

급속탐색랜덤트리기법 기반의 무인 비행체 경로계획생성 최적화 연구

봉재환* · 정성균**

A Optimization Study of UAV Path Planning Generation based-on Rapid-exploring Random Tree Method

Jae-Hwan Bong* · Seong-Kyun Jeong**

요 약

무인 비행체의 활용범위가 확대됨에 따라 관련 기술의 발전과 기술 수요도 증가하는 추세이다. 무인 비행체의 운영빈도가 늘어나고 운영의 편리성이 강조됨에 따라 관련 자율비행 기술도 중요성이 주목받고 있다. 무인 비행체의 자율 비행에 있어 목적지에 도달하는 경로계획을 세우는 일은 유도제어에서 중요하며 무인화의 효과를 극대화하기 위해서는 경로계획 역시 자동으로 생성하는 기술이 필요하다. 본 논문에서는 무인 비행체의 자율운영 효과를 높이기 위해서 급속탐색랜덤트리기법으로 생성된 경로를 무인기의 특성에 맞게 최적화하는 기법에 관한 연구를 수행하였다. 최적 거리, 최단 시간, 임무점 통과 등의 지표를 달성하기 위해 경로계획을 무인 비행체의 임무 목표와 동적 특성을 고려하여 최적화하였다. 제안한 기법은 장애물 상황에 대한 성능 검증을 통해 무인 비행체 경로계획 생성에 적용 가능성을 확인하였다.

ABSTRACT

As the usage of unmanned aerial vehicles expands, the development and the demand of related technologies are increasing. As the frequency of operation increases and the convenience of operation is emphasized, the importance of related autonomous flight technology is also highlighted. Establishing a path plan to reach the destination in autonomous flight of an unmanned aerial vehicle is important in guidance and control, and a technology for automatically generating path plan is required in order to maximize the effect of unmanned aerial vehicle. In this study, the optimization research of path planning using rapid-exploring random tree method was performed for increasing the effectiveness of autonomous operation. The path planning optimization method considering the characteristics of the unmanned aerial vehicle is proposed. In order to achieve indexes such as optimal distance, shortest time, and passage of mission points, the path planning was optimized in consideration of the mission goals and dynamic characteristics of the unmanned aerial vehicle. The proposed methods confirmed their applicability to the generation of path planning for unmanned aerial vehicles through performance verification for obstacle situations.

키워드

Optimization, Path, Planning, UAV
최적화, 경로, 계획, 무인 비행체

* 상명대학교 휴먼지능로봇공학과(drhong@smu.ac.kr)

** 교신저자 : 상명대학교 휴먼지능로봇공학과

• 접수일 : 2023. 08. 16

• 수정완료일 : 2023. 09. 13

• 게재확정일 : 2023. 10. 17

• Received : Aug. 16, 2023, Revised : Sep. 13, 2023, Accepted : Oct. 17, 2023

• Corresponding Author : Seong-Kyun Jeong

Dept. of Human Intelligent Robot Engineering, Sangmyung University

Email : skjeong@smu.ac.kr

I. 서 론

무인 비행체는 군사와 농업 분야에서 사용되기 시작하여 점차 촬영, 레저, 재난구조 등으로 활용 분야가 확대되었으며 향후에는 물류, 운송에도 활발히 이용될 것으로 예상된다[1]. 따라서 무인 비행체의 활용 영역이 도심지로 확대될 것이며 관련 소요 기술의 개발도 요구되고 있다. 무인 비행체의 운용 편의성을 증진하고 이용 범위를 확대하기 위해서는 자율비행 기술이 필요하다. 무인 비행체의 경로계획부터 자동으로 생성하여 자율비행이 실현된다면 자율비행 단계는 한층 진전될 것이다[2]. 특히 도심지에서는 운행을 방해하는 장애물이 많아 이를 회피하여 경로점을 통과하고 목표 지점에 도달하는 것은 어려움이 많다. 따라서 운용의 편리성, 경로계획 생성의 어려움 등을 고려할 때 장애물을 회피하여 자동으로 무인 비행체의 경로계획을 생성하는 기술개발이 요구된다[3].

