

지형 충돌 회피 및 기동성을 고려한 무인기 경로점 고도계획

임인근*, 나성웅**

Waypoints Altitude Planning for Terrain Collision Avoidance and Maneuverability of an Unmanned Aerial Vehicle

In-Geun Lim*, Sung-Woong Ra**

요 약

무인비행체의 2차원 경로가 주어진 상황에서 지형과 충돌되지 않으면서, 특정 임무 수행 구간에서는 정해진 고도로 비행하고, 고도 조건이 없는 구간에서는 최대한 지형과 근접하여 비행할 수 있도록 경로점 고도를 계획하는 방법에 대해 제안한다. 계획자가 수동으로 지정하는 기존방법은 계획자의 경험과 직관에 의존하는 방법으로 매번 결과가 달라지고, 시간이 많이 소요되는 단점이 있었다. 최근에 자동 고도 계획 방법이 제안되었으나 지형 충돌 방지를 위해 긴 거리를 높은 고도로 비행하도록 계획하는 방법이므로 저고도 비행이 요구되는 임무를 수행하기에는 적합하지 않다. 제안한 방법은 경로점과 경로점간의 예상 비행고도를 계산하여 지형과의 관계에 따라 7가지 경우로 나누고, 각각의 경우에 따라 무인비행체의 기동성을 확인하고 경로점 고도를 조정하는 알고리즘을 개발하여 고도계획 과정을 자동화하였다.

Abstract

We propose a method to plan the waypoints altitude so that the unmanned aerial vehicle can fly without collision with the terrain, fly at a given altitude in a specific mission performance section, and fly as close to the terrain as possible in the case of no altitude condition. Conventionally, the planner mainly used the method of manually designating the altitude of each of the waypoints, but it has a disadvantage that the results are different each time and it takes a lot of time. Recently, an automatic altitude planning method has been proposed, but it is a planning to fly a long distance at a high altitude to prevent terrain collision. Therefore, it is not suitable for performing missions where low altitude flight is required. We check the possibility of terrain collision by comparing the terrain elevation with the expected flight altitude in a segmentation. If there is a risk of terrain collision, adjust the waypoint altitude value in different ways according to the seven cases to raise the altitude only for the minium interval. The range of elevation or descent altitude was calculated by the distance of the front and rear waypoints. The waypoint altitude is finally determined by taking into account the altitude of the terrain as well as the maneuverability of the UAV.

Keywords

waypoint altitude planning, terrain collision, flight trajectory, terrain elevation data, Maneuverability

* 국방과학연구소 연구원(교신저자)
- ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8932-4559>
** 충남대학교 전자전과정보통신공학과 교수
- ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1708-3186>

· Received: Aug. 14, 2018, Revised: Sep. 12, 2018, Accepted: Sep. 15, 2018
· Corresponding Author: In-Geun Lim
Agency for Defense Development, Yuseong P.O. Box 35-1,
Daejeon, 34186, Korea,
Tel.: +82-42-821-2762, Email: limingeun@gmail.com

I. 서 론

이동형 무인 플랫폼 및 관련 센서 기술의 발달로 무인기에 대한 군사용 목적뿐만 아니라, 민수용으로의 활용 가치가 증가되고 있다. 감시정찰, 재난 구조, 환경 변화 모니터링, 소형무인비행체를 이용한 택배 시스템 개발까지 그 활용 영역이 점점 다양해지고 있다. 따라서 이러한 임무를 수행하기 위한 경로계획 알고리즘의 연구가 활발하게 진행되었다. 대표적인 경로계획 방법으로 그리드 기반 방법인 Dijkstra[1][2], 보르누이 다이어그램[3], 경로 최적화[4], 유전 알고리즘(Genetic Algorithm)[5], 신속한 경로생성 연구[6] 등이 진행되었다. 특히, 무인자상로봇의 발달로 2차원 경로계획에 대한 연구결과는 이미 다양한 분야에 적용되어 사용되고 있다.

대부분의 경로계획 연구의 관심이 2차원 평면에 한정되어 있었으나, 최근에 3차원 건물 복원, 도심 감시, 환경 모니터링 등으로 다양한 분야에서 활용성이 높아짐에 따라 2차원 경로 계획 뿐만 아니라, 경로에 따른 비행고도 계획이 중요한 문제로 대두되고 있다. 무인기를 이용하여 도심 건물의 구조를 촬영하고자 하는 분야[7], 군사용 정찰을 위해 레이더 등에 의해 탐지되지 않도록 비행할 필요가 있는 분야[4], 무인기 탑재 센서의 효과적인 임무 수행을 위한 최적 고도가 고정되는 경우에는 비행경로에 대한 고도계획 결과가 임무 성공을 결정하는 중요한 요소가 된다. 2차원 경로와 임무를 수행해야 할 구간이 결정된 후, 고도 계획을 잘못하여 지형과 충돌하게 되거나 기동성의 한계로 계획대로 비행하지 못하게 된다면 이후 임무 수행이 불가능하기 때문이다. 경로계획이 3차원 공간으로 확장되면서 비행기동성 및 지형지물과의 충돌 방지, 적용분야에 따른 비행 제한 조건 등에 대해 종합적으로 고려하는 고도계획이 중요해지고 있으나, 대부분 충돌에 대한 메시지를 보고 수정하는 방법을 사용하고 있다[8]. 활용분야에 따라 경로에 대한 요구 조건이 다양하여, 알고리즘화하여 자동으로 고도를 조정하는 것이 쉽지 않기 때문이다.

