

4D 환경정보를 반영한 광역 경로수정계획 기법에 관한 연구

곽동준^{*1)} · 신종호¹⁾ · 김종희¹⁾

¹⁾ 국방과학연구소 제5기술연구본부

An Approach to Global Path Replanning Method Considering 4D Environmental Information

Dong Jun Kwak^{*1)} · Jongho Shin¹⁾ · Chong Hui Kim¹⁾

¹⁾ The 5th Research and Development Institute, Agency for Defense Development, Korea

(Received 9 May 2016 / Revised 16 August 2016 / Accepted 18 November 2016)

ABSTRACT

In this paper, a global path replanning method is proposed in order to plan a global path minimizing the risk of the unmanned vehicle on the battlefield. We first introduce 4D environmental information consisting of mobility, visibility, kill, and hit attributes, and a unified threat map and a mobility map are defined by the four attributes. Using the mobility map, the unmanned vehicle can find the shortest path on the traversable area. And then taking into account the deterrent according to the type of the unmanned vehicle on the integrated threat map, the vehicle can generate a route to suppress or avoid the threat of enemy as well. Moreover, we present a waypoints bypassing method to exclude unnecessary waypoints rather than the mission point when planning paths for the multiple waypoints.

Key Words : Unmanned Ground Vehicle(지상 무인차량), Path Planning(경로계획), Global Path Replanning(광역 경로수정계획), Survivability(생존 가능성)

1. 서론

최근 자율주행 자동차에 대한 새로운 시장 창출의 기대감으로 완성차 업체들은 자율주행 관련 핵심기술인 환경인식 및 자율판단 기술개발에 집중 투자하고 있다¹⁾. 그리고 자율주행 자동차 기술 경쟁에서 주도

하고 있는 구글(Google)은 2014년 5월 운전대와 가속 페달이 없는 새로운 개념의 자율주행차를 선보인 바 있으며, 2009년 자율주행차 프로젝트를 시작한 이래로 2016년 3월 기준 전체 2,411,142 km(1,498,214마일)에 달하는 거리를 자율 상태로 주행하였다²⁾. 이러한 흐름에 발맞추어 국내에서는 정부 주도로 스마트 자동차를 주력산업으로 지정하고 자동차와 운전자, 주변 환경 및 교통 인프라 등을 유기적으로 연결하여 자율/군집주행 등 다양한 이동서비스를 제공하는 것을 목

* Corresponding author, E-mail: djunkwak@gmail.com
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

표로 하고 있다³⁾. 이미 국방 분야에서는 2005년도 건마로봇 개발을 시작으로 자율주행 성능을 향상하기 위한 연구가 단계적으로 수행되고 있다⁴⁾. 전장 상황에서는 일반 도로 환경뿐만 아니라 전천후/야지/험지 환경에서도 무인차량을 운용할 수 있어야 하므로 신뢰도 높은 자율주행 기술과 작전에 따라 효율적으로 무인차량을 통제할 수 있는 임무통제 기술이 핵심이라 할 수 있겠다.

전장 상황에서 무인차량을 운용할 때 무인차량은 자율로 운용자지정 목표지점까지 이동하여 주어진 임무를 수행할 수 있어야 한다. 목표지점까지 무인차량을 이동시키기 위해 계층적인 형태로 광역 경로계획(Global Path Planning)과 지역 경로계획(Local Path Planning)이 수행된다. 광역 경로계획은 수 킬로미터 단위의 작전지역에 대한 경로계획으로 격자지도 상에서 무인차량의 시작 지점과 목표 지점 사이를 연결하는 격자점들을 찾는 것이 주요 기능이라 하겠다. 그리고 지역 경로계획은 다중 융합 센서를 통해 생성된 수십 미터 단위의 주행 가능성을 내포한 확률지도를 이용하여 광역 경로를 추종하는 지역 경로를 수십 헤르츠 단위로 생성한다^{5,6)}.

다수 적의 위협 정보가 시시각각 생성되고 소멸하는 전장 상황에서는 기계화된 광역 경로를 재계획(Replanning)하는 기능이 필요하다. 이를 위해 광역 경로수정계획(Global Path Replanning)은 변화된 전장환경 정보를 효율적으로 반영하여 재계획할 수 있어야 하고, 단순히 무인차량의 이동 가능성만 고려하여 목표 지점까지의 최단 경로를 생성하는 것에 추가로 무인차량의 생존 가능성(Survivability)을 고려할 수 있어야 한다. 따라서 본 논문에서는 전장 상황을 내포한 4D 환경정보를 이동성, 가시성, 살상, 타격의 네 가지 속성으로 정의하고, 이를 이용하여 무인차량의 생존 가능성을 높일 수 있는 광역 경로를 재생성하는 방법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2절에서 광역 경로수정계획과 관련된 기본적인 문제를 정의하고, 3절에서 4D 환경정보에 대한 각 속성을 정의하여 경로계획 문제에 활용하는 방법을 제안한다. 4절에서는 광역 경로수정계획 알고리즘에 대한 소개와 함께 4D 환경정보를 실제 경로계획의 비용함수로 어떻게 활용하는지 알아본다. 4D 환경정보를 반영한 경로계획의 시뮬레이션 결과는 5절에서 설명되며, 결론은 마지막 6절에서 기술된다.

