

지상 무인체계의 협업 임무계획에 관한
시뮬레이션 연구
- 전차 사격훈련 준비활동을 중심으로 -

A Simulation Study on the Cooperative Mission Planning
of the Ground Unmanned Systems
- Focused on the Tank Gun-Firing Training Preparation Activities -

홍기원¹⁾ · 이춘주²⁾
Giwon Hong · Choonjoo Lee

ABSTRACT

For military application of manned-unmanned teaming, it is necessary to combine and allocate optimal resources and missions to heterogeneous multiple-unmanned systems capable of performing cooperative missions. This paper tried to show the possibility for planning a cooperative mission to prepare a military training field using autonomous heterogeneous multiple unmanned systems. There is literature on resource allocation and mission planning for homogeneous unmanned systems, but studies for heterogeneous systems to perform cooperative missions are insufficient. As a result of the simulation study on the preparation for tank live-fire training, the possibility of resource allocation and mission planning was confirmed to enable multiple unmanned systems to be combined to perform cooperative tasks that cannot be performed by the homogeneous unmanned system. It is expected that the results of this study will contribute to efficient and safe live-fire preparation in the future education and training using the manned-unmanned teaming.

Key Words : Manned-unmanned Teaming, Cooperative Task, Resource Allocation,
Tank Live-Fire Training Preparation, Simulation

논문접수일 : 2022년 10월 19일, 심사일 : 2022년 11월 3일, 게재확정일 : 2022년 11월 17일

1) 국방대학교 무기체계전공 석사과정

2) 국방대학교 무기체계전공 교수 / 교신저자(Corresponding author)

1. 서론

지상 무인체계는 인간이 수행하기 어렵고 제한되는 여러 군사작전 분야(지뢰·IED³⁾ 탐색 또는 제거, 화생방 위험지역 정찰 또는 제독, 감시 및 정찰, 건물 내부 또는 협소 통로 수색 및 정찰, 집결지 방호, 위험지역 보급수송 등)에서 인간의 기능과 능력의 대체 및 보완수단으로 운용될 것이다.[1] 지상 무인체계의 적극적 활용을 통해 전시 위협 임무나 평시 안전사고위험에서 인명손실을 최소화하고 운용 인력을 절감할 수 있으며 나아가 전투현장에서 무인전투체계로 활용된다면 인명피해를 줄이면서도 최대 효과를 달성할 수 있는 장점이 있을 것으로 예상된다.[2]

우리 군에서 또한 지상 무인체계의 필요성은 점차 높아지고 있으며 특히 평시 부대 전투력 유지와 향상을 위해 필수적인 위험성 교육훈련 간 각종 안전사고의 발생 가능성이 상존함을 고려할 때, 비전투손실을 예방하기 위한 교육훈련 간 활용 가능한 무인체계가 요구되고 있다.

대한민국 육군 전차부대의 전투사격 훈련 전 필수적으로 시행되어야 하는 과업 중 전차포 사격 표적지 설치 및 보수, 도비 또는 예광제 불완전 연소에 의한 화재 감시/소화대 편성 등 교육훈련 준비활동은 아무리 철저한 준비를 갖추더라도 사격훈련 중 우발적으로 빈번히 발생할 수밖에 없고 이는 교육훈련 집중도 저하와 함께 교육훈련 목표 달성을 어렵게 만든다. 특히 표적지 파손으로 인한 표적 보수 시에는 방호기능이 전무한 일반 차량을 이용하여 장병들이 직접 표적 방벽으로 이동, 수작업으로 보수함에 따라 짧게는 30분, 파손 정도에 따라 최장 2시간가량의 교육훈련 불용시간을 초래할 뿐 아니라 위치를 알 수 없는 매복 불발탄 지역을 도보로 이동함에 따른 인명피해 발생위험이 상

존한다. 또한, 고속의 전차 포탄이 암벽에 빗맞아 표적지 후방 능선으로 도비되는 위험한 사고도 발생할 수 있으나 현재 운용중인 야전부대의 자산으로는 탄착지점 확인이 불가하여 낙탄이나 화재에 의한 피해를 조기에 수습하는 것이 어려운 실정이다.

따라서 본 연구에서는 다수의 무인체계와 다수의 임무가 주어진 상황에서 다중 무인체계의 능력을 고려한 자원 할당과 무인체계 간 협업이 필요한 일부 임무 설정을 통해 육군 전차부대의 전투사격훈련 전과 훈련 중 발생할 수밖에 없는 교육훈련 준비활동의 소요시간을 최소화하는 방안을 제시하고자 하였으며, 이러한 연구범위와 방법에 따라 논문은 크게 4장으로 구성하였다. 2장에서 무인체계 간 협업활동과 자원 할당(Resource Allocation)에 관한 기존 연구를 살펴보고 본 연구와의 차이점을 제시하였으며, 3장에서는 분석한 육군 전차부대 전투사격 교육훈련 준비활동을 토대로 다중 무인체계의 자원 할당을 반영한 시뮬레이션을 구성하였다. 4장에서는 시뮬레이션 결과를 토대로 3장에서 구성한 다중 무인체계 자원 할당 모델의 적합성을 확인했으며, 마지막 5장에서는 연구결과를 정리하고 본 연구의 한계점과 추후 연구 방향에 대해 제시하였다.

