

# 가속도센서 기반의 드론 고도 측정 알고리즘 개발

윤보람<sup>○</sup>, 이성희, 이우진<sup>\*</sup>

경북대학교 컴퓨터학부, \*소프트웨어기술연구소

e-mail : yunstar1105@naver.com<sup>○</sup>, lee3229910@gmail.com, woojin@knu.ac.kr

## A Development of on Altitude Measurement Algorithm for Drone by Accelerometer

Bo Ram Yun<sup>○</sup>, Sunghee Lee, Woo Jin Lee<sup>\*</sup>

School of CSE & \*SWRC, Kyungpook National University

### 요 약

드론에서 고도유지 비행을 위해 정확한 고도 측정이 필요하다. 고도 측정을 위해 많이 사용되는 가속도센서는 변화에 민감하여 거리 측정에 적합하지만 적분 오차가 누적되어 거리 측정값이 발산한다. 또한 드론 비행 시 드론에서 발생하는 진동을 드론의 고도 변화로 잘못 인지하는 문제가 있다. 이 문제를 해결하기 위해 상용화된 드론이나 기존 연구들은 가속도센서를 기반으로 다른 센서나 장치를 추가하여 고도 측정을 하지만 실제 비행 시 고도의 오차가 나타난다. 또한 센서 값들의 연산처리가 많아져 고도 측정 속도가 지연될 우려가 있다. 따라서 다른 센서나 장치를 추가하지 않고 드론의 특성을 고려한 보다 정확한 고도 측정 방안이 필요하다. 본 논문에서는 가속도센서를 이용하여 드론 비행 특성을 고려하는 고도 측정 알고리즘을 제안한다. 실험으로 제안 알고리즘을 수행하여 드론 비행 시 고도 측정의 정확성이 향상됨을 보인다.

### 1. 서론

드론은 군사용으로 개발되어 촬영용, 택배용 등 활용범위가 빠르게 확대되고 있다. 또한 드론의 활용 범위를 더 넓혀 실내에서 드론을 활용하고자 하는 연구가 진행되고 있다[1,2]. 상공에서의 교통 촬영을 위한 비행, 실내에서의 가벼운 물품 배송 등과 같은 드론의 특수 임무는 고도 유지가 되지 않으면 인명 및 재산 피해가 발생할 우려가 있다. 이러한 문제를 예방하기 위해서는 고도유지 비행이 요구된다. 하지만 고도유지 비행을 위해 필요한 고도 측정이 정확히 이루어지지 않아 고도유지가 되지 않는 문제가 있다[3,4].

일반적으로 고도 측정을 위해서 가속도센서를 이용한다. 가속도센서는 가속도를 적분하여 거리를 구하는데 적분 오차가 누적된다. 또한 드론 비행 시 발생하는 드론 기체의 진동을 감지하여 거리 계산에 포함시키는 문제가 있다. 이러한 가속도센서의 문제를 방지하고자 상용화된 드론의 경우 기압계와 가속도센서를 이용하여 고도를 측정한다. 하지만 기압계는 기압의 변화를 측정해 고도를 계산하는데 바람이나 온도 등 외적인 요인에 의해 민감하게 반응한다[5]. 드론을 작동시켰을 때 프로펠러가 일으키는 바람이 지표면에 닿아 드론 주위의 기압이 낮아져 고도가 0이 아닌 음의 값으로 측정하게 되는 등 드론이 일으키는 바람의 영향을 받아 고도 오차를 유발하는 문제가 있다. 또한 고도가 일정지점에 고정된 상태로 있어도 고도 측정값

이 불규칙적으로 변하는 등 정밀성이 떨어져 고도 측정에 사용하기에는 문제가 있다.

가속도센서의 문제로 나타나는 고도 측정 오차를 다른 센서나 장치 등을 이용하여 해결하려는 연구가 있다. 이 방법들은 드론 기체에 추가적인 센서나 장치를 부착하여 고도 측정 오차를 줄이려고 한다. 그 결과, 기체가 무거워지고 제작비용이 증가하며 연산 처리가 많아지는 문제가 있다.

