

다수의 IR-UWB 레이더를 이용한 RUAV의 착륙 지점 탐색 및 안전성 판단 방법

Autonomous Landing Area Detection and Safety Determination Method for RUAVs Based on Multiple IR-UWB Radars

1. 서론

이 논문은 다수의 IR-UWB 레이더를 이용한 Rotorcraft Unmanned Aerial Vehicle (RUAV)의 착륙 지점 탐지 및 안전성 판단 방법에 관한 내용이다. 최근에 배송, 감시, 탐색과 같이 민간 용도로의 드론 관련 시장이 확대되면서 이를 운용하는 것에 대한 안전의 문제가 대두되고 있다. 특히 스스로 목적지까지 이동하여 임무를 수행해야 하는 무인 비행체의 경우, 임의의 지역에 착륙시 지형의 상태에 대한 정보가 없기 때문에 사고가 발생하면 기체의 파손뿐 아니라 이로 인한 2차적인 시설물 및 인명 피해를 야기할 수 있다. 이전에 Vision 및 LIDAR 센서를 이용해 착륙 지점을 탐지하고 안전성을 판단하여 착륙하는 연구들이 진행되었었지만, 이러한 센서들은 빛과 날씨의 변화에 영향을 받거나 센서의 무게가 무거워 소형 드론에는 적합하지 않다는 단점이 있었다. IR-UWB 레이더는 광대역의 주파수를 사용하는 레이더 센서로 높은 투과성과 높은 거리 분해능을 가지고 있으며 날씨의 변화나 빛의 세기의 변화 등 외부 환경에 따른 영향을 거의 받지 않는다. 이러한 장점을 이용하여, 우리는 다수의 IR-UWB 레이더만을 이용한 착륙 지점 탐지 및 안전성 판단 방법을 최초로 제안하였다.

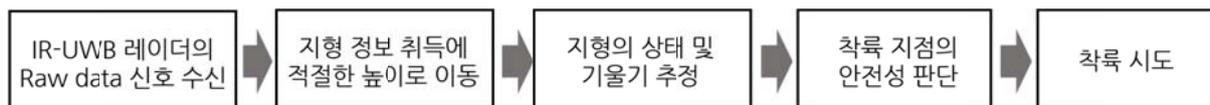


그림1. 본 논문에서 제안한 착륙 지점 탐지 및 안전성 판단 방법의 수행 과정

2. 이론적 배경

RUAV가 안전하게 착륙하기 위해서는 착륙 지점까지의 거리 및 착륙 지점의 지형의 상태와 기울기를 파악해야 한다. 높이 정보는 단일 레이더로도 추정이 가능하지만, 지형의 상태와 기울기를 파악하기 위해서는 다수의 레이더를 이용해야 하며, 이는 레이더의 개수가 많을수록 더 정확한 정보를 얻을 수 있다. 하지만, 비용, 계산량, 무게 등을 고려했을 때 레이더의 개수를 무한정 많이 늘리는 것은 어렵기 때문에 최대한 합리적인 레이더의 배치가 필요하다. 따라서 이번 장에서는 안전 착륙을 위해 취득해야 할 정보와 이를 취득하기 위해 필요한 적절한 레이더의 수, 배치 방법, 감지 높이 등에 대해 다루었다.

3. 지형 탐지 방법

본 장에서는 높이, 지형의 상태, 그리고 지면의 기울기를 구하는 신호처리 방법에 대해서 서술하였다. 단일 IR-UWB 레이더를 이용하면 목표물까지의 거리 값을 얻을 수 있다. 하지만, 장애물이 있는 경우에는 다수의 목표물들이 감지되어 그 목표물 중 지면이 어떤 것인지 파악해야 정확한 높이 값을 추정할 수 있다. 지면은 가장 반사면적이 큰 목표물에 해당하므로, 반사파의 크기를 주변 장애물들과 비교하여 지면의 위치를 구하였다. 그 이후, 지면의 위치와 나머지 목표물들과의 거리 차를 구하면 지면에 위치한 장애물들의 높이 값을 구할 수 있다. 이렇게 구한 장애물들의 높이를 미리 설정한 임계값과 비교하여 지형의 상태가 안전한지 아닌지 판단할 수 있다. 지면의 기울기는 두 개 이상의 레이더로부터 수신한 높이 값을 기반으로 구할 수 있다. 우리는 총 5개의 레이더를 사용하였으므로, 중간에 위치한 레이더와 나머지 레이더를 하나씩을 선택해, 총 4개의 지역으로 나누어 기울기를 구하였다.