본 연구에서는 경로점과 최종 도착점이 주어졌을 때 무인 비행체의 특성을 반영하여 자율비행을 위한 최적 경로를 생성하는 기법을 제시하였다. 기존의 자동 경로계획 생성기법에서 반영하지 못한 무인 비행체의 특성을 고려하여 생성된 경로계획을 최적화하였다. 자동으로 경로를 생성하는 다양한 경로계획 생성 기술 중 급속검색랜덤트리(Rapid-Exploring Random Tree, RRT)기법으로 생성된 경로계획을 기반으로 무인 비행체의 운용 편의성과 효율성을 높이는 경로계획으로 최적화하였다.

제2장에서는 기존 경로계획생성 연구를 살펴보고 무인 비행체에 적용 시 문제점을 기술하였으며 제3장에서는 기존에 기법을 보완할 수 있는 경로계획생성의 최적화 기법을 제시하였다. 제4장에서는 제안한 기법에 대한 시뮬레이션을 실시하여 성능을 검증하였으며 마지막으로 제5장에서는 연구결과와 향후 활용방안에 대하여 정리하였다.

II. 기존 급속탐색랜덤트리기법 및 문제점

급속탐색랜덤트리를 이용한 경로계획 기법은 경로를 찾아야 하는 지도 내에서 임의로 샘플점을 생성하고 이 점들을 탐색하여 연결하며 장애물을 피해 최종

목적지까지 연결되는 경로를 찾아내는 방법이다. 장애물이 존재하는 지역의 지도에서 시작점부터 끝점까지 도달할 수 있도록 임의로 경로를 순차적으로 탐색하여 전체 경로를 생성하는 경로계획 기법이다. 랜덤하게 샘플점을 여러 개 생성하여 점과 점 사이의 공간을 검색하고 임의의 점이 장애물에 영향을 받는지를 판별하여 경로를 생성해 나간다. 이 기법은 샘플점을 무작위로 발생시키고 샘플점을 잇는 선이 장애물과 충돌하는지를 확인하여 자유공간의 구조를 효율적으로 파악한다. 임의의 점을 탐색하므로 경로계획 생성에서 경로 검색을 수행할 때마다 검색시간에 차이가 있으나 고차원적이고 다양한 장애물 상황에 대하여도 강건하게 경로계획을 생성할 수 있는 장점이 있다[4-5].

그동안 기본적인 급속탐색랜덤트리기법에 더해 단거리로 효율적인 경로를 생성하기 위한 기법들이 추가로 제안되었다. 이미 생성된 경로의 각 노드점들을 다시 검색하여 비용함수를 줄이는 경로를 재선택하는 기법인 RRT* 기법[6]이 있으며 선택된 샘플점을 간략하게 재연결하는 A*, Dijkstra 알고리즘을 접목시키는 [7-8] 등이 대표적인 급속탐색랜덤트리기법에서 파생된 기법이다. 생성된 경로를 보완하기 위한 방법들도 제안되었는데 사람의 조력을 이용하여 경로계획을 보완[9]하거나 자동차 경로를 위해서 연속성을 유지하는 스무딩 기법[10-11], 무인 비행체의 경로계획 생성을 위해 경로점을 지나치게 되는 경우 부드럽게 원래의 경로로 진입하는 방법[12]들도 제안되었다.

급속탐색랜덤트리기법은 자율주행차, 로봇, 우주탐사, 무인 비행체 등 경로계획이 필요한 많은 분야에서 사용이 가능하지만 기존의 방법들을 무인 비행체에 그대로 적용하였을 경우에는 무인 비행체의 동적 특성을 반영하지 못하는 문제점이 발생한다.

첫 번째는 급속탐색랜덤트리기법은 임의로 샘플링한 점과 점 사이를 연결하는 것을 기본으로 하고 있어 샘플링된 점 이외의 점을 이용하여 최적화하지 않아 경로 길이가 길어진다.

두 번째는 무인 비행체의 속도를 고려하지 않으므로 경로 계획상의 무인 비행체의 회전 반경이 경로상에 반영되지 않는다. 샘플링된 점을 통과하기 위해서는 무인 비행체는 속도를 감속해야 하며 그만큼 임무시간이 늘어나게 된다. 기존에 무인 비행체 경로를 곡선 주행으로 바꾸는 경우도 경로점을 지나친 다음 원

래 경로로 복귀하는 방법에서만 연구되었다.

세 번째로 임무를 위해 통과해야 하는 경로점이 늘어날 경우 기존의 기법으로는 경로가 길어지고 운행 시간이 길어져 연료 소비가 늘어나 운영 효율성이 떨어지는 문제점이 발생한다. 기존의 기법들은 장애물의 회피에 중점을 두고 있어 특정 위치까지 도달하는 최적의 경로를 선호하고 동시에 임무 지점을 반드시 통과해야 하는 무인 비행체의 운영과 임무를 고려하지 않기 때문이다.