본 논문에서는 드론 비행 시 발생하는 드론의 진동, 프로펠러의 바람 등의 특성을 고려하고 가속도 적분오차의 누적으로 고도 값이 발산하는 문제를 해결하여 드론의 고도 측정에 적합한 알고리즘을 제안한다. 또한 다른 센서나 장치 등을 사용하지 않고 가속도센서를 이용한 정확한 고도 측정을 목표로 한다. 제안한 방법을 적용하여 일반적으로 사용하는 고도 측정 방법보다 더 정확한 고도 측정을 하고자 한다.

### 2. 관련 연구

관성항법센서(IMU), 카메라 및 라이다(Lidar) 센서를 융합한 3차원 위치 측정방법[6]에서는 관성항법센서와 카메라로부터 얻은 데이터를 확장 칼만 필터를 이용하여 드론 위치 및 거리를 추정한다. 이때 카메라의 느린 업데이트 속도를 방지하기 위해 라이다센서를 이용하여 드론 자세, 위치 추정의 오차를 줄인다. 관성항법센서, 카메라 및 라

이다 센서를 사용하여 드론 자세 추정의 정확성을 높였지만 시뮬레이션으로 실험한 것으로 실제 비행 시 발생할 수 있는 급격한 움직임, 드론 기체의 진동 등을 반영하지 않는다. 또한 라이다 센서는 측정할 수 있는 거리 제한이 있어 높은 고도에서 거리 측정은 불가능하다.

위성항법시스템(GPS), 관성항법시스템(INS) 및 기압고도계를 결합한 고도 결정 알고리즘[7]에서는 기압고도계를 이용하여 관성항법시스템의 고도 오차를 보정하고 위성항법시스템로부터 받은 고도 정보를 융합하여 칼만 필터를 통해 고도 정보를 추정한다. 이 기법은 실험을 통해 관성항법센서와 기압고도계만을 사용하는 방법보다는 위성항법시스템과 함께 사용하는 것이 더 좋을음을 보여주었다. 하지만 오차는 최대 10m까지 나고 위성항법시스템은 실내 환경에서 위성 신호가 약해져 고도 데이터를 받을 수 없기 때문에 실외 환경에서만 사용이 가능하다.

가속도 센서를 이용한 이동거리 측정 시스템[8]에서는 가속도 크기에 따라 인자값과 임계값을 적용하고 사람의 보폭을 고려하여 이동거리를 측정한다. 이 시스템의 오차율은 8%로 기성품이 가진 오차율 13%보다 적어 보행자 이동거리 측정 시스템이 개선되었음을 보인다. 하지만 이 기법은 수평에 대한 거리 측정을 하는 것으로 수직 방향에 대한 거리 측정과는 기준 요소가 다르며 사람의 보폭을 고려한다는 점에서 드론의 고도추정에 적용하기에는 어려움이 있다.

스마트 조명 시스템을 활용한 드론 호버링 및 위치인식 기법 연구[9]에서는 조도 센서를 이용하여 조명의 세기를 호버링 기준점으로 사용한다. 광학 흐름 카메라는 실내 조명의 세기와 카메라 센서 값을 이용하여 호버링하는데 사용된다. 이 기법은 기존의 광학 흐름 카메라를 사용하는 방법보다 15%정도 개선되었지만 약 최대 2m의 오차가 존재하였으며 고도에 따른 조명의 밝기 세기를 미리 알아야 한다.

기존 보행자의 이동거리 측정 등의 연구에서는 가속도 센서만을 사용하여 적분 오차 누적의 문제를 보정하였지만 드론은 가속도센서의 적분 오차 누적의 문제를 해결하기 위해 다른 센서나 장치를 추가하여 사용하는 방법으로 연구되거나 가속도센서를 이용하지 않고 다른 센서나 장치를 이용하는 방법으로 연구된다. 이러한 방법들은 드론 기체가 무거워지고 연산 처리가 많아지는 문제가 생긴다. 또한 실내 또는 실외로 환경 제약을 가지게 되고 고도 측정 범위 제약을 가지게 된다. 이 논문에서는 드론 특성을 고려하여 적분 오차 누적의 문제를 보정하는 알고리즘을 개발하여 가속도센서만으로 일반적으로 사용하는 고도 측정 방법보다 더 정확한 고도 측정이 가능함을 보여준다.

