

UxAS 기반 임무 자율화 소프트웨어 성능 평가 기법 개발

Development of Performance Evaluation Method for Mission Autonomy Software based on UxAS

한 동 건* · 김 윤 근

국방과학연구소

Dong-geon Han · Yun-geun Kim

Agency of Defense Development, Daejeon, 34186, Korea

[요 약]

모자이크 전장 환경에서는 다수의 무인기가 동적 상황에 따라 자율적으로 임무를 할당하고 이를 수행할 수 있어야 하므로, 임무 자율화 시스템이 무인기에 반드시 탑재되어야 한다. UxAS (unmanned x-systems autonomy service)는 미 공군 연구소에서 개발한 무인 플랫폼에 탑재 가능한 임무 자율화 시스템으로, 다양한 모듈 형태의 서비스로 구성되어 기능 확장이 용이한 구조를 가지고 있다. 이러한 UxAS에 기반한 임무 할당 및 경로 재계획을 수행하는 임무 자율화 소프트웨어를 개발하고, 해당 소프트웨어의 성능을 검증하고 성능 평가 지표에 따라 개발한 소프트웨어를 평가하는 기법에 대해 본 논문을 통해 제시하였다.

[Abstract]

Mission autonomy system should be embedded on UAV (unmanned aerial vehicle) for mosaic warfare where UAVs autonomously assign tasks to themselves. UxAS (unmanned x-systems autonomy service) proposed by Air force research laboratory is mission autonomy system for unmanned platforms. UxAS has extensible structure composed of numerous module services. We have developed mission autonomy system based on UxAS that performs mission allocation and path planning. In this paper, We present a method of analyzing and evaluating the mission autonomy software according to the performance evaluation index.

Key word : UxAS, Mission autonomy, Unmanned aerial vehicle, Evaluation method.

<https://doi.org/10.12673/jant.2024.28.3.331>



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 30 May 2024; Revised 25 June 2024

Accepted (Publication) 28 June 2024 (30 June 2024)

*Corresponding Author; Dong-geon Han

Tel: *** - **** - ****

E-mail: handg325@gmail.com

1. 서론

현재 무인기는 감시 정찰 등의 임무 수행을 위해 개별 무인기가 비행 전 사전에 계획된 임무 항로점을 자동으로 비행하며 탑재 장비를 이용하여 임무를 수행하는 수준으로 운용되고 있다. 그러나 미래의 모자이크 전장 환경에서는 다수의 이종 무인기가 기 계획된 임무만을 수행하는 것뿐만 아니라 동적 상황에 따라 임무를 재할당하고, 비행경로를 재계획하는 무인기 임무 자율화 기술이 필수적이다. 이를 위해 미 공군 연구소에서 개발한 무인 플랫폼에 탑재 가능한 임무 자율화 시스템인 UxAS[1]를 분석하여, 운용자의 명령 없이 자율적으로 임무 자율화를 수행할 수 있도록 상황인식 서비스를 추가한 UxAS 기반의 임무 자율화 소프트웨어를 개발[2]하였다.

본 논문에서는 UxAS 기반 임무 자율화 소프트웨어의 성능을 평가하는 평가 기법을 제시하고, 해당 기법을 통해 임무 자율화 성능을 평가 검증하였다.

II. UxAS 및 AMASE

2-1 UxAS 소개

UxAS는 임무 자율화 기술 연구를 위해 미 공군 연구소에서 개발한 임무 자율화 시스템으로, 자율화에 필요한 다양한 모듈

표 1. UxAS 임무 자율화 절차

Table 1. UxAS mission autonomy process.

Phase	Description
Initialization	Set up mission autonomy information such as UAV specification, task list and so on.
Assignment	Conduct path planning and task assignment according to the automation request message.
Implementation	Generate final flight route according to the assignment result.
Execution	Execute flight and task according to the assignment and implementation result.

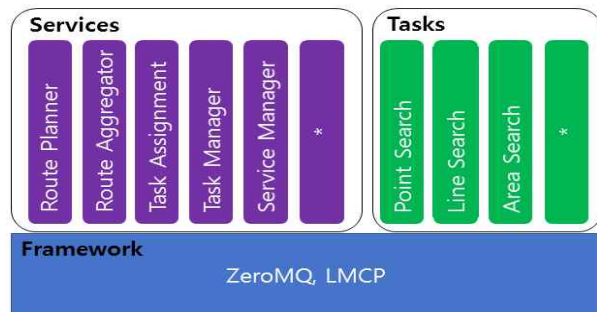


그림 1. UxAS 구조
Fig. 1. Architecture of UxAS.

형태의 서비스들로 구성 되어있는 확장 가능한 소프트웨어 프레임워크이다.

