

무인지상차량의 정찰 임무 수행을 위한 통신 계획 알고리즘에 관한 연구

A Study on Communication Planning Algorithm for the Reconnaissance Mission of Unmanned Ground Vehicle

조성준*, 김지훈*, 조용규*, 조창혁*

Seongjun Jo*, Jihoon Kim*, Youngkyu Cho*, Changhyuk Cho**

Abstract

This study proposes a communication planning algorithm to support unmanned ground vehicle(UGV) in maintaining communication connectivity during reconnaissance missions, even in dynamically changing environments. The proposed algorithm utilizes input data such as mission routes, the number of UGVs, and the maximum allowable communication disconnection distance to preemptively identify potential communication disconnections along the mission path. It then determines the optimal relay points for UGVs, establishing a communication plan that ensures mission success. Simulation results demonstrate that the algorithm performs effectively in complex environments, such as mountainous terrains in South Korea. These findings confirm its capability to provide optimal communication plans under resource-constrained and diverse terrain conditions, ultimately offering practical assistance to operators in decision-making.

요약

본 논문은 정찰 임무를 수행하는 무인지상차량이 동적으로 변화하는 환경에서도 통신 연결성을 유지할 수 있도록 지원하는 통신 계획 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 임무 경로, 무인지상차량 수, 최대 통신 단절 허용 거리를 입력으로 받아 임무 경로에서 발생 가능한 통신 단절을 사전에 파악하고 이를 해결하기 위해 무인지상차량의 최적 중계 지점을 도출하여 임무를 성공적으로 수행할 수 있는 통신 계획을 수립한다. 시뮬레이션 결과, 대한민국의 산악 지형과 같은 복잡한 환경에서도 높은 성능을 보임을 확인하였으며, 이를 통해 제한된 자원과 다양한 지형 조건에 대해서도 최적의 통신 계획을 제공하여 운용자의 의사결정에 실질적인 도움을 줄 수 있음을 확인하였다.

Key words : Unmanned Ground Vehicle(UGV), Communication Planning, Relay Position Optimization, Communication Connectivity, Reconnaissance Mission

* SOLVIT System Co., Ltd.

★ Corresponding author

E-mail : jaimete@solvitsystem.co.kr, Tel : +82-2-6241-6667

※ Acknowledgment

This work was supported by Korea Research Institute for defense Technology planning and advancement(KRIT) grant funded by the Korea government(DAPA(Defense Acquisition Program Administration)) (KRIT-CT-22-027, Mission Planning Communication/Survivability Map Generation Technology, 2022)

Manuscript received Dec. 9, 2024; revised Dec. 22, 2024; accepted Dec. 23, 2024.

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.

I. 서론

무인지상차량은 원격 조종 또는 자율주행 방식으로 인간이 수행하기 힘든 고난도 작전을 수행하는 차량으로, 세계 주요 군사 강국에서 인명 피해 최소화 및 유·무인 전투체계 구현을 위해 활발히 연구·개발되고 있으며 우리 육군도 Army TIGER 4.0 부대로의 전환을 위해 무인지상차량을 개발 중이다. 이처럼 무인지상차량은 전투 효율성 증대와 경제적 이점을 기반으로 유인 무기체계를 보완하거나 대체할 수 있는 미래 전투 체계의 구심점으로 평가받고 있다[1], [2].

무인지상차량이 군사 작전에 효과적으로 활용되기 위해서는 지휘관 및 무인지상차량 간의 통신 연결성이 안정적으로 유지되어야 한다. 특히, 정찰 임무 수행 중 발생할 수 있는 지형 변화와 장애물 발생과 같은 동적인 환경 변화에 대응하여 통신 연결성을 유지하는 것은 임무 성공을 결정짓는 중요한 요소이다. 통신 연결성이 유지되지 않을 경우 실시간 정보 교환 및 지휘/명령 수신에 불가능하므로 이는 곧 임무 실패로 이어질 수 있다. 이를 대비한 무인지상차량의 자율주행 기술이 연구되고 있으나[3]-[5], 임무 수행 전 최적의 통신 계획을 수립하는 것은 여전히 임무 성공률을 최대화하기 위한 필수 과업이다. 한편, 무인항공기를 이용한 통신 중계[6], [7]는 넓은 통신 범위를 제공할 수 있다는 장점에도 불구하고 위치 노출의 위험성, 강풍이나 비와 같은 기상 조건에 대한 취약성, 배터리 용량 한계 등 명확한 한계가 존재하므로 무인지상차량을 대상으로 한 통신 계획이 요구된다.