본 연구에서는 이러한 문제점을 극복하기 위해 무인 비행체의 운영에 최적화된 경로계획을 목표로 두고 효율성을 극대화하는 방안을 연구하였다. 기존의 샘플링된 점에서 벗어나 기존 기법으로 생성된 경로에서 추가점들을 고려하여 경로를 단축시켰으며 무인 비행체의 동적 특성이 반영될 수 있도록 경로를 수정하여 제시함으로써 속도 감속 없이 무인 비행체가 경로점에 빠르게 도달하도록 하였으며 여러 임무 지점을 통과해야 하는 경우에도 임무 지점을 효율적으로 통과하는 방법을 제시하였다. 이에 따라 운영시간을 절약하고 경로 거리를 줄임으로써 기존의 기법을 최적화하는 기법을 제안하였다. 무인 비행체의 특성을 반영하여 최적화된 경로계획을 생성하고 증가된 효율성을 정량화하여 분석하였다.

III. 경로계획생성 최적화 기법

3.1 급속탐색랜덤트리기법 기반 경로 단축

급속탐색랜덤트리기법은 검색공간에서 노드점의 무작위 샘플링을 통해 트리구조를 구성한다. 공간에서의 트리는 초기 상태인 $init\ z$ 에서 시작하여 점점 확장해 가며 최종 목표 상태인 $goal\ z$ 를 향한 경로를 찾아간다. 경로점을 반복해서 확장해 가며 트리구조는 점차 확장된다. 경로를 생성하는 동안 $rand\ z$ 가 선택되고 임의의 상태 구성 공간 Z 에서 무작위 표본인 $rand\ z$ 가 장애물이 없는 지역이면 가장 가까운 노드를 선택하게 된다. 이때 노드를 검색은 일정한 규칙에 따라 검색이 이루어진다. 가장 가까운 노드점과 연결에 문제가 없으면 트리구조에서 이 노드와 연결하고 이어서 새로운 노드에 연결이 이루어진다. 만약 트리구조에 맞지 않는다면 다른 새로운 노드 $new\ z$ 를 설정하

고 해당 노드의 트리구조 생성 가능 여부를 판단하여 트리구조를 확장해 나간다.

가까운 지역에서의 장애물과의 충돌 검사 과정은 트리 간의 충돌 없는 연결을 보장하기 위해서 수행되며 트리구조의 확장은 새로운 노드를 찾은 이후에도 정해진 시간까지 노드의 생성 과정을 반복해서 수행한다. 각 노드점 마디의 확장기법은 표 1에 나와 있으며 확장 과정은 그림 1에 나타나 있다[6].

표 1. 급속탐색랜덤트리기법[6]
Table 1. RRT Algorithm[6]

Step	Algorithm $T=(V,E) \leftarrow RRT(z_{int})$
1	$T \leftarrow InitializeTree();$
2	$T \leftarrow InsertNode(\Phi, z_{int}, T);$
3	for $i=0$ to $i=N$ do
4	$z_{rand} \leftarrow Sample(i);$
5	$z_{nearest} \leftarrow Nearest(T, z_{rand});$
6	$(z_{new}, U_{new}) \leftarrow Steer(z_{nearest}, z_{rand})$
7	if $Obstaclefree(z_{new})$ then
8	$T \leftarrow InsertNode(z_{min}, z_{new}, T);$
9	return T

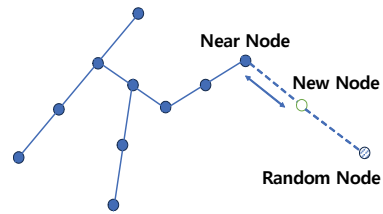


그림 1. 트리구조 확장 과정[6]
Fig. 1 Tree Expansion Process[6]

급속탐색랜덤트리기법은 장애물에 노드의 연결선이 영향을 받지 않으면 노드를 연결하고 최종 목표 지점으로 트리구조를 연결하기 때문에 목표 지점에 이르는 경로를 찾는 데는 강건한 기법이나 최적의 경로를 보장하지 않는다. 따라서 급속탐색랜덤트리기법으로 생성한 경로를 기반으로 경로를 단축하는 기법을 제안한다.