2. 관련 연구

2.1 무인체계 간 협업활동 관련 연구

동종 또는 이종의 다중 무인체계 간 협업을 통한 효율적 임무달성에 관련한 다양한 연구들이 존재한다. Martina Mammarella 등(2021)의 연구에서는 농기계에 IT 기술을 접목하는 'Agriculture 4.0'의 관점에서 Peer-to-peer,

3) Improvised Explosive Device, 급조폭발물

Master-slave, 그리고 Team robots라는 세 가지 방식의 무인체계 간 협력 시나리오를 제시하고 동적 모델링을 구현했다.[8]

최재영 등(2013)의 연구에서는 다수의 UGV⁴⁾를 제어하는 수단으로서 UAV⁵⁾를 운용하여 UGV의 제한된 시야를 확장시킴과 동시에 서로의 위치정보를 결정하는 데 도움을 주어 각각 지대를 극복하고 빠른 경로를 추정할 수 있도록 하는 목표 추적알고리즘을 제안했다.[4]

또 이재근 등(2014)의 연구에서는 UAV와 함께 UGV가 유기적으로 운용되면서 원거리 영상정보를 UGV 사용자에게 제공하는 플랫폼을 제안하였다.[3] 해당 연구에서 UAV 단독으로 정찰 임무를 수행할 경우 사용시간이 짧으므로 지속적인 정찰이 어렵지만, 이동식 충전기를 탑재한 UGV와 함께 운용될 경우 이러한 단점을 극복할 수 있다는 점을 강조했다. 이외에도 UGV만으로 구성된 무인체계 팀의 임무수행 간 발생 가능한 문제점을 UAV와의 협력을 통해 해결하는 방안을 설명하고 제시한 정진수 등(2010), 유승은 등(2010)의 연구 또한 존재했다.

그러나 기존 연구들은 무인체계 단독으로는 수행할 수 없고 두 대 이상의 무인체계가 동시에 반드시 협업해야만 수행 가능한 임무가 충분히 정의되지 못했으며 이에 따라 같은 시간에 이루어지는 무인체계 간 협업활동을 설명하는 데 한계가 있다.

따라서 본 연구는 다수의 무인체계와 다수의 임무가 주어진 상황에서 다중 이종 무인체계의 능력을 고려한 자원 할당을 통해 교육훈련 준비활동 소요시간 최소화 방안을 제시하고자 하며, 이때 두 대 이상의 무인체계가 함께 투입되어야 수행이 가능한 임무 형태를 포함하여 무인체계 간의 협업활동을 유도하는 모델을 제시하고자 한다.

2.2 자원 할당 관련 연구

다중 무인체계의 자원 할당에 관한 연구는 최초 군사 분야에서 시작되었고, 최근에는 재난 구호, 상업용 항공 사진, 농작물 건강 모니터링 및 비상 대응 등 민간 응용 분야에서도 빠르게 증가하고 있다. 민간의 플랫폼 기술 개선과 계산, 통신 능력의 향상이 자원 할당에 관한 연구와 체계 개발을 더욱 고도화하고 있다.

자원 할당의 최적화를 통해 한정된 자원을 효율적으로 운용하고 작업 복잡성 해결, 그리고 성능과 신뢰성 향상 등을 목적으로 하는 다양한 연구들이 존재한다. 기존 연구들은 다양한 제약조건 내에서 효용 대비 비용(또는 완료하는 데 소요되는 시간)을 최소화하는 문제를 연구하였고, 순회 외판원 문제(TSP, Traveling Salesman Problems) 관련 연구, 차량 경로 문제(VRP, Vehicle Routing Problems) 관련 연구 등 아주 오래전부터 연구되고 개념이 확장되어 온 문제들이 많았다. 주요 연구를 살펴보면 Bilal Kaddouh(2016)와 Chase C. Murray 등(2010)의 연구에서는 시간의 흐름에 따라, 또는 상황과 환경의 변화에 따라 자원을 재할당하여 수익을 최대화하는 알고리즘을 제안했다.[9, 10] 또 Charles E. Pippin 등(2013)의 연구에서는 UAV Team 간 동료 모니터링에 대한 접근 방식으로 순찰경로 최적화 방법을 시뮬레이션 했으며, 이문걸 등(2014)의 연구에서는 해군의 소해작전 간 유전자 알고리즘 기반 휴리스틱 기법을 활용하여 최단시간 내 임무를 완수하기 위한 근사 최적 경로를 도출했다.[7, 11]

하지만 기존 연구 대부분이 환경의 변화를 고려한 가운데 단순화하여 정형화시킨 다수의 임무에 대해 보유한 자원(Resource)을 최적화하여 할당하는 동적 또는 정적 자원 할당에 초점이 맞추어졌다. 이에 따라 자원 각각의 고유