### 3. 드론 고도 측정 알고리즘

#### 3.1 기존 드론 고도 측정 방법

가속도센서로부터 측정된 가속도센서의 데이터 값은 중력가속도와 선형가속도의 값을 포함한다, 거리를 구하기

위해서는 중력가속도 크기를 제거하고 선형가속도 값만 추출한다. 또한 식 (1)과 같이 저역 통과 필터를 이용하여 높은 선형가속도 성분의 값을 제거하여 평균치에 근접한 선형가속도의 값을 추출한다.

$$Acc_{filter} = Acc_{filter-1} + \alpha(acc - Acc_{filter-1}) \quad (1)$$

식에서  $Acc_{filter}$ 는 필터링된 선형가속도,  $Acc_{filter-1}$ 는 이전의 필터링된 선형가속도,  $\alpha$ 는 가속도 값 측정 주기를 고려한 가중치 및  $acc$ 는 중력가속도 크기를 제외한 가속도의 값을 나타낸다.

비행 중에 발생하는 드론 기체의 진동은 가속도센서에서 측정을 하므로 이 값들을 무시하기 위해 식 (1)에서 계산된 값에서 한번 더 필터링한다.

기압계를 이용하여 측정되는 고도 값은 가속도센서에서 측정된 가속도 값과 함께 가중치를 다르게 하여 속도를 계산하는데 사용한다. 또한 가속도센서로부터 구한 고도 값과 기압계를 이용하여 측정된 고도 값을 가중치를 다르게 하여 고도를 계산한다. 속도와 고도 계산을 할 때 가속도와 기압계를 사용하기 때문에 둘 중 하나만 오차가 발생하여도 고도 측정 오차가 발생하게 된다. 그림 1은 일반적인 드론 고도 측정 과정을 나타낸 것이다.

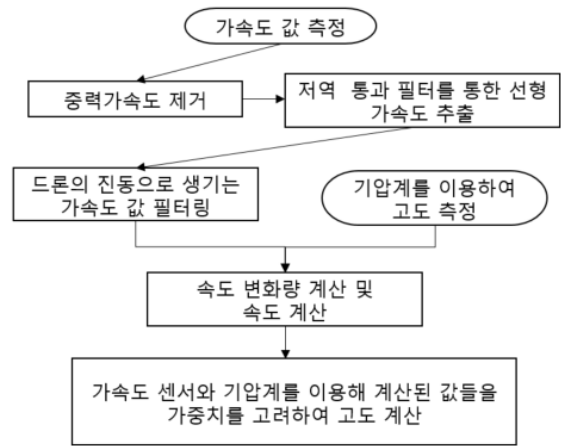


그림 1. 일반적인 드론 고도 측정 과정

#### 3.2 가속도센서를 이용한 드론 고도 측정 알고리즘

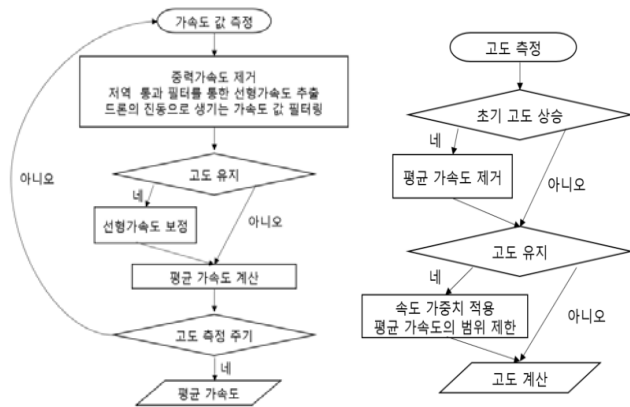
기존 드론 고도 측정방법을 참고하여 가속도 값에 중력가속도 제거, 저역 통과 필터를 통한 선형 가속도 추출 및 드론의 진동으로 생기는 가속도 값을 필터링한다. 큐 생성 알고리즘을 적용한 연속된 선형 가속도 값을 이용하여 고도 유지 상태 여부를 확인한다. 고도 유지 상태이면 가중치를 고려한 선형가속도를 보정하여 평균 가속도를 계산한다. 이때 고도 측정 주기와 일치하면 평균 가속도를 추출하고 아니면 앞서 설명한 평균 가속도 계산 과정을 다시 수행한다. 그림 2(a)는 가속도 값을 필터링하고 드론 비행 특성을 고려한 평균 가속도 계산 과정을 나타낸다.