본 논문에서는 무인비행체의 2차원 경로가 주어 진 상황에서 지형과 충돌되지 않으면서, 특정 임무

수행 구간에서는 정해진 고도로 비행하고, 고도 조건이 없는 구간에서는 최대한 지형과 근접하여 비행할 수 있도록 경로점의 고도를 계획하는 방법에 대해 제안한다.

2장에서는 기존의 방법 및 특정 임무를 수행하는 무인비행체의 비행고도 조건을 충족하는 고도를 계획하기에 부적합한 이유를 기술한다. 3장에서는 특정 고도 조건을 고려하면서도 지형 충돌없이 비행하며 지형에 근접해서 비행할 수 있는 제안한 방법에 대해 자세히 기술한다. 4장에서는 컴퓨터 시뮬레이션 및 실제 무인비행체의 경로계획시스템에 포함하여 제안한 방법으로 고도를 계획하여 실용성을 확인한 내용을 포함한다. 5장에서는 제안방법에 대한 결론을 맺고, 적용 분야 및 향후 추가 연구분야를 기술한다.

II. 기존 방법

무인비행체가 저고도로 비행해야 하는 조건에서 비행구간의 지형이 복잡하거나, 산봉우리처럼 급격히 변하는 구간이 있는 구간을 비행해야 할 경우, 비행 중 충돌이 발생할 수 있다. 이를 방지하기 위하여 Shin 등[9]은 2차원 경로점이 지정되었을 때, 경로점과 경로점 사이의 지형을 분석하여 지형의 최고고도로 비행하도록 하는 방법을 제안하였다. 그러나 이는 비행하는 곳의 지형지물의 고도가 복잡하지 않고 단순한 곳에서 적용 가능하며, 충돌방지 방법으로 경로점과 경로점 구간 전체를 최대지형고도보다 높게 설정해주는 방법이므로, 한 구간의 비행거리가 긴 경우, 충돌을 회피하기 위해 긴 구간을 고고도로 비행하는 결과를 초래한다. 따라서, 이 방법은 사용할 수 있는 고도 범위가 제한되는 상황이나, 지형지물에 근접하여 비행하고자 하는 요구가 있는 비행계획에는 적용이 불가능한 방법이다.

가장 많이 사용하고 있는 고도계획 방법은 계획자가 개입하여 고도값을 지정해주는 방법이다. 2차원 경로를 자동으로 생성한 후, 계획자의 경험과 직관에 의해 경로점 고도값을 수치로 입력한 후, 비행 궤적 시뮬레이션을 통해 예상되는 비행궤적을 확인하고 비행에 문제가 있으면 고도값을 재설정한다.

GUI 프로그램의 발달로 가시화된 경로를 보며 화면에서 경로점을 조정하는 방법[10]으로 발전해오긴 했으나, 시행 착오를 반복하고, 계획자에 의존하는 방법이다. 또한, 계획자 개입 방법은 계획자에 따라 결과가 달라질 수 있고, 계획된 경로의 지형상황과 임무 조건 등에 따라 시간이 더 많이 소요될 수 있다. 즉, 3차원 경로계획시 2차원 경로계획에 걸리는 시간보다 경로점의 고도값을 조정하기 위해 더 많은 시간이 소요되는 단점을 갖고 있다.

III. 제안한 경로점 고도계획 방법

3.1 경로점 유도 비행 및 용어정의

비행 중 원격 제어를 받지 않는 자동비행시스템에 의해 비행하는 무인비행체는 이륙 전 단계에의 비행경로와 특정 구간에서 수행해야 할 임무를 계획하는 경로계획 결과가 무인비행체의 임무 성공 여부에 큰 영향을 미친다. 비행체는 지형충돌로 인해 더 이상 임무수행이 불가능하게 되는 상황이 발생하지 않아야 하며, 표 1과 같이 특정 임무를 위해 제한된 고도조건이 주어진 경우는 경로점 고도계획 단계가 복잡하다.

표 1은 주어진 고도계획 요구조건이다. 대상이 되는 무인비행체는 주어진 경로점을 통과하는 유도 방식을 사용하며, 비행경로의 방향을 변경하기 위해서는 선회시작경로점과 선회종료경로점을 두어 방향을 변경하는 등반경 선회유도방식을 비행한다. 표 2는 논문에서 사용하는 용어에 대한 설명이다.

표 1. 고도계획 요구조건

Table 1. Requirements of altitude planning

1	Only the flight altitude should be changed without changing the trajectory.
2	Do not collide with terrain during flight.
3	Flight segments that perform certain missions must be planned to fly at the designated altitude. The maneuverability of the UAV must be satisfied.
4	Waypoint altitude should be planned to fly close to the terrain.