2. 문제정의

무인차량의 경로계획은 $N_{north} \times N_{east}$ 의 셀 $\mathbf{x} \in \mathbf{X}$ 로 이루어진 상태공간과 각 상태에 대한 행동공간 $\mathcal{U}(\mathbf{x})$ 내에서 이루어진다. 모든 $\mathbf{x} \in \mathbf{X}$ 와 $\mathbf{u} \in \mathcal{U}(\mathbf{x})$ 에 대해 상태전이 함수 f 로부터 상태천이는 $\mathbf{x}' = f(\mathbf{x}, \mathbf{u}) (\in \mathbf{X})$ 와 같이 일어난다. 여기서 \mathbf{X} 를 정수인 (i, j) 쌍의 집합이라 하고, $\mathcal{U} = \{(1,0), (1,1), (0,1), (-1,1), (-1,0), (-1,-1), (0,-1), (1,-1)\}$ 이면 임의의 위치 \mathbf{x} 의 주위 여덟 방향에 대한 상태천이는 $f(\mathbf{x}, \mathbf{u}) = \mathbf{x} + \mathbf{u}$ 으로 이루어진다⁷⁾.

경로계획의 시작지점과 목표지점은 각각 $\mathbf{x}_I \in \mathbf{X}$, $\mathbf{x}_G \in \mathbf{X}$ 이고, 무인차량의 경유지점은 반드시 통과해야 하는 임무지점 $\mathbf{x}_M \in \mathbf{X}$ 과 비임무지점 $\mathbf{x}_S \in \mathbf{X}$ 로 구분한다. 여기서 인덱스 집합 $\mathcal{T} = \{I, G, S_n, M_n\}$ 는 각각 시작, 목표, 그리고 n 번째 비임무/임무 지점을 나타낸다. 기본적으로 시작/목표지점은 임무지점으로 간주한다. 이 정보들은 지휘통제차량의 운용스테이션으로부터 무인차량으로 전달되어 광역 경로수정계획 시 시작/목표/임무/비임무 지점으로 초기화된다. 광역 경로수정계획에 대한 자세한 사항은 4절에서 다루기로 한다.

3. 4D 환경정보 정의

본 절에서는 광역 경로수정계획에서 성능지표로 활용될 이동성(Mobility), 가시성(Visibility), 살상(Kill), 타격(Hit)의 4D 환경정보를 격자지도 상에 정의한다⁸⁾.

3.1 이동성

Fig. 1(a)에서 보듯이 무인차량 i 의 이동성 $P_i^M(\mathbf{x})$ ($\in [0,1]$)은 무인차량이 이동 가능한 영역(Traversable cells)과 장애물과 같이 이동 불가능한 영역(Untraversable cells)으로 구분한다.

3.2 가시성⁹⁾

Fig. 1(b)에서 보듯이 N_{foe} 기의 적(foe)에 대한 통합 가시성 $P_{foe}^V(\mathbf{x})$ ($\in [0,1]$)은 개별 적의 위치에 따라 생성한 가시성 정보 $P_j^V(\mathbf{x})$ ($\in [0,1], j = 1, \dots, N_{foe}$)를

1) 본 논문에서 정의하는 기호 $P_a^B(\mathbf{x})$ 는 임의의 위치 \mathbf{x} 에서 a 개체의 B 속성 값을 나타낸다.

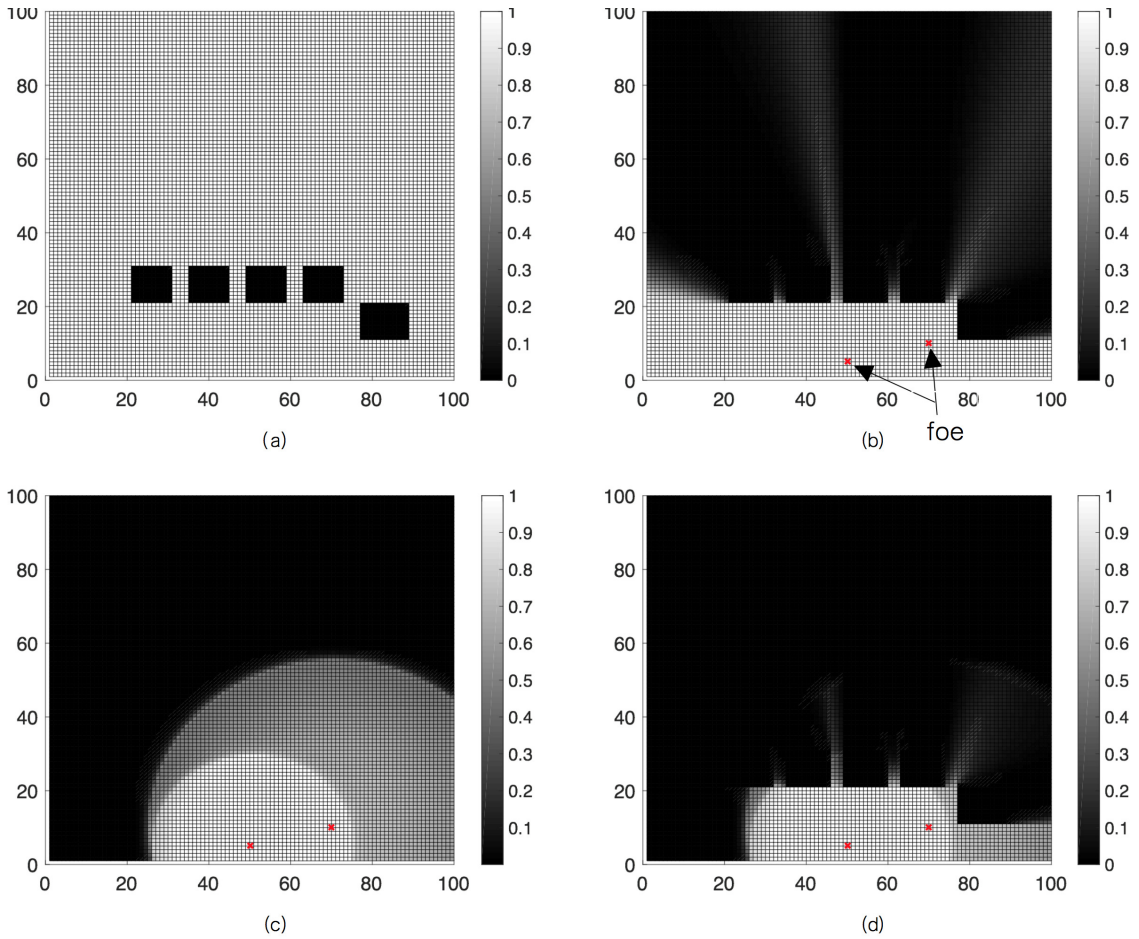


Fig. 1. (a) Mobility map (b) Integrated visibility map (c) Integrated foe KH map (d) Integrated threat map^[8]

융합한 것으로 적의 위치와 지형의 고도(DEM)에 대한 작전지역 상에서 적들의 시야를 나타낸다.