4) Unmanned Ground Vehicle, 무인 지상 차량

5) Unmanned Aerial Vehicle, 무인항공기

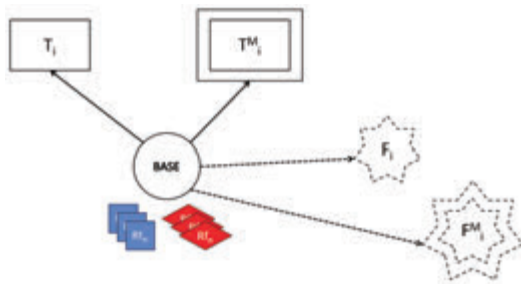
한 능력이 충분히 반영되지 못하고 개별 자원 각각의 일방향적인 임무 수행만을 고려한 한계가 존재한다.

따라서 본 연구는 사격훈련 간 발생 가능한 여러 상황 중, 특정 무인체계가 보유한 능력으로만 해결할 수 있는 임무가 있을 때 적합한 능력의 무인체계가 할당되어 임무달성의 효율을 극대화하는 모습을 구현할 수 있는 모델이 필요하다는 점에 착안하여 다중 무인체계의 능력을 고려한 자원 할당 방안을 제시하고자 한다.

3. 다중 무인체계 협업활동 모델 구성

3.1 문제 조건 및 가정사항

본 논문에서 제안하는 지상 무인체계를 활용한 교육훈련 준비활동 모델로 최종적으로 해결하고자 하는 문제를 단순화시킨 개념도는 아래의 <그림 3-1>에서 보는 바와 같다.



<그림 3-1> 문제 구성

모든 무인체계는 표적지역(T_i , T^M_i) 후사면 안전지대에 있는 Base에서 대기하고 있다. Base는 무인체계의 배터리를 충전하고 사격이 진행되는 동안 무인체계의 피해를 막을 수 있는 방호대책이 강구된 장소이다. 무인체계는 표적이 파손되었을 경우를 대비한 표적 보수 로봇 Rt_i , 그리고 예방제 도비에 의한 화재 발생

시를 대비한 화재진압 로봇 Rf_i 두 종류가 있다. T_i 는 Rt_i 1대가 수행할 수 있는 규모의 표적이며 T^M_i 는 Rt_i M대가 반드시 동시에 협업 활동을 해야 보수가 가능한 규모의 표적이다.

유사한 의미의 Node로 F_i 은 화재진압 로봇 1대가 투입되면 진압이 가능한 규모의 화재 발생 Event를 나타내며, F^M_i 는 Rf_i M대가 동시에 협업해야 진압할 수 있는 화재 상황을 뜻한다.

앞서 서술한 교육훈련 준비활동 문제 상황을 다중 무인체계를 활용하여 해결하기 위한 모델링 단계에서의 가정사항은 아래와 같다.

- (1) 같은 무인체계가 투입되어야 하는 Task는 동시에 발생하지 않는다. 이는 무인체계가 투입되어야 하는 Event가 하나라도 발생한다면 사격훈련은 즉시 중단되고 Event가 해소된 이후에 다시 시작되는 실제 사격훈련 상황을 반영한 가정사항이다.
- (2) 각 무인체계는 동시에 두 가지 이상의 임무를 수행할 수 없다. 본 고에서 제시하고자 하는 모델은 유지보수가 비교적 쉽고 저렴한 다중 무인체계 간의 협업을 유도하고자 하는 것이 목적이므로 각 무인체계는 한 가지 능력만 보유한 단순 무인체계로 가정한다.
- (3) 하나의 Task에는 하나의 무인체계가 할당되어야 한다. 무인체계가 투입되어야 하는 Event가 발생했을 때 해당 Event가 해소되지 않으면 사격훈련은 진행될 수 없다. 따라서 하나의 Task에는 적어도 하나의 무인체계가 할당되어야 한다는 현실을 반영하여 가정사항을 설정한다.
- (4) 하나의 Task 수행 후 무인체계는 반드시 Base 복귀가 필요하다. 사격 표적지 근처에 Base를 설치하여 무인체계가 각 Node로 이동하는 시간을 최소화하여 교육훈련 가용시간을 최대화하는 것이 목적이므로 사격훈련이 진행되는 동안 무인체계의 피해를 예방하기 위해 Task 수행 후 모든 무인체계는 반드시 Base로 복귀하는 것을 기본으로 설정한다.
- (5) 비교적 예측이 가능한 표적 보수 Task가 발생하는 Node 위치와 비교해 시·공간적 우발성이

높은 화재진압 Task Node 위치를 모두 고려하는 것은 현실적으로 제한이 크다. 따라서 무인체계가 Task 발생지역으로 이동하는 데 소요되는 시간은 고려하지 않는 것으로 가정한다.

(6) 모델의 단순화를 위해 배터리 용량 등 외부요인에 의한 무인체계 운용에 대한 제약은 없는 것으로 가정하며 본 연구의 후속연구를 통해 외부요인에 의한 제약사항도 추가한다.