최종 생성된 노드점들을 잇는 모든 연결선의 중앙점을 선택하고 초기 상태 $init\ z$ 에서부터 각 중앙점을 연결한다. 만약 이 연결선에 장애물이 있으면 해당하는 중앙점은 제외하고 연결이 가능한 중앙점 중 가장 멀리 있는 중앙점을 선택하고 이를 최단 거리로 연결

한다. 도착한 중앙점을 다시 시작점으로 최종 목표 지점까지 남아 있는 중앙점을 연결하여 다시 최단의 경로를 선택한다. 같은 방법으로 연결선이 최종 목표 지점에 도착할 때까지 반복하여 최종 경로를 생성한다. 이러한 기법으로 경로계획을 생성할 경우 기존의 급속탐색랜덤트리기법으로 생성한 경로계획보다 경로가 단축되고 직진성이 강한 경로를 생성할 수 있다. 그림 2는 급속탐색랜덤트리기법으로 생성된 경로와 각 노드점에서 제한한 방법을 이용하여 경로를 단축한 알고리즘의 개념을 보여주고 있다.

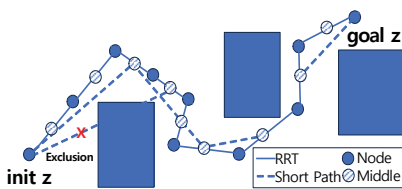


그림 2. 경로계획 단축 알고리즘
Fig. 2 Path Planning Shortening Algorithm

3.2 무인 비행체 특성 반영 경로계획 최적화

무인 비행체의 경로상에 직선과 직선이 만나는 꺾인 점이 존재하면 무인 비행체의 제어 과정에서 경로 오차가 발생하기 쉽고 해당 경로로 정밀하게 유도하기 위해서는 무인 비행체의 속도를 줄여야 한다. 이런 경우 무인 비행체가 전체 임무를 완료하는데 걸리는 시간이 길어지고 이에 따른 비용도 증가하게 된다. 이러한 관점에서 무인 비행체의 운영 효율성을 향상하기 위해 무인 비행체의 특성을 반영하여 경로계획을 최적화하였다.

급속탐색랜덤트리기법으로 생성된 경로를 단축시킨 후 단축 경로상에서 꺾인 점을 목표 지점에 도착하기 위한 유도점과 임무를 수행하기 위한 통과점으로 구분하였다. 유도점은 목표 지점까지 도달하기 위한 점으로 무인 비행체가 반드시 지나지 않아도 되는 점이며 통과점은 해당 지점에 임무가 있어 무인 비행체가 반드시 지나야만 하는 점이다. 각각의 지점에서 경로계획을 최적화하여 무인 비행체를 위한 경로를 재수립하였다.

유도점에서의 경로는 경로계획 상의 꺾인 점을 곡선화하는 방법으로 이루어졌다. 만나는 두 직선의 예각 방향으로 회전 반경을 고려한 곡선으로 경로를 생

성하되 장애물에 영향을 받지 않도록 경로를 생성하였다. 그림 3은 유도점에서의 경로 최적화 방법을 보여주고 있다.

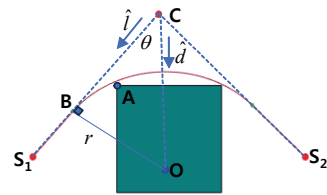


그림 3. 유도점에서의 경로 최적화
Fig. 3 Path Optimization for Guidance Point

그림 3에서 A는 장애물 상의 점, B는 최적 경로 시작점, C는 유도점, O는 최적 경로 원의 중심이다. \hat{i} 는 C에서 O로의 단위벡터이며 i 은 C에서 B로의 단위벡터, θ 는 두 벡터의 사잇각이다. 기존 경로는 S_1 에서 C를 거쳐 S_2 에 도달하는 경로이나 무인 비행체의 운항 특성을 향상하기 위해 B지점에서 기존 경로에 접하는 곡선 경로를 생성하였다. 이때 장애물과는 최적 경로가 겹치지 않게 경로를 생성하여야 한다.