그림 2(a)에서 나온 출력 값인 평균 가속도는 고도 계산에서 이용한다. 드론이 상승하기 전까지는 고도 값이 0이지만 드론의 진동으로 평균 가속도가 측정되어 고도 값이 계산된다. 이 문제를 해결하기 위해 사용자가 드론에 주는 신호 값인 스로틀 수치를 이용하여 초기 고도 상승 상태 여부를 판단한다. 고도 상승이 나타나지 않은 상태에서는 평균 가속도를 고도 계산에 사용하지 않는다. 고도가 상승되고 있다고 판단되면 평균 가속도를 적용한다. 다음으로 평균 가속도 계산과정에서 판단된 고도 유지 여부를 이용하여 고도 계산에 적용되는 속도를 달리한다. 고도 유지 상태이면 속도 적분 오차 누적의 문제를 방지하기 위해 속도에 가중치를 고려해준다. 또한 고도 유지 상태에도 드론의 진동으로 비정상적인 평균 가속도가 발생하므로 평균 가속도의 범위를 제한한다.

최종적으로 드론 비행시 발생하는 여러 가치를 고려하여 최종적으로 나온 평균 가속도를 식 (2)를 이용하여 고도 계산을 한다. 식에서  $Alt$ 는 고도 값,  $a$ 는 가속도,  $t$ 는 가속도센서로부터 가속도 값을 측정한 시간을 나타낸다.

$$Alt = \frac{a}{2} + t^2 \quad (2)$$

그림 2(b)는 가속도센서 적분 오차 누적 문제를 해결하고 드론 비행 특성을 고려하여 고도 측정 과정을 나타낸다.



(a) 평균 가속도 계산 과정 (b) 고도 측정 과정

그림 2. 드론 비행 특성을 고려한 평균 가속도 계산 과정 및 고도 측정 과정

위의 전체 과정을 통해 드론 비행시 가속도 측정에서 발생할 수 있는 여러 사항들을 고려하고 가속도 값 적분 오차 누적의 문제를 보정함으로 고도 측정의 오차율이 줄어든다.

#### 4. 실험결과

실험에서 사용한 드론은 연구를 위해 자체 제작한 쿼드콥터이고 실내에서 비행 테스트를 하였다. 고도 측정 변화를 확인하기 위해 고도 유지 상태일 때와 상승 후 바로 하강하는 실험을 수행하였다.

그림 3은 드론의 기존 고도측정 방법을 사용하여 약 130cm에서 고도를 유지하다 하강할 때의 고도 변화를 나타낸다. 약 130cm에서 고도가 유지되고 있지만 고도 측정 값은 157~209cm로 분포되고 있다. 고도 유지 구간에서 실제 고도 값(130cm)과 측정된 고도 값(157~209cm)의 차이는 27~79cm로 약 40~60%의 오차율이 나타나 고도측정이 정확히 이루어지지 않음을 알 수 있다.