UxAS는 그림 1과 같이 ZeroMQ[3] 시스템을 채용하여 별도의 쓰레드를 가진 서비스 간에 메시지를 주고받으며 동작하며, LMCP(lightweight message construction protocol)[4]를 이용하여 메시지를 정의하고 편집하여 서비스 간 메시지를 교환할 수 있다. UxAS는 임무 자율화를 위해 다양한 서비스와 태스크가 탑재되어 있는데, 서비스는 임무 자율화 기능을 담당하고, 태스크는 무인기에 부여된 임무의 정보를 관리하고 임무를 수행하는 기능을 담당하게 된다. UxAS에는 기본적으로 점(point), 선(line), 영역(area)에 대한 정찰 임무와 ISR 등 다양한 임무가 정의되어 있으며, 사용자가 새로운 임무를 직접 생성할 수도 있다. 또한 서비스를 추가함으로써 자율화 기능을 수정 및 확장할 수 있다.

2-2 UxAS의 임무 자율화 수행 절차

UxAS의 임무 자율화 절차는 표1과 같이 4단계에 걸쳐 수행된다. 단, UxAS에서는 자율 상황 인식 기능이 없기 때문에 지상체나 외부로부터 임무 자율화 수행요청을 수신하는 것으로 설계되었다. initialization 단계에서는 비행체 제원, 수행해야 할 임무 등 임무 자율화 수행에 필요한 정보들의 초기화를 수행한다. assignment 단계는 외부로부터 수신한 자율화 수행요청에 따라 비행경로 계산 및 임무 재할당을 수행하는 단계이다. implementation 단계는 임무 재할당 결과를 바탕으로 무인기별 최종 비행경로 계획을 생성하는 단계이다. execution 단계는 생성된 비행경로 계획에 따라 비행체가 비행하고, 장비를 제어하며 임무를 수행하는 단계이다.

UxAS의 임무 자율화 세부 수행 절차는 다음과 같다. 각 비행체는 임무 자율화 수행 요청을 수신하게 되면 임무의 종류 및 환경에 따라 수행 가능한 옵션을 설정하여 그 정보를 route aggregator로 송신한다.

route aggregator 서비스는 모든 태스크 옵션 정보를 수신하면 경로 비용 행렬을 생성한다. UxAS는 정찰 임무에서의 진입/진출 방향 등 임무마다 다양한 옵션을 정의할 수 있고, 이에 따라 임무의 시작/종료 시점이 달라질 수 있기 때문에 경로 비용 또한 임무와 임무 간의 비용이 아닌 임무의 옵션 간 경로 비용으로 정의된다. 빈 경로 비용 행렬이 생성되면, 행렬의 값을 채우기 위해 각 임무와 옵션별 비행경로 및 비용을 route planner 서비스에 요청하게 된다.

route planner 서비스는 요청받은 경로에 대해 최단 경로를 계산하고 그 비용을 route aggregator 서비스로 송신한다. UxAS에서는 visibility graph 기반의 경로계획 기법으로 2D 공간에서의 최단 경로를 계산한다.

route aggregator 서비스는 경로 비용 행렬의 값이 모두 계산되면, task assignment 서비스로 임무 재할당 수행을 요청하게 되고 task assignment 서비스는 경로 비용 행렬을 활용하여 정해진 알고리즘으로 무인기별 임무 할당 및 수행 순서를 결정하

게 된다. 본 논문에서는 임무 재할당 알고리즘으로 Branch and bound 트리 탐색 기법[5]에 기초하여 개발한 중앙 집중형 임무 재할당 알고리즘과 CBBA(consensus-based bundle algorithm) 알고리즘 기반 분산형 임무 재할당 알고리즘을 적용하였다. 마지막으로 plan builder 서비스는 정해진 임무 할당 결과에 따라 최종 임무 계획을 생성한다.

2-3 AMASE 소개

미 공군연구소는 UxAS 임무 자율화 연구를 위해 단일 컴퓨터 환경에서 다수 무인기의 시뮬레이션을 수행할 수 있도록 AMASE(AVTAS multi-agent simulation environment)[4] 시뮬레이션 도구를 개발하고 사용하였다. AMASE는 UxAS 시나리오를 생성할 수 있으며, 모의할 다수 무인기의 성능을 정의하고, UxAS와 TCP/IP 통신 인터페이스를 통해 LMCP 메시지를 주고받음으로써 사용자 명령을 전달한다. AMASE는 임무장비 모의와 항로점을 추종하는 auto-pilot 모의 기능 또한 수행한다. AMASE를 통해 개발, 시험 및 시연, 분석을 수행하여 UxAS 기반의 임무 자율화 소프트웨어를 검증할 수 있다.

III. UxAS기반 임무 자율화 성능평가 기법

개발한 UxAS 기반 임무 자율화 소프트웨어의 성능을 검증하기 위해 소프트웨어 검증환경을 자체 설계 및 제작하였다. 본 장에서는 소프트웨어 검증환경에 대한 설명과 이를 이용하여 임무 자율화 소프트웨어의 성능을 평가하기 위한 평가지표와 성능분석 방법에 대해 설명하였다.

