

무인비행체의 유사시 대안 경로 선택을 위한 DEVS 기반 디지털 트윈 시뮬레이션 환경 모델링

권보승[†], 정상원[†], 노영단[†], 이종식[†], 한영신^{**}

DEVS-based Digital Twin Simulation Environment Modeling for Alternative Route Selection in Emergency Situations of Unmanned Aerial Vehicles

Bo Seung Kwon[†], Sang Won Jung[†], Young Dan Noh[†],
Jong Sik Lee[†], Young Shin Han^{**}

ABSTRACT

Autonomous driving of unmanned aerial vehicles may have to pay expensive cost to create and switch new routes if unexpected obstacles exist or local map updates occurred by the control system due to incorrect route information. Integrating digital twins into the path-following process requires more computing resources to quickly switch the wrong path to an alternative path, but it can quickly update the path during flight. In this study, we design a DEVS-based simulation environment which can modify optimized paths through short-term simulation of multi-virtual UAVs for applying digital twin concepts to path follow. Through simulation, we confirmed the possibility of increasing the mission stability of UAV.

Key words: UAV, Drone, Digital Twin, Path-Planning, DEVS

1. 서 론

21세기 이후 오랜 연구와 개발을 거쳐 상용화된 무인비행체(UAV, Unmanned aerial vehicle)는 현재 군수 시장은 물론 민간 시장에서도 활발하게 사용되고 있다. 초기의 드론은 비행을 통해 영상물을 촬영하는 수준에 불과했으나 현재는 탐색하고자 하는 지형에 대한 스테레오 이미지 촬영을 통해 3D 포인트 클라우드 영상을 제작하여 입체적인 지형 데이터를 얻거나[1], 목적지에 물건을 옮기거나 가져올 수 있는 헤비리프트 드론이나 방재를 위한 소방 드론같이 인간이 물리적으로 접근하기 어려운 영역에 대해 저

렴하고 효과적인 수단으로써 활용되고 있다[2]. 하지만 UAV가 이전보다 더욱 광범위하고, 높은 위험성을 가진 분야에서 사용됨에 따라 UAV를 활용하기 위해서는 탐색하거나 활용하려는 영역에 대한 충분한 안정성의 사전 검토가 필요하다. 예를 들어, 안티드론(Anti-Drone) 기술에 의한 위협이 존재하는 상황에서 UAV는 저고도 비행을 통해 레이더를 회피하는 동시에 나뭇가지나 철조망, 새 떼와 같은 장애물에 의한 동체의 피해 또한 회피해야 할 필요가 있다[3]. 산업 현장에서는 고도나 기상 상황에 의한 영향을 최대한 억제하고 낮은 비용으로 최대한의 작동 시간을 보증해야 한다.

* Corresponding Author : Jong Sik Lee, Address: (22212) 100 Inha-ro, Michuhol-gu, Incheon 22212, Korea, TEL : +82-32-860-7454, FAX : +82-32-860-8740, E-mail : jslee@inha.ac.kr

Receipt date : Aug. 14, 2022, Approval date : Aug. 23, 2022
[†]Dept. of Computer Eng., Graduate School, Inha University
(E-mail : bskwon9428@gmail.com)

(E-mail : ekdlk0804@gmail.com)

(E-mail : shdbwjd705270@gmail.com)

^{**} Frontier College, Inha University

(E-mail : hany@inha.ac.kr)

* This research was supported by a research grant from NRF(National Research Foundation) grant funded by the Korean Government (NRF-2021R1F1A1047971)

UAV의 자율 주행을 위한 경로 기술은 사전에 필드 데이터가 입력으로 주어져 있다는 전제 하에 우선 정적 경로를 생성하고, 정해진 알고리즘에 따라 정해진 경로를 추종하며 발생하는 위협을 회피하기 위해 동적으로 경로를 수정하는 최소 두 가지 이상의 기술로 구성되어 있다. 이동 가능 경로에 대해 UAV의 Way-point를 생성하고, 생성한 Way-point 상에서 가장 잘 알려진 알고리즘인 데익스트(Dijkstra)라 또는 데익스트라에 휴리스틱 개념을 추가한 A*, 그리고 미식별 구역에 대한 경로 재계획 알고리즘인 D*와 같은 잘 알려진 경로 계획 알고리즘을 통해 목적지까지의 최단 경로를 획득할 수 있다. 다른 방법으로는 샘플링 기반 알고리즘인 RRT*등을 이용하여 무작위 탐색을 통한 목적지까지의 최단 경로를 얻어 낼 수 있다[4]. 하지만, 공중 체류 시간에 제약이 존재하고 가벼운 충격에도 큰 위협이 뒤따르는 UAV는 기상의 변화 또는 불일치한 경로 데이터, 예기치 못한 장애물의 존재에 의한 물리적 충돌에 대해 매우 조심스럽게 접근하여야 하며[5], 주로 사용되고 있는 경로 계획 알고리즘만으로는 GPS의 오차, 드론 비전의 거리에 따른 장애물 인식 문제, 위에서 언급하였던 각종 위협 상황에 따른 불확실성에 대해 유연하게 대처하기 어렵다. 이를 해결하기 위해서 시작점에서 목적지까지의 최적 경로를 생성하는 일반적 경로 계획을 위한 알고리즘 대신 입력으로 주어진 지도에 대한 모든 이동 가능 영역에 대해 경로를 생성하여 필드 전역을 셀 그룹 단위로 분할하고 BFS를 통한 완전 탐색을 통해 모든 지형의 위협 정도를 검토하여 안전하면서도 가능한 최대로 빠른 최적의 경로를 획득하고자 한다. 또한, UAV가 실제 작전 상황에서 UAV의 비전과 관제시스템의 지역 정보 갱신에 따라 계획된 경로들의 일부 노드를 수정하고, 진행중인 경로를 빠르게 이탈하여 다른 안전 경로를 찾아갈 수 있음을 보이기 위해 시뮬레이션 환경을 구축하고자 한다.

본 연구를 통하여, 분할된 셀 그룹 지도상에서 UAV의 요청에 따라 기존 경로 주행을 중단하고 대안 경로를 획득하기 위한 UAV 에이전트의 경로 계획 및 경로 주행 시뮬레이션을 수행할 수 있는 이산 사건시스템(DEVS, Discrete Event System Specification) 시뮬레이션 환경[6] 기반의 디지털 트윈 모델을 제안한다. DEVS 기반의 이산 시뮬레이션 환경

에서 제안된 UAV 디지털 트윈 모델을 활용하여 제약이 존재하는 환경 속에서 예측하지 못하였던 위협이나 UAV의 계획 경로 주행에 방해가 되는 요소들을 고려하여 복수의 주행 예정 경로를 생성하고, 유사시 대안 경로로 전환할 수 있음을 검증하여야 한다. 제2절에서는 연구 주제와 관련된 내용들에 대해 언급하고, 제3절에서는 입력받은 필드 데이터를 탐색 및 이동 가능한 셀 그룹으로 나눈 뒤 DEVS 모델에서 특정 조건에 따른 경로를 요청하였을 때 응답하기 위한 사전 처리 방법론에 대해 다룬다. 제4절에서는 DEVS 방법론을 적용한 가상 UAV 시뮬레이션 모델을 작성하고, DEVS 기반의 가상 시뮬레이션 모델을 토대로 복수의 가상 UAV 모델을 이용한 최적 경로선택 및 시뮬레이션 방법을 논한다. 제5절에서는 해당 시뮬레이션 방법론에 대한 결론을 내리는 동시에 향후 연구 방향에 대한 주제를 제시한다.

2. 연구의 구성 및 관련 내용

본 연구는 UAV가 출발지에서 목적지에 도달하기 까지 다수의 지리적 위협이 있는 상황에서 어떻게 이동에 적합한 경로를 선정하고 주행할지 DEVS 기반의 시뮬레이션을 이용하여 분석하고 최종 경로를 선택하는 방법론에 대해 다룬다. 장애물에 따른 위험 지수를 지닌 필드 정보와 함께 UAV의 출발점, 그리고 목적지가 제공되었을 때 분할정복을 이용하여 이동 가능 경로 및 경유지를 획득하고 위협성에 대한 문턱 조건을 입력으로 한 단계 시뮬레이션을 수행함으로써 UAV의 실전 주행 전에 적합한 경로를 선택할 수 있는지에 대한 가상공간에서의 검증은 목표로 한다. 해당 역할을 시뮬레이션하기 위한 배경지식들은 다음과 같다.