기존 연구에서는 무인지상차량의 통신 연결성을 유지하기 위한 다양한 연구가 수행되었다. [8]은 N-LOS(Non-Line-of-Sight) 환경에서 무인지상차량의 통신 연결성 유지를 위해 Relay Brick이라는 네트워크 중계 장치를 동적으로 배치하는 방안을 제안하였다. 이 연구는 네트워크 이벤트를 실시간으로 모니터링하여 중계 장치를 배치하므로 정찰 임무 수행 전 사전 계획 단계에서의 최적화는 고려하지 않았다. [9]는 장거리 통신 링크를 유지하기 위한 다중 로봇 제어 아키텍처를 제안하였다. 이 연구는 다중 로봇 간의 협력을 통해 각 로봇의 이동 경로와 중계 역할을 조정하여 통신 연결성을 유지하는 방안을 연구하였으나 실험 환경이 주로 단순한 지형에 국한되어 있으며 복잡한 지형에 대한 검증은 이루어지지 않았다. [10]은 Bellman-Ford 알고리즘 기반의 최단 경로 계산을 활용하여 통신 연결성 유지를 위한 무인지상차량과 무인기의 중계 지점을 최적화하는 방법을 제안하였다.

이 연구는 최단 경로 탐색을 통해 통신 중계 지점을 설정하였으나 이동 중 통신 단절 상황에 대한 대응이나 다양한 환경에서의 적응 가능성은 검증되지 않았다.

본 연구는 [8]-[10]의 한계점을 보완하여 무인지상차량의 정찰 임무 수행을 지원할 수 있는 통신 계획 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 정찰 임무 수행 전 무인지상차량의 중계 위치 최적화를 수행하며, 임무 경로, 무인지상차량 수, 최대 통신 단절 허용 거리와 같은 다양한 입력 정보와 3차원 지형 데이터를 기반으로 동작한다. 이를 통해 동적으로 변화하는 환경에서 통신 연결성을 유지할 수 있는 유연한 통신 계획을 제공할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 무인지상차량 통신장비 모델과 경로 손실 모델을 포함한 시스템 모델과 통신 연결성 분석 방법, 정찰 임무 시나리오를 제시한다. III장에서는 무인지상차량의 정찰 임무 수행을 위한 통신 계획 알고리즘에 대해 설명하며, IV장에서는 시뮬레이션 결과, 마지막으로 V장에서는 결론으로 논문을 마무리한다.

II. 통신 연결성 분석을 위한 시스템 모델 및 정찰 임무 시나리오

1. 시스템 모델

시스템 모델은 무인지상차량 통신장비 모델과 경로 손실 모델로 구성된다. 각각의 구성요소는 다음과 같다.

가. 무인지상차량 통신장비 모델

무인지상차량은 정찰 임무를 수행하는 주체로 Ad-hoc 통신을 지원하며 이를 통해 HQ(Headquarter)에 위치한 지휘차량과 무인지상차량, 무인지상차량과 무인지상차량 간의 통신 중계를 수행할 수 있다. 무인지상차량 통

Table 1. UGV system parameters.

표 1. 무인지상차량 시스템 파라미터

Parameter	Value
Transmission power	8 W
Center frequency	2.2 GHz
Channel bandwidth	10 MHz
Antenna height	4 m
Antenna gain	5.2 dBi
Antenna pattern	Omnidirectional
Number of UGV	User-defined (Unit(s))

신장비의 주요 파라미터는 표 1와 같으며, 테스트용으로 상용 무전기 파라미터[11]를 참고하여 구현하였다.

나. 경로 손실 모델

경로 손실은 통신 연결성 분석을 위한 핵심 요소이다. 따라서 LOS(Line-of-Sight) 환경일 경우 ITU-R P.525 모델[12], Non-LOS 환경일 경우 Deygout-94 모델 [13]을 경로 손실 모델로 적용하여 통신 연결성 분석을 수행한다.