3-1 임무자율화 소프트웨어 검증 환경의 구성

UxAS 기반 임무 자율화 소프트웨어 검증을 위하여 검증환경을 자체 제작하였다. 다수 이종의 무인기의 임무 자율화를 검증하기 위하여 NVIDIA Jetson TX2, NVIDIA Jetson AGX Xavier, NVIDIA Jetson Nano, 총 3종의 탑재 컴퓨터 각 6대로 구성하여, 동시에 18대의 다수 이종의 무인기가 임무 자율화를 수행할 수 있도록 구성하였다. 탑재 컴퓨터는 그림2와 같이 AMASE 호스트 컴퓨터에 연동되거나 그림3과 같이 비행모의 모델 컴퓨터와 1대 1 연동되어 운용통제 호스트 컴퓨터로부터 비행모의 모델 컴퓨터를 통해 다른 비행체의 비행 상태 데이터를 수신하고, 임무 재할당 및 경로 재계획 결과를 비행모의 모델 컴퓨터를 통해 운용통제 호스트 컴퓨터로 송신한다. 운용통제 호스트 컴퓨터에서는 각 탑재 컴퓨터로부터 수신한 데이터를 통해 현재 비행 상태를 가시화하고, 지상통제 및 임무계획 컴퓨터를 통해 구성된 임무 시나리오를 탑재 컴퓨터로 전송할 수 있다. 또한 임무 재계획 결과를 성능분석 컴퓨터로 송신하여 임무 자율화 수행 결과를 분석 및 평가할 수 있다.

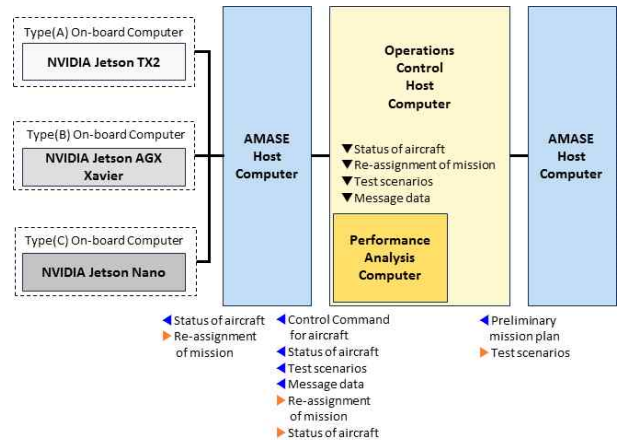


그림 2. AMASE를 활용한 임무 자율화 시험 환경 구조
Fig 2. Mission autonomous testing environment structure using AMASE.

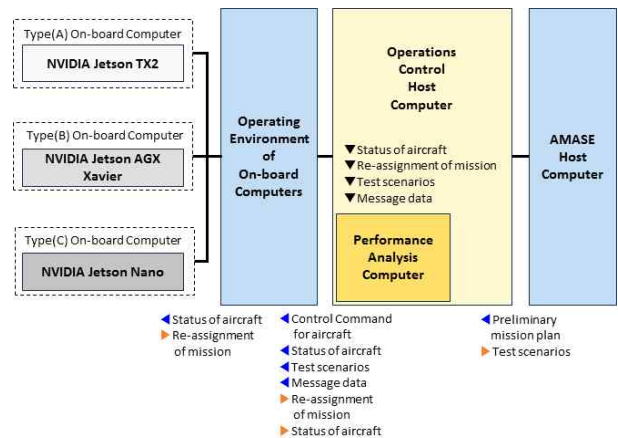


그림 3. 다수 이종 프로세서를 활용한 임무 자율화 시험 환경 구조
Fig 3. Mission autonomous testing environment structure using multiple heterogeneous processors.

3-2 탑재 임무장비 적용을 위한 LMCP 메시지 설계

이종의 프로세서를 적용한 다수 이종의 무인기의 구분뿐만 아니라 탑재된 임무장비의 다양화를 통한 다수 이종 무인기의 구성을 위해 무인기에 탑재되는 임무장비에 대한 정의를 수행하였다. 무인기에 탑재되는 임무장비의 설정 및 상태 정보는 LMCP 메시지 재정의의 통해 구현하였다. 임무장비 설정 메시지는 각 비행체별로 정의 되어야 한다.

탑재 임무장비의 설정 메시지는 비행체 별 탑재 임무장비의 종류를 정의하는 메시지이다. 임무장비의 종류는 총 4종으로, 정찰임무를 수행하기 위한 두 종류의 정찰임무 장비(EO/IR, SAR)와 지상목표 타격을 위한 공대지 타격 임무 장비, 공대공 타격을 위한 공대공 타격 임무 장비로 정의하였다. 각 비행체 별로 최대 4개의 임무장비를 장착할 수 있으며, 정찰임무 장비

의 경우에는 같은 종류의 임무장비가 중복 장착될 수 없으며, 타격임무 장비의 경우에는 동일 장비가 최대 4개까지 중복 장착되어 같은 타격임무를 총 4회까지 수행될 수 있도록 정의하였다.