3.3 살상

살상 속성 $P_j^K(\mathbf{x}) (\in [0,1])$ 은 무인차량이 보유한 화기의 종류에 따라 구분된 유형이 k_j 인 적 j 의 유효 사격 거리 R_{k_j} 에 대한 살상력을 표현한 것으로 위치 $\mathbf{x}_j (= [x_j, y_j]^T)$ 와 임의의 위치 $\mathbf{x} (= [x, y]^T)$ 사이의 거리에 대해 다음과 같이 정의한다.

$$P_j^K(\mathbf{x}) = \begin{cases} 1 & \text{if } \|\mathbf{x} - \mathbf{x}_j\|_2 \leq R_{k_j} \\ \exp(-(\|\mathbf{x} - \mathbf{x}_j\|_2 - R_{k_j})) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

3.4 타격

타격 속성 $P_j^H(\mathbf{x}) (\in [0,1])$ 은 적 j 의 위치 \mathbf{x}_j 에 대한 임의의 위치 \mathbf{x} 에서의 피해 정도를 나타내며 다음과 같이 가우시안 함수로 표현한다.

$$P_j^H(\mathbf{x}) = A_{k_j} \exp\left(-\left(\frac{(x-x_j)^2}{2\sigma_{k_j}^2} + \frac{(y-y_j)^2}{2\sigma_{k_j}^2}\right)\right) \quad (2)$$

여기서 $A_{k_j} (\in [0,1])$ 와 σ_{k_j} 는 각각 화력의 세기, 타격 범위를 나타내며, 적의 유형 k_j 에 따라 다르게 설정한다.

3.5 통합 위협지도

앞서 정의한 타격과 살상 속성으로부터 적 j 의 KH

(Kill/Hit) 속성 $P_j^{KH}(\mathbf{x}) (\in [0,1])$ 은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$P_j^{KH}(\mathbf{x}) = P_j^K(\mathbf{x})P_j^H(\mathbf{x}) \quad (3)$$

Fig. 1(c)에서 보듯이 N_{foe} 기의 적에 대한 통합 foe KH 속성 $P_{foe}^{KH}(\mathbf{x}) (\in [0,1])$ 은 개별 적 j 의 KH 속성을 누적한 값으로 정의하며 최대 KH 속성 값은 1로 제한한다.

결과적으로 광역 경로수정계획에서 활용될 통합 위협지도 $P_{foe}^{Threat}(\mathbf{x}) (\in [0,1])$ 는 Fig. 1(d)에서 보듯이 통합 foe 가시성 지도와 통합 foe KH 속성지도의 곱으로 다음과 같이 정의한다.

$$P_{foe}^{Threat}(\mathbf{x}) = P_{foe}^V(\mathbf{x})P_{foe}^{KH}(\mathbf{x}) \quad (4)$$

적과 무인차량의 유형에 따른 개별 KH 매개변수는 Table 1과 2에서 확인할 수 있다.

Table 1. KH parameters w.r.t foe type k_j

	$k_j = 1$	$k_j = 2$	$k_j = 3$
R_{k_j}	25	12	6
σ_{k_j}	25	12	6
A_{k_j}	0.9	0.7	0.5

Table 2. KH parameters w.r.t friend type k_i

	$k_i = 1$	$k_i = 2$	$k_i = 3$
R_{k_i}	25	12	6
σ_{k_i}	25	12	6
A_{k_i}	0.9	0.7	0.5

4. 4D 환경정보를 반영한 광역 경로수정계획

본 절에서는 광역 경로수정계획 알고리즘의 간단한 소개와 함께 여러 경유지점에 대하여 계획된 경로와 경유지점의 임무지점 여부에 따라 불필요한 경유지점을 우회하는 경로를 생성하는 방법을 다룬다. 그리고 3절에서 정의한 4D 환경정보를 경로계획의 비용(Cost)

으로 어떻게 반영해야 하는지 알아본다.

4.1 D* Lite 알고리즘^[10]

D* Lite 알고리즘은 시시각각 위협 및 장애물이 생성되고 소멸하는 전장환경과 같이 완벽히 알려지지 않은 환경에서 주어진 시작지점과 목표지점 사이의 경로를 재탐색하는데 용이한 기법이다. 이 기법은 목표지점(\mathbf{x}_G)과 모든 이동 가능한 셀(Traversable cells)에 대한 비용(Goal distance)을 계산하여 무인차량의 현재 위치(\mathbf{x}_I)와 목표지점 사이의 최단 경로를 찾는다. 그리고 외부 환경정보(장애물)의 변화가 있을 때마다 영향을 받는 셀에 대해 해당 정보를 반영하여 경로 재탐색이 이루어진다.

Fig. 2는 이동성 지도만 고려한 광역 경로수정계획 결과로 먼저 무인차량의 위치에서 목표지점까지 이동 가능한 영역에 대해서 최단 경로(Fig. 2(a))가 생성되었고, 이후 운용스테이션에서 전달받은 장애물 정보를 고려하여 경로(Fig. 2(b))가 재계획되는 것을 확인할 수 있다.