(1) ITU-R P.525 모델

ITU-R P.525 모델은 LOS 환경에서 발생하는 자유 공간 경로 손실을 계산하는 모델이다. 자유 공간 경로 손실 FSL 은 식 (1)로 계산한다.

$$FSL = 92.45 + 20\log(f \cdot d) \quad (1)$$

여기서 f 는 사용 주파수로 단위는 GHz이며, d 는 송수신기 사이 거리로 단위는 km이다.

(2) Deygout-94 모델

Deygout-94 모델은 Non-LOS 환경에서 발생하는 전파 회절 손실을 계산하기 위한 대표적인 경로 손실 모델로 지형 정보를 고려한 통신 연결성 분석에 자주 사용된다. 이 모델은 Fresnel 회절 영역 이론을 적용하여 신호가 장애물을 넘어 전파될 때 발생하는 회절 손실을 계산한다. 전파 경로 상 가장 높은 장애물과 보조 장애물을 고려하며 새로운 장애물이 발견되지 않을 때까지 재귀적 방식으로 경로 손실 L_d 을 계산한다.

$$L_d = \sum_{i=1}^n L_i(v_i) \quad (2)$$

여기서 n 은 전파 경로 상 장애물의 수이며, v_i 는 i 차 장애물의 여유 비율이다.

2. 통신 연결성 분석

통신 연결성 분석은 수신 전력 P_r 을 계산하고 최소 필요 수신 전력 P_{th} (-100dBm)와 비교하여 통신 연결 여부를 분석 및 판단하는 것을 의미한다. 수신 전력 P_r 은 식 (3)로 계산한다.

$$P_r = P_t + G_t + G_r - FSL - L_d \quad (3)$$

여기서 P_t 는 송신 전력, G_t 는 송신 안테나 이득, G_r 은 수신 안테나 이득을 의미한다.

본 연구에서는 지상무인차량의 이동에 따라 동적으로 변화하는 환경과 3차원 지형정보를 고려하기 위해 상용 전파분석 소프트웨어인 ATDI사의 HTZ warfare를 활용하여 통신 연결성 분석을 수행한다.