또한 장착된 임무장비의 고장 상황과 타격임무 수행 완료에 따른 타격임무 장비 소진 상황을 나타내기 위한 탑재 임무장비 상태 메시지를 정의하였다. 최초 임무장비 설정 메시지를 수신 받으면, 각 장비의 초기 상태는 정상상태로 세팅된다. 메시지의 상태 값 0은 정상(normal) 상태를 의미하며, 1은 사용불가(abnormal, 고장 또는 소진) 상태를 의미한다. 정상 장착된 임무장비가 고장 또는 소진된 경우 상태 값이 0에서 1로 설정되며, 반대로 고장상태가 해제되는 상태가 발생한 경우에는 상태 값이 1에서 0으로 회복될 수 있다. 단, 소진된 타격 임무장비의 경우에는 정상 상태로 회복되지 않도록 제한하였다.

이와 관련하여 비행체에 탑재된 임무장비에 따라 비행체가 수행해야 할 임무를 정찰임무, 타격임무 그리고 탑재장비와 무관한 단순 임무로 나누어 정의하였다. 임무점에 대한 정의는 별도의 LMCP 메시지로 구성하지 않고, 임무점의 고유번호(task ID)를 통해 구분하였다.

3-3 시나리오 자동 생성 및 검증

검증환경의 운용통제 컴퓨터에서는 다양한 시나리오의 반복 수행을 통해 임무 자율화 소프트웨어를 검증하기 위한 시나리오 자동생성 기능을 구현하였다. 시나리오 생성 시 고려해야 할 사항으로 운용 비행체 대수, 비행체 시작 위치, 수행할 임무의 종류 및 개수, 비행체에 탑재되는 임무장비의 종류 및 개수, 임무와 탑재된 임무장비 구성에 따른 전체 임무점의 구성 및 임무점의 위치, 비행 가능구역 내 비행금지구역(keep-out zone)의 모양과 개수, 비행금지구역의 위치 등이 있다. 운용통제 컴퓨터는 상기 요구조건에 부합하는 시나리오를 무작위로 생성하도록 구현하였다. 단, 무작위 시나리오 생성 간 요구조건이 복잡하여 조건 불만족으로 시나리오를 생성하지 못하는 경우를 방지하기 위하여 임무점의 위치의 경우, 사전에 정의된 임무점 후보군 집합을 정의하고 해당하는 집합 풀에서 랜덤하게 선택하여 임무점을 생성할 수 있도록 구현하였다.

추가로 임무 간의 동적 상황에 따른 임무 재계획 여부를 검증하기 위하여 임무 종료 후 임무 재계획 요청 메시지를 송부하는 동적 임무점 설정, 임무 수행 간 비행경로를 가로막는 비행금지구역의 돌발 생성 설정, 그리고 임무장비의 사용불가 메시지 설정을 통해 임무 수행 중 임무 재계획이 발생하는 시나리오도 자동 생성될 수 있도록 구현하였다.

또한 일정 시간 내로 혹은 일정 시간 이후 임무를 수행하는 등의 임무 간의 시간 제약 조건의 적용과 여러 비행체가 한 점에 동시에 모여들 수 있도록 정의한 동시 도착 임무점을 시나리오 자동 생성 시 포함될 수 있도록 구현하였다.

검증환경에서는 사용자에게 의해 정의된 시나리오 또는 자동 생성된 시나리오를 이용하여 UxAS 기반 임무 자율화 소프트

웨어를 검증을 수행한다. 하나의 시나리오를 통한 단일 시뮬레이션 및 분석 기능과 다수의 시나리오의 자동 반복 시뮬레이션을 통한 통계적 분석 기능이 있다.

3-4 DB기반 성능 분석

UxAS에서는 시뮬레이션 수행 시 시뮬레이션 기록 및 그 결과를 자체적으로 데이터베이스 파일(*.db3)로 저장하는 기능이 있다. 검증환경에서는 UxAS에서 자체 저장한 데이터베이스 파일 추출을 통하여 시나리오 별로 추출 결과를 저장 및 관리하며, 이를 통해 시험 데이터를 분석하여 성능을 평가하도록 구현하였다.

검증환경에서는 데이터베이스 파일로부터 표2의 메시지를 추출하여 표3의 성능지표를 통해 소프트웨어 성능을 평가한다. 표2의 각 메시지에 대한 상세 내용은 UxAS 매뉴얼[1]을 참고한다.

전체 임무를 비행체 간 자율 할당을 시작하여 마지막 임무를 완료 후 기지에 복귀하는데 걸리는 시간을 평가하는 임무시간은 시나리오 시작 후 automation request 메시지를 송신한 시간부터 마지막 비행체가 기지로 복귀하는 시간을 확인한다.