3.2 용어 정의 및 수리모형

본 절에서는 앞서 정의한 문제 조건과 가정 사항을 수리적인 모형으로 구현하는 데 필요한 용어들을 정의하고 구현된 모형을 구성하는 제약식들에 대해 설명한다.

3.2.1. 용어 정의

* Index

- i, j k : Set of Nodes $i = 1, 2, \dots, N$
(단, $i = 1$ 일 경우 Base)
- r : Set of Resources $r = 1, 2, \dots, R$
- s : Set of Sensors
- t : Time slices

* Table

- SE : Sensor Effectiveness
- PE : Platform Effectiveness
- Cost : Cost for Resource r to operate sensor s per distance
- TJ : Time limitation for task j
(1 if possible 0 otherwise)
- RJI : 1 if Resource can go from i to j 0 otherwise
- TRJ : 1 if Resource can perform the task j at time t
0 otherwise
- SR : Weight limitation for Resource r

(1 if able to carry sensor s 0 otherwise)

JI : Distance between node j and i

RJ : Duration of Resource r conducting task j

TRI : Initial position of Resource r at time $t(=1)$

* Decision Variable

$$x_{r,j,i}^{t,s} = \begin{cases} 1, & \text{if resource r assigned from i to task j} \\ & \text{with sensor s at time slice t} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

3.2.2. 수리모형

Maximize

(3.1)

$$\sum_{t \in Ts} \sum_{s \in Sr} \sum_{Rj \in Rj} \sum_{Ni \in Ni} x_{r,j,i}^{t,s} \times ((PE_{r,j} \times SE_{s,j} \times G_j) - (Cost_{r,s}))$$

목적함수식 (3.1)은 Platform Effectiveness와 Sensor Effectiveness를 고려하여 부여된 Task를 수행함으로써 얻는 Gain에서 무인체계 운용에 드는 Cost를 뺀 값을 최대화하는 함수이다. 식에서 산출되는 Gain의 값은 실제 전투사격 훈련에 투입 가능한 교육훈련 시간으로 이해할 수 있다.

subject to

(3.2)

$$\sum_{s \in Sr} \sum_{Ri \in Ri} x_{r,j,i}^{t,s} \leq TJ(t,j) \quad \forall t \in T, j \in N$$

식 (3.2)는 Task j가 t 시간에 수행될 수 없을 때 결정변수 값을 0으로 부여(할당되지 않음)하는 제약식이다. 이는 같은 능력을 갖춘 Resource가 필요한 사건(예를 들어 T1과 T2, 또는 F1과 F2)이 동시에 발생하지 않도록 제약하는 식이다.

(3.3)

$$\sum_{i \in Ts \in S} x_{r,j,i}^{t,s} \leq RJ(r,j,i) \quad \forall r \in R, j \in N: j \notin BASE, i \in N$$

식 (3.3)은 Resource r 이 임의의 Node에서 다른 Node로 이동할 수 없을 때 결정변수에 0을 부여(할당되지 않음)하는 제약식이다. 예를 들어, Resource r 이 Node i 에서 j 로 Task 수행을 위해 이동하고자 하나 연결된 경로가 없으면 해당 Task는 수행될 수 없음을 의미한다.

(3.4)

$$\sum_{i \in Ns \in S} x_{r,j,i}^{t,s} \leq TRJ(t,r,j) \quad \forall t \in T, r \in R, j \in N: j \notin BASE$$

식 (3.4)는 Time t 에서 Resource r 이 Base($i=1$)를 제외한 다른 Node로 이동할 수 없을 때 결정변수에 0을 부여(할당되지 않음)하는 식이다. 임의의 Time t 에서 임의의 Resource r 은 Base에 남아있거나, 임의의 Task j Node로 이동해야 한다. 이때 Task j 를 수행한 이후 j Node에 머무르거나 Base로 복귀하지 않은 채 Task k Node($j \neq k$)로 이동할 수 없음을 표현하는 제약식이다.

(3.5)

$$\sum_{i \in Ns \in S} x_{r,j,i}^{t,s} \leq 1 \quad \forall t \in T, r \in R, j \in N: j \notin BASE$$

(3.6)

$$\sum_{s \in Sj \in Ni \in N} x_{r,j,i}^{t,s} \leq 1 \quad \forall t \in T, r \in R$$

식 (3.5)와 (3.6)은 Base를 제외한 모든 Node에서는 각 Time slice에 1대의 Resource와 1개의 Task만 할당되어야 함을 의미하는 제약식이다. 즉, 앞서 언급한 가정사항(2), (3)을 반영한 식이다.

(3.7)

$$\sum_{s \in Sr \in R} \sum_{i \in N} x_{r,j,i}^{t,s} = TRJ(t,r,i) \quad \forall t \in T: t=1, i \in N: i \neq BASE$$

식 (3.7)은 첫 번째 Time slice에는 최초 위치가 Base($i=1$)가 아닌 지점에 있는 Resource에는 Task가 할당될 수 없다는 의미의 제약식이다. 이는 모든 무인체계의 최초 대기지점이 Base임을 의미한다.