2.1 디지털 트윈

디지털 트윈이란, 물리 세계에 실재하고 있는 대상을 디지털 공간의 객체로써 사실적으로 표현한 것을 가리킨다. 디지털 트윈은 현실에서의 환경을 가상 공간에서 유사하게 구현함으로써 현실감 있는 시뮬레이션을 가능하게 한다[7]. 기존 시뮬레이션에서는 이론적으로 디자인하여 수행한 시뮬레이션에 대해 어떠한 내외부적 요인으로 인한 변화가 발생하였을 때, 새로운 데이터를 사람이 재차 입력하여 다시 새

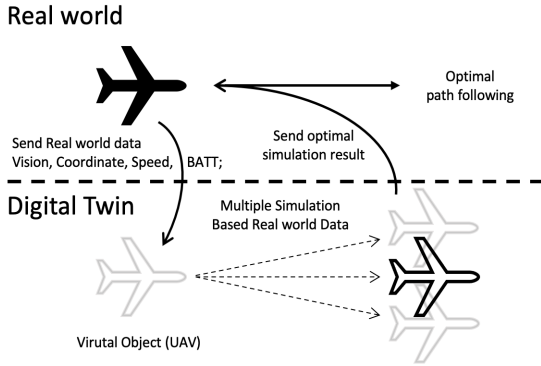


Fig. 1. Workflow between real-world UAV and digital twin model.

로운 시뮬레이션을 수행할 필요가 있다. 하지만 디지털 트윈의 개념을 적용한 시뮬레이션 환경에서는 현실에서 발생할 것이라고 여겨지는 변화를 가상 객체에도 같이 적용하기 때문에 가상 위협에 의한 장치의 파손, 불안정성, 출력의 저하 등이 실시간으로 가상 공간에서 재현된다. 따라서 디지털 트윈 모델에서 시뮬레이션을 통해 문제가 발생하였을 때, 현실 세계의 실제하는 대상은 해당 결과를 기반으로 사전에 위협을 회피하고 유연하게 대응할 수 있게 된다. Fig. 1은 디지털 트윈의 개념을 UAV에 적용하였을 때 실물 객체와 가상 객체의 역할과 시뮬레이션 결과에 대해 나타내고 있다.

Fig. 2는 경로 주행 시뮬레이션 환경에서 디지털 쌍둥이의 개념을 적용하였을 때 복수의 경로를 생성하여 가상의 추종을 수행하는 것을 보여주고 있다.

(a)에서 UAV는 목적지까지 전진하며 일정한 거리를 통과할 때마다 디지털 쌍둥이 UAV를 통해 사전 경로 추종 시뮬레이션을 수행한다. 대각선으로 표현되고 있는 t 는 관측 시간을 시각적으로 보기 좋게 표시한 것이며, 실제로는 목표 방향으로 전진하는데 걸린 DEVS 시간을 기준으로 삼기에 실제 UAV의 출발 지점과, 경유하는 Cell에 따라서 t 대각선 축의 위치는 다를 수 있다. $t-1$ 은 이전 지역 경로 결정 과정에서 UAV가 최종적으로 선택하여 현재 전진 중인 Cell이 위치하는 경로 계획 지점이다. $t-1$ 에서 t 까지 진행되는 경로는 UAV가 다음 경로를 선택하기 위해 DT-UAV를 호출하여 다음 경로까지 가상 경로 주행을 진행하도록 하는 경로이며, t 에서 $t+1$ 까지 진행되는 경로는 해당 DT-UAV들이 최적의 경로를 찾으려 하는 탐색 과정이다. (b)는 주행 경로 중 임의의 공간에 정해진 DEVS time마다 자신의 위치를 변경하는 장애물 객체가 출현했을 때의 경로 변화를 예시로 든다. (a)에서는 $t-1$ 에서 t 로 가는 모든 경로를 이용할 수 있었지만, (b)에서는 t 에서 $t+1$ 로 전진해야 하는 DT-UAV 모델들 중 일부 경로가 장애물에 의해 진행 불가능한 상황에 놓이기 때문에 UAV 에이전트 모델에 주행 실패에 대한 정보를 전달함으로써 UAV 모델이 사전 설정 시나리오에 따라 가장 적합한 경로를 추종할 수 있게 한다. 실세계의 UAV가 $(t-1) \rightarrow (t)$ 주행을 수행하고 있을 때, 디지털 트윈이 접목된 가상 세계의 UAV 모델은 공간 모델의 장애물 충돌 시나리오 정보와

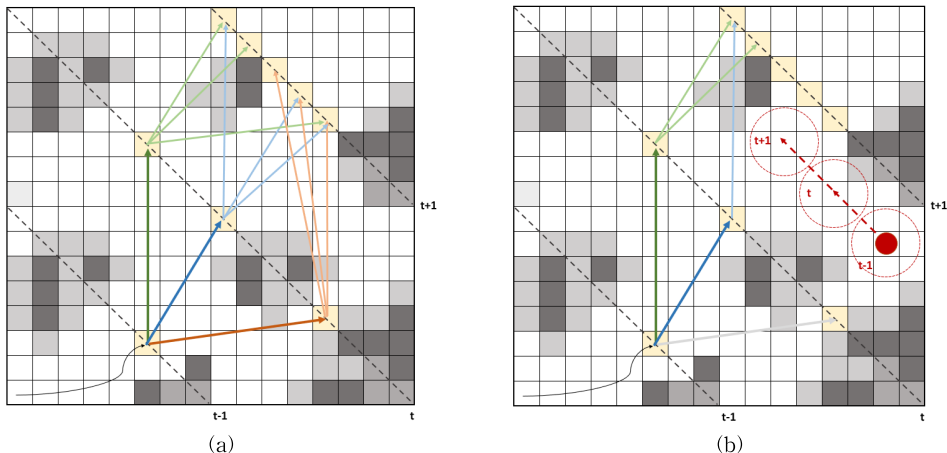


Fig. 2. Digital twin based path-following simulation example. (a) Multiple path planning and (b) after path blocking.

정해진 주행 정책에 따라 $(t) \rightarrow (t + 1)$ 구간을 사전에 주행하여 다음 경로를 선택할 수 있도록 하는 정보를 전달 할 수 있다.

2.2 이산시간 사건 시뮬레이션(DEVS) 형식론

DEVS 형식론은 계층 및 모듈 형식의 이산시간 시스템을 명세한다. DEVS 형식론을 기반으로 한 모델링 및 시뮬레이션은 복잡한 시스템을 분석하고 설계하기 위한 완전성, 검증 가능성, 확장성 및 유지보수성과 같은 다양한 이점을 갖는 정보 모델링을 수행할 수 있는 프레임워크를 제공한다[6]. 전체 시스템을 원자 모델(Atomic Model)이라는 최소 단위로 분해한 뒤, 이산 시간의 흐름에 따라 최소 단위에서 결합 모델(Coupled Model)과 복수의 모델로 구성된 실험 프레임(Experimental Frame)등 bottom-up 방식으로 이벤트를 주고받으며 시뮬레이션을 수행 할 수 있다. Fig. 3은 최소 단위로 사용되는 임의의 원자 모델 M 을 나타내며, 입력받은 사건의 집합 X 에 의한 상태의 천이와 원자 모델의 상태를 설명하는 상태의 집합 S , 내/외부 상태 천이를 기술하기 위해 사용되는 δ_{int} , δ_{ext} , 사건 및 시간 진행에 따른 출력의 집합 Y , 시간 전진 함수 ta 와 내부 천이에 따른 출력 함수 λ 로 구성된다[8]. 결합 모델은 이러한 원자 모델들을 복잡한 시스템의 모듈로써 계층적으로 기술하기 위한 방법을 제공한다. DEVS 방법론을 적용한 시뮬레이션 시스템은 원자 및 결합 모델의 복수 세트로 구성되며, 각 DEVS 모델은 실제 세계의 객체에 해당한다.

2.3 주행 가능 영역의 구분

본 논문에서 제안하는 시뮬레이션 환경의 구현을

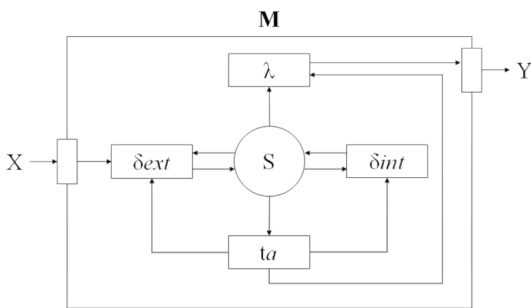


Fig. 3. DEVS Atomic model.