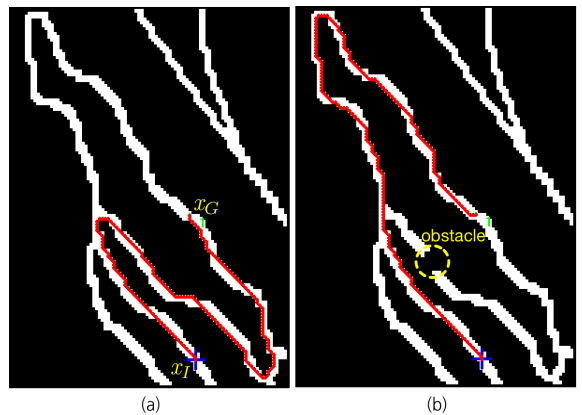


Fig. 2. Global path replanning with only mobility
(a) Preplanned path
(b) Replanning after creating an obstacle

4.2 불필요 경유지점 우회 기법

불필요 경유지점 우회 기법은 다수의 운용자지정 경유지점이 존재할 때, 경유지점과 경유지점 사이의 개별 광역 경로계획 결과가 무인차량의 시작지점과 최종 목표지점을 불필요하게 두 번 이상 통과하는 것을 방지하기 위해 임무지점과 같이 반드시 통과해야 하는 경유지점 외에 불필요한 운용자지정 경유지점을 자동

으로 판별하는 알고리즘이다.

Fig. 3에서 보듯이 불필요 경유지점 우회 알고리즘은 총 4단계로 구성되어 있다. 1단계에서는 운용자 경유지점을 초기화한다. 2단계에서는 무인차량의 현재 위치부터 운용자지정 경유지점 간에 차례대로 경로 $\forall n \neq n', p_{n-m} (n, n' \in \mathbf{T})$ 을 생성하고, 생성된 모든 경로에 대해 개별 경로가 통과하는 상기 수신된 운용자 경유지점들을 순차적으로 리스트에 등록한다. 3단계에서는 상기 등록된 경유지점들 중 불필요 경유지점을 처리하는 단계로 등록된 리스트 내의 임무(□)/비임무(○) 경유지점에 대해서 시작(x_I)/목표지점(x_G)을 두 번 이상 통과하는 모든 비임무 경유지점을 불필요 경유지점으로 지정한다. 예를 들어 $\diamond-\square-\diamond-\blacklozenge-\circ-\circ-\circ-\circ-\blacklozenge$ 와 같은 순서가 존재할 때, 시작(\diamond) 또는 종료지점(\blacklozenge) 사이에 있는 임의의 비임무 경유지점(\circ)을 운용자지정 경유지점에서 제외할 수 있다. 마지막 4단계에서는 상기 불필요 경유지점을 제외한 나머지 경유지점에 대하여 우회 경로계획을 수행한다.

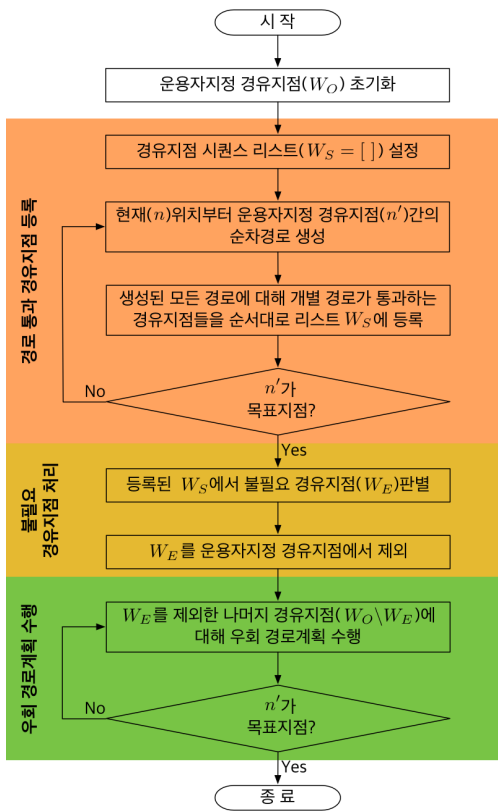


Fig. 3. Waypoints bypassing algorithm

Fig. 4는 무인차량의 시작지점(+)에서 세 곳의 비임무 경유지점을 거쳐 목표지점으로 이동하는 문제이다. Fig. 4(a)에서 보듯이 시작지점에서 목표지점으로 이동하는 동안 시작 및 목표지점을 2회 이상 통과하는 경로는 생성되지 않고, 각 경유지점을 순차적으로 통과하는 경로가 생성되었다. Fig. 4(c)에서 보듯이 장애물이 생성된 이후 계획된 경로가 시작위치에서 목표지점을 통과한 후 모든 비임무 경유지점을 거쳐 다시 목표지점으로 도달하기 때문에 모든 비임무 경유지점은 불필요 경유지점으로 설정된다. 결과적으로 Fig. 4(b)에서 보듯이 시작위치에서 바로 목표지점으로 이동하는 경로가 생성된 것을 확인할 수 있다.

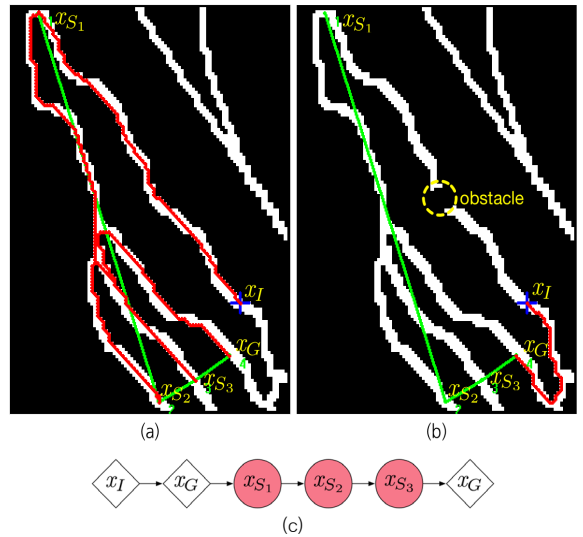


Fig. 4. All the waypoints are not set to the mission point.