(3.8)

$$\sum_{s \in Sr \in R} \sum_{i \in N} x_{r,j,i}^{t,s} \leq card(r) \quad \forall t \in T, j \in BASE$$

식 (3.8)은 각 Time slice에서 Task를 할당 받은 Resource의 수는 최초 정의한 Resource의 총 개수보다 많을 수 없음을 의미한다. 이는 Gain 최대화를 위해 존재하지 않는 Resource를 투입하게 되는 Network Error를 피하는 제약식이다.

(3.9)

$$\sum_{s \in Sj \in Ni \in N} x_{r,j,i}^{t,s} \leq card(j) \quad \forall t \in T, r \in R$$

식 (3.9) 또한 식 (3.8)과 유사한 의미로, 각 Time slice에서 할당된 Task의 수는 최초 정의한 Task의 총 개수보다 많을 수 없음을 제약한다. 마찬가지로 Gain 최대화를 위해 존재하지 않는 Task를 생성하게 되는 Network Error를 피하는 제약식이다.

(3.10)

$$x_{r,j,i}^{t,s} = x_{r,k,j}^{t+1,s} \quad \forall t < max(T), i,j,k \in N: j \notin BASE, i \neq j, j \neq k, s \in S, r \in R$$

식 (3.10)은 Time t 와 그다음 시간인 $t+1$ 시점에서 모든 Resource가 동일 Node에 머무르는 것을 막기 위한 제약식이다. Resource가 Task 수행 후 Cost 발생을 회피하기 위해 Base로 복귀하지 않고 Task Node에 계속 위치하는 것을 막는 것으로, 모든 Resource는 Task 수행 후 반드시 Base로 복귀해야 한다는 가정사항 (4)를 반영한 제약식이다.

(3.11)

$$\sum_{s \in Sr} \sum_{r \in R} x_{r,j,i}^{t,s} \geq 1 \quad \forall t \in T: t=1, j \in N, i \in \text{BASE}, i \neq j$$

식 (3.11)은 첫 번째 Time slice에서 최소 하나의 Resource는 Task 수행을 위해 Base를 떠나서 Task Node로 이동시키기 위한 제약식이다. 하나의 Task 수행을 위해서는 한 대의 Resource 할당이 필요하다는 가정사항 (3)을 반영하고, Task가 발생했음에도 불구하고 Cost 발생을 회피하기 위해 모든 Resource가 Base에 대기하는 Network Error를 회피하기 위한 제약식이다.

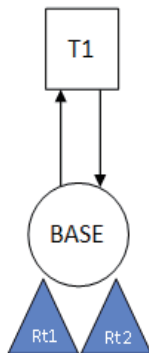
(3.12)

$$x_{r,j,i}^{t,s} \in \{0,1\} \quad \forall t,s,r,j,i$$

식 (3.12)는 결정변수의 조건으로 임의의 Resource r이 Time t에서 임의의 센서 s를 장착하고 Node i에서 Node j로 이동하면 '1'의 값을 가지고, 이동하지 않으면 '0'의 값을 가진다.

3.3 시뮬레이션 시나리오

3.3.1. 기본 시나리오

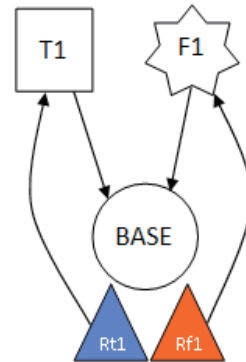


<그림 3-2> 기본 시나리오 설명도

기본 시나리오는 T₁ 표적이 파손된 경우로 Rt₁ 또는 Rt₂ 중 1대의 무인체계가 이동하여 표적을 보수하는 형태의 시나리오이다.

앞서 가정사항에서 기술한 바와 같이 하나의 Task에는 하나의 무인체계만 할당되어야 한다. 따라서 T₁ 과업수행을 위해서는 Base에 대기중인 무인체계 중 임의의 1대만 이동하여야 하며, 투입되지 않는 나머지 1대는 Base에서 대기한다.

3.3.2. 이중 임무 부여 시나리오

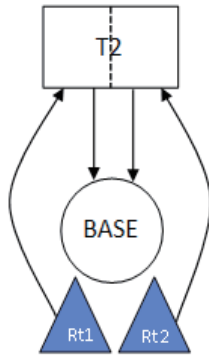


<그림 3-3> 이중 임무 시나리오 설명도

이중 임무 시나리오는 표적 보수(T₁)와 화재 발생(F₁) Task가 각각 발생하였을 경우, 각 Task 수행에 적합한 능력을 보유한 무인체계, 즉 표적 보수에는 Rt₁이, 화재 소화에는 Rf₁이 투입되어 임무를 수행하는 시나리오이다.

이때 Task의 수행에 적합하지 않은 능력의 무인체계가 할당되는 것을 막기 위해 Platform Effectiveness Table이 활용된다.