점 B, C, O의 관계에서 길이를 나타내는 k 와 n 변수를 도입하면 식 (1)과 같이 쓸 수 있다.

$$\overline{CO} = k\hat{d}, \overline{CB} = n\hat{i} \quad \dots (1)$$

따라서, 구하고자 하는 점 O와 점 B는 식 (2)와 식 (3)과 같이 쓰여진다.

$$O = C + \overline{CO} = C + k\hat{d} \quad \dots (2)$$

$$B = C + \overline{CB} = C + n\hat{i} \quad \dots (3)$$

원의 반지름은 식 (4)와 같고 이 조건을 이용하면 식 (5)의 조건이 성립한다.

$$r = \overline{AO} = \overline{BO} \quad \dots (4)$$

$$|C + k\hat{d} - A| = k \sin \theta \quad \dots (5)$$

이 조건에서 k 를 계산하면 무인 비행체가 유도점 근

처를 곡선으로 통과하는 최적 경로를 도출할 수 있다.

다음은 통과점에 대한 최적화를 수행하였다. 임무 지점인 통과점은 해당 지점을 무인기가 반드시 지나야 한다. 통과점은 기존의 경로에서 원형 반경으로 우회한 다음 다시 원형 반경을 통해 통과점을 지나가도록 설계하였다. 무인 비행체의 속도를 떨어뜨리지 않고 통과점을 지나가기 위해서는 각 원의 접선이 동일하여야 한다. 그림 4는 통과점에서의 경로 최적화 방법을 보여주고 있다.

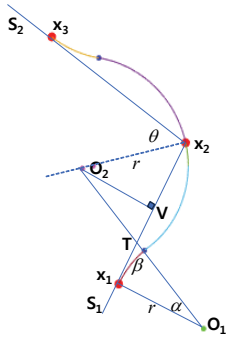


그림 4. 통과점에서의 경로 최적화
Fig. 4 Path Optimization for Way Point

그림 4에서 통과점은 x_2 이며 무인 비행체는 반드시 통과점을 지나야 한다. 기존 경로는 S_1 을 시작해서 x_2 를 거쳐 S_2 에 도달하는 경로이다. 따라서 통과점을 속도 감소 없이 통과하기 위해 곡선의 최적 경로를 설정하였으며 x_1 에서 곡선 경로를 시작해서 x_3 에서 곡선 경로를 끝마치게 된다. 곡선반경의 연속성을 위해서 두 개의 원형 반경을 통과하여야 하며 O_1 과 O_2 는 두 반경의 중심이다. 두 반경의 반지름 r 을 같게 설정하여 무인 비행체가 동일한 속도를 경로를 통과할 수 있도록 하였다. T 는 O_1 과 O_2 를 잇는 직선과 기존 경로와의 교점이며 α , β , θ 는 각 위치에서의 사잇각이다.

기하학적 형상에 의해 각 변의 길이는 식 (6) ~ 식 (9)과 같고 각 변의 합은 식 (10), 식 (11)과 같은 식으로 표현된다.

$$\overline{x_1T} = r \tan \alpha \quad \dots (6)$$

$$\overline{TO_2} = 2r - \frac{r}{\cos \alpha} \quad \dots (7)$$

$$\overline{TV} = \overline{TO_2} \sin \alpha \quad \dots (8)$$

$$\overline{Vx_2} = r \cos \theta \quad \dots (9)$$

$$\overline{x_1x_2} = \overline{x_1T} + \overline{TV} + \overline{Vx_2} \quad \dots (10)$$

$$\overline{x_1x_2} = r \tan \alpha + \left(2r - \frac{r}{\cos \alpha} \right) \sin \alpha + r \cos \theta \quad \dots (11)$$

삼각형 O_2x_2T 에서 식 (12)와 같은 식이 유도되고 식 (11)과 연립하면 식 (13)과 같은 식을 구할 수 있다.

$$\overline{O_2V} = \overline{TO_2} \cos \alpha = \overline{O_1x_2} \sin \theta \quad \dots (12)$$

$$r = \frac{\overline{x_1x_2}}{\sqrt{(3 + \sin \theta)(1 - \sin \theta) + \cos \theta}} \quad \dots (13)$$

원의 반지름이 계산되면 O_1 은 x_1 점으로부터 수직이며 r 만큼의 거리에 떨어져 있는 점을 구하고 O_2 는 x_2 점으로부터 각을 이분하여 r 만큼의 거리에 있는 점으로 계산되어 최적 경로를 도출할 수 있다.