- (a) Preplanned path
- (b) Replanning after creating an obstacle
- (c) Registered waypoints list

Fig. 5는 시작지점에서 두 곳의 비임무 경유지점을 거쳐 목표지점으로 이동하는 문제이다. Fig. 5(a)의 각 경유지점을 순차적으로 통과하는 경로와 달리 장애물이 생성된 이후 재생성된 경로가 Fig. 5(c)와 같이 두 번째 비임무 경유지점을 방문하기 위해서는 목표지점을 반드시 통과해야 하므로 두 번째 경유지점만 불필요 경유지점으로 설정된다. 결과적으로 Fig. 5(b)에서 보듯이 시작위치에서 첫 번째 경유지점을 통과하여 목표지점으로 향하는 경로가 생성된다.

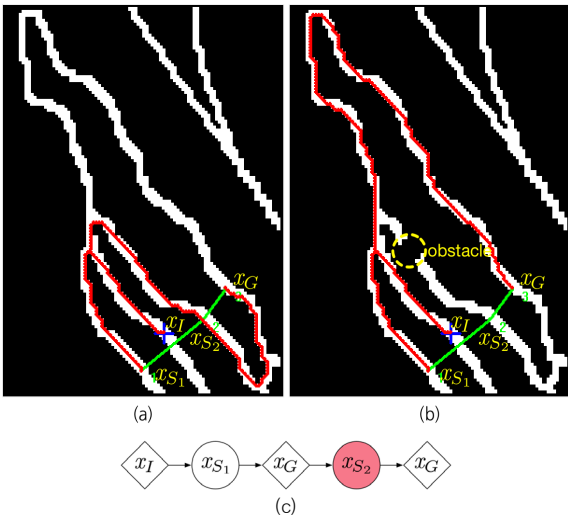


Fig. 5. All the waypoints are not set to the mission point.
 (a) Preplanned path
 (b) Replanning after creating an obstacle
 (c) Registered waypoints list

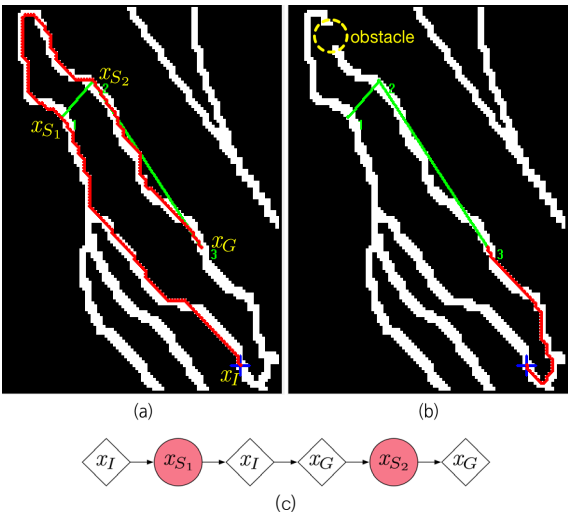


Fig. 6. 1st waypoint is not set to the mission point.
 (a) Preplanned path
 (b) Replanning after creating an obstacle
 (c) Registered waypoints list

Fig. 6과 7은 무인차량의 시작지점에서 두 곳의 경유지점을 거쳐 목표지점으로 이동하는 경로를 찾는 문제에서 첫 번째 경유지점의 임무지점 여부에 따른

경로계획 결과를 보여준다. Fig. 6(a)에서 보듯이 장애물이 없는 상황에서 시작점에서 목표 지점까지 세 개의 경로($p_{I \rightarrow S_1}$, $p_{S_1 \rightarrow S_2}$, $p_{S_2 \rightarrow G}$)가 생성된 것을 확인할 수 있다. 이 상황에서 Fig. 6(b)와 같이 경로 $p_{S_1 \rightarrow S_2}$ 사이에 장애물이 생겼을 때, 재계획된 경로를 따라 통과한 지점들의 리스트를 Fig. 6(c)와 같이 나열할 수 있다. 이로부터 비임무 경유점 x_{S_1} 과 x_{S_2} 를 제외한 경로 $p_{I \rightarrow G}$ 가 생성된 것을 Fig. 6(b)에서 확인할 수 있다.

Fig. 7은 첫 번째 경유지점을 임무지점(x_{M_1})으로 설정한 경우로 Fig. 7(c)와 같이 경로계획 시 제외할 수 있는 사용자 경유점은 x_{S_2} 로 결정된다. Fig. 4(b)에서 보듯이 결과적으로 최종 경로는 $p_{I \rightarrow M_1}$, $p_{M_1 \rightarrow G}$ 으로 생성된다.

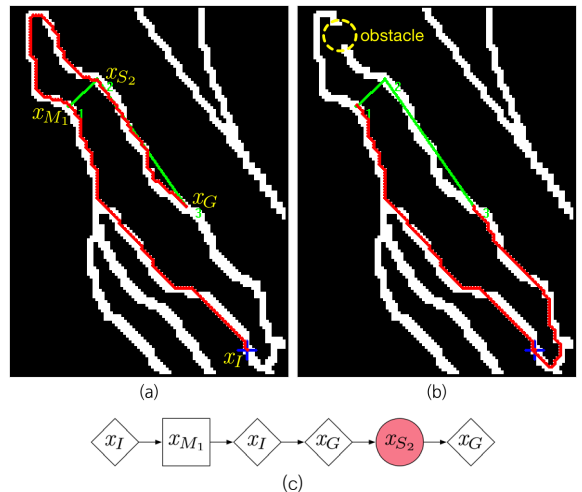


Fig. 7. 1st waypoint is set to the mission point.
 (a) Preplanned path
 (b) Replanning after creating an obstacle
 (c) Registered waypoints list