표 2. 용어 설명

Table 2. Term description

Safety Height	오차를 고려한 지형으로부터 최소 이격하여 안전하게 비행하고자하는 고도
Maximum Terrain Height	주어진 반경 범위 이내에서 최대 높은 지형의 고도
Digital Terrain Elevation Data	지형의 고도값을 일정한 간격으로 수치화해놓은 자료

3.2 경로점 고도계획

비행해야 할 2차원 경로점의 위치가 주어진 상황에서 지형충돌이 없고, 기동에 문제가 없으며, 특정 구간에서 정해진 고도로 비행하며 임무를 수행할 수 있도록 모든 경로점에 대한 고도를 계획하는 제안한 방법의 순서도는 그림 1과 같다. 초기 경로점 고도로 비행계획을 계산하여 지형충돌 및 기동이 불가능한 지점을 구간별로 탐색하고, 비행에 문제가 없도록 초기 고도를 수정하는 방법으로 계획한다.

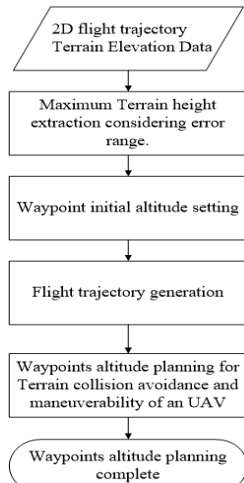


그림 1. 경로점 고도계획 순서도

Fig. 1. Flowchart of waypoint altitude planning

3.2.1 비행오차 고려한 지형고도 추출

2차원의 경로점 위치가 지정되었을 때, 그림 2와 같이 비행시 계획된 경로점으로부터 발생할 수 있

는 오차를 고려한 최대지형고도를 추출한다. 이 오차범위는 비행체의 항법성능과 수치지형자료 오차 등을 고려하여 모델링되는 값이다. 경로점 유도법칙 적용 비행이며, 경로점과 경로점의 거리가 지구곡률을 무시할 수 있으므로, 선회구간을 제외한 직선으로 비행하는 구간은 두 경로점을 연결하는 선을 따라 비행하는 것으로 볼 수 있다. 따라서 2차원 비행 궤적은 두 경로점을 잇는 선 위에 있는 위치들을 원하는 샘플링 간격으로 추출하여 산출한다. 선회구간은 선회반경을 내접원으로 하는 호의 위치를 계산하여 선회구간을 지날 때의 위치를 계산한다.

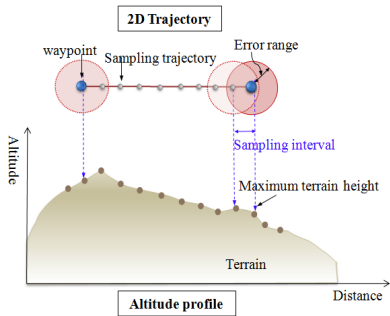


그림 2. 오차범위를 고려한 최대지형고도 추출
Fig. 2. Maximum terrain height extraction considering error

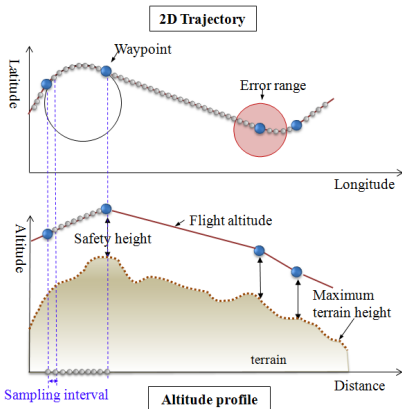


그림 3. 비행거리에 따른 지형 및 비행 고도 프로파일
Fig. 3. Terrain and flight altitude profiles based on flight distance

3.2.2 경로점 초기고도 설정

경로점의 초기고도값은 경로점 위치에서의 오차 범위를 고려한 최대지형고도에 그 고도로부터 이격하고자 하는 안전고도 차이만큼을 더한 값으로 설정한다. 경로점의 초기고도 값대로 비행이 가능하다면 비행고도는 경로점 통과 유도방식에 의해 고도 축에서 경로점과 경로점을 연결하는 고도로 비행하는 것으로 예상할 수 있다. 따라서 그림 3에서와 같이 비행 전 구간에 대한 지형고도프로파일과 경로점으로부터 예측한 비행궤적에 따른 비행고도프로파일을 계산할 수 있다.

3.2.3. 충돌 및 기동성 고려한 경로점 고도계획

앞 단계에서 계산된 경로점과 경로점을 연결하는 선은 비행고도 관점에서 분석해 볼 필요가 있다. 경로점 초기 고도값에 대해 경로점간의 고도변화가 기동성 관점에서 상승, 하강이 가능한 고도차이인지와 상승, 하강 비행 중 지형충돌 여부를 확인해야 한다. 이를 확인하는 과정과 조건 불만족시 고도를 조정하는 순서도는 그림 4와 같다.

첫 번째 과정으로, 생성된 비행궤적과 최대지형고도를 비교하여 원하는 안전고도를 불만족하는 구간이 있는지 확인한다. 이 때, 한 경로점과 다음 경로점을 비행하는 궤적을 하나의 구간으로 나누어 비행순서대로 확인과정을 진행한다. 부호 표기 의미는 표 3과 같다.

표 3. 부호 표기 의미
Table 3. Meaning of symbol notation.