3. 정찰 임무 시나리오

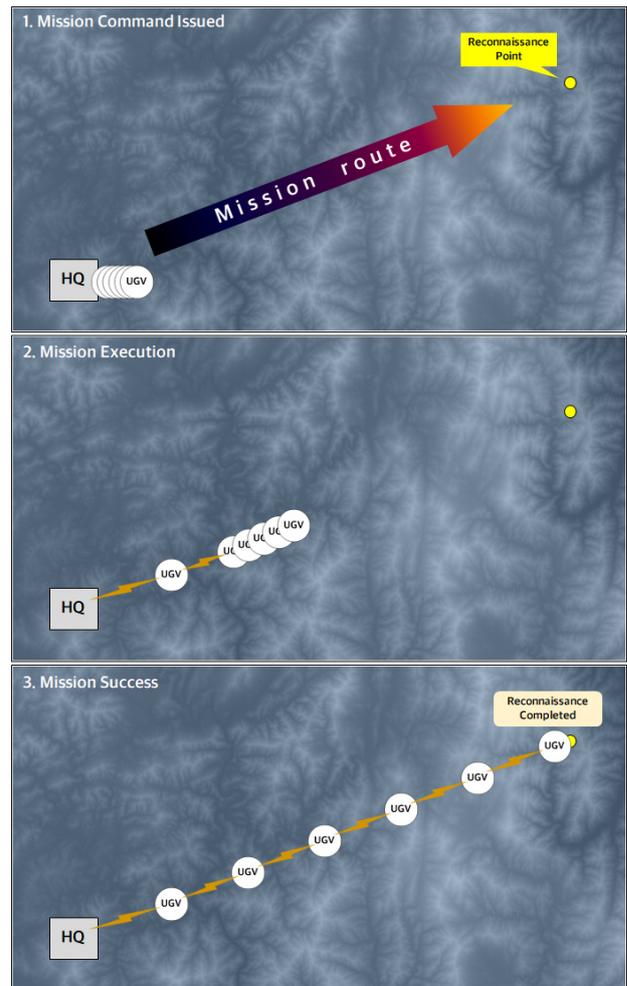


Fig. 1. Reconnaissance mission scenario.
그림 1. 정찰 임무 시나리오

정찰 임무 시나리오는 다수의 무인지상차량이 고정된 HQ에 위치한 지휘관으로부터 하달받은 임무 경로를 따라 정찰 지점으로 이동하는 것을 의미한다. 무인지상차량은 HQ와 정찰 지점 사이의 거리를 최대화하기 위해 일렬로 정렬된 형태로 이동하며 통신 연결성을 유지하기 위해 특정 위치에 정지하여 중계 역할을 수행한다. 해당 특정 위치는 통신 계획 알고리즘을 통해 분석 및 도출되며, 그림 1은 순서대로 무인지상차량이 임무 경로와 정

찰 지점을 하달받아 일렬 이동 및 중계 역할을 수행하여 임무를 완수하는 정찰 임무의 전체 과정을 보여준다.

III. 무인지상차량의 정찰 임무 수행을 위한 통신 계획 알고리즘

1. 알고리즘 개요

무인지상차량의 정찰 임무 수행을 위한 통신 계획 알고리즘은 HQ와 정찰 임무를 수행하는 무인지상차량 간의 통신 연결성을 유지하기 위해 무인지상차량의 중계 위치를 최적화하여 정찰 임무를 성공적으로 수행할 수 있도록 한다. 이 알고리즘은 임무 경로, 가용 무인지상차량 수, 최대 통신 단절 허용 거리와 같은 다양한 입력 정보를 기반으로 동적으로 동작하며 운용자의 지휘 판단에 필요한 최적의 데이터를 제공함으로써 임무 수행의 성공률과 효율성을 높인다.

2. 입력 정보 설명

가. 임무 경로 WP_{All}

임무 경로는 HQ부터 정찰 지점까지의 이동 경로를 의미하며 00m(3차원 지형지도 해상도) 간격의 WP(Way Point)에 대한 위경도 좌표로 입력한다. i 번째 WP에 대한 위경도 좌표는 식 (4)와 같이 나타내며, 전체 임무 경로는 식 (5)와 같이 나타낸다.

$$WP_i = (\text{위도}_i, \text{경도}_i) \quad (4)$$

$$WP_{All} = [WP_1, WP_2, \dots, WP_{End}] \quad (5)$$

나. 무인지상차량 수 N_{max}

무인지상차량 수는 운용 가능한 무인지상차량의 총 수량을 의미한다.

다. 최대 통신 단절 허용 거리 D_{max}

최대 통신 단절 허용 거리는 임무 성공 여부에 영향을 주지 않는 최대한의 통신 단절 허용 거리를 의미한다.

3. 알고리즘 동작

무인지상차량의 정찰 임무 수행을 위한 통신 계획 알고리즘은 중계 지점을 최적화하여 정찰 임무를 성공적으로 완수하는 것을 목표로 한다. 제안된 알고리즘은 입력 정보 WP_{All} , N_{max} , D_{max} 를 기반으로 동적으로 동작하며, 그림 2의 의사코드는 본 논문에서 제안하는 통신

계획 알고리즘을 설명한다.