전체 임무시간 중 비행금지구역을 통과한 비율을 평가하는 비행금지구역 침범율은 air vehicle state 메시지를 통해 확인한 비행체의 현재 위치가 keep-out zone 메시지를 통해 설정된 비행금지구역을 통과할 때의 시간을 저장하여 해당 시간을 전체 임무 시간으로 나눈 백분위 값으로 계산한다.

연료소모량은 임무 시작과 임무 종료 시의 air vehicle state 메시지의 현재 연료량을 확인하여 최초 탑재 연료량 대비 얼마의 연료를 소모하였는지를 각 비행체 별로 계산한다. 각 비행체 별 연료 소모량의 평균 값과 최대 값을 중앙집중형 임무할당 알고리즘과 분산형 임무할당 알고리즘의 결과를 비교하여 다수 이동의 무인기가 얼마나 효율적으로 임무 할당을 수행하였고 그에 따른 효율적 경로를 설정하였는지를 평가한다.

임무 달성율은 시나리오 전체 임무 개수 대비 정상적으로 수행 완료한 임무의 수의 백분위를 표현한 값으로, automation request 메시지를 통해 전체 임무 개수를 확인하고 비행체 별로 발생한 task complete 메시지를 통해 정상 수행 완료한 임무를 카운트하여 임무 달성율을 계산한다.

임무 종속 관계 만족율은 두 임무 간의 시간 관계에 있어서 선행 임무 종료 후 특정 시간 내에 혹은 특정 시간 이후에 후속 임무가 수행되는지의 여부를 판단하는 지표이다. automation request 메시지를 통해 확인한 종속관계의 임무 총 개수 대비 종속관계를 만족한 임무 개수의 백분위로 계산한다. 이때 종속관계를 만족한 임무는 task dependency 메시지의 종속관계 종류와 시간과 선행 임무와 후속 임무의 task complete 메시지 발생 시간의 차이를 통해 만족여부를 확인할 수 있다.

탑재 임무장비 만족율은 탑재된 임무장비의 종류 및 개수, 사용불가 상태에 따라 임무의 할당이 적절히 수행되었는지를 평가하는 지표로 각 비행체 별 payload configuration 메시지와

표 2. 데이터베이스로부터 추출하는 메시지

Table 2. Extracted messages from database.

Message	Content
AirVehicleConfiguration AirVehicleState	Spec. and current state of air vehicles
PayloadConfiguration PayloadState	Configuration and current state of payloads
KeepInZone KeepOutZone OperatingRegion	region information for mission
TaskDependency	Time dependency between two tasks
AutomationRequest	Request to replan for mission
TaskAssignmentSummary	Result of the task assignment algorithm
TaskComplete	completed time and task's ID

표 3. 임무 자율화 소프트웨어 성능 평가 지표

Table 3. Mission autonomy software performance evaluation indicators.

Performance Evaluation Indicators	Description
Mission Time	An indicator that evaluates the total amount of time it takes to be assigned the entire mission and return to base after completing the last task.
Keep-out Zone Invasion Rate	An indicator that evaluates whether a flight was safely flown without passing through a keep-out zone between all flights.
Fuel Consumption	An indicator that evaluates whether the entire mission has been carried out with minimal fuel.
Mission Achievement Rate	An indicator of how many tasks have been assigned relative to the overall tasks.
Task Dependency Satisfaction Rate	An indicator that evaluates whether the task is satisfied when it must be executed within or after a certain period of time after completion of the preceding task.
Payload Satisfaction Rate	An indicator that evaluates whether the assignment of tasks according to the status of onboard payload has been appropriately made.
Simultaneous Arrival Time Difference	An indicator that evaluates whether multiple aircraft have arrived simultaneously for a cooperative task by comparing arrival time of each vehicle.

payload state 메시지에서 임무장비의 종류와 개수 그리고 상태를 확인하고, automation request 메시지에서 임무의 속성을 확인, 최종 automation response 및 task assignment summary 메시지의 임무 할당 결과를 비교하여 임무장비에 따른 임무가 적절히 매치되었는지 확인한다. 매치 가능한 임무 대비 잘못 매치되거나 매치되지 않은 임무의 수의 백분위로 계산하여 평가한다.

동시도착 시간 오차는 다수의 비행체가 하나의 임무점에 동시 도착하였는지를 평가하는 지표로, 동시도착 임무에 마지막으로 도착한 비행체의 도착 시간과 처음으로 도착한 비행체의 도착시간의 차이를 계산하여 평가한다.

3-5 알고리즘 성능 비교를 위한 DB 기반 재계획 입력 모의 기능

본 논문에서는 비행체 간 임무 할당의 자율화 위해 Branch and bound 트리 탐색 기법에 기초한 중앙 집중형 임무 재할당 알고리즘과 CBBA알고리즘 기반 분산형 임무 재할당 알고리즘을 개발하였고, 모든 조건에 따른 분기를 확인하여 최적해를 도출하는 중앙 집중형 임무 할당 알고리즘을 기준으로 분산형 알고리즘의 성능을 비교분석한다.