WP_i	(i) th waypoint
H_{dr}	safety height
H_i	Height of (i) th waypoint
H_{i+1}	Height of ($i+1$) th waypoint
H_L	Height at maximum lack position (L) of safety height.
H'_L	minimum height to guarantee safety height at (L)
H_{Lmax}	Maximum terrain height

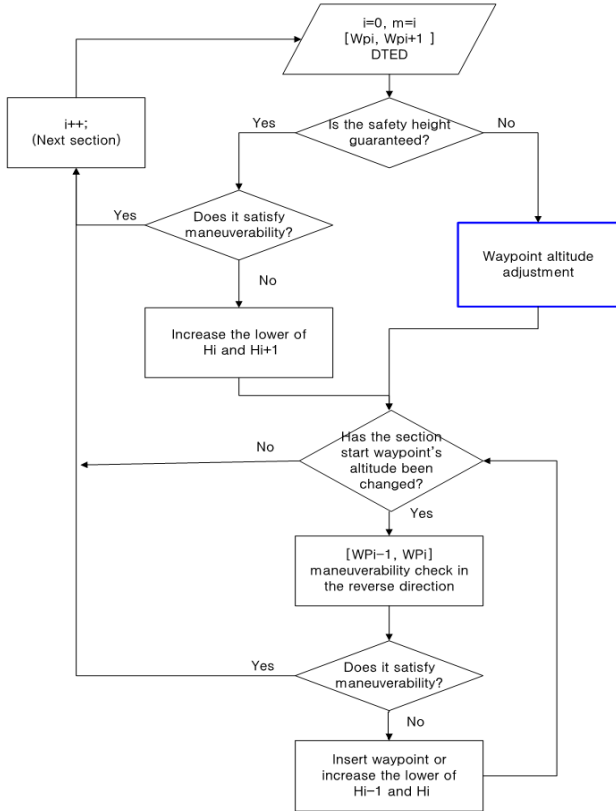


그림 4. 경로점 고도조정 순서도
Fig. 4. Flowchart of waypoint altitude adjustment

가. 충돌방지를 위한 안전고도 확보 경로점 고도

비행구간의 안전고도와 기동성 확보 과정은 그림 5와 같다. 구간별 비행고도와 지형고도를 입력으로 하고 우선, 구간의 시작 경로점부터 종료 경로점까지 비행시 안전고도가 확보되는지 확인한다. 안전고도 미확보 구간은 충돌이 발생할 수 있으므로 안전고도가 확보되도록 경로점 고도를 수정하기 위함이다. 안전고도 미확보지점에 단순히 경로점을 추가하여 조정이 가능한 1개의 경우와 그 외 경우를 충돌지점의 위치와 기동성을 고려하기 위하여 비행구간이 상승비행, 하강비행인지에 따라 그림 6과 같이 6

개의 경우로 나누어, 총 7가지 경우로 분류하여 고도를 조정한다.

케이스 1) 안전고도 미확보 지점에 경로점 추가

안전고도 미확보 구간 중 안전고도가 가장 작은 위치를 찾고, 안전고도 최저지점에 경로점을 추가할 수 있는지 파악하고, 이 위치의 고도를 안전고도를 확보할 수 있는 고도로 높여도 기동성에 문제가 없다면 그림 7과 같이 경로점을 추가하면서 추가된 경로점의 고도를 안전고도를 확보할 수 있는 고도로 지정한다.

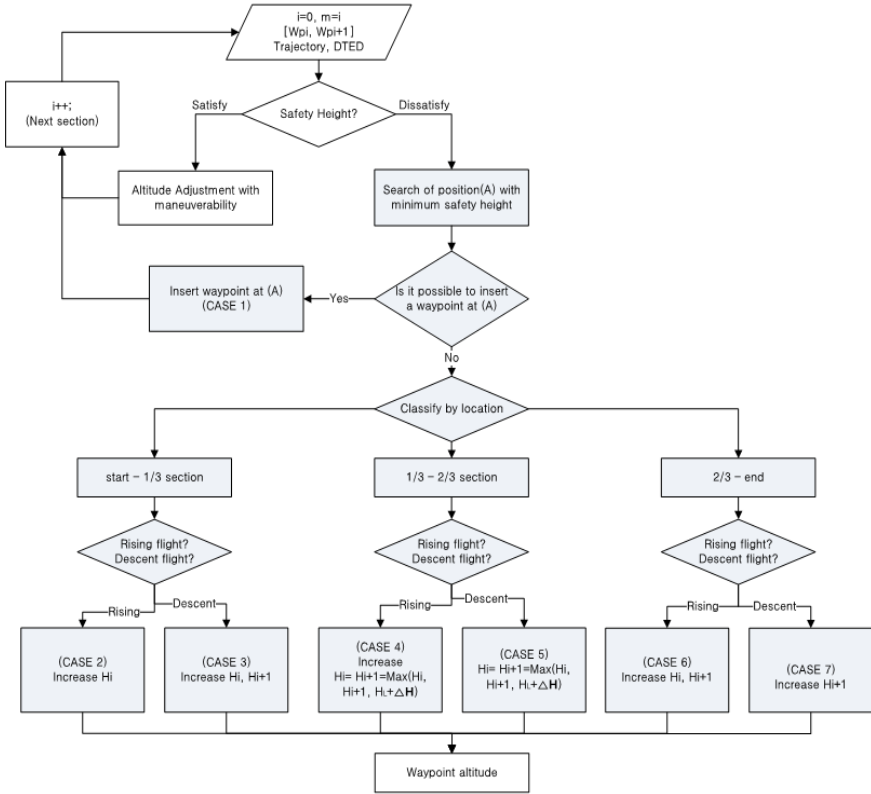


그림 5. 비행구간의 7가지 경우에 따른 고도조정 순서도
 Fig. 5. Flowchart of waypoint altitude adjustment according to 7 cases