종합하면 무인 비행체가 장애물이 있는 지역에 경로계획을 생성하기 위하여 먼저 급속탐색랜덤트리기법으로 경로를 생성하고 생성된 노드점들 사이의 중앙점을 산출한다. 이들 중앙점 사이에서 단축 경로를 생성한다. 이후 무인 비행체의 운동 특성을 반영하여 운항을 원활하게 하기 위해 유도점 최적화, 통과점 최적화를 수행해 최종적인 최적화 경로계획을 도출한다. 제안한 기법을 사용하여 무인 비행체의 경로계획을 생성할 경우 무인기는 각 경로를 통과할 때 속도의 큰 감소 없이 전체 경로를 운항할 수 있어 운항 거리와 시간을 단축할 수 있다.

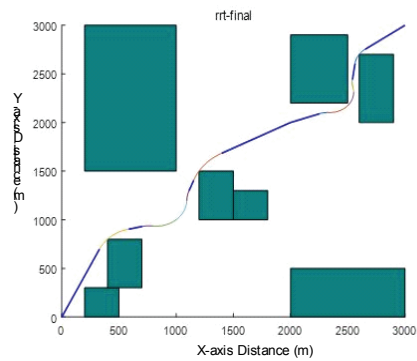
IV. 경로계획 최적화 기법 성능 검증

제안한 기법의 성능을 검증하기 위하여 가상의 장애물 지역에서 경로계획을 생성하는 시뮬레이션을 수행하였다. 생성된 경로계획의 거리와 시작점부터 임무 지역까지의 운항 시간을 중심으로 분석이 이루어졌다. 시

물레이션은 DJI사의 무인 비행체 Phantom 4 성능 사양을 기반으로 수행하였으며 임의의 장애물 환경에서 생성된 경로계획 거리와 전체 운항 시간을 비교하였다. 시물레이션은 수치해석프로그램을 이용하였으며 도심 환경을 고려한 장애물을 임의로 설정하고 통과점을 중간지점에 1개 배치하여 시물레이션을 수행하였다. 기존 급속탐색랜덤트리기법을 이용한 방법과 제안 알고리즘을 순차적으로 적용한 기법의 성능을 비교하였다. 표 2는 Phantom 4의 성능 사양을 보여주고 있다.

표 2. Phantom 4 성능 사양
Table 2. Phantom 4 Specifications

Parameter	Specification
Weight	1380 g
Max. Speed	20 m/s
Battery	6000 mAh LiPo 2S
Max. Up Speed	6 m/s
Max. Down Speed	4 m/s
Max. Operation Range	28 min

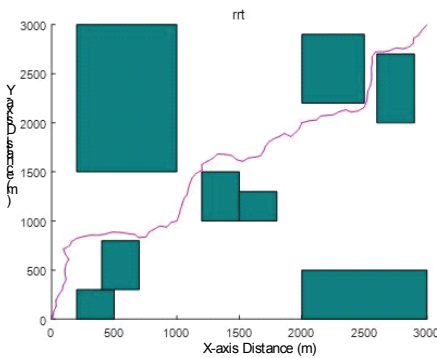


(c) Path Optimization
그림 5. 적용 기법 별 경로계획
Fig. 5 Path Planning by Applied Methods

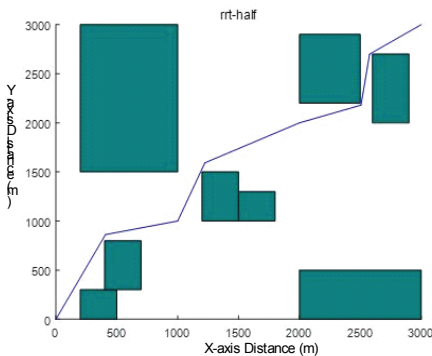
그림 5는 적용 기법별로 수립된 경로계획을 보여주고 있다. 그림 5(a)는 급속탐색랜덤트리기법만을 적용하여 시작점에서 끝점까지의 경로계획을 표시한 그림이며 그림 5(b)는 단축 기법을 적용한 경로계획이다. 그림 5(c)는 유도점과 통과점 최적화 기법을 적용한 경로계획이다. 단축 기법을 적용했을 경우 무인 비행체의 경로가 짧아짐을 확인할 수 있으며 최적화 기법을 적용하면 무인 비행체가 이동하기 용이하도록 곡선 형태의 경로가 생성됨을 확인할 수 있다.