Algorithm 1 Communication Planning Algorithm for the UGV

```

1: Input:  $WP_{All}$ : List of waypoints [ $WP_1, WP_2, \dots, WP_{End}$ ]
2:    $N_{max}$ : Maximum number of available relay points
3:    $D_{max}$ : Maximum allowable communication distance
4: Output: Success/Fail,  $N_{current}$ ,  $WP_{relay}$ , (if needed:  $N_{need}$ ,  $D_{need}$ )
5: Initialize  $D_{current} \leftarrow 0$ ,  $success \leftarrow false$ 
6: while  $D_{current} \leq D_{max}$  and  $success = false$  do
7:   Initialize  $N_{current} \leftarrow 1$ ,  $WP_{relay} \leftarrow []$ ,  $WP_s \leftarrow WP_1$ 
8:   while  $WP_s < WP_{End}$  do
9:      $WP_f \leftarrow \text{FindDisconnection}(WP_s, WP_{End}, D_{current})$ 
10:    if  $WP_f$  is None then
11:      break
12:    end if
13:     $WP_r \leftarrow \text{SelectBestRelay}(WP_s, WP_{f-1}, WP_f, WP_{End}, D_{current})$ 
14:    Append  $WP_r$  to  $WP_{relay}$ 
15:    Update  $WP_s \leftarrow WP_r$ ,  $N_{current} \leftarrow N_{current} + 1$ 
16:  end while
17:  if  $WP_s \geq WP_{End}$  then
18:    if  $N_{current} \leq N_{max}$  then
19:       $success \leftarrow true$ 
20:      Output: "Success",  $N_{current}$ ,  $WP_{relay}$ 
21:    else
22:       $N_{need} \leftarrow N_{current}$ 
23:      Output:  $N_{need}$ 
24:      Increment  $D_{current} \leftarrow D_{current} + 00$ 
25:    end if
26:  else
27:    Increment  $D_{current} \leftarrow D_{current} + 00$ 
28:  end if
29: end while
30: if  $success = false$  and  $D_{current} > D_{max}$  then
31:    $D_{need} \leftarrow D_{current}$ 
32:   Output: "Fail",  $D_{need}$ 
33: end if

```

Fig. 2. Communication planning algorithm pseudocode.

그림 2. 통신 계획 알고리즘 의사코드

가. 통신 연결성 분석 및 중계 지점 선정

(1) 분석 시작 지점 WP_s 설정

제안된 알고리즘은 HQ(WP_0)를 기준으로 입력받은 WP_{All} 에 대해 통신 연결성 분석을 수행한다. 초기 분석 시작 지점 WP_s 는 WP_1 로 설정되며 정찰 지점 WP_{End} 까지 순차적으로 분석이 진행된다.

(2) 통신 단절 지점 WP_f 탐색

통신 연결성을 확인하며 통신 단절이 발생하는 통신 단절 지점 WP_f 를 탐색한다. WP_f 를 기준으로 단절 이전 구간($WP_s \sim WP_{f-1}$)과 단절 이후 구간($WP_f \sim WP_{End}$)으로 WP를 구분한다.

(3) 최적 중계 지점 WP_r 선정

단절 이전 구간을 중계 후보 지점으로 설정한 후 단절 이후 구간과의 통신 연결성 분석을 수행하여 최적 중계

지점 WP_r 을 선정한다. 이 과정에서 각 WP에 무인지상 차량이 위치하며 해당 지점에서 중계 역할을 수행한다고 가정한다. 이 가정은 WP_r 선정 과정에서 무인지상차량이 해당 지점에서 실제로 중계 역할을 수행할 수 있는지를 판단하기 위한 전제 조건으로 활용된다.

각 중계 후보 지점에서 단절 이후 구간과의 통신 연결성을 확인하여 연속적으로 연결된 WP의 수를 점수 α 로 계산한다. 예를 들어 임의의 중계 후보 지점 WP_x 가 WP_f, WP_{f+1}, WP_{f+2} 와 연결되고 WP_{f+3} 에서 단절된다면 $\alpha(WP_x)$ 는 3이다. 이후 WP와의 연결성은 점수에 포함되지 않으며, WP_x 에 대한 α 는 식 (6)로 계산한다.

$$\hat{\alpha}_i(WP_x) = \begin{cases} 1, & \text{if } i = f \text{ and } P_r(WP_{x,i}) \geq P_{th} \\ 1, & \text{if } i > f \text{ and } P_r(WP_{x,i}) \geq P_{th} \text{ and } \hat{\alpha}_{i-1}(WP_x) = 1, \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (6)$$

$$\alpha(WP_x) = \sum_{i=f}^{End} \hat{\alpha}_i(WP_x)$$

여기서, $P_r(WP_{x,i})$ 는 WP_i 가 WP_x 로부터 수신하는 수신 전력이다.