기동성 확보를 위한 분석과정은 케이스 2) ~ 케이스 7)에서 설명하겠다. 케이스 1)의 경우처럼 안전고도 미확보지점에 경로점을 추가함으로써 조정하는 것이 불가능할 경우는 케이스 2) ~ 케이스 7)의 방법으로 조정한다. 구간 내에 안전고도 미확보 지점 중 안전고도가 최저인 지점의 위치를 세 지점으로 분류하고, 구간이 상승하는 구간인지 하강하는 구간인지에 따라 구간 시작 경로점과 구간 종료 경로점의 고도를 조정한다.

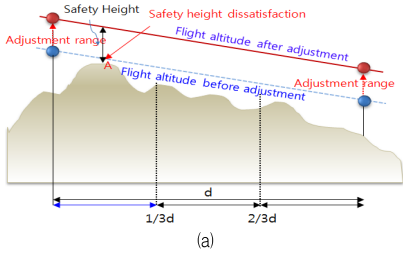
케이스 2) 하강구간, 구간 시작 후 1/3 이내에 안전고도 최대 부족점이 있는 경우

그림 6(a)에 해당하는 구간으로, 안전고도를 만족하기 위해 구간 시작점과 구간 종료점의 고도를 현재 설정된 고도값에 식 (1)로 계산되는 ΔH 만큼을 더한 값으로 높인다.

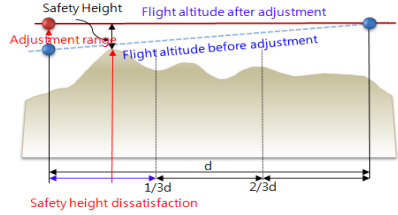
$$\Delta H = H_{dr} - (H_L - H_{tmax}) \quad (1)$$

$$H'_i = H_i + \Delta H \quad (2)$$

$$H'_{i+1} = H_{i+1} + \Delta H \quad (3)$$

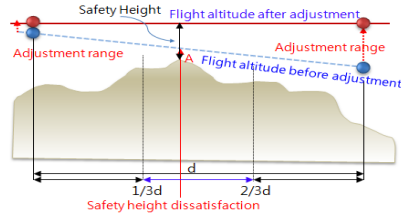


(a)

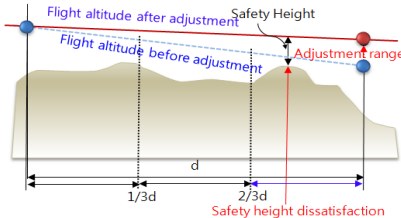


(f)

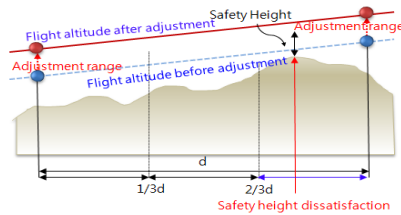
그림 6. 6가지 경우에 따른 경로점 고도조정 방법
Fig. 6. Adjustment of waypoint altitude according to 6 cases



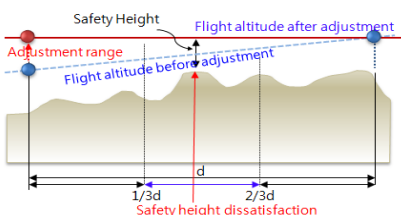
(b)



(c)



(d)



(e)

케이스 3) 하강구간, 구간 시작 후 1/3 이후 2/3 지점에 안전고도 최대 부족점이 있는 경우

그림 6(b)에 해당하는 구간으로, 안전고도가 가장 많이 부족한 지점에서 안전고도를 만족하기 위한 최저고도값과 구간 시작, 종료 경로점 고도 중에서 가장 큰 고도값을 구간 시작 경로점 고도와 종료 경로점 고도로 결정한다. 구간 시작점과 구간 종료점의 고도를 식 (4)와 같이 변경한다.

$$H'_i = H'_{i+1} = \text{MAX}(H'_i = H_L + \Delta H, H_i, H_{i+1}) \quad (4)$$

케이스 4) 하강구간, 구간 시작 후 2/3 비행 이후에 안전고도 최대 부족점이 있는 경우

그림 6(c)에 해당하는 구간으로, 안전고도를 만족하기 위해 $H'_L = H_L + \Delta H$ 이어야 하므로, 구간의 비행체적 기울기가 식 (5)을 만족하도록 구간 종료 경로점의 고도값을 식 (6)과 같이 높인다.

$$\frac{dH}{dD} = \frac{(H'_L - H_i)}{(D_L - D_i)} \quad (5)$$

D_L : 안전고도 최대 부족점의 거리
 D_i : 구간시작점의 거리

$$H'_{i+1} = H_i + \frac{dH}{dD} \times (D_{i+1} - D_i), \quad H'_i = H_i \quad (6)$$

케이스 5) 상승구간, 구간 시작 후 2/3 이후에 안전고도 최대 부족점이 있는 경우

그림 6(d)에 해당하는 구간으로, 구간 시작점과 종료점을 식 (7)과 같이 변경한다.