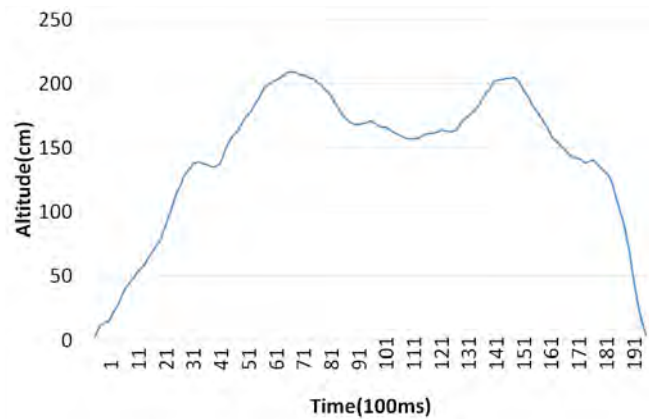


그림 3. 일반적인 고도측정 방법을 적용한 고도 변화 그래프

그림 4는 본 논문에서 제안한 방법을 사용하여 약 120cm에서 고도를 유지하다 하강할 때의 고도를 나타내고 있다. 약 120cm에서 고도가 유지되고 고도유지 상태일 때 고도측정은 125~129cm의 분포로 고도 값이 측정되고 있다. 고도 유지 구간에서 실제 고도 값(120cm)과 측정된 고도 값(125~129cm)의 차이는 5~9cm로 약 7%의 오차율이 나타난다.

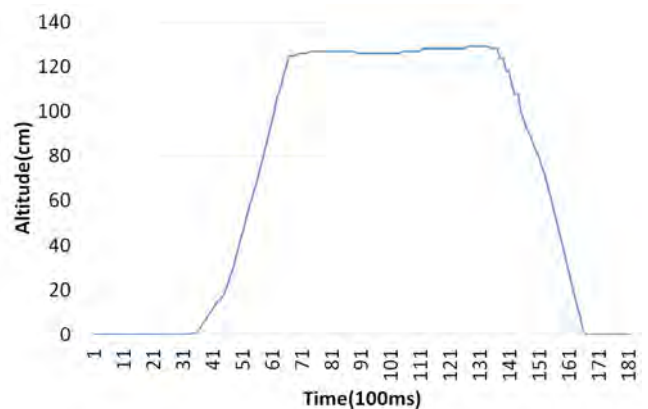


그림 4. 제안한 방법을 적용한 고도 변화 그래프

그림 5는 기존의 고도측정 방법을 적용하여 약 350cm의 높이까지 상승하였는데 최고 277cm를 나타내고 있다. 또한 드론의 진동과 프로펠러의 바람영향으로 기압계와 가속도센서의 측정 오차가 생겨 드론이 지표면에 있는 상태임에도 불구하고 고도가 계산되고 있으며 음의 고도 값이 나타나고 있음을 알 수 있다. 최고 고도 시점에서 실제 고도 값(350cm)과 측정된 고도 값(277cm)의 차이는 73cm로 약 20%의 오차율을 보인다.

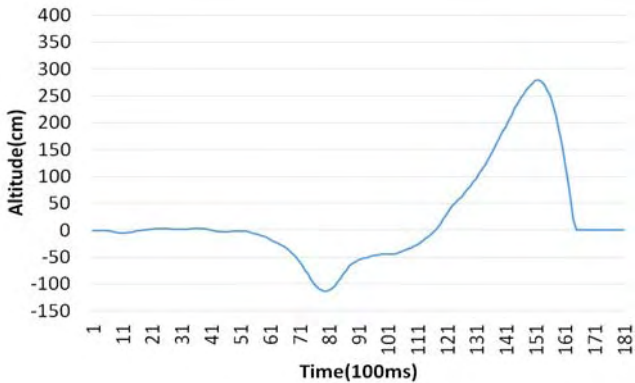


그림 5. 일반적인 고도측정 방법을 적용한 고도 변화 그래프

그림 6은 본 논문에서 제안한 방법을 적용하여 약 350cm까지 고도 상승하다가 하강할 때의 고도 변화를 나타내고 있다. 실험 결과에서는 최고 370cm로 측정되었다. 최고 고도 시점에서 실제 고도 값(350cm)과 측정된 고도 값(370cm)의 차이는 20cm로 약 5%의 오차율이 나타난다.