위해 안정성과 시간적 효율을 모두 고려할 수 있도록 주어진 지도 데이터에 대해 대표적인 경로 계획 접근 방법인 분할정복(divide and conquer)과 셀 분해(cell decomposition)를 통한 격자 지도 표현 방법을 적용하여 완전 탐색을 수행한다. 셀 분해는 로봇 경로 계획에서의 고전적이지만 가장 성공적인 방법론으로 꼽힌다. 이 방법은 전체 공간을 셀이라는 단위의 작은 공간으로 나누는 방법이며, 공간 내에 장애물이 존재하는 경우 해당 공간을 셀 단위로 나눴을 때 장애물이 포함된 셀은 제외, 장애물이 포함되지 않은 셀을 그래프의 노드로 추가한다. 각 공간에는 실제 지도에서의 환경 정보를 이진화하여 분할된 셀의 매트릭스 안에서 On/Off 하는 방식으로 객체의 존재를 표현하게 된다. 셀은 자신과 인접한 장애물이 포함되지 않은 다른 셀이 있을 때 연결된 것으로 간주한다. 셀 분해법은 장애물이 많아지고 그 모양이 다양해지면 정밀도가 낮아지는 문제가 있어 이를 해결하기 위한 Exact/Approximate Cell Decomposition 방법들이 있으나, 본 논문에서는 UAV의 경로 추종 시뮬레이션을 위해 인접 행렬 방식의 공간 모델을 사용하여 최소 단위가 고정된 셀을 사용하였다[9].

Fig. 4의 (a)는 시작 노드와 도착 노드 사이에 장애물이 있는 경우를 나타내고 있으며, (b)는 이 공간을 9x9 크기의 인접 행렬 공간으로 표현하였을 때 장애물이 존재하는 셀과 장애물이 없는 셀을 3x3 크기로 나눈 뒤 경로를 생성하는 것을 보여준다. 분할된 셀 내에서 하얀색 원은 목적지까지 진행하기 위한 경유 지점이다.

2.4 경로 생성을 위한 셀 그룹화

전체 필드를 좀 더 완전 탐색이 쉽고, 위험성을 고려한 경로를 생성하기 위해 N×N 행렬 단위로 그룹화한다. 이는 로봇 경로 계획에서 장애물이 존재하는 영역에 대해 로컬 지도(local map)를 생성하는 방식의 하위 개념이다. 원본 지도를 같은 수의 셀로 나누기 때문에 추종 단계에서 동적 경로 변환할 때의 계산 비용이 줄어들게 된다. N의 크기가 커질수록 정점과 간선의 수가 줄어들어 실제 최적 경로가 존재할 확률이 감소하며, 적을수록 정점과 간선의 수는 늘어나기 때문에 연산을 위한 비용이 상승한다.

Fig. 5에서, 임의의 필드가 주어졌을 때 해당 필드를 9개의 셀 그룹으로 나눈 뒤 각 셀 그룹의 위험

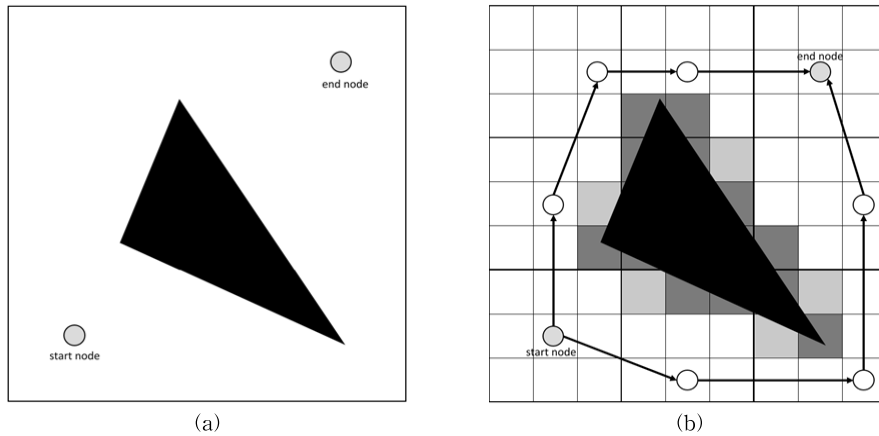


Fig. 4. Show local way-point generation method. (a) Obstacle between nodes and (b) after cell decomposition applied.

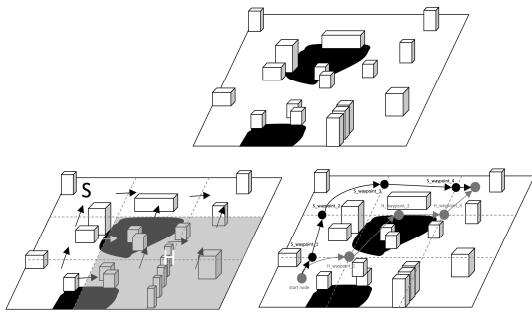


Fig. 5. Cell group division of input field and path following by each path planning algorithm.

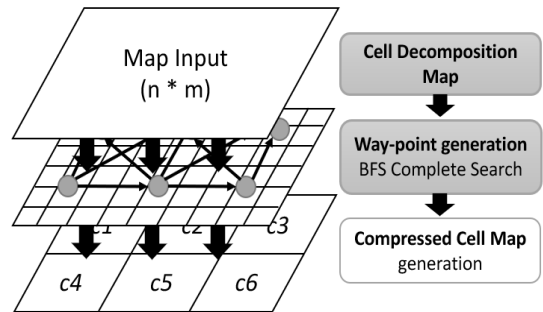


Fig. 6. Compressed cell map for operating cost reduction and apply dynamic programming.

정도에 따라 하얀색 저위험군 지역, 회색의 고위험군 지역으로 구분해둔 예시를 보여준다. 출발지를 중심으로, 분할된 셀들을 BFS 방식으로 하나씩 탐색하며 이전 Cell과의 연결 가능성에 따라 이동 가능, 이동 불가능 노드로 구분한다. 3×3 형태의 분할된 필드 $f = \{a, b, c \dots g, h, i\}$ 가 존재할 때, a에서 b로 이동하는 것이 불가능한 경우 a-b는 이동 불가 상태가 된다. 하지만 b와 연결된 이동 가능 셀이 두 개 이상 존재하고, 임의의 셀 x가 b로 이동할 수 있다면 b는 활성 셀로 분류되고, x-b는 이동 가능 상태가 된다. 이는 위험 때문에 경로를 변경해야 할 상황이 왔을 때 x로부터 이동가능한 경유지로서 사용될 수 있음을 의미한다. 극단적인 위험 회피를 위해 저위험군 셀만을 경유하도록 하는 경로는 고위험군 셀을 지나갈 수 있도록 허용한 경로와 비교했을 때 실질적인 주행 비용이 더 높을 수 있다. Fig. 6은 지도 데이터가 입력으로 주어졌을 때, 이를 일정한 셀 단위로 묶은

뒤 각 셀 그룹의 중앙점에서 인접한 셀의 중앙점으로 BFS 탐색하여 사전 경로를 생성하는 과정에 대해 설명한다.

2.5 위험 지수 기반의 접근

일반적으로, 경로 계획에서 최적의 경로를 선택하는 것은 요청 지점에서 목적지까지의 최단 거리를 기준으로 한다. 하지만, 본 연구에서는 어떻게 하면 UAV가 가능한 한 안전하게 효율적으로 목적지에 도달할지 결정하는 최적 경로 선택 문제를 다루므로 각 셀과 셀간 연결성을 가진 간선 경로들은 다음 경로로 가기 위해 경유해야 할 위험 지수(Risk point)를 하나의 파라미터로 가진다. 위험 지수는 평야나 개활지 등은 0으로 간주하고, 인접 행렬에 장애물이 존재하거나 강풍, 위험물, 그 외에 UAV에게 위협을 가할 가능성이 있는 경로가 존재하면 최단 경로 기반의 탐색을 수행하는 상황이 아닌 경우 가능한 한 회피하

Table 1. Cell properties of cell group maps.