3.3.3. 협업 임무 부여 시나리오



<그림 3-4> 협업 임무 시나리오 설명도

협업 임무 시나리오는 표적 보수 임무 중 1대의 무인체계만으로는 수행할 수 없는 T₂ 임무가 발생한 상황을 나타낸다. 이 경우 최대의 Gain을 얻기 위해 Base에 대기중인 Rt₁과 Rt₂ 2대의 무인체계가 동시에 T₂ 지역으로 이동하여 Task를 수행하는 모습을 보여준다.

동일한 Node를 두 대의 무인체계가 방문하는 모습을 구현하기 위해 T₂ 임무를 두 개의 소과업 t₁과 t₂로 나누어진 것으로 설정한다. 즉, T₂ Node는 t₁ node와 t₂ node가 같은 위치에 있는 것으로 가정한다.

4. 시뮬레이션 결과

4.1 시나리오별 시뮬레이션 결과

GAMS(General Algebraic Modeling System)는 수학적 최적화를 위한 모델링 프로그램이며 선형, 비선형 및 혼합 정수 최적화 문제를 모델링하고 해결할 수 있도록 설계되었다. 비교적 간단한 대수 설명을 사용하여 간결한 논리적 구조를 가진 모델을 설계할 수 있다는 장점이 있다. 1976년 최초 개발 및 1987년 상용화 이후 사업 확장과 커뮤니티 활성화를 통해 지속적으로 발전되고 강화된 기능을 보유한 버전이 출

시되고 있다. 본 고에서 해결하고자 하는 문제인 지상 무인체계 간의 협업 임무계획을 위해 무인체계의 능력이 고려된 자원 할당이 필요함을 고려했을 때 제한된 자원을 다양한 임무에 적절히 할당하기 위한 최적해 산출이 가능하다는 면에서 GAMS는 타당한 Tool로써 활용된다.

아래는 3장에서 설명한 수리모형을 이용하여 시뮬레이션 시나리오를 기본, 이중 임무 부여, 협업 임무 부여로 구분하고 주어진 조건을 고려한 시나리오별 시뮬레이션의 결과를 보여준다. <표4-1~3>은 GAMS 프로그램을 이용한 시뮬레이션 결과 중 해당하는 부분을 요약하여 정리한 것이다. 분석결과에 대한 해석은 다음 절에서 자세히 설명한다.

4.1.1. 기본 시나리오

<표 4-1> 기본 시나리오 시뮬레이션 결과

No.	Index(r,j,i)	Allocation	Gain
1	(1,1,1)	0	-1.0
2	(1,1,2)	0	-1.0
3	(1,2,1)	1	98.0
4	(1,2,2)	0	-1.0
5	(2,1,1)	1	-1.0
6	(2,1,2)	0	-1.0
7	(2,2,1)	0	98.0
8	(2,2,2)	0	-1.0

Max z : 97

4.1.2. 이중 임무 부여 시나리오

<표 4-2> 이중 임무 시나리오 시뮬레이션 결과

No.	Index(s,r,j,i)	Allocation	Gain
1	(1,1,1,1)	0	1.0
2	(1,1,1,2)	0	-1.0
3	(1,1,1,3)	0	-1.0
4	(1,1,2,1)	1	98.0
:	:	:	:
33	(2,2,2,3)	0	-20.0
34	(2,2,3,1)	1	98.0
35	(2,2,3,2)	0	-20.0
36	(2,2,3,3)	0	1.0

Max z : 196

4.1.3. 협업 임무 부여 시나리오

<표 4-3> 협업 임무 시나리오 시뮬레이션 결과

No.	Index(t,s,r,j,i)	Allocation	Gain
1	(1,1,1,1,1)	0	1.0
2	(1,1,1,1,2)	0	18.0
3	(1,1,1,1,3)	0	18.0
4	(1,1,1,2,1)	1	98.0
:	:	:	:
34	(1.2.2.3.1)	1	98.0
:	:	:	:
38	(2,1,1,1,2)	1	18.0
:	:	:	:
66	(2,2,2,1,3)	1	18.0
:	:	:	:
71	(2,2,2,3,2)	0	-10.0
72	(2,2,2,3,3)	0	1.0

Max z : 232

4.2 분석결과 해석

분석 프로그램인 GAMS를 활용하여 기본 시나리오를 포함한 3종의 시나리오에 대해 각각의 제약식을 설정하고 결정변수의 index를 단계별로 확장하여 모델을 설계했다.

먼저 기본 시나리오의 결정변수 x index는 Resource r , 출발 Node i , 그리고 도착지 Node j 등 총 3개로 구성되어 있다. 기본 시나리오에서 T_1 임무를 해결했을 때 100의 Gain을 얻게 되고, 2대의 Resource 중 가정사항에 의해 반드시 1대만 임무에 투입되어야 하므로 기본 시나리오의 해는 R_{t1} 또는 R_{t2} 중 1대가 T_1 으로 이동하는 결과를 예상할 수 있다. 즉, $2 \times 2 \times 2 = 8$ 개의 결정변수 $x_{r,j,i}$ 중 $(x_{1,2,1}, x_{2,1,1})$ 또는 $(x_{1,1,1}, x_{2,2,1})$ 의 조합만 1의 값을 가지고, Total Gain은 97을 얻게 됨을 쉽게 예상할 수 있으며, 시뮬레이션 결과와 그 값이 일치한다.