모든 중계 후보 지점에 대한 α 계산이 끝나면 α 가 가장 높은 지점을 WP_r 로 선정하며 이를 중계 지점 리스트 WP_{relay} 에 추가한다.

$$WP_r = \operatorname{argmax}_{x \in \{s, \dots, f-1\}} \alpha(WP_x) \quad (7)$$

(4) 분석 지점 갱신 및 반복 분석

WP_r 을 새로운 WP_s 로 설정하고 남은 WP($WP_f \sim WP_{End}$)에 대해 통신 연결성 분석을 수행한다. 이 과정을 반복하여 WP_r 를 순차적으로 선정한다.

나. 통신 단절 허용 거리 $D_{current}$ 증가

N_{max} 개의 무인지상차량으로 WP_{All} 에 대해 통신 연결성을 유지하지 못한 경우, 통신 단절 허용 거리 $D_{current}$ 를 00m(WP 간격)씩 증가시키며 분석을 반복한다.

다. 임무 성공/실패 판단

(1) 임무 성공

임무에 사용된 무인지상차량 수 $N_{current}$ 가 N_{max} 이하이면 임무를 성공으로 판단한다. 임무 성공 시 $N_{current}$ 와 WP_{relay} 를 출력한다.

$N_{current}$ 가 N_{max} 을 초과한다면 임무 성공을 위해 필

요한 최소 무인지상차량 수 N_{need} 를 출력한다. 이후 $D_{current}$ 를 증가시키며 분석을 재수행하고 $D_{current}$ 가 최대 통신 단절 허용 거리 D_{max} 이하이면 임무를 성공으로 판단한다. 이 경우 임무 성공을 위한 $D_{current}$ 를 추가로 출력한다.

(2) 임무 실패

$D_{current}$ 가 D_{max} 를 초과하면 임무 실패로 판정하며 알고리즘을 종료한다. 임무 실패 시 임무 성공을 위한 최소 통신 단절 허용 거리 D_{need} 를 출력한다.

IV. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션은 그림 3과 같은 강원도 인제군에 1680개의 WP로 구성된 WP_{All} (약 10km)를 기반으로 수행하였으며, 각 시뮬레이션마다 표 2의 입력 정보 별로 분석을 수행하였다. 추가적으로 시뮬레이션 ③에서는 제안된 알고리즘 결과와 기존 알고리즘 결과를 비교한다.

Table 2. Simulation input datas.

표 2. 시뮬레이션 입력 정보

Simulation	N_{max}	D_{max}
Simulation ①	6	500
Simulation ②	5	500
Simulation ③	6	0



Fig. 3. Simulation mission routes WP_{All} .

그림 3. 시뮬레이션 임무 경로 WP_{All}

1. 시뮬레이션 ①

그림 4과 표 3는 시뮬레이션 ①의 결과를 보여주며, 표 4는 α 에 따른 WP_r 선정 과정을 보여준다. 해당 시뮬레이션을 통해 총 5개의 WP_r 을 선정하여 6대의 무인

지상차량으로 $N_{max} = 6$ 를 초과하지 않고 임무를 성공적으로 수행할 수 있음을 확인하였다.



Fig. 4. Simulation ① result.
그림 4. 시뮬레이션 ① 결과

Table 3. Simulation ① result.
표 3. 시뮬레이션 ① 결과

Mission Status	$N_{current}$	WP_{relay}
Success	6	[(38.005580, 128.310280), (38.010469, 128.321911), (38.011461, 128.322015), (38.012933, 128.343133), (38.017418, 128.372201)]

Table 4. Simulation ① process of WP_r selection.
표 4. 시뮬레이션 ① WP_r 선정 과정

WP_f	WP_r	Top 3 WP by α
WP_{242}	WP_{114}	1. $\alpha(WP_{114}) = 141$ 2. $\alpha(WP_{134}) = 140$ 3. $\alpha(WP_{132}) = 139$
WP_{383}	WP_{382}	$\alpha(WP_{382}) = 154$ $\alpha(WP_{381}) = 147$ $\alpha(WP_{380}) = 142$
WP_{537}	WP_{402}	$\alpha(WP_{402}) = 245$ $\alpha(WP_{405}) = 240$ $\alpha(WP_{403}) = 240$
WP_{782}	WP_{754}	$\alpha(WP_{754}) = 527$ $\alpha(WP_{753}) = 525$ $\alpha(WP_{752}) = 522$
WP_{1309}	WP_{1243}	$\alpha(WP_{1243}) = 372$ $\alpha(WP_{1239}) = 371$ $\alpha(WP_{1226}) = 371$