Cell property	Risk point
Obstacle & Adversarial object exist cell	INFINITY
Obstacles in the adjacency cell	1~254 (set by object properties)
Safety cell	0

도록 한다. 벽이나 송전탑 같은 아예 통과 불가능한 경우에는 위험 지수가 INF인 것으로 처리한다. 적대적 객체들은 자신이 존재하는 위치의 주변 영역에도 어느 정도의 영향력을 행사할 수 있다. 경로 생성 단계에서 정점으로 사용하는 셀 자체의 위험성은 고려하지 않지만, 해당 셀로부터 다른 인접한 셀로 이동할 수 있는 경우 해당 경로의 거리 비용뿐만 아니라, 위험성에 대한 비용의 합도 계산한다. Table 1은 셀 그룹 내에 존재하는 셀들이 주변 셀 장애물 존재 여부에 따라 위험 지수를 갖는 것을 보여준다.

Fig. 7은 UAV가 이동 노드와 노드 사이를 통과할 때 경로의 위험성을 보여주며, 식 (1)은 경로의 위험성을 구하는 방법에 관해 설명한다. 식에서 C_{risk} 는 경로 내에 존재하는 셀의 위험 정도를 나타내며, $C_{neighbor}$ 는 해당 셀과 인접한 이웃 셀들의 위험 정도의 합을 나타낸다. P_l 은 정점과 정점 사이에 거쳐 가는 셀의 수를, P_R 은 최종적인 경로의 위험 정도 합계를 나타낸다.

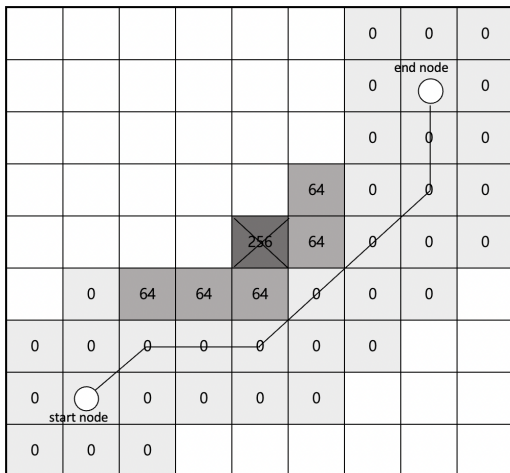


Fig. 7. Risk of each cell when UAV move start node to next node.

$$P_R = \sum_{n=0}^{P_l-1} (C_{risk} + C_{neighbor}) \tag{1}$$

따라서, 하나의 셀 그룹 안에 장애물이 존재하면 P_r 값은 매우 증가하며 노드로 사용되는 두 개의 정점이 있을 때 그 사이의 비용은 위험 정도를 나타내는 P_r 값과 이동 거리를 나타내는 P_l 두 종류로 나뉘진다. 이동 거리와 무관하게 최대한의 안전을 보장하고자 하는 경우 P_r 값을 토대로 한 적극적인 위험 회피 전략을, 목적지까지의 빠른 이동을 하는 경우 임곗값 기반의 경로 선택 전략 혹은 조건 없는 최단 경로 기반 전략을 선택할 수 있다. Table 2는 UAV가 선택할 수 있는 경로 선택 전략을 나열하고 있다.

2.5.1 최단경로 우선 전략

이동할 수 없는(INF) 상황이 아니라면 항상 최단의 거리로 수행하도록 선택하는 경로 선택 알고리즘을 통해 UAV 디지털 트윈 모델이 목적지에 도달하도록 경로를 탐색하고 반환한다. 이 방법을 통해 시뮬레이션을 수행하여 목적지까지 수행에 성공한 UAV 모델에 특별한 문제가 발생하지 않았다면, 이 전략은 가능한 빨리 목적지까지 도달해야 할 때 가장 유효한 전략으로 선택될 수 있다. 일반적인 A* Algorithm을 이용하여 경로를 선택한다.

2.5.2 적극적 위험 회피 전략

음수 간선이 아니라면 항상 가장 안전한 경로만을 경유하도록 선택하는 알고리즘을 통해 UAV 디지털 트윈 모델이 안전하게 목적지에 도달하도록 경로를 탐색하고 반환한다. 이 전략은 최대한 안전하게 목적지까지 도달해야 하는 상황에서 유효한 전략으로 선택될 수 있다. 위험 정도의 합이 가장 낮은 경로를 인접 셀 그룹과의 경로로 갱신한다.

2.5.3 임곗값 기반 경로 선택 전략

이동이 허용되는 위험 점수 구간을 사전에 정의하고, P_r 값이 임곗값을 초과하지 않는 영역만을 포함하여 최단 경로 알고리즘으로 수행하도록 경로를 탐색하고 반환한다. 이 방법을 통해 시뮬레이션을 수행하여 목적지까지 수행에 성공한 UAV 모델에 특별한 문제가 발생하지 않았다면 주어진 전체 필드의 실제 상황을 명확히 모르는 상황에서 이 전략은 가장 높은 확률로 최적의 결과를 도출할 수 있을 것으로 예상된

Table 2. List of path planning policies.

Method	Note
Shortest-path based path planning	Use A* based modified path-finding algorithm, All cell group make shortest move-possible path if not exceed limit (< 255)
Active risk avoidance based path planning	Use BFS based modified path-finding algorithm, All cell group make most safety path which in route list, not distance.
Risk-threshold based path planning	Use BFS based modified path-finding algorithm, All cell group make the shortest path which not exceed risk threshold. (< 128)

다. 실험에서는 임꺽값 기반 경로 선택 전략을 기반으로 경로를 생성한 뒤 시뮬레이션을 수행하였다.

3. DEVS 기반의 UAV 시뮬레이션 방법론

Fig. 8은 프로그램이 실행되었을 때, Agent Model에 지도 데이터와 시나리오가 전달되었을 때 Agent Model이 각 하위 모델들에게 어떤 정보를 전달하고, 시뮬레이션이 어떻게 수행되는지를 개념적으로 나타내는 그림이다. 여기에서 Agent Model은 실세계의 UAV와 직접적으로 통신하는 관계시스템을 나타내며, GIS 정보를 가지는 Space Model을 가진다. 디지털 트윈 시뮬레이션을 위해, Agent Model은 프로그램이 실행될 때 정해진 수만큼의 DT-UAV Model을 생성하고, DT-UAV Model은 DT-Space 상에서 사전 정의된 DEVS Time마다 할당받은 경로의 전진과 결과의 전송을 수행한다.

는 대상과 대상 객체와 상호 작용이 가능한 또 다른 객체들이 활동하는 공간 영역이다[10]. UAV Model은 Agent Model로부터 자신이 할당받은 경로에 대한 정보를 Platform Model의 Movement에 전달하며, Movement는 매 DEVS Time마다 자신이 이동하는 경로 정보를 Space Model의 Logger에게 전달한다. 이때, Space Model의 Event Generator는 동시에 Space Model의 장애물 위치 정보를 Logger에게 전달한다. Logger는 동일/인접 셀 그룹에 장애물이 존재한다면, Movement로부터 전달받은 UAV의 위치 정보와 비교하여 인접 장애물 정보를 Propagator에 전달한다. Propagator는 장애물과의 거리 정보를 Sensor에 전달하여 최종적으로 전진에 관한 결과가 UAV Model에 전달된다. Fig. 9는 시뮬레이션 환경 내에서 UAV Model이 한 번 전진할 때마다 각 model 간의 message 흐름을 보여주고 있다.

3.1 UAV 시뮬레이션 환경 모델링

본 연구에서 제안하는 시뮬레이션 환경은 Space Model, Platform Model, UAV Model, Agent Model로 구성된다. Space Model은 시뮬레이션을 수행하

3.2 Agent Model 구성

Agent Model은 실세계의 UAV에게는 최적의 경로를 전달하여 임무를 최적의 경로를 통해 수행할 수 있도록 하고, 가상 UAV들에게는 미래에 추종할 가능성이 있는 대안 경로들을 전달한 뒤 경로상의 위험 정도, 목적지까지의 남은 거리를 돌려받아 최적 경로를 결정한다. 이를 위해 에이전트 모델은 Path Planning, Analyzer, Path Decision, Event Receiver, UAV Control의 단위 에이전트를 가진다. Table 3은 Agent Model의 세부 구성요소인 단위 에이전트들의 기능에 관해 설명하고 있다. Path Planning Agent는 Table 2에 기반한 경로를 DT-UAV들에게 전달한다. 각 DT-UAV들은 할당된 경로를 추종하게 된다. 각 DT-UAV들은 주행의 결과로 추종 경로의 위험성 합인 P_r , 주행 거리 P , 목적지까지의 잔여거리 h_n 을 반환하며 이때 시나리오에 기반한 사건이 있는

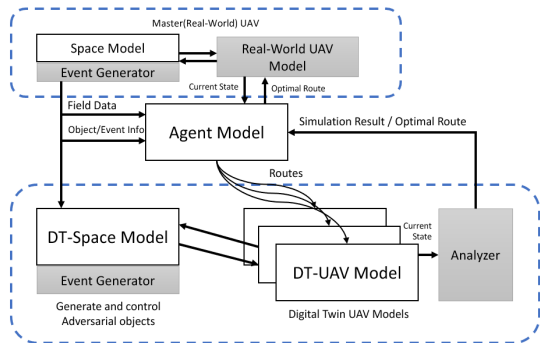


Fig. 8. Whole DT-UAV path decision model summary.