그림 6은 수립된 각 경로를 따라 무인 비행체를 운용했을 때 운항 속도, 거리 및 시간을 나타낸 그림이다. 그림 6(a)의 기존 급속탐색랜덤트리기법에서는 경로상에 꺾인 점이 많아 경로를 따라 운항하기 위해서는 속도 변화가 심하며 총 거리는 5,226.57m, 운항 시간은 562초가 소요되었다. 단축 기법을 적용한 그림 6(b)에서는 거리가 단축되고 노드점이 줄어들어 따라 총 거리는 4,424.60m로 줄어들고 운항 시간은 259.94초로 단축되었다. 최적화 기법까지 적용한 그림 6(c)에서는 곡선 경로를 주행하여 속도 변화가 거의 없으며 4,647.76m로 운항 거리는 단축 기법보다 다소 늘어났으나 238.84초로 운항 시간이 더욱 단축되었다.

이상의 검증 시물레이션에서 최적화 기법을 모두 적용하였을 때 운항 시간이 단축되고 경로 특성상 무인 비행체의 유도제어가 용이해 짐을 확인할 수 있었다. 제안한 기법을 활용할 경우 도심지와 같이 장애물이 산재하는 환경에서 자동으로 경로를 생성하고 최적의 경로계획 수립이 가능하다. 운항 시간 관점에서



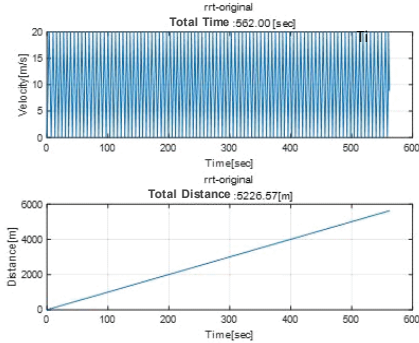
(a) RRT



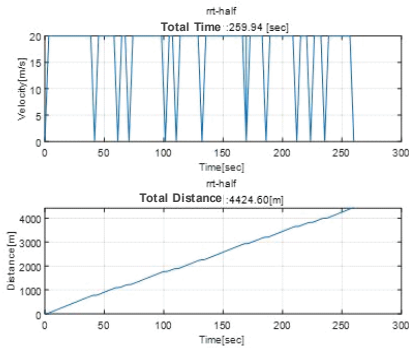
(b) Short Path

경로 최적화시 시간이 단축되어 제안 방법이 무인 비행체의 운항 효율성을 증가시킨다는 것이 검증되었다.

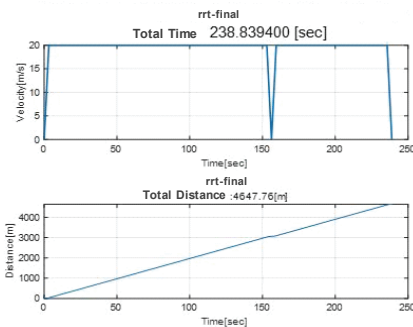
제안한 기법은 급속탐색랜덤트리기법을 기반으로 하여 다양한 환경에서 시작점과 목표점을 잇는 경로를 도출할 수 있는 강건한 특성을 갖고 있으며 기존 기법에서 발생할 수 있는 비효율적 경로를 효율적으로 재변환하여 효율적 운항을 극대화하였다. 재수립된 경로계획은 운항 시간을 단축하고 제어 특성을 향상시켜 운항 편리성을 증가시키고 운용비용을 줄이는 효과가 있을 것으로 보인다.



(a) RRT



(b) Short Path



(c) Path Optimization

그림 6. 적용 기법별 운항 속도, 거리, 시간
Fig. 6 Operation Velocity, Distance, and Time by Applied Methods

V. 결론

무인 비행체의 활용도를 높이기 위해 자율운행에 대한 기술개발이 다양한 형태로 이루어지고 있으며 자율운행을 효율적이고 편리하게 관리하기 위해서는 무인 비행체의 경로계획을 생성하는 단계에서부터 자동화, 무인화가 이루어져야 한다. 본 연구에서는 도심지 등에서 장애물이 존재할 때 장애물을 회피하여 임무를 완수할 수 있는 무인 비행체의 경로를 생성하고 최적화하는 기법에 관한 연구를 수행하였다. 기존의 경로계획에서 경로를 단축하고 무인 비행체 특성에 맞는 최적화를 수행하여 운항 거리, 운항 시간 등의 면에서 효율성을 높였다. 제안한 기법으로 무인 비행체의 운항 거리와 시간을 단축시킴에 따라 연료 소비를 줄이고 여러 대의 무인 비행체가 동시에 운영될 경우 운영공간을 확보하는 등 부수적인 이득도 얻을 수 있다. 따라서 도심지 등에서 무인 비행체가 다양하게 이용되어 운행빈도가 높아진다면 제안기법의 활용도가 더욱 증가할 것으로 예상된다.