알고리즘 간의 성능을 비교하는 가장 쉬운 방법은, 각각의 알고리즘이 탑재된 UxAS로 동일한 시나리오를 여러 번 실행하여 그 결과를 비교하는 것이다. 그러나, 이 방법은 최초 재계획 시에는 알고리즘의 입력값이 동일하지만, 재계획이 여러 번 수행될 경우 이전 재계획의 결과가 서로 달라 두 알고리즘의 결과를 공정하게 비교할 수가 없는 문제점이 있다.

본 논문의 검증환경에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해, DB기반 재계획 입력 모의 기능을 구현하였다. 재계획에 필요한 입력 정보는 아래 표와 같이 비행체 정보, 영역 정보, 태스크 정보, 재계획 명령 정보이다. 비행체 정보는 비행체의 스펙을 포함하는 air vehicle configuration, 비행체의 위치, 속도 등의 상태를 포함하는 air vehicle state 로 구성된다. 영역 정보는 공역 정보를 의미하는 keep-in zone, 위협을 의미하는 keep-out zone, 영역의 활성화 여부를 의미하는 operating region으로 구성된다. 태스크 정보는 point search task/line search task 등으로 구성되며, 각 메시지는 task의 종류 및 위치, 수행 조건을 포함한다. 마지막으로, 재계획 명령은 automation request 메시지로, 재계획 시 사용할 비행체 정보, 영역 정보, 태스크 정보를 포함하고 있다. 검증환경에서는 먼저 기준 알고리즘으로 시나리오를 수행하여 생성된 데이터베이스로부터 위에서 설명한 재계획 입력 정보들을 추출한다. 이후, 검증환경은 추출된 입력 정보를 별도의 시나리오 수행 없이 비교 알고리즘이 탑재된 UxAS로 장입하여 재계획을 수행하고 그 결과를 데이터베이스로 저장한다. 그 후, DB기반 성능분석 기능을 활용하여 두 데이터베이스로부터 알고리즘의 성능을 분석하여 비교를 수행한다. DB기반 재계획 입력모의 기능은 본 논문의 분산형 알고리즘과 중앙집중형 알고리즘 뿐 아니라, 새로운 알고리즘에 대해서도 동일한 방식으로 비교 분석이 가능하다.

IV. 임무 자율화 소프트웨어 성능 평가

4-1 시험 환경

UxAS 기반 임무 재할당 소프트웨어를 검증하기 위한 시험 환경으로 자체 제작한 AMASE를 연동하거나 상용 시뮬레이터를 연동한 임무 자율화 소프트웨어 검증환경을 활용하였다.

표 4. 재계획 입력 정보

Table 3. Input data for replan.

Input Data for Replan	Message	Description
Air vehicle info.	AirVehicleConfiguration	Spec. of the air vehicles (min/max speed, bank angle, ...)
	AirVehicleState	State of the air vehicles
Region info.	keep-in zone	zone where vehicles can fly
	keep-out zone operating region	zone where vehicles cannot fly Info. about activation of zones
Task info.	point/line/area search task	ID, location and options for the tasks.
Replan info.	AutomationRequest	air vehicle, region and task info. used for the replan

자체 제작한 임무 자율화 소프트웨어 검증환경은 상기 3장에서 설명한 내용과 같이 구성되어 검증하였다.

4-2 임무 자율화 소프트웨어 성능 평가 방법

시나리오는 미국 인디애나 Camp atterbury의 공역을 대상으로 비행금지구역 최대 12개, 비행체 최대 4대, 선형 정찰임무, 동시도착 임무, 탑재 임무장비 관련 임무 등을 포함한 임무점 최대 12개로 무작위 생성하였다. 생성된 시나리오를 검증환경을 통해 시험을 단일 또는 반복 수행하여 저장된 결과를 성능 분석 컴퓨터로 전송한다. 전송된 데이터를 통계적 분석을 통해 최소, 최대, 평균 값을 도출한다. 도출된 결과는 성능분석 도구를 통해 도시되어 성능 평가 지표에 따라 해당 임무 자율화 소프트웨어를 평가 할 수 있다.

4-3 임무 자율화 소프트웨어 성능분석 결과 화면

검증환경의 성능분석 도구를 활용하여 임무 자율화 소프트웨어 성능분석한 결과는 다음과 같다. 단일 시험 또는 다수 시나리오의 반복 시험을 통해 저장된 데이터베이스 파일을 성능 분석 도구에서 읽어, 시나리오별로 내부에 저장된 메시지를 추출한다. 메시지 추출 결과는 그림 4와 같이 나타난다. 추출이 완료되고 분석 실행 버튼 인가시 데이터 파일을 분석하여 평가 지표에 따른 결과를 성능분석 도구 화면에 도시한다.