$$H'_i = H_i + \Delta H, H'_{i+1} = H_{i+1} + \Delta H \quad (7)$$

$$\Delta H = H_{dr} - (H_L - H_{imax}) \quad (8)$$

케이스 6) 상승구간, 구간 시작 후 중간 지점에 안전고도 최대 부족점이 있는 경우

그림 6(e)에 해당하는 구간으로, 구간 시작점과 종료점을 식 (9)와 같이 변경한다.

$$H'_i = H'_{i+1} = \text{MAX}(H'_L = H_L + \Delta H, H_i, H_{i+1}) \quad (9)$$

케이스 7) 상승구간, 구간 시작 후 1/3 이내에 안전고도 최대 부족점이 있는 경우

그림 6(f)에 해당하는 구간으로, 안전고도를 만족하기 위해 $H'_L = H_L + \Delta H$ 이어야 하므로, 구간의 비행계획 기울기가 식 (10)을 만족하도록 구간 시작점을 식 (11)과 같이 변경한다.

$$\frac{dH}{dD} = \frac{(H_{i+1} - H'_i)}{(D_{i+1} - D_L)} \quad (10)$$

D_L : 안전고도 최대 부족지점의 거리
 D_{i+1} : 구간종료점의 거리

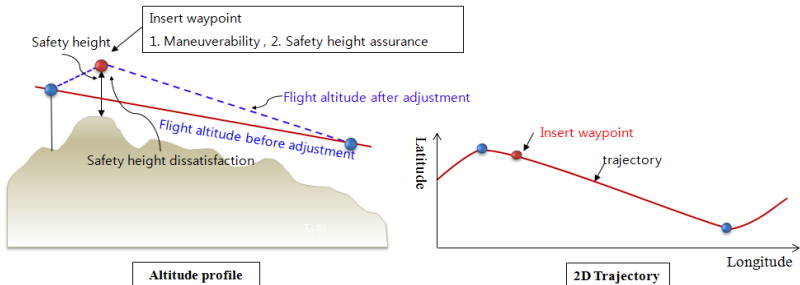


그림 7. 안전고도 미확보지점에 경로점 추가하는 경우(케이스 1)

Fig. 7. Case to add a new waypoint at a position that does not guarantee a safety height(case 1).

$$H'_i = H_{i+1} + \frac{dH}{dD} \times (D_{i+1} - D_i), H'_{i+1} = H_{i+1} \quad (11)$$

나. 기동성 고려한 경로점 고도

경우에 따라 구간시작점의 고도 H_i 를 변경하는 경우에는 그 이전 경로점 WP_{i-1} 의 고도 H_{i-1} 에서 수정된 WP_i 경로점 H'_i 으로 기동(상승 또는 하강)이 가능한지를 확인한다. 기동이 가능하면 다음 구간인 WP_{i+1} 과 WP_{i+2} 구간으로 진행하며 WP_i 과 WP_{i+1} 경로점 구간과 동일한 방법으로 다음 경로점 고도를 계획한다. 안전고도 확보를 위해 고도를 조정함에 따라 현재 구간의 시작과 종료 경로점만으로 기동성이 보장되지 않으면 비행의 반대방향으로 진행하며 이전 경로점 고도를 수정하는 과정을 수행한다.

a) 현재 구간의 경로점 고도 조정만으로 기동성 미확보될 경우, 이전 경로점 고도를 재계획하는 과정

H'_i 으로 기동이 가능한 고도로 H_{i-1} 고도를 높인다. H_{i-1} 고도가 변경되었으므로 기동성 확인 과정을 수행한다. 즉, H_{i-2} 고도에서 H_{i-1} 고도로 기동이 가능한지 확인한다. 역방향으로의 경로점 조정으로 기동성이 확보되어 더 이상 앞 경로점의 고도를 수정할 필요가 없을 때 WP_{i+1} 까지 반복한다. 이전 경로점의 고도를 수정할 필요가 없으면 WP_i 과 구간의 고도계획이 종료되었으므로 WP_{i+1} 과 WP_{i+2} 구간의 고도계획을 진행한다.

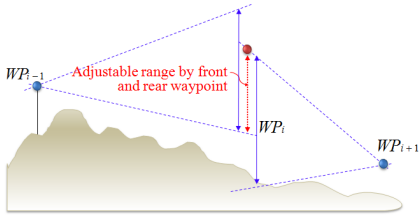


그림 8. 앞뒤 경로점 관계에 의해 조정가능 고도범위
Fig. 8. Adjustable altitude range by front and rear waypoint

기동성을 확인할 때는 그림 8과 같이 앞뒤 경로점과의 거리에 따른 상승하강 가능 고도에 따라 그 범위를 결정한다. 특정 경로점의 고도는 그림 8과 같이 비행체의 기동력을 고려한 앞뒤 경로점과의 거리에 따른 상승하강 가능 고도에 따라 그 범위 내에 존재해야 한다. 앞 경로점과의 관계에 의해 수정할 수 있는 범위와 뒤 경로점과의 관계에 의해 수정할 수 있는 범위의 공통된 범위 내에서 최저고도로 지정한다.