2. 시뮬레이션 ②

그림 5과 표 5는 시뮬레이션 ②의 결과를 보여준다. 4대의 무인지상차량으로는 임무를 성공하지 못하였으며,

통신 단절없이 임무 성공을 위해서는 $N_{need} = 6$ 대의 무인지상차량이 필요하였다. 그러나 5대의 무인지상차량으로 $D_{max} = 500m$ 를 초과하지 않는 $D_{current} = 310m$ 의 통신 단절을 허용한다면 임무를 성공적으로 수행할 수 있었다. 그림 6은 시뮬레이션 ②의 WP 별 수신 전력 P_r 그래프이며, 파란 선으로 표시된 P_r 이 빨간 수평선으로 표시된 최소 필요 수신 전력 $P_{th} (-100dBm)$ 값보다 떨어지는 지점에서 통신 단절이 발생함을 보여준다.



Fig. 5. Simulation ② result.
그림 5. 시뮬레이션 ② 결과

Table 5. Simulation ② result.
표 5. 시뮬레이션 ② 결과

Mission Status	N_{need}	WP_{relay}	$D_{current}$
Success	6	[(38.009164, 128.322150), (38.011461, 128.322015), (38.012200, 128.340976), (38.017510, 128.372542)]	310

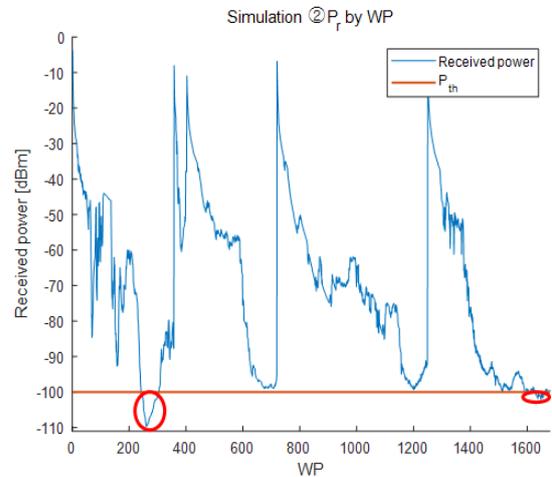


Fig. 6. Simulation ② P_r by WP.
그림 6. 시뮬레이션 ② WP 별 P_r

3. 시뮬레이션 ③

기존 알고리즘은 통신 연결성 분석을 통해 통신 단절 지점 WP_f 을 탐색한 후, 통신 단절 직전 지점인 WP_{f-1} 을 WP_r 로 선정하는 알고리즘으로 평원 지형에서 직선 임무 경로가 주어졌을 때 사용할 수 있는 알고리즘이다. 시뮬레이션 ③는 기존 알고리즘을 통해 분석을 수행하며, 제안된 알고리즘의 시뮬레이션 ① 결과와 비교·분석한다.



Fig. 7. Simulation ③ result-Conventional algorithm.

그림 7. 시뮬레이션 ③ 결과 기존 알고리즘

그림 7은 시뮬레이션 ③의 결과를 보여준다. 기존 알고리즘을 사용할 경우, $N_{max} = 6$ 으로는 정찰 지점까지 도달하지 못하였다. 이를 통해 제안된 알고리즘을 통한 WP_r 선정 방식이 기존 알고리즘보다 우수하다는 것을 확인할 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 무인지상차량의 정찰 임무 수행 시 동적으로 변화하는 환경에서도 통신 연결성을 유지할 수 있도록 지원하는 통신 계획 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 무인지상차량의 중계 지점 최적화를 통해 통신 단절 문제를 효과적으로 해결하였으며, 대한민국의 산악 지형과 같은 복잡한 환경에서도 기존 알고리즘보다 높은 성능을 보였다. 또한, 기존 연구에서 제기된 통신 연결성 문제를 사전 계획 단계에서 해결함으로써 임무 성공률을 크게 향상시켰다. 제안된 알고리즘을 통해 운용자가 별도 시간을 할애하지 않고 간단히 입력 정보를 입력하는 것만으로 통신 계획을 수립할 수 있으므로 무인지상차량의 미래 군사 작전에 있어 통신 연결성을 보장하기 위한 통신 계획에 매우 효율적으로 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

향후 연구로는 정찰 임무뿐만 아니라 다양한 임무에 대한 적용과 다중 임무에 대해서도 최적의 통신 계획을 수립할 수 있는 알고리즘으로의 확장 연구를 수행할 계획이다.