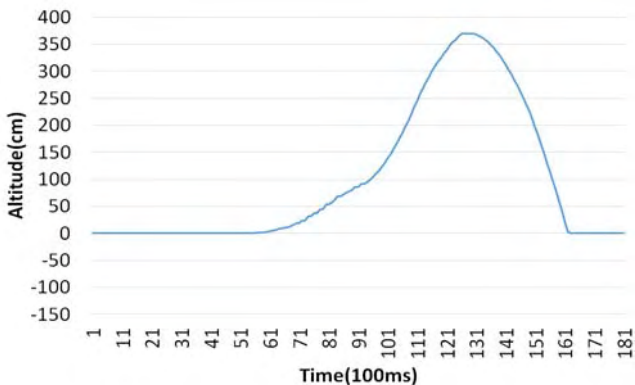


그림 6. 제안한 방법을 적용한 고도 변화 그래프

실험 결과에 따르면 고도 유지 구간에서 기존 방법의 오차율은 40~60%, 제안한 방법의 오차율은 7%로 제안한 방법이 기존 방법에 비해 개선됨을 알 수 있다. 또한 최고 고도 시점에서의 오차율은 20%에서 5%로 줄어 제안한 방법이 기존 방법에 비해 더 나음을 알 수 있다. 위 그림들을 통해 가속도센서만을 이용하여 드론 비행 중 고도 측정하는 방법의 성능이 더 좋음을 알 수 있다.

## 5. 결론

일반적인 드론의 고도 측정 방법은 가속도 값의 적분 오차 누적의 문제, 비행 시 프로펠러의 바람의 영향 및 드론의 진동 등의 문제가 존재하였다. 본 논문에서는 이러한 문제들을 해결하고 가속도센서만을 이용한 드론 비행시 고도 측정하는 알고리즘을 제안하였다. 제안된 방법의 효과는 실험으로 일반적인 고도 측정 방법보다 약 40% 정도의 오차율이 감소하였음을 확인하였다. 향후 연구로는 이 논문의 고도 측정 알고리즘을 사용하여 고도 유지 기법을 연구하고자 한다.

※ 본 논문은 중소기업청에서 지원하는 2017년도 산학협력 기술개발사업(No. C0442107)으로 수행되었음

## 참고문헌

- [1] 오세일, “민간용 드론 활용 연구”, 한국방송공학회학술대회, pp. 315-318, 2015.7.
- [2] P. J. Kim, H. J. Kim, “Design of an Image-Based Quadrotor Controller for Automatic Landing on Shipboard,” The Korean Society For Aeronautical And Space Sciences, pp.442-446, 2013.11.
- [3] 이운석, 김은, 김종민, “비콘을 사용하여 실내 비행이 가능한 드론에 관한 연구”, 대한전자공학회 학술대회, pp. 1624-1626, 2015.6.
- [4] 박상용, 김우성, “MEMS 압력계를 이용한 공력자료 시스템 개발”, 한국항공우주학회 추계학술발표회, pp. 392-395, 2003.11.
- [5] 유호, 천세범, 이영재, 강태삼, 지규인, “무인항공기용 고도계 차분과 DGPS를 이용한 고도 측정”, 한국항공우주학회 학술발표회, pp. 399-402, 2004.11.
- [6] Hanieh Deilamsalehy, Timothy C. Havens, “Sensor Fused Three-dimensional Localization Using IMU, Camera and LiDAR,” SENSORS, 2016.10.
- [7] 김성필, 유창선, 김웅태, “GPS/INS/기압고도계를 결합한 고도 결정 알고리즘”, 한국항공우주학회 학술발표회, pp. 283-287, 2004.11.
- [8] 박승훈, 이정훈, 김성우, 임재환, 류지열, “가속도 센서를 이용한 이동거리 측정 시스템”, 한국정보통신학회, pp. 1300-1305, 2012.6.
- [9] 왕수현, 신인재, 이재호, 김경배, 엄두섭, “스마트 조명 시스템을 활용한 드론 호버링 및 위치인식 기법 연구”, 한국통신학회, pp. 1514-1515, 2016.6.
- [10] H. Wang, et al., “No need to war-drive: Unsupervised indoor localization,” in Proc. of the 10th international conference on mobile systems, applications, and services, pp.197-210, 2012.
- [11] 이정용, 이동명, “Wi-Fi 환경에서 센서 및 정규분포 확률을 적용한 하이브리드 위치추정 알고리즘”, 한국통신학회, pp. 232-233, 2015.6.