IV. 실험결과

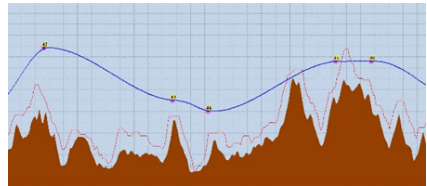
제안한 알고리즘의 성능을 검증하기 위해 그림 9와 같은 시뮬레이터를 개발하였다. 시뮬레이터는 충돌 여부를 계산할 뿐 만 아니라 2차원 경로를 볼 수 있는 메인 창과 지형고도 등을 가시화할 수 있는 창으로 구성되어 고도계획 결과를 확인할 수 있도록 구성하였다. 2차원 수평경로를 볼 수 있는 창과 그 경로에 대한 거리에 따른 지형고도, 비행고도 프로파일을 볼 수 있는 창으로 구성하였다. 지형 충돌 여부를 수치적인 분석 외에도 지형고도와 비교를 통해 가시화를 통해 확인하기 위해서였다. 2차원 경로생성 알고리즘에 의해 생성된 경로점의 위도, 경도와 이 경로점의 초기고도값은 지형고도의 비행체에서 요구하는 안전고도를 더한 값으로 설정하였다. 비행하게 될 위치의 지형고도는 DTED (Digital Terrain Elevation Data) 자료를 사용하여 추출하였다. 제안한 방법의 성능 확인을 위해 2차원 경로는 DTED가 있는 지역에서는 랜덤하게 지나가도록 만들었다.



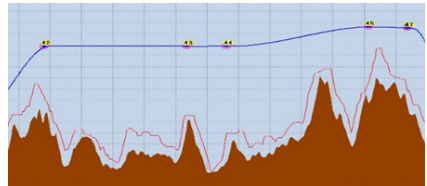
그림 9. 시뮬레이터
Fig. 9. Simulator



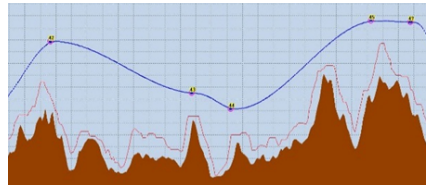
(a) 2차원 수평 비행궤적
(a) 2D flight trajectory



(b) (a) 구간의 초기 고도
(b) Initial altitude profile



(c) 기존방법 적용 결과
(c) Result of applying existing method



(d) 제안방법 적용 결과
(d) Result of applying proposed method

그림 10. 고도계획 결과 비교
Fig. 10. Comparison of altitude planning results

그림 10은 시뮬레이터를 통해 산출된 결과를 비교하기 위해 시뮬레이터 화면의 일부 비행구간을 캡처한 모습이다.

그림 10의 (a)는 지도 위의 2차원 경로이며 경로 중간 중간에 놓여 있는 작은 아이콘으로 표시된 지점이 경로점의 위치이다. (b)는 (a)경로에 대한 고도 프로파일을 보여준다. 아래 부분의 갈색영역은 DTED로부터 추출한 지형고도값을 기준으로 표시한 지형의 모습이다. 지형 위쪽의 빨간색 선은 최대지형고도를 표시한 선이며, 파란색 선은 경로점 유도에 따른 비행고도를 계산한 값이다. (b)의 약 2/3 지점에 충돌이 발생하는 지점이 있음을 알 수 있다. (c)는 경로점과 경로점 사이 구간 전체를 높여주는 방법을 적용한 결과로 지형충돌 문제가 해결되기는 하나, 지형으로부터 많이 이격되어 비행하는 결과를 산출한다. 특히나, 지형이 복잡한 지역이면 지형과 이격되는 고도 차이가 크다는 것을 알 수 있다. 제안한 방법으로 계획된 경로점 고도는 (d)의 작은 동그라미가 있는 위치와 같다. 이 경로점 고도로 비행 시 지형 충돌 지점이 없음을 알 수 있다.

연결하는 비행고도의 전체적인 비행고도가 지형의 굴곡을 따라가도록 계획됨을 확인할 수 있었다. 이러한 방법으로 다양한 경로를 만들어서 고도계획을 수행하였고, 주로 산봉우리를 지나갈 때 충돌이 발생할 가능성이 있었으나, 제안한 방법을 적용하여 경로점 고도가 조정됨으로써 충돌이 방지되었음을 확인하였다.

그림 11은 제안한 방법으로 산출한 결과를 비행할 때 주변 지형과의 관계를 여러 각도에서 확인하기 위해 3차원 가시화 프로그램을 이용하여 확인하는 모습이다. 다양한 시점에서 산출된 결과를 확인하여 제안한 방법을 검증하였다.

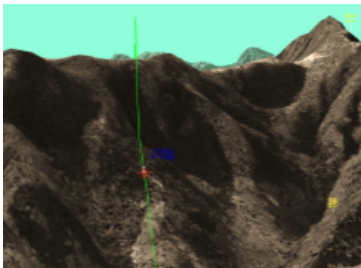


그림 11. 3차원 가시화
Fig. 11. 3-D visualization

복잡한 지형을 비행하는 경로를 계획할 때는 계획자가 비행구간의 고도프로파일을 확인하여 충돌 지점을 확인하고, 해당 경로점마다 고도를 재조정하느라 소비되던 시간이 수 분 이상이었다. 경로점 1개를 수정하는데 1분이 소요된다고 가정하더라도 경로점을 5개만 수정해도 5분이 소요될 것이다. 소요시간은 경로점 개수와 지형의 복잡도에 따라 훨씬 더 증가할 수 있으며, 실질적으로 경로점 1개 고도를 수정하는데는 훨씬 더 많은 시간이 소요된다. 제안한 방법은 고도계획의 전 과정을 자동화함으로써, 복잡한 지형이 있는 구간을 비행하는 경로에 대해서도 충돌 예상 지점을 파악하고 경로점 고도를 조정하는데 소요되는 시간을 단축시키는 효과를 가져왔다.