References

- [1] S. B. Jeong, *Development trends of military unmanned ground vehicles*, Korea Automotive Technology Institute(KATECH), Jul. 2022.
- [2] K. S. Kim and T. J. Kim, "Concept and development directions for unmanned combat vehicle operations in future battlefields", *Defense and Technology*, vol.527, pp.130-139, Jan. 2023.
- [3] K. W. Kwak, H. K. Jeong, T. S. Choe, Y. W. Park, Y. K. Kwak and S. H. Kim, "An optimal path generation method considering the safe maneuvering of UGV", *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, vol.13, no.6, pp.951-957, 2010.
- [4] J. H. Lee, S. Kim and C. S. Lee, "The development trend analysis of autonomous driving technology for unmanned ground combat vehicles", *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, vol.14, no.5, pp.706-767, Oct. 2011. UCI: G704-001584.2011.14.5.016
- [5] Y. H. Kim, Y. H. Choi and J. O. Kim, "How to derive the autonomous driving function level of unmanned ground vehicles-focusing on defense robots", *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, vol.42, no.1, pp.205-213, 2017. DOI: 10.7840/kics.2017.42.1.205
- [6] H. G. Jee, J. K. Lee, J. S. Lim and C. Y. Park, "Optimal airborne relay point selection scheme for battlefields using single uav", *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, vol.43, no.06, pp.1028-1036, 2018. DOI: 10.7840/kics.2018.43.6.1028
- [7] J. H. Jeong, S. K. Kim, H. D. Oh and J. Y. Suk, "Optimal positioning of small uavs for communication relay", *Journal of the Korean Society for Aeronautical & Space Sciences*, vol.

42, no.6, pp.461-467, 2014.

DOI: 10.5139/JKSAS.2014.42.6.461

[8] Pezeshkian, N., Nguyen, H. G., and Burmeister, A., "Unmanned ground vehicle radio relay deployment system for non-line-of-sight operations," *IASTED Int. Conf. on Robotics and Applications*, DARPA/ITO, Germany., Aug, 2007.

[9] Shepard, J., and Kitts, C., *A multi-layer, multi-robot control architecture for long-range, dynamic communication links*, IntechOpen, 2023.

[10] Burdakov, O., Doherty, P., Holmberg, K., and Olsson, P. M., "Optimal placement of UV-based communications relay nodes," *Journal of Global Optimization*, vol.48, pp.511-531, 2010.

DOI: 10.1007/s10898-010-9526-8

[11] Octane Wireless, "S-band spring base antenna 2200-2500 MHz," <https://www.octanewireless.com/product/sh-2200-2500-s-band-spring-base-antenna/>

[12] ITU-R, *Recommendations ITU-R P.525-4 Calculation of free-space attenuation*, Aug. 2019.

[13] ATDI, *Radio propagation in ATDI tools release number v6.0*, Dec. 2023.

Youngkyu Cho (Member)



2021 : BS degree in Computer Science Engineering, Inha University.

2022~present : Research Engineer, SOLVIT System Co., Ltd.

Changhyuk Cho (Member)



2000 : BS degree in Electrical Engineering, Chosun University.

2002 : MS degree in Electrical Engineering, Chosun University.

2019~present : Principal Research Engineer, SOLVIT System Co., Ltd.

BIOGRAPHY

Seongjun Jo (Member)



2021 : BS degree in Electronic Control Engineering, Hanbat National University.

2023 : MS degree in Electronic Engineering, Hanbat National University.

2023~present : Research Engineer, SOLVIT System Co., Ltd.

Jihoon Kim (Member)



2023 : BS degree in Electronic IT Convergence, Kumoh National Institute of Technology.

2023~present : Research Engineer, SOLVIT System Co., Ltd.