결과화면에서는 실행한 임무할당 알고리즘의 종류, 전체 임무 수행시간, 임무 달성율, 연료 소모량, 비행금지구역 침범율, 동시도착 시간 오차, 임무 종속관계 만족 및 탑재 임무장비 만족율 등의 평가 항목에 대한 최소, 최대, 평균 값을 도시한다. 도시된 수치를 통해 기준 알고리즘인 중앙집중형 임무할당 알고리즘 대비 분산형 임무할당 알고리즘의 성능을 비교 분석할 수 있다.

또한 데이터베이스 파일에서 메시지의 발생 시간을 추출, 해당 메시지의 송수신을 시험 당시에 동일하게 재연하여 기 수행된 시나리오를 재연할 수 있다. 이를 통해 시험결과에 따라 고

장 및 성능 분석이 필요한 시나리오를 분석할 수 있다.

동일한 시나리오를 통해 중앙집중형 및 분산형 임무 자율화 알고리즘을 비교분석한 결과는 표 5와 같다. 두 알고리즘 모두 주어진 전체 작업에 대해 모든 비행체가 빠짐없이 임무를 할당 하였으며, 위협을 회피하는 경로를 생성하여 위협을 침범하는 경우도 없었다. 또한 임무 종속 관계와 탑재 임무장비에 따른 적절한 할당이 이루어졌다. 하지만 모든 경우의 수를 찾아 최적의 임무 할당의 해를 도출하는 중앙집중형 알고리즘의 경우에는 전체 비행시간의 최소 비용을 의미하는 임무 시간 측면에서는 부최적해를 도출하는 분산형의 결과에 비해 짧은 임무 시간을 나타내었다. 하지만 결과를 도출하는데 있어 소요된 시간을 추가 확인한 결과 비행체가 나누어 계산하는 분산형 알고리즘의 경우가 한 대의 비행체에서 모든 경우를 검색하는 중앙집중형에 비해 임무 할당 결과 도출 시간이 월등히 짧은 것을 확인 하였다.

표 5. 성능분석 도구 시험 분석 결과

Table 5. Performance analysis tool test analysis results.

Performance evaluation indicators	Centralized algorithm	Decentralized algorithm
Mission time	0:12:48	0:12:53
Execution time	1.575 sec	19.005 sec
Keep-out zone invasion rate	0.0%/0.0%/0.0%	0.0%/0.0%/0.0%
Mission achievement rate	100%/100%/100%	100%/100%/100%
Task dependency satisfaction rate	100%/100%/100%	100%/100%/100%
Payload satisfaction rate	100%/100%/100%	100%/100%/100%

```

[2024-05-30 오전 11:31:01] DB파일 읽는 중...
[2024-05-30 오전 11:31:08] message_log_1_0_20본시나리오 파일 불러오기
[2024-05-30 오전 11:31:08] AirVehicleConfiguration DBRead 완료
[2024-05-30 오전 11:31:08] AirVehicleState DBRead 완료
[2024-05-30 오전 11:31:08] VehicleActionCommand DBRead 완료
[2024-05-30 오전 11:31:08] AssignmentCostMatrix DBRead 완료
[2024-05-30 오전 11:31:08] AutomationRequest DBRead 완료
[2024-05-30 오전 11:31:08] AutomationResponse DBRead 완료
[2024-05-30 오전 11:31:08] UniqueAutomationRequest DBRead 완료
[2024-05-30 오전 11:31:08] UniqueAutomationResponse DBRead 완료
[2024-05-30 오전 11:31:08] AutonomyConfiguration DBRead 완료
[2024-05-30 오전 11:31:08] CbbaConflictResolution DBRead 완료
[2024-05-30 오전 11:31:08] KeepInZone DBRead 완료
[2024-05-30 오전 11:31:08] KeepOutZone DBRead 완료
[2024-05-30 오전 11:31:08] OperatingRegion DBRead 완료
[2024-05-30 오전 11:31:08] RoutePlanRequest DBRead 완료
[2024-05-30 오전 11:31:09] RoutePlanResponse DBRead 완료
[2024-05-30 오전 11:31:09] RTDTA_PayloadConfiguration DBRead 완료
[2024-05-30 오전 11:31:09] RTDTA_PayloadState DBRead 완료
[2024-05-30 오전 11:31:09] SessionStatus DBRead 완료
[2024-05-30 오전 11:31:09] TaskDependency DBRead 완료
[2024-05-30 오전 11:31:09] TaskPlanOptions DBRead 완료
[2024-05-30 오전 11:31:09] TaskAssignmentSummary DBRead 완료
[2024-05-30 오전 11:31:09] PointSearchTask DBRead 완료
[2024-05-30 오전 11:31:09] LineSearchTask DBRead 완료
[2024-05-30 오전 11:31:09] TaskImplementationRequest DBRead 완료
[2024-05-30 오전 11:31:09] TaskImplementationResponse DBRead 완료
[2024-05-30 오전 11:31:09] TaskInitialized DBRead 완료
[2024-05-30 오전 11:31:09] TaskActive DBRead 완료
[2024-05-30 오전 11:31:09] TaskComplete DBRead 완료
[2024-05-30 오전 11:31:09] TaskAutomationRequest DBRead 완료
[2024-05-30 오전 11:31:09] TaskAutomationResponse DBRead 완료
[2024-05-30 오전 11:31:09] MissionCommand DBRead 완료
[2024-05-30 오전 11:31:09] AssignmentCoordination DBRead 완료
[2024-05-30 오전 11:31:09] AssignmentCoordinatorTask DBRead 완료
[2024-05-30 오전 11:31:09] CoordinatedAutomationRequest DBRead 완료
[2024-05-30 오전 11:31:09] DB파일 읽기 완료
[2024-05-30 오전 11:31:11] 데이터 파일 분석
    
```