둘째로, 이중 임무 시나리오의 결정변수 x index는 기본 시나리오에 더해 임무에 적합한 Sensor를 갖춘 Resource가 할당되는지를 확인하기 위해 센서 s index가 추가되어 총 4개로 구성된다. T_1 임무가 부여되었을 때에는 R_{t1}

Resource가, F_1 임무가 부여되었을 때에는 R_{f1} Resource가 할당되어야 하고 두 임무를 수행함으로써 얻는 Gain의 값은 100으로 같다. 마찬가지로 $2 \times 2 \times 3 \times 3 = 36$ 개의 결정변수 $x_{j,i}^{s,r}$ 중 $x_{2,1}^{1,1}$ 과 $x_{3,1}^{2,2}$ 만 할당되고 두 임무를 모두 완수함으로써 196의 Total Gain을 얻게 됨을 알 수 있으며 이는 앞 절에서의 결과와 일치함을 볼 수 있다.

마지막 협업 임무 부여 시나리오에서는 1대의 Resource 단독으로는 해결할 수 없으나 2대의 Resource가 동시에 투입되면 해결할 수 있는 임무가 부여된다. 따라서 각 Resource가 동일한 시간에 동일 위치에 있도록 통제하기 위한 Time slice = t index가 추가된다. 결정변수 $x_{r,j,i}^{t,s}$ 는 총 $2 \times 2 \times 2 \times 3 \times 3 = 72$ 개의 조합이 있고, 이 중 $x_{1,2,1}^{1,1}, x_{2,3,1}^{1,1}, x_{1,1,2}^{2,1}, x_{2,1,3}^{2,1}$ 총 4개의 결정변수만 1의 값을 가지고 T_2 임무를 수행함으로써 얻는 Total Gain은 232가 산출된다. 이 또한 앞 절에서의 시뮬레이션 결과와 일치함을 확인할 수 있다.

각 시나리오의 수준에 맞추어 index를 점진적으로 추가해가며 모델을 확장했고, 3가지 시나리오에서 모두 다수의 제약식을 만족하면서 동시에 프로그램에서 산출된 결과보다 더 최적의 해 Set이 존재하지 않음을 확인함에 따라 설계한 모델의 타당성이 검증되었다.

한가지 특징적인 사항으로 기본 시나리오에서 R_{t1} 과 R_{t2} 가 동일한 임무 가중치를 갖고 있음에 따라 둘 중 어떠한 Resource라도 Task를 수행할 수 있고, $(x_{1,2,1}, x_{2,1,1})$ 또는 $(x_{1,1,1}, x_{2,2,1})$ 두 가지 조합 모두가 최적해로 산출될 것으로 예상했으나 앞 절에서의 결과와 비교해 볼 때 GAMS 프로그램은 $(x_{1,2,1}, x_{2,1,1}) = 1$ 이라는 하나의 결과만을 산출했다. 이는 같은 가중치를 가지는 다수의 해가 있을 때 먼저 산

출되는 값을 결과로 제시하기 때문으로 판단된다.

앞서 설계한 모델을 야전 전차부대에 적용한다면 현재 전적으로 장병들의 인력에 의존해 수행되고 있는 전차 사격 교육훈련 준비활동을 다중 지상 무인체계를 이용하여 대체함으로써 물리적인 교육훈련 시간 확보와 교육훈련 집중도 향상, 그리고 피탄지를 도보로 이동함에 따른 인명피해 위험 역시 크게 줄일 수 있으며 사격훈련에 의해 발생하는 화재나 불의의 낙탄 사고에 신속히 대응하여 초기 진압 및 초동 조치가 가능함에 따라 환경보호와 사격장 인근 거주 주민들의 안전 또한 보장될 것이다.

5. 결론

본 연구에서는 대한민국 육군 전차부대의 전투사격훈련 전과 훈련 중에 반드시 실시되어야 하는 교육훈련 준비활동을 다중 무인체계의 능력을 고려하여 과업을 할당하고 1대의 무인체계 단독으로는 달성이 불가능한 임무는 무인체계 간 협업을 유도하여, 교육훈련 성과달성과 인명피해 위험을 최소화하는 방안을 도출하는 모델을 제시했다.

