 이 작은 경우  $N_R$ 을 증가시켜도 커버리지 부족으로 성능 개선이 제한된다는 것이다. 따라서 정찰 드론수( $N_R$ )와 탐지반경( $r_R$ )을 함께 고려한 운용 설계가 필요하다.



[그림 5]  $r_R$  민감도 분석

### 5. 결론

본 연구는 우크라이나 전쟁의 실제 FPV 드론 소대 편성을 고려한 이종 드론 역할 분담 개념을 기반으로 정찰-공격 드론 연계 운용 문제를 새롭게 정의하고, 그리드 기반 원형 커버리지 모델과 WTA(Weapon-Target Assignment)를 결합한 표적 할당 프레임워크를 제시하였다.

민감도 분석을 통해 다음 세 가지를 확인하였다. 첫째, 정찰 드론 수( $N_R$ )는 일정 수준 이상에서 포화되며, 그리드 커버리지가 충분히 확보된 이후 추가 투입의 한계효용이 감소한다. 둘째, 공격 드론 수( $N_A$ )도 탐지된 표적 수를 초과하는 시점부터 한계효용이 체감된다. 셋째,  $N_R$ 과  $N_A$  간 균형점이 존

재하며, 어느 한쪽이 과소하면 전체 제압 성능이 저하된다. 또한 탐지 반경( $r_R$ )이 작은 경우  $N_R$ 을 늘려도 성능 개선이 제한되므로, 정찰 드론 수와 탐지 성능을 함께 고려한 운용 설계가 필요함을 보였다.

향후 연구에서는 정찰 드론 배치 최적화, 군집 드론 협력 커버리지, 경로 최적화와의 통합 모델로 확장할 예정이다.

#### 참고문헌

- [1] A.G. Kline, D.K. Ahner, R. Hill, "The Weapon-Target Assignment Problem," Computers & Operations Research, Vol. 105, pp. 226-236, 2019.
- [2] 김혜진, 김용혁, "유전 알고리즘을 이용한 무기표적할당 최적화," 한국지능시스템학회 논문지, 제29권 3호, pp. 176-181, 2019.
- [3] 신민규, 박순서, 이단일, 최한림, "평균 필드 게임 기반의 강화학습을 통한 무기-표적 할당," 한국군사과학기술학회지, 제 23권 4호, pp. 337-345, 2020.
- [4] H. Deng, J. Huang, Q. Liu, T. Zhao, C. Zhou, J. Gao, "A Distributed Collaborative Allocation Method of Reconnaissance and Strike Tasks for Heterogeneous UAVs," Drones, Vol. 7, No. 2, p. 138, 2023.
- [5] S. Cai, X. Niu, X. Liu, Y. Ma, Z. Zhao, "Distributed Cooperative Task Allocation for Heterogeneous UAV Swarms under Complex Constraints," Computer Communications, Vol. 225, 2024.