4.3 4D 비용함수

이동성 지도를 이용하면 무인차량이 장애물을 피해서 가는 경로를 생성할 수 있지만, 적의 위협을 고려한 경로를 생성할 수 없다. 따라서 3.5절에서 정의한 통합 위협지도와 무인차량의 유형 k_i 을 고려하여 무인차량의 위험도(Risk)를 최소화하는 경로를 생성하기 위해 임의의 위치 x 에서의 무인차량 i 의 위험도 $P_i^{Risk}(x) (\in [0,1])$ 를 다음과 같이 정의한다.

$$P_i^{Risk}(\mathbf{x}) = (1 - P_i^{KH}(\mathbf{x}))P_{foe}^{Threat}(\mathbf{x}) \quad (5)$$

여기서 무인차량이 통과해야 할 경로 상의 각 셀은 무인차량의 화력이 가장 센 곳으로 무인차량 i 의 KH 속성 값 $P_i^{KH}(\mathbf{x})$ 는 최대 화력세기 A_{k_i} 로 고정한다. 식 (5)를 통해 임의의 위치 \mathbf{x} 에서의 무인차량 i 의 생존 가능성 $P_i^{Survival}(\mathbf{x}) (\in [0,1])$ 을 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$P_i^{Survival}(\mathbf{x}) = 1 - P_i^{Risk}(\mathbf{x}) \quad (6)$$

결과적으로 4D 환경정보를 반영하기 위해 D^* Lite 알고리즘의 휴리스틱스(Heuristics) $h(\mathbf{x}, \mathbf{x}')$ 를 다음과 같이 재정의할 수 있다.

$$h(\mathbf{x}, \mathbf{x}') = d(\mathbf{x}, \mathbf{x}') + C\mathbf{1}_\Delta(\mathbf{x}) \quad (7)$$

여기서 첫 번째 항목 $d(\mathbf{x}, \mathbf{x}')$ 는 셀 \mathbf{x} 와 \mathbf{x}' 사이의 거리를 의미하며, 기본 D^* Lite 알고리즘에서 단독으로 사용한다. 무인차량의 위험도를 반영하기 위해서 두 번째 항목과 같이 지시 함수(Indicator function) $\mathbf{1}_\Delta(\mathbf{x})$ 와 상수 C 의 곱으로 나타낼 수 있다. 여기서 지시함수 $\mathbf{1}_\Delta(\mathbf{x})$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$\mathbf{1}_\Delta(\mathbf{x}) = \begin{cases} 1 & \text{if } \mathbf{x} \in \Delta \\ 0 & \text{if } \mathbf{x} \notin \Delta \end{cases} \quad (8)$$

그리고 Δ 는 위험지수 $\rho (\in [0,1])$ 보다 위험도 $P_i^{Risk}(\mathbf{x})$ 가 높은 모든 셀의 집합으로 다음과 같이 정의한다.

$$\Delta = \{\mathbf{x} \in \mathbf{X} : P_i^{Risk}(\mathbf{x}) > \rho\} \quad (9)$$

여기서 상수 C 와 위험지수 ρ 는 각각 255와 0.15로 설정하였다. 위험지수 ρ 는 경로계획 시 위험을 얼마나 감수하고 경로계획을 수행할 것인지 결정하는 매개변수로 Fig. 8에서 보듯이 무인차량의 화력이 적의 화력에 비해 크게 못 미치는 상황에 대해 위험지수가 작을수록 적의 위협을 회피하기 위해 멀리 돌아가는 경로가 생성된 것에 반해 반대의 경우에는 위험을 감수하는 목표지점까지의 최단 경로가 생성된 것을 확인할 수 있다.

Fig. 9는 4D 환경정보를 반영한 광역 경로수정계획 알고리즘 흐름도로 3단계로 구분할 수 있다. 1단계에서는 이동성, 가시성, 살상 및 타격의 속성에 관한 4D 환경정보를 격자지도에 정의한다. 2단계에서는 이동성, 가시성, 살상 및 타격의 속성에 관한 4D 환경정보로부터 이동성 격자지도 및 통합 위험지도를 형성한다. 3단계에서는 장애물 및 적의 위협을 고려한 경로를 생성하기 위해 이동성 격자지도, 통합 위험지도 및 무인차량의 유형을 고려하여 광역 경로수정계획을 수행한다.

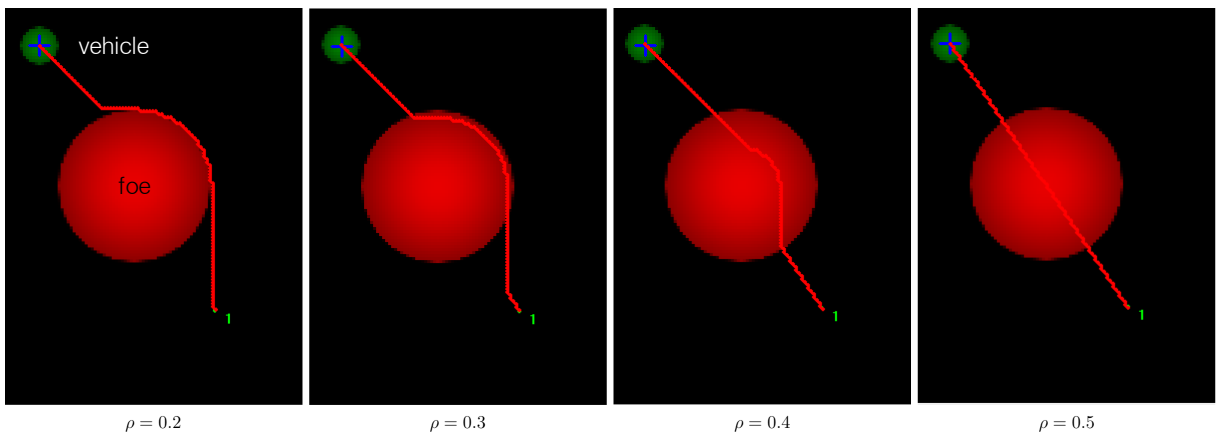


Fig. 8. Path plan results using 4D environmental information according to the change in the risk index ρ ($k_i = 3, k_j = 1$)