V. 결 론

무인비행체의 2차원 경로가 주어진 상황에서 특정 구간에서는 정해진 고도로 비행하고, 주어진 고도 조건이 없는 구간에서는 최대한 지형과 근접하여 비행하되 지형과 충돌되지 않도록 비행할 수 있는 비행고도를 계획하는 방법을 제안하였다. 제안한 방법은 경로점과 경로점간의 예상 비행고도를 계산하여 지형과의 관계에 따른 미충돌 고도를 계산하고, 무인비행체의 기동성을 확인하는 과정을 논리적 순서에 따라 알고리즘으로 개발함으로써 전 비행구간의 고도계획을 자동화하였다. 기존방법인 계획자 개입에 의해 고도계획할 때 수 십 분이 소요되던 계획시간을 수 초 이내로 줄일 수 있었으며, 충돌 방지를 위해 고고도로 비행하던 간단한 고도 계획 방법에 비해 고도 영역을 효율적으로 사용할 수 있음을 확인하였다.

제안한 방법은 최근 소형무인비행체의 민수분야에서의 활용성이 증대됨으로써 공역 사용에 있어 고도 사용범위가 제한될 때 제한된 고도 범위에서만 비행해야하는 계획에 적용할 수 있는 알고리즘이다. 향후 비행 중 센서로부터 획득되는 정보를 이용하여 실시간으로 경로를 변경할 경우, 비행고도도 실시간으로 재계획할 수 있는 알고리즘으로 확장 개발할 예정이다.

References

- [1] E. W. Dijkstra, "A Note on Two Problems in Connection with Graphs", *Numerische Mathematic*, June, 1959.
- [2] M. Neus and S. Maoche, "Motion planning using the modified visibility graph", *Proc. of the IEEE International Conf. on Systems, Man and Cybernetics*, Vol. 4, pp. 12-15, Oct. 1999.
- [3] O. M. Hammouri and M. M. Matalgah, "Voronoi path planning technique for recovering communication in UAVs", *Proc. of the 2008 IEEE/ACS International Conf. on Computer Systems and Applications*, pp. 403-406, Apr. 2008.
- [4] P. T. Kabamba, S. M. Meerkov, and F. H. Zeitz III, "Optimal path planning for unmanned combat aerial vehicles to defeat radar tracking", *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, Vol. 29, No. 2, pp. 279-288, Mar. - Apr. 2006.
- [5] R. Greiner, "Route Finding with a Hybrid of Genetic Algorithms", *The Royal Institute of Science, School of Engineering Physics, Stockholm, Sweden*, 2003.
- [6] W. Y. Shin, J. J. Shin, and B. J. Kim, "Line Segment Selection Method for Fast Path Planning", *International Journal of Control, Automation and Systems*, Vol. 15, No. 3, pp. 1322-1331, Jun. 2017.
- [7] P. Cheng, J. Keller, and V. Kumar, "Time-Optimal UAV Trajectory Planning for 3D Urban Structure Coverage", *Proc. of the IEEE/RSJ International Conf. on Intelligent Robots and Systems*, pp. 2750-2757, Sep. 2008.
- [8] C. H. Ryu and S. W. Ra, "Mission Planning and Control Analysis Algorithms for the safe Flight of an Unmanned Aerial Vehicle", *Journal of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences*, Vol. 33, No.3, pp. 71-77, Mar. 2005.
- [9] W. Y. Shin, B. J. Kim, and K. R. Jeong, "A Methodology for quick generation of waypoint

altitude when given 2D waypoints", *Proc. of the KIMST conf. on Control-Actuation*, Vol. 2015, pp. 1357-1358, Jun. 2015.

- [10] J. S. Shin, M. J. Lee, and H. J. Yoon, "Development of the Flight Waypoint Planning System for facility Avoidance of UAV", *Proc. of the Korean Society of Civil Engineers conf. Vol. 2017*, pp. 734-735, Oct. 2017.

저자소개

임 인 군 (In-Geun Lim)



2000년 2월 : 경북대
전자전기공학부(학사)
2002년 2월 : 경북대
전자공학과(석사)
2002년 1월 ~ 현재 :
국방과학연구소 연구원.
관심분야 : 영상처리 및

무인비행체 경로계획

나 성 웅 (Sung-Woong Ra)



1976년 2월 : 서울대학교
전기공학과(공학사)
1978년 2월 : 한국과학기술원 전기
및 전자공학과(공학석사)
1992년 8월 : 한국과학기술원 전기
및 전자공학과(공학박사)
1980년 ~ 현재 : 충남대학교

전자전파정보통신공학과 교수

관심분야: 통신, 디지털 신호처리, 영상처리