시물레이션 결과 임무의 특성에 적합하지 않은 무인체계를 할당할 경우 임무달성이 불가하거나(-) 상대적으로 적은 이득을 얻게 되었으며, 한 대의 무인체계가 수행할 수 없는 임무가 할당되었을 때 다수의 무인체계가 동시에 투입되어 하나의 임무를 수행하는 결과도 확인할 수 있었다. 향후 유무인 복합체계를 도입하여 육군 전차부대의 사격훈련을 계획한다면 이러한 연구결과를 교육훈련 준비활동에 적용하여 교육훈련의 시간을 확보하고 교육훈련 집중도를 향상시키는데 기여함으로써 더 짧은 시간에 인명피해 위험 없이 교육훈련 성과달성이 가능할 것으로 기대된다.

한편 현실적인 사격훈련의 모든 요소와 변수를 반영한 시물레이션을 구축한다는 것은 사실상 불가능함에 따라 문제 해결을 위한 시물레이션은 앞선 연구의 모델들을 참고하여 유사하게 구성하였다. 하지만 모델 구성 과정에서 문제 해결을 위해 문제 조건을 단순화시켜야 했으며 제3장 2절과 같은 다양한 가정사항이 반영되어 실제 사격훈련 간 발생하는 사건들의 복잡성과 우발성을 현실적으로 반영하지 못한 한계가 존재한다.

또 실제로 무인체계가 최초로 임무를 수령할 때의 획득한 정보와 임무수행 현장에서 확인한 정보가 상이할 경우 무인체계가 스스로 협업의 필요성을 판단하는 논리에 관한 추가 연구 역시 필요하다.

따라서 향후 연구에서는 실제 사격훈련 간 발생할 수 있는 우발적이고 다양한 사건들을 적용하기 위해 실제로 발생하는 교육훈련 준비활동에 관한 데이터를 활용하고, 무인체계 스스로 획득한 정보를 토대로 상황판단 이후 협업 활동을 결정하는 알고리즘에 관한 연구가 활성화된다면 교육훈련 준비활동 체계 SET의 수준을 더욱 높일 수 있을 것으로 기대된다. 또 본 고에서 설계한 모델에서 Resource의 성과달성 지표는 0(미달성)과 1(완수)의 이진변수로 제시되었다. 이는 모델의 단순화를 위해 설정한 가정사항의 일부였으나, 특히 협업 과업을 수행시 더 많은 무인체계가 동시에 투입될수록 임무완수 시간이 더 짧아질 수 있다는 가능성을 고려했을 때 성과달성 지표에 임무달성 시간 요소를 추가하여 시물레이션을 구성한다면 더욱 현실과 부합하는 결과가 도출될 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

- [1] 문승빈, 『국방 무인로봇 시험평가 적용방안 최종 연구보고서』, 한국방위사업연구원, 2017.
- [2] 김경수, 신지혁 "미래전 양상에 따른 지상 무인 전투체계 운용 개념", 국방과 기술(479), 2019.
- [3] 이재근, 정하민, 김동현, "광범위 시야 정보를 위한 UAV와 UGV의 협업 연구". 한국지능시스템학회 논문지, 24(3), 2014.
- [4] 최재영, 김성관, "UAV-UGV의 협업제어를 위한 향상된 Target Tracking에 관한 연구", 제어로봇시스템학회 논문지, 19(5), 2013.
- [5] 유승은, 김대은, "Air-Ground Cooperating Robots: Applications and Challenges", 제어로봇시스템학회 논문지, 16(2), 2010.
- [6] 정진수 등, "이중 로봇팀의 협업을 통한 맵 빌딩과 위치추정", 제어로봇시스템학회 논문지, 17(2), 2011.
- [7] 이문걸, 이태진, 김수환, "최적화 기법을 이용한 기뢰소해 경로결정 계획 연구", 한국국방경영분석학회지, 40(2), 2014.
- [8] Martina Mammarella, Lorenzo Comba, Alessandro Biglia, Fabrizio Dabbene and Paolo Gay, "Cooperation of unmanned systems for agricultural applications: A theoretical framework", Biosystems Engineering, 2021.
- [9] Bilal Kaddouh, "A Resource Allocation System for Heterogeneous Autonomous Vehicles", Doctorate, The University of Manchester School of Mechanical, 2016.
- [10] Chase C. Murray, Mark H. Karwan, "An Extensible Modeling Framework for Dynamic Reassignment and Rerouting in Cooperative Airborne Operations", Naval Research Logistics, Vol 57, Issue 7, 2010.
- [11] Charles E. Pippin, Henrik Christensen, Lora Weiss, "Dynamic, cooperative multi-robot patrolling with a team of UAVs", Proc. SPIE 8741, Unmanned Systems Technology XV, 874103, 2013.

저 자 소 개



홍기원(E-mail: hexacloride@naver.com)

현재 국방대학교 무기체계전공 석사과정
관심분야 : 무인체계, 자율화



이춘주(E-mail: sarang90@korea.kr)

1991 육군사관학교 졸업(이학사)
1997 미국 UC Berkeley 핵공학 석사
2005 KDI 국제정책대학원 정책학 석사
2006 서울대학교 기술정책학 박사
현재 국방대학교 무기체계전공 교수
관심분야 : 기술정책, 국방로봇(무인전력),
방위산업정책, 생산성분석,
핵심인프라방호