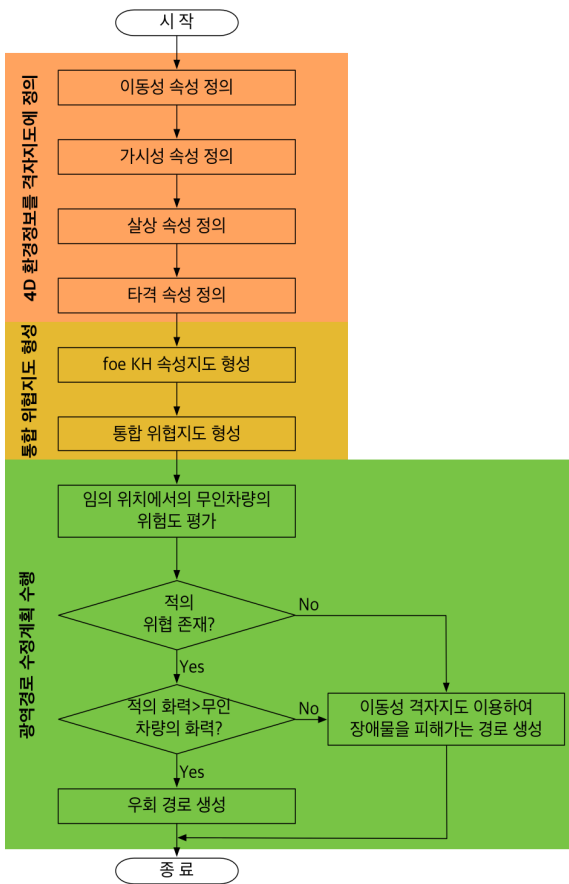


Fig. 9. Global path replanning algorithm using 4D environmental information

5. 시뮬레이션 결과 및 분석

본 절에서는 4D 환경정보를 경로계획에 반영하여 무인차량의 생존 가능성을 높일 수 있는 경로를 생성할 수 있는지 시뮬레이션을 통해 검증하기로 한다. 시나리오는 무인차량의 현재 위치에서 첫 번째 임무지점 x_{M1} 과 두 번째 비임무지점 x_{S2} 거쳐 목표지점으로 이동하는 것으로 한다. 그리고 무인차량과 적의 화력 차이에 따른 경로생성 결과를 비교하기 위해 적의 유형은 $k_j = 1$ 로 고정하고 무인차량의 유형을 $k_i = 3$ 과 $k_i = 1$ 로 변경하여 각각 시뮬레이션을 수행하였다. 또한, 모든 셀에 대한 적의 가시성 $P_j^V(\mathbf{x})$ 은 1로 설정하여 적의 화력을 온전히 반영하도록 하였다.

먼저 Fig. 10(c)와 10(d)에서 보듯이 무인차량의 화력이 적의 화력에 크게 못미치는 상황을 고려하기로 한다. Fig. 10(a)에서 보듯이 적이 없는 상황에서 무인차량은 각 경유지점에 대해 최단 경로를 생성하였다. 이후 한 기의 적이 무인차량의 시작지점과 첫 번째 임무지점 사이에 생성되었을 때, Fig. 10(b)에서 보듯이 무인차량이 곧바로 적의 위협을 대응하고 첫 번째 임무지점으로 이동할 수 없으므로 우회하는 경로를 생성한 것을 확인할 수 있다.

이와 반대로 Fig. 11(c)와 11(d)에서 보듯이 무인차량의 화력과 적의 화력이 대등한 경우에는 적의 위협에 대한 무인차량의 위험도 $P_i^{Risk}(\mathbf{x})$ 가 작기 때문에 광역 경로수정계획이 이루어지더라도 이미 계획된 경

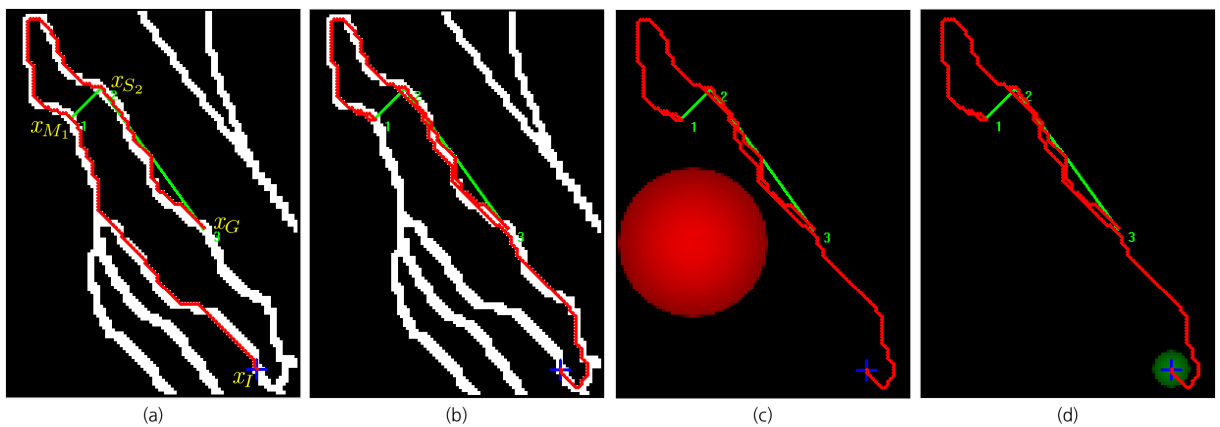


Fig. 10. Global path replanning with 4D environmental information($k_i = 3, k_j = 1$)