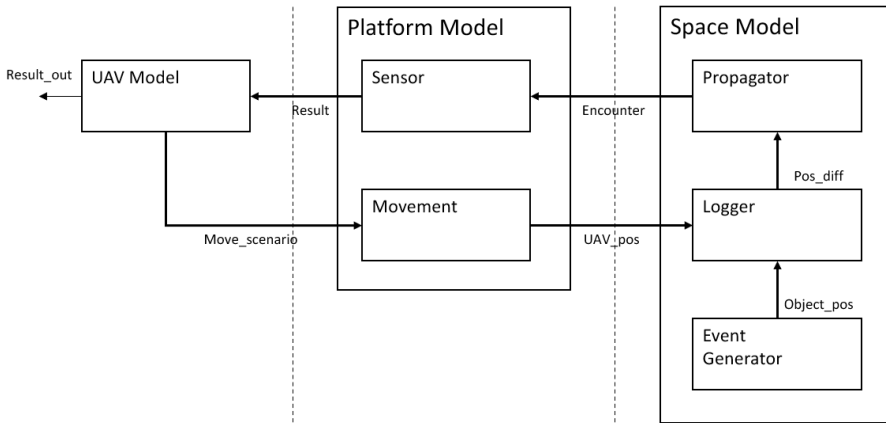


Fig. 9. Model structure of space model and platform model.

Table 3. Structure and multi-agent functions of UAV Agent.

Agent name	Functions
Path Planning	Planning routes and assign to DT-UAV model
Analyzer	Get results from DT-UAV model, analyze P_r, P_t, h_n
Path Decision	Send optimal path based on result of analyzer
Event Receiver	Map update by external event (scenario based)
UAV Control	Request emergency route change by critical map update

경우 해당 DT-UAV모델과 상호 작용중인 Space Model의 Event Generator에 의해 P_r 의 값이 변화하거나, 업데이트된 장애물 객체에 의해 충돌이 발생할 수 있다.

Fig. 10은 복수의 DT-UAV 모델이 DEVS Time $\{Dt_0, \dots, Dt_n\}$ 에 따라 경로를 주행할 때 Event Generator의 영향을 받아 추가적인 위험 정도를 얻거나, 주행에 실패하는 예시를 보여준다. 원은 셀을

통과할 때 해당 시점의 값이며, Event Generator로부터의 검은색 화살표는 Event Generator에 의한 시나리오 기반 영향 행사를 표현한다. Path Decision Agent는 DT-UAV의 주행 결과를 Analyzer가 돌려 받았을 때, 가장 효율적인 결과를 선택하여 UAV에게 다음 경로로써 할당한다. 이후 UAV가 일정한 경로를 주행하면 다시 다음 예정된 경로로부터 시뮬레이션을 수행한다.

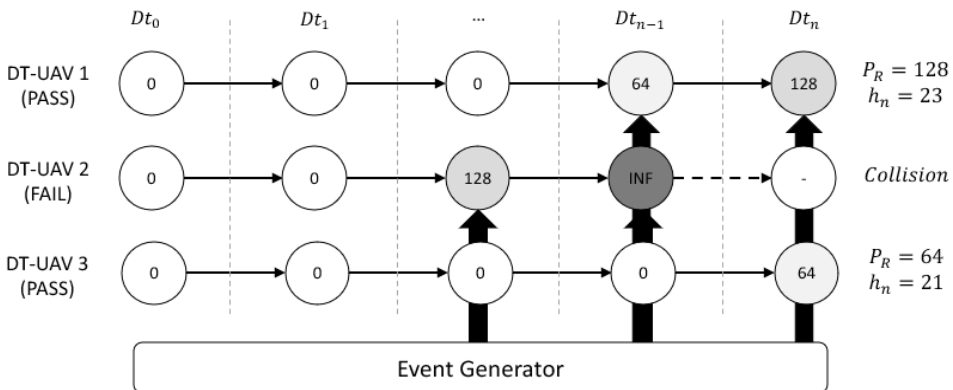


Fig. 10. DEVS-Time based short-term path following simulation.

Table 4. Parameters of simulation model.

Parameter	Value
Cell group size	10 × 10 cells
Number of cells	10000
UAV Time advance	30 per cross cell
Number of DT-UAV	3
Prediction Distance	+2

4. 시뮬레이션 결과 및 분석

4.1 시뮬레이션 환경 설정

본 연구의 실험은 DEVSJAVA M&S Environment를 기반으로 하여 시뮬레이션을 수행하였다 (AIS, 1997). Table 4는 시뮬레이션에 사용된 개별 모델들의 세부 파라미터와 입력데이터의 정보를 나타낸다. 전체 지도는 100 × 100 규모의 셀로 구성되어 총 1만 개의 셀을 가지며, UAV가 하나의 셀을 통과하여 다음 셀로 전진하는 데 걸리는 시간은 가속도나 방향의 전환을 고려하지 않고 30으로 설정하였다. 하나의 셀 그룹은 100개의 셀로 구성되며, 셀 그룹은 주변 셀에 대한 접근 가능성 정보{x+1, x-1, y+1, y-1}와 목적지까지의 거리, 경로 간 위험성 정보를 가지고 있다. 장애물이 존재하는 특이한 상황이 아닌 경우에는 항상 셀 그룹의 중앙에 연결된 것으로 간주한다.

4.2 셀 그룹 지도에 대한 단일 시뮬레이션 결과

접근 경로에 미식별 장애물 A가 나타났을 때, 압축된 셀 지도를 기반으로 경로를 작성한 UAV 모델

은 현재 경로에서 연결성을 가진 인접 셀 그룹으로 경로를 즉시 전환할 수 있다. 반면, 일반적인 A* 알고리즘을 적용한 UAV 모델은 현재 위치에서 임무 지점까지의 새로운 경로를 생성한 뒤 이동하게 된다. 시뮬레이션의 초기화 단계에서 Fig. 11의 셀 그룹 지도를 생성하는 것은 매우 많은 연산이 발생하지만, 이후 주행 단계에서 경로를 수정할 때는 셀 그룹 지도를 참조하여 단기 경로 비용만 연산하면 되기 때문에 Fig. 12과 같이 주행 단계에서는 비슷한 지점에서 장애물이 발견되어 경로를 변경하였을 때 상대적으로 적은 연산이 발생하는 것을 알 수 있다.

4.3 Event Generator의 경로 방해에 대한 단일 시뮬레이션 결과

Table 5는 UAV 시뮬레이션 환경에서 DT-UAV 단기 시뮬레이션 없이 단일 UAV 시뮬레이션을 수행할 때 에이전트 모델의 세부 구성요소들과 Space model과 Platform model간의 상호작용에 대해 표시하고 있다. Event Generator는 에이전트로부터 별도의 이산시간기반 이벤트 세트를 받지 않은 경우 idle 상태가 된다. 비교를 위해서 단일 UAV의 시뮬레이션에서 DT_{n+14} (time advance + 420) 시간마다 진행 예정 경로에 미식별 장애물을 발생시켜 강제적으로 경로를 전환하게 하는 시나리오를 적용하였다.