4. 안전성 판단 방법

이번 장에서는 앞 장에서 구한 높이, 지형의 상태, 기울기 값을 기반으로 착륙 지점의 안전성을 판단하는 알고리즘을 제안한다. 감지 높이와 감지 가능 영역은 밀접한 관련이 있다. 일반적으로 높이가 높아지면 감지 영역이 넓어지지만, 분해능이 떨어져 작은 장애물을 감지하기 어려워진다. 반면에, 높이가 낮아진다면 작은 장애물들도 감지할 수 있다는 장점이 있으나 감지 영역이 줄어든다는 단점이 있다. 따라서 적절한 감지 높이는

감지하고자 하는 지역의 범위와 감지하고자 하는 장애물의 크기에 따라 정해져야 한다. 따라서 우리는 두 단계의 감지 높이에 따른 두 번의 과정을 통한 착륙 지점의 안전성 판단 알고리즘을 제안하였다. 아래 표 1에 따라 최종적인 판단이 이루어지며 이에 대한 자세한 설명은 본 논문에 서술하였다.

| 과정 | 과정 1 | | | | 과정 2 | | | |
|--------|------|----|----|----|-----------|----|--------|----|
| 중앙 레이더 | SA | | UN | | Safe | | Unsafe | |
| 주변 레이더 | SA | UN | SA | UN | SA | UN | SA | UN |
| 최종 결정 | NS | NS | ND | US | SA | UN | UN | US |

표 1. 제안한 안전성 판단 알고리즘 과정

4. 주요 실험 결과

아래 그림과 표 2는 본 연구에서 진행한 야외 실험에 대한 결과를 보여준다. 표에서 볼 수 있듯이 우리의 방법을 이용하여 각각의 환경에서의 높이 값에 대한 추정 값과 지형의 상태 및 평탄도 그리고 기울기 값을 수할 수 있다. 높이는 1 m 높이에서 측정하였는데, 계단의 경우를 제외하고는 모두 정확한 추정치를 보였다. LR은 지형이 평평함을 의미하고 HR은 지형에 장애물이 있음을 의미하는데 (d)에서는 높은 장애물이 감지되어 HR을, 계단에서 또한 계단의 거리 차로 인해 이를 장애물로 인지하여 HR을 나타내었다. 다른 세 장소에서는 모두 LR 값을 나타내었으며 각각 지형의 기울기 또한 실제 측정값과 유사한 결과를 보였다. 결과적으로 그림 2의 (a), (b), (c)에서는 SA (안전함) 판정을, (d), (e)에서는 US (안전하지 않음) 판정을 내렸으며 이는 실험 전 예상 결과와 일치하였다.



(a) (b) (c) (d) (e)

그림 2. 실험을 수행한 다섯 가지의 서로 다른 야외 환경. a. 평평한 보도 (LR); b. 풀밭 (LR); c. 기울어진 보도 (LR); d. 높은 장애물이 있는 거친 환경 (HR); e. 계단 (HR)

| | (a) | (b) | (c) | (d) | (e) |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 높이 | 1.016 | 1.031 | 1.023 | 0.996 | 1.129 |
| 지형의 상태 | LR | LR | LR | HR | HR |
| 기울기 | 2.29 | 0.92 | 7.97 | 10.76 | 15.98 |
| 최종 결정 | SA | SA | SA | US | US |

표 2. 야외 환경 실험 결과

6. 결과

RUAV를 안전하게 운용하기 위해서는, 적절한 착륙 지점을 스스로 찾아내는 기능이 필수적으로 갖추어져야만 한다. 착륙시 발생하는 사고는 기체의 파손뿐 아니라 충돌로 인한 주변 시설물들에도 피해를 줄 수 있기 때문에 날씨와 빛의 환경이 안정적이지 않은 상황에서도 적절한 착륙 지점을 찾을 수 있어야 한다. IR-UWB 레이더는 날씨와 빛과 같은 외부 환경의 변화에 따른 영향을 거의 받지 않으며 전력 소모가 적고, 무게가 가볍고, 센서의 가격이 저렴하여 상용 RUAV에 장착하기 적합한 조건들을 갖추고 있다. 우리는 본 논문을 통해 다수의 IR-UWB 레이더를 이용한 안전 착륙 지점 감지 방법을 제안하고 그것의 성능 또한 실험을 통해 검증하였다. 실내 실험을 통해 시나리오에 따른 예상되는 결과값을 얻을 수 있었으며 실제 환경에서의 테스트에서는 각 환경에 따른 정확한 안전성 판단을 내렸다. 따라서, 본 연구에서 제안한 방법을 추후 보다 많은 실험을 통해 보완 및 성능을 향상시킨다면 추후 상용화된 RUAV에 장착 및 적용할 수 있을 것으로 예상된다.