그림 4. 성능분석 도구 데이터 추출 결과

Fig 4. Performance analysis tool data extraction results.

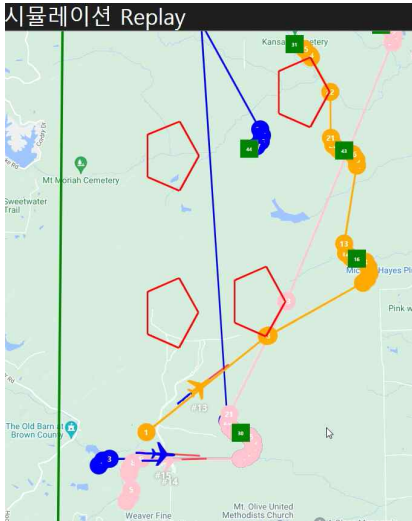


그림 5. 성능분석 도구 시험결과 재연 시현
 Fig 6. Test replay results of the performance analysis tool.

V. 결 론

본 논문에서는 UxAS에 기반 다수 이종의 무인기에 임무를 할당하고 비행 경로를 계획하는 임무 자율화 소프트웨어의 성능을 평가 지표를 통해 소프트웨어를 평가하는 방안에 대해 제안하였다.

다수 이종의 무인기의 임무 자율화를 검증하기 위해 임무 자율화 소프트웨어 검증환경을 자체 제작하였으며, 시험 간 UxAS를 통해 자동 저장된 데이터베이스 파일에서 비행체 간 송수신된 메시지 추출을 통해 임무 할당 및 경로 생성 알고리즘을 분석하고 평가할 수 있는 평가 지표를 제시하였다. 성능분석

도구를 통해 도식된 분석 결과를 통해 다수 이종의 무인기의 전체 임무 수행의 효율성, 비행금지구역 통과하지 않고 안전하게 임무를 완수할 수 있는지의 여부, 다양한 임무장비의 탑재 상태에 따라 효율적으로 임무를 할당하였는지의 여부 등의 임무 자율화 알고리즘을 평가할 수 있었다.

또한 메시지의 송수신의 지연 및 재계획 입력 모의 기능을 통해 동일한 시나리오를 여러 알고리즘에 적용하여 시험을 수행함으로써 동일한 조건에서의 임무 할당 및 경로 계획 결과를 비교분석할 수 있었다.

References

- [1] Power and Control Division, Aerospace System Directorate, Air Force Research Laboratory, OpenUxAS [Internet]. Available: <http://github.com/afrl-rq/OpenUxAS>.
- [2] Y.-G. Kim, "Analysis and improvement on process of mission autonomy in UxAS," *Journal of Advanced Navigation Technology*, Vol. 27, No. 1, pp. 1-7, Feb. 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.12673/jant.2023.27.1.1>.
- [3] P. Hintjens, *ZeroMQ: Messaging for many applications*, O'Reilly Media Inc., pp. 1-493, 2013.
- [4] M. Duquette, "The common mission automation services interface," in *Proceeding of AIAA Infotech@Aerospace conference*, St. Louis: MO, pp. 1542, Mar. 2011. DOI: <https://doi.org/10.2514/6.2011-1542>.
- [5] S.J. Rasmussen and T. Shima, "Tree search algorithm for assigning cooperating UAVs to multiple tasks," *International Journal of Robust and Nonlinear Control*, Vol. 18, No. 2, pp. 135-153, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1002/rnc.1257>.



한 동 건 (Dong-geon Han)
 2013년 2월 충남대학교 컴퓨터공학과 (공학사)
 2015년 8월 충남대학교 컴퓨터과학과 (공학석사)
 2015년 9월 ~ 현재 : 국방과학연구소 연구원
 ※ 관심분야 : 무인기 자율화



김 윤 근 (Yun-geun Kim)
 2008년 2월 연세대학교 기계전자공학부 (공학사)
 2014년 8월 연세대학교 컴퓨터과학과 (공학박사)
 2014년 10월 ~ 현재 : 국방과학연구소 연구원
 ※ 관심분야 : 무인기 자율화