Fig. 11은 A* 알고리즘을 적용했을 때의 단일 UAV 시뮬레이션의 결과로써 적색 그래프는 Event Generator가 idle일 때를 나타내며, 흑색 그래프는 시나리오에 따른 장애물 이벤트가 발생한 경우를 나타낸다. EVG_idle의 UAV의 최종 주행 시간은 5430이

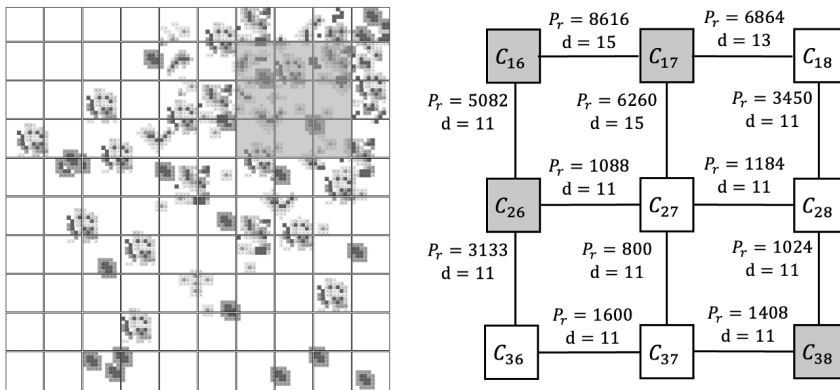


Fig. 11. Risk map for experiment environment and edge data of C36 to C18 route.

Table 5. State of single UAV Agent model.

Atomic Model	State/Function
Agent	assign A* based shortest path
UAV	move command/simulation result delivery
Platform	interact UAV model and Space model
	(sensor) receive alert message from Space model
	(movement) send next path to Space model
Space	(logger) receive UAV position from sensor
	(propagator) calculate sensor/obstacle distance in current/neighbor cell group
Event Generator	(1) idle (2) generate unexpected obstacle each 150 devts time

였으며, EVG_on의 경우 5850의 시간이 걸렸다. 이 시뮬레이션에서, UAV가 장애물을 만난 경우 정지한 뒤 새로운 경로를 생성하는 과정에서의 UAV의 정지로 인한 시간 지연은 고려하지 않았다. 이때의 obstacle range는 UAV 전방에 존재하는 하나의 셀에만 한정되므로, UAV는 광범위하게 경로를 전환하지

않았음에도 불구하고 어느 정도 목적지로의 도착 시간에 차이를 보임을 확인할 수 있었다.

4.4 DT-UAV 적용 시뮬레이션 결과

복수의 DT-UAV를 사용하는 시뮬레이션의 경우, Agent 모델은 Threshold를 통해 위험할 것으로 예상되는 노드의 간선을 일부 비활성화한 경로 정책을 적용하였다. Agent의 모든 경로 할당은 셀 그룹 지도를 통해 이루어지며, 완전한 맵의 사용은 경로 추종 단계에서 UAV가 Platform의 Movement에 경로를 전달하는 과정에서 정밀한 경로를 전달한다. UAV 에이전트가 인접 셀 그룹의 위험 정도가 담긴 압축된 셀 지도를 가지고 있고, 에이전트가 dtn+3 마다 현재 진행중이던 경로에 장애물 정보를 갱신하는 이벤트를 생성하는 경우를 보여주고 있다. A* 알고리즘이 적용된 UAV 에이전트는 현재 나아가고 있던 경로 상에 장애물이 존재한다는 사실을 알게 되었을 때, 경로를 폐기하고 새로운 경로를 작성하여 전진한다.

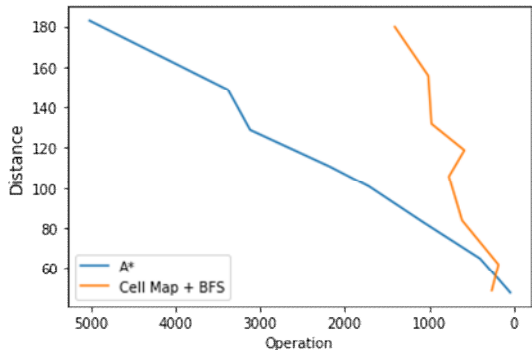


Fig. 12. Operation cost difference between Cell Map with BFS and Single A*.

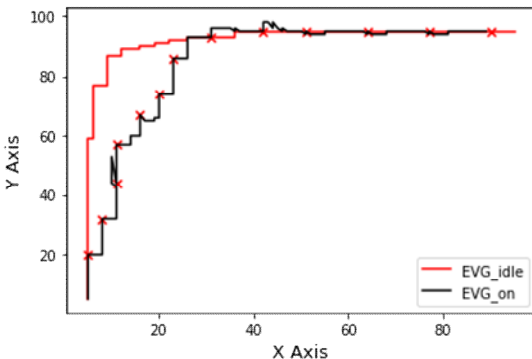


Fig. 13. Single UAV path following simulation result.

Fig. 14는 복수의 DT-UAV를 시뮬레이션하는 과정에 대한 순서도이다. 시뮬레이션이 시작되면, Agent는 DT-UAV들에게 사전에 결정된 경로 정보를 할당하고 Space Model은 Event Generator에 의해 생성된 장애물 갱신 시나리오를 받아 현재 시간에 일치하는 장애물 정보를 GIS 상에 업데이트한다. 만약 DT-UAV가 같은 시간에 장애물이 존재하는 셀에 접근한 경우, 충돌이 발생하였는지를 판단하여 DT-UAV에게 충돌 혹은 통과 메시지를 전달한다. 단기 시뮬레이션이 완료되면, 각 DT-UAV 모델은 Agent Model에게 할당받은 경로를 수행한 결과를 보고하고, Agent Model은 얻은 정보를 토대로 다음 경로를 선택한 뒤, Real world UAV를 전진시킨다.

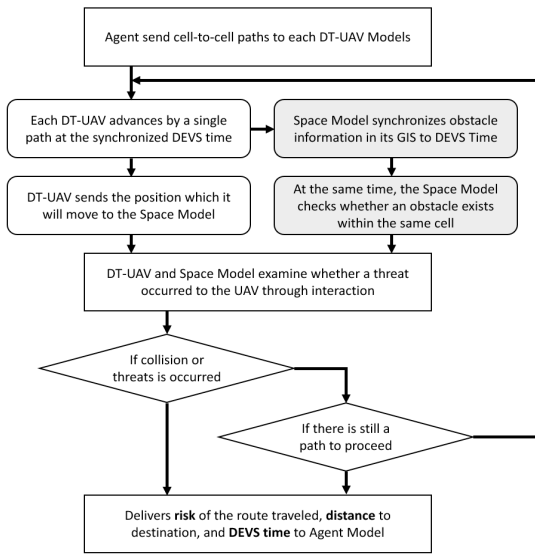


Fig. 14. Flowchart of simulation progress for multiple DT-UAV.

Fig. 15는 Real world UAV가 최종적으로 결정된 경로를 주행하는 동시에, Agent가 DT-UAV의 단기 시뮬레이션 결과를 토대로 Real world UAV의 다음 경로를 결정하는 과정을 보여주고 있다. Real world와 Open List사이의 P3은 최종적으로 확정되어 UAV가 실제 추종 중인 경로를 의미하며, Open List와 DT-UAV 사이의 경로 P1:P3은 DT-UAV의 시뮬레이션 결과에 따라 확정되어 다음 Real world UAV의

진행 경로로써 할당될 스케줄 경로와 대안 경로로 구성되어 있다. 대안 경로는 음수 간선이 아닌 인접 셀로 향하는 경로이다. DT-UAV Simulation의 우측에 존재하는 P1:P3 경로는 시뮬레이션 결과에 따라 Open List에서의 경로를 확정하거나, 혹은 P1:P3 경로가 모두 이동불가능 판정을 받았을 때 Open List내의 대안 경로로 빠르게 스위칭 함으로써 Real world UAV가 새로운 경로 생성을 위해 멈추지 않고 능동적으로 경로를 전환할 수 있도록 한다. 단일 UAV 시뮬레이션 환경에서는 장애물 발견으로 인하여 주행이 중지되고 다시 경로를 생성했던 반면, 복수의 DT-UAV 시뮬레이션 환경에서는 ((scheduled route + alternative route의 수) * DT-UAV 수)만큼의 기회가 주어진 뒤 새로운 경로를 생성하기 때문에, 단기 시뮬레이션의 비용은 다소 높지만 장애물 및 충돌 정보의 업데이트 상황에서 상대적으로 유연하게 대처할 수 있다.