향후 연구내용을 확장하여 3차원 장애물에 대한 경로계획생성이 이루어진다면 보다 실제 환경에 가깝게 제안기법을 검증할 수 있을 것이며 다양한 장애물 환경에 제안기법을 적용하여 제안기법의 성능 검증도 가능할 것이다.

감사의 글

본 연구는 2022학년도 상명대학교 교내연구비를 지원받아 수행하였음.

References

[1] J. Bong and S. Jeong, "Operation Availability Analysis Model Development for High Altitude Long Endurance Solar Powered UAV," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 17, no. 3, 2022, pp. 433-440.

[2] Y. Zhao, S. Cen, S. Seong, J. Hur, and C. Lim, "Path Planning with Obstacle Avoidance Based on Double Deep Q Networks," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 18, no. 2, 2023, pp. 231-240.

[3] O. Mechali, L. Xu, and M. Wei, "UAV Path Planning : Technical Report," *Technical Report*, 2018, pp. 1-12.

[4] J. Kang, D. Lim, Y. Choi, W. Jang and J. Jung, "Improved RRT-Connect Algorithm Based on Triangular Inequality for Robot Path Planning," *Sensors*, vol. 21, no. 2, 2021, pp. 1-32.

[5] E. Dhulkefl and A. Durdu, "Path Planning Algorithms for Unmanned Aerial Vehicles," *International Journal of Trend in Scientific Research and Development*, vol. 3, no. 4, 2019, pp. 359-362.

[6] I. Noreen, A. Khan, and Z. Habib, "A Comparison of RRT, RRT* and RRT*-Smart Path Planning Algorithms," *International Journal of Computer Science and Network Security*, vol. 16, no. 10, 2016, pp. 20-27.

[7] C. Zammit and E. Kampen, "Comparison Between A* and RRT Algorithms for 3D UAV path planning of UAVs," *Unmanned System*, vol. 10, no. 2, 2022, pp. 129-146.

[8] J. Amin, J. Bokovic, and R. Mehra, "A Fast and Efficient Approach to Path Planning for Unmanned Vehicles," *AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference and Exhibit*, Keystone, USA, 2012, pp. 1-9.

[9] S. Mehta, C. Ton, M. McCourt, Z. Kan, E. Doucette, and W. Curtis, "Human-assisted RRT for Path Planning in Urban Environments," *2015 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, Hong Kong, China, 2015, pp. 941-946.

[10] X. Lan and S. Cairano, "Continuous Curvature Path Planning for Autonomous Vehicle Maneuvers Using RRT*," *2015 European Control Conference*, Linz, Austria, 2015, pp. 2360-2365.

[11] R. Seif and M. Oskoei, "Mobile Robot Path Planning by RRT* in Dynamic Environments," *International Journal of Intelligent Systems Technologies and Applications*, vol. 7, no. 5, 2015, pp. 24-30.

[12] M. Kothari, I. Postlethwaite, and D. Gu, "Multi-UAV Path Planning in Obstacle Rich Environments Using Rapidly-exploring Random Trees," *Joint 48th IEEE Conference on Decision and Control and 28th Chinese Control Conference*, Shanghai, China, 2009, pp. 3069-3074.

저자 소개

봉재환(Jae Hwan Bong)



2012년 고려대학교 기계공학과 졸업(공학사)
 2014년 고려대학교 대학원 기계공학과 졸업(공학석사)

2020년 고려대학교 대학원 기계공학과 졸업(공학박사)
 2020년 3월 ~ 2020년 8월 RA, MMMI, University of Southern Denmark
 2020년 9월 ~ 현재 상명대학교 조교수
 ※ 관심분야 : Robotics, Human-Robot Interface, Bio-signal, Data-Driven Control, Deep Learning

정성균(Seongkyun Jeong)



2003년 서울대학교 기계항공공학부 졸업(공학사)
 2005년 서울대학교 대학원 기계항공공학부 졸업(공학석사)

2020년 한국과학기술원(KAIST) 대학원 항공우주공학과 졸업(공학박사)
 2005년 ~ 2016년 한국전자통신연구원 선임연구원
 2016년 ~ 2020년 과학기술정보통신부 사무관
 2020년 ~ 현재 상명대학교 부교수
 ※ 관심분야 : 위성항법, 비행동역학, 제어