(a) Preplanned path (b) Replanning after creating a foe (c) foe KH attribute (d) Friend KH attribute

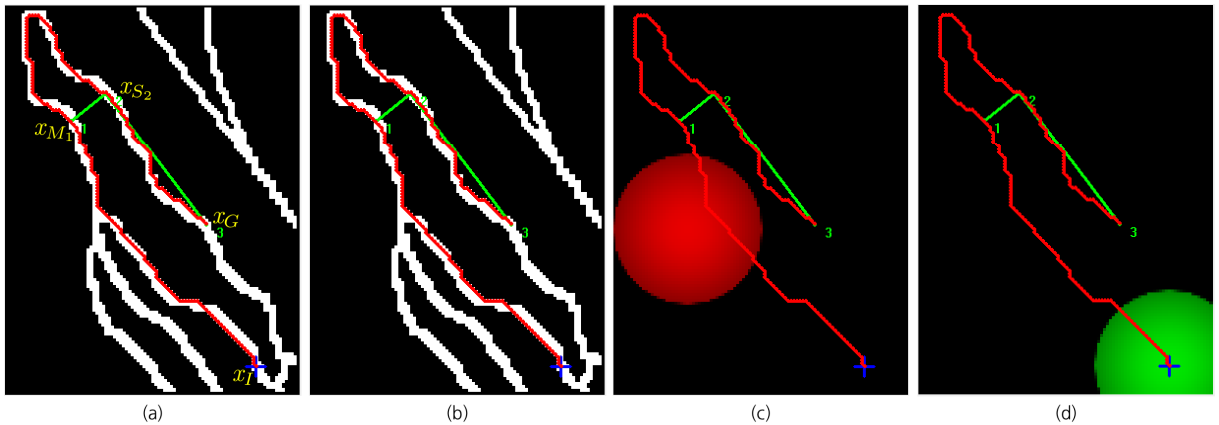


Fig. 11. Global path replanning with 4D environmental information($k_i = 1, k_j = 1$)

(a) Preplanned path (b) Replanning after creating a foe (c) foe KH attribute (d) Friend KH attribute

로와 같은 경로가 생성되는 것을 Fig. 11(a)와 11(b)를 통해 확인할 수 있다.

이처럼 4D 환경정보를 통해 얻은 이동성 지도 및 통합 위협지도를 활용하여 무인차량의 위험을 최소화하는 경로를 생성할 수 있다.

6. 결론

본 논문에서는 전장 상황에서 무인차량의 적에 대한 위험도(Risk)를 최소화하는 광역 경로를 생성하는 방법을 제안하였다. 이를 위해 먼저 이동성, 가시성, 살상/타격 속성으로 구성된 4D 전장 환경정보를 정의하였다. 그리고 네 가지 속성들로부터 이동성 지도와 통합 위협지도를 정의하여 경로계획 시 활용할 수 있도록 하였다. 이동성 지도를 통해 무인차량은 이동 가능한 영역에 대해 최단 경로 찾을 수 있고, 통합 위협지도와 무인차량의 화력을 고려하여 적의 위협을 억제 또는 무인차량의 위험을 최소화하는 경로를 생성할 수 있었다. 이와 함께 경유지점 우회 기법을 제안하여 불필요한 경유 지점을 제외한 나머지 경유 지점에 대해 경로계획이 수행되도록 하였다.

향후 제안하는 알고리즘의 최적성에 대한 해석과 함께 다수의 적과 다수의 무인차량이 존재하는 상황에 대해 무인차량 간 경로를 조정하여 적의 위협을 최소화할 수 있는 방법론에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

References

- [1] J. Choi, "Technology Development Trends and Challenges of Autonomous Vehicles by Major Countries and Companies," *ICT & Media Policy*, Vol. 28, No. 15, Issue 629, pp. 43-52, 2016.
- [2] Google, "Google Self-Driving Car Project Monthly Report," March, 2016.
- [3] H. W. Chun and S. J. Koe, "Policy Trends in Autonomous Vehicle," *Electronics and Telecommunications Trends*, Vol. 30, No. 5, pp. 129-137, October, 2015.
- [4] Y. Park, C. Ryu, S. Kang and T. Choe, "Development Status of Multipurpose Dog-Horse Robot," *Journal of Korea Robotics Society*, Vol. 4, No. 2, pp. 27-35, 2007.
- [5] H. Lee, Y. Lee and M. Lee, "Mission Oriented Global Path Generation for Unmanned Combat Vehicle Based on the Mission Type and Multiple Grid Maps," *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, Vol. 13, No. 2, pp. 180-187, April, 2010.
- [6] Y. Lee, H. Lee and Y. Park, "Local Path Planning Manager for Autonomous Navigation of UGV," *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, Vol. 13, No. 6, pp. 990-997, December, 2010.

- [7] S. M. LaValle, "Planning Algorithms," Cambridge University Press, pp. 28-30, 2006.
- [8] D. J. Kwak, J. Shin and C. H. Kim, "A Method to Utilize 4D Environmental Information for Global Path Replanning," KIMST Annual Conference Proceedings, pp. 1314-1315, June, 2016.
- [9] Y. R. Tsai, L. Cheng, S. Osher, P. Burchard and G. Sapiro, "Visibility and its Dynamics in a PDE based Implicit Framework," Journal of Computational Physics, Vol. 199, Issue 1, pp. 260-290, 2004.
- [10] S. Koenig and M. Likhachev, "Fast Replanning for Navigation in Unknown Terrain," IEEE Transactions on Robotics, Vol. 21, No. 3, pp. 354-363, 2005.