Fig. 16은 회색으로 표시되고 있는 기존 경로를 UAV가 충돌 지점에서 catch한 뒤 정지 상태로 대기하다가 Agent로부터 새로운 경로를 할당받아 새로운 경로로 이동하던 중 충돌 지점의 장애물이 UAV의 경로를 침범하여 Collision event가 발생하는 케이스를 설명하고 있다. 반면 Fig. 15의 경우 경로의 추종마다 dtn+2시간 앞의 경로를 DT-UAV를 통해 시뮬레이션하고 있기 때문에, 사전에 위협을 감지하고 대안 경로를 이용하여 UAV를 장애물의 영향권에 도

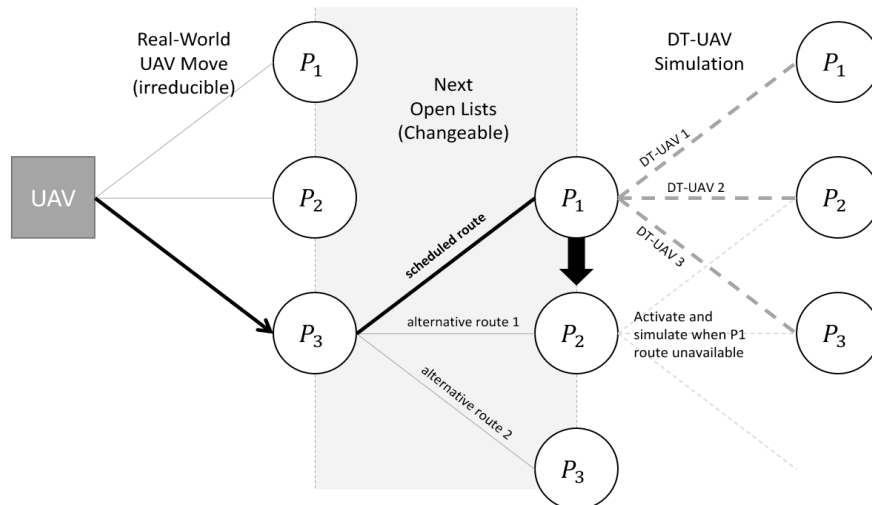


Fig. 15. Path-following difference between real world UAV and DT-UAV.

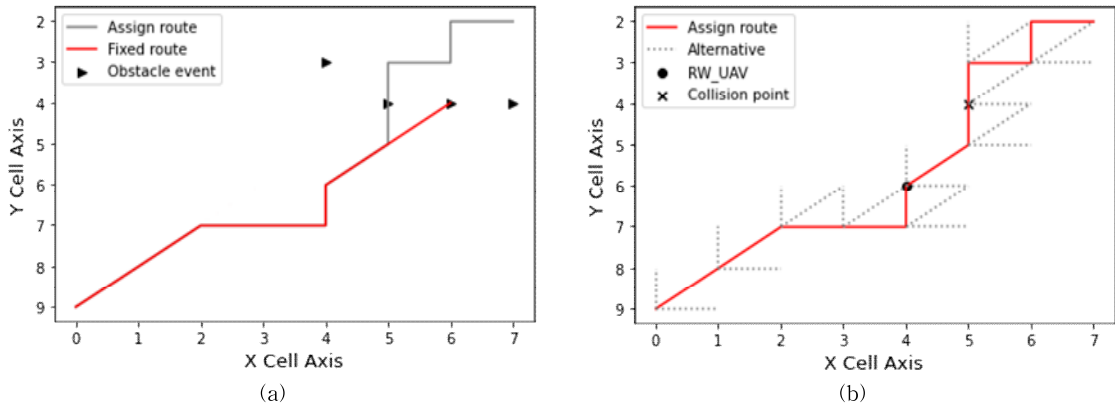


Fig. 16. Show obstacle event situation, (a) Non-DT path-following and (b) multiple DT-UAV with alternative routes.

달하기 전 회피시킬 수 있다. 이때, 대안 경로를 선택하는 방식은 사전에 정의된 Table 2의 주행 정책을 따른다. 통상적으로 DEVS 형식론에서는 Atomic Model의 행위가 발생하는 시간이 전체 시뮬레이터 상의 시간 테이블에 동기화되지만, 디지털 트윈 개념을 접목한 시뮬레이터 상에서는 DT-UAV 모델들이 DEVS Time의 전진을 발생시킨 경우 실제 UAV의 전진 시간을 추적하기 어려운 문제가 있어 실 세계의 UAV가 할당받은 경로를 추종할 때 실제 시뮬레이터의 시간이 흐르고 나머지 DT-UAV의 단기 시뮬레이션은 전부 델타 타임에 수행되며 각 모델 간 메시지 전달 시에 가상 DEVS Time을 공유하도록 하였다. 아래의 Table 6은 각 Atomic Model들간의 통신 메시지를 설명한다.

Space Model은 Platform Model로부터 전달받은 DEVS Time과 Event generator로부터 받은 위치 정보, 그리고 range에 따라 해당 주행에서 충돌이 발생할 가능성이 있는지 확인한다. 판별은 식(2)의 유클리디언 거리를 측정하여 수행하였다. 수행 결과에 따라 장애물의 range 정보를 초과하는 경우 해당 경로는 진행 불가능한 것으로 간주하고, 대안 경로를 통해 목적지까지의 다음 경로를 추종하도록 한다.

$$PF = \begin{cases} True, & \text{if } \sqrt{(x_2-x_1)^2+(y_2-y_1)^2+(z_2-z_1)^2} > \sqrt{range^3} \\ False, & \text{else} \end{cases} \quad (2)$$

DT-UAV는 dtn+2 시점의 경로를 예약하고 있었기 때문에, dtn+2에 존재하는 장애물이 포함된 경로를 폐기하고 다른 경로를 선택하여 진행할 수 있다.

Table 7은 Real World UAV가 DT_{-1} 시점인 2310 DEVS Time에 Agent로부터 할당받은 목적지에 도달한 상황에서 DT_{+1} 시점인 2940 DEVS Time에 도달하기까지 3회의 단기 시뮬레이션이 수행되었을 때 각 DT-UAV들의 주행 결과와 Agent Model의 경로 선택에 대한 기록을 보여준다. Agent가 2610 DEVS Time에서 330 만큼 DT-UAV들에게 전진하도록 하였을 때, DT-UAV1은 Event Generator로부터의 장애물 이벤트로 인해 위험 지수가 INF로 전환되어 경로에서 제외되고, DT-UAV3의 경로가 선택된 것을 확인할 수 있다. 2940 DEVS Time에서는 DT-UAV2의 경로가 Threshold를 초과하여 제외되었으며, 3270 DEVS Time에서는 모든 경로가 조건을 만족했지만 목적지까지의 거리가 가장 가까운 DT-UAV1의 경로가 선택되었다.

Table 8은 장애물 이벤트로 인하여 DT-UAV1의 경로의 위험 지수가 INF로 업데이트 되었던 시점인

Table 6. Message properties for interaction of atomic models.

Name	Contents	Atomic models
Evg_msg	DEVS_time(end), x_pos, y_pos, z_pos, range	Event_generator, Space
Path_msg	DEVS_time, route_data{(x1, y1, z1),...}	Agent, DT-UAV, Platform, UAV
Res_msg	DEVS_time, T/F message, risk_value, distance	Platform, Space, DT-UAV, Agent
path	DEVS_time, Only single path(x, y, z)	Platform, UAV

Table 7. Simulation result of UAV, Agent, DT-UAV models at DEVS Time 2610 to 3270.

simulationAt	2610						
	Time	pos x	pos y	pos z	risk	distance	in list
Agent	2610	55	45	15	-	64.03	-
DT-UAV1	2940	55	55	15	INF	-	throw
DT-UAV2	2940	65	45	15	2971	58.3	alt
DT-UAV3	2940	60	50	15	3141	57	select
RW-UAV	2310	45	35	15	-	78.1	-
simulationAt	2940						
	Time	pos x	pos y	pos z	risk	distance	in list
Agent	2940	60	50	15	-	57	-
DT-UAV1	3330	60	60	15	3835	49.5	alt
DT-UAV2	3270	70	50	15	13085	-	throw
DT-UAV3	3270	65	55	15	3376	50	select
RW-UAV	2610	55	45	15	-	64.03	-
simulationAt	3270						
	Time	pos x	pos y	pos z	risk	distance	in list
Agent	3270	65	55	15	-	50	-
DT-UAV1	3660	65	65	15	7733	42.42	select
DT-UAV2	3660	75	55	15	6452	44	alt
DT-UAV3	3600	70	60	15	7098	43.1	alt
RW-UAV	2940	60	50	15	-	57	-

Table 8. Obstacle distance log in Space Model at DEVS time 2700 to 2760.

simulationAt	Object	pos x	pos y	pos z	distance	threshold	sensor
2700 (+90)	DT-UAV1	55	48	15	6.16	< 5.19 (Collision)	Alert
	DT-UAV2	45	58	15	8.83		
	DT-UAV3	45	58	15			
	Obstacle	52	57	13	-		-
2730 (+120)	DT-UAV1	55	49	15	5.38	< 6.19 (Alert)	Alert
	DT-UAV2	45	59	15	9.43		
	DT-UAV3	45	59	15			
	Obstacle	52	57	13	-		-
2760 (+150)	DT-UAV1	55	50	15	4.69		Collision
	DT-UAV2	45	60	15	10		
	DT-UAV3	45	60	15			
	Obstacle	52	57	13	-		-

2760 DEVS Time의 Propagator 함수 에이전트 기록을 나타낸다. 같은 DEVS Time에 장애물은 (52, 57, 13)위치에 나타났고, 동일한 경로를 추종하지 않는 DT-UAV2, 3은 영향권 밖에 있어 문제가 없었지만

DT-UAV는 같은 시간 장애물의 영향 범위에 접근하여 충돌 이벤트가 발생하였고, 최종적으로 2760 DEVS Time에 단기 시뮬레이션의 실패 메시지를 DT-UAV와 Agent Model에게 전달하였음을 나타

낸다. 단기 시뮬레이션의 결과를 토대로, Agent Model은 Real World UAV에게 해당 DEVS Time에 도달하기 전에 적절한 경로를 할당할 수 있음을 알 수 있다. 이러한 단기 시뮬레이션의 결과는 시뮬레이터에 설정하였던 depth만큼 진행되기에, DT_{+2} 시점에서 DT-UAV들이 할당받은 모든 경로가 threshold를 초과한 경우나 Agent Model이 DT_{+1} 시점의 경로에 External Event를 통해 셀 block 메시지를 받은 경우 Real World UAV가 도착하는 DT_0 위치에서 Agent Model의 Path planning 함수 에이전트를 통해 새로운 경로를 할당 할 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 DEVS 형식론에 기반하여 디지털 트윈의 개념을 접목한 UAV 경로 추종 시뮬레이션 환경을 고안하였고, 가상 환경에서의 주행 시뮬레이션이 최대한 간단하게 수행되어질 수 있도록 일정한 공간을 셀 그룹 단위로 압축한 뒤 경로의 할당은 셀 그룹 지도를 기반으로, 실제 주행은 전체 지도의 정보를 담은 공간 모델 상에서 진행하였다.

제한한 시뮬레이션 환경에서 DT-UAV들은 할당된 경로를 사전 주행하거나, 인접 셀 그룹으로 향하는 경로를 주행하는 것으로 개별 경로들의 위험성 정도를 사전에 파악하고 더욱 효율적인 경로로의 전환 또는 위험이 예고된 경로를 회피할 수 있었다. 시뮬레이션 과정에서 관계를 담당하는 Agent와 대상 객체가 되는 가상 UAV모델, 그리고 추가적인 파라미터를 전달받아 시뮬레이션 환경에 변화를 줄 수 있는 공간 모델 간의 메시지 교환이 설계대로 동작하는 것을 확인하였고, 미래 시점의 단기 시뮬레이션 결과를 얻어 시뮬레이션 결과를 추종하는 원본 UAV 모델의 경로를 교정할 수 있음을 검증하였다.

시뮬레이션을 위해 설계한 모델은 연산 최소화와 동작 검증을 위한 최소한의 단위 컴포넌트로 구성되었다는 추상적인 제약이 있기에 향후에는 다양한 경로 계획 알고리즘의 모듈화된 적용과 함께 기술기, 가속도, 배터리와 같은 UAV의 상세한 요소들을 디지털 트윈 모델에 포함하여 고도화된 환경으로 확장하고자 한다.

REFERENCE

- [1] D.I. Kin, D.W. Kang, and H. Lee, "Analysis of 3D-Digital Plotting Using Unmanned Aircraft Vehicle (UAV) Stereo Images," *Proceedings of Korean Society for Geospatial Information Science*, KSGIS, pp. 73-75, 2017.
- [2] C. Manuj, M. Adarsh, and S. Rahul, "Design and Development of Semi-Autonomous Fire-fighting Drone," *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)*, Vol. 16, Issue 3, pp. 44-47, 2019.
- [3] K.L. Best, J. Schmid, S. Tierney, J. Awan, N.M. Beyene, M.A. Holiday, et. al., *How to Analyze the Cyber Threat from Drones Back-ground, Analysis Frameworks, and Analysis Tools*, RAND Corporation Publishers, Santa Monica, Calif., 2020.
- [4] H.Y. Ko, J.H. Baek, and H.S. Choi, "Real-Time Obstacle Detection and Avoidance Path Generation Algorithm for UAV," *Journal of Advanced Navigation Technology*, Vol. 22, No. 6, pp. 623-629, 2018.
- [5] M. Coombes, W.H. Chen, and C. Liu, "Boustrophedon Coverage Path Planning for UAV Aerial Surveys in Wind," *2017 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*, pp. 1563-1571, 2017.
- [6] B.P. Zeigler, Y. Moon, D.H. Kim, and G. Ball, "The DEVS Environment for High-Performance Modeling and Simulation," *IEEE Computational Science and Engineering*, Vol. 4, Issue 3, pp. 61-71, 1997.
- [7] G. Michael, *Virtually Intelligent Product Systems: Digital and Physical Twins*, American Institute of Aeronautics and Astronautics Publisher, Virginia, Reston., 2019.
- [8] Y.S. Han, "A Study on ARCS-DEVS-based Programming Learning Methods for SW/AI Basic Liberal Arts Education for Non-majors," *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol. 25, No. 2, pp. 311-324, 2022.
- [9] F. Lingelbach, "Path Planning Using Probabi-

listic Cell Decomposition,” *IEEE International Conference on Robotics and Automation, (ICRA)*, Vol. 1, pp. 467-472, 2004.

- [10] S.H. Ha and J.H. Kim, “DEVS/Unity3D Integrated System Design for the Autonomous UAV Agent Testing,” *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, Vol. 41, No. 11, pp. 1557-1565, 2016.



권 보 승

2020년 동서울대학교 전자공학과 학사
 2020년~인하대학교 전기컴퓨터공학과 석사과정
 관심분야: 시스템 모델링 & 시뮬레이션, 디지털 트윈, 하드웨어 기술 언어



정 상 원

2022년 인하공업전문대학 컴퓨터정보공학과 학사
 2022년~인하대학교 전기컴퓨터공학과 석사과정
 관심분야: 인공지능, 시스템 모델링 & 시뮬레이션, 디지털 트윈



노 영 단

2022년 인하공업전문대학 컴퓨터정보공학과 학사
 2022년 인하대학교 전기컴퓨터공학과 석사과정
 관심분야: 인공지능, 데이터 분석, 시스템 모델링 & 시뮬레이션



이 종 식

1993년 인하대학교 전자공학과 학사
 1995년 인하대학교 전자공학과 석사
 2001년 미국 애리조나대 전기·컴퓨터공학과 박사

2001년~2002년 캘리포니아 주립대학교 전기·컴퓨터공학과 전임강사
 2002년~2003년 클리블랜드 주립대학교 전기·컴퓨터공학과 조교수
 2003년~인하대학교 컴퓨터공학과 교수
 관심분야: 시스템 모델링 & 시뮬레이션, 디지털 트윈, 소프트웨어공학, 머신 러닝



한 영 신

2004년 성균관대학교 전기전자 컴퓨터공학과 공학박사
 2004년 이화여자대학교 컴퓨터 그래픽&가상현실연구센터 박사 후 연구
 2005년 성결대학교 멀티미디어학과 전임강사

2007년 아리조나대학교 ACIMS센터 Visiting Scholar
 2009년 성균관대학교 정보통신공학부 반도체시스템공학과 연구교수
 2013년 성결대학교 컴퓨터공학부 조교수
 2017년~현재 인하대학교 프런티어학부대학 교수
 관심분야: 모델링&시뮬레이션, 데이터엔지니어링, 컴퓨팅사고