

실내 환경에서 드론의 관성항법장치 기반 위치 측정 연구

김덕엽[○], 이성희, 이우진*
경북대학교 컴퓨터학부, *소프트웨어기술연구소
[○]e-mail:ejrduq77@naver.com

A Study on Position Measurement of Drone based on Inertial Measurement Unit in Indoor Environment

Deok-Yeop Kim[○], Sunghee Lee, Woo-Jin Lee*
School of CSE & *SWRC, Kyungpook National University

요 약

실외 환경에서는 일반적으로 드론의 위치 측정 또는 위치 제어를 위해서 위성항법장치를 사용한다. 위성항법장치는 실내 환경에서 신호 수신에 어려움이 때문에 실내에서의 위치 측정과 항법을 수행하기 위해서 많은 연구가 이루어진다. 기존의 연구들은 드론에 추가적인 센서를 요구하거나 사전 실내 환경 설정을 가정한다. 그러나 추가적인 장치나 환경 설정 없이 드론의 관성항법장치만으로도 위치 측정이 가능하다. 관성항법장치는 가속도를 적분하여 이동한 거리를 파악하기 때문에 시간이 지날수록 오차가 누적되는 문제점이 있으며 비행 중 기체 진동으로 인한 측정 오차로 정확한 이동거리를 산출해내는 것이 어렵다. 따라서 본 논문에서는 이러한 문제들을 드론의 특성을 반영하여 관성항법장치로부터 발생한 오차를 줄여 보다 정확한 드론의 실내 위치측정 방법을 제안한다.

1. 서론

일반적으로 실외 환경에서는 위성항법장치를 이용하여 드론의 위치 측정과 위치 제어를 수행한다. 여러 개의 위성을 사용하기 때문에 다른 방법들보다 정확도가 높고 위도와 경도 정보를 이용하여 드론의 위치를 제어하기도 쉽다[1]. 위성항법장치는 실내 환경에서 신호 수신에 어려움 때문에 실내 측위나 항법을 위한 다양한 방법들이 연구된다. 이러한 기존의 연구들은 드론에 마커 부착 또는 추가적인 센서를 요구하거나 사전 실내 환경 설정을 가정한다[2-4]. 그러나 추가적인 장치나 환경 설정이 드론의 위치 측정에 항상 필요한 것은 아니며 드론의 관성항법장치로도 위치 측정이 가능하다. 실제로 보행자나 보행 로봇의 경우에는 관성항법장치를 기반으로 실내에서 위치 측정이 가능하다. 그러나 보행자나 보행 기계의 위치 측정 기법을 드론에 적용하는 것은 어렵다. 보행자가 걷거나 보행 기계가 동작할 때의 움직임과 드론이 비행할 때의 움직임은 엄연히 다르기 때문이다.

관성항법장치는 내부 센서의 자체적인 오차 등의 문제가 존재하지만 드론에 사용되면서 새로운 문제들이 발생한다. 첫 번째로 드론의 특성상 비행할 때 공중에서 자세를 유지하거나 제어하기 위해 끊임없이 움직이기 때문에 기체에 진동이 발생하여 보행자나 로봇보다 관성항법장치의 측정 오차가 크게 나타난다. 두 번째로 드론은 데이터 샘플링 후에 크게 움직일 경우 비정상적인 값이 측정될

때가 있다. 예를 들면 전후좌우 비행 중에 갑자기 매우 큰 값이나 반대 방향의 값이 나타나는 것이다. 이런 측정 오차와 비정상적인 값들로 인해 비행 후 안정적인 호버링 상태를 유지할 때도 속도가 0에 근접해야 하지만 실제로는 남아있는 속도 값이 커서 측정 위치가 계속 변한다. 마지막으로 대부분의 드론은 전후좌우 비행을 할 때 기체가 기울어진 채로 이동하는데 기울어지는 순간에 관성항법장치로부터 불규칙적이고 큰 값이 측정되기 때문에 이 값을 위치 계산에 사용할 경우 드론의 정상적인 위치 측정이 불가능하다.

드론 시스템에서 관성항법장치를 이용한 위치 측정 정확도가 낮은 이유는 장치 내부 센서의 자체적인 오차보다 앞서 설명한 관성항법장치가 드론 시스템에 사용되면서 발생하는 문제들로 인한 요인이 더 크다. 그러므로 보다 정확한 위치 측정을 위해서는 이러한 문제들을 해결해야 할 필요가 있다. 따라서 본 논문에서는 관성항법장치가 드론에 사용되면서 발생한 문제점들을 드론의 특성을 반영하여 개선한 관성항법장치 기반의 실내 위치측정 방법을 제시한다.

2. 관련 연구

관성항법장치 기반 보행자 실내 위치 인식 방법[5]은 일반적으로 신발에 부착된 관성항법장치로부터 가속도와 자이로 데이터를 수신하여 PDR(Pedestrian Dead Reckoning)

알고리즘에 적용시키는 방식으로 수행된다. 위치 측정의 정확도를 높이기 위해서는 다른 방법과 결합하거나 관성항법장치의 보정을 통해 측정 오차를 줄여야한다. 대표적으로 걸음 수 측정 기법과 보폭 추정 기법, 방향 추정 기법을 결합하는 방법이 있다. 또 다른 방법은 관성항법장치의 보정으로 초기 영점 조절, 드리프트 제거 및 틸트에 대한 알고리즘을 적용하여 측정 오차를 줄이는 것이다[6]. 그러나 걸음 수나 보폭 등의 특성이 있는 보행자나 보행로봇의 경우에만 기법의 결합이 가능하다. 또 관성항법장치는 사용되는 환경에 따라 측정 오차나 드리프트가 다르게 나타나며 환경으로 인해 새로운 문제가 발생할 수 있기 때문에 관성항법장치의 보정은 장치가 사용되는 환경의 특성을 고려하여 적용할 필요가 있다.

스마트폰의 내장 센서를 이용한 보행자 위치 추적 방법 [7]에서는 스마트폰에 내장된 가속도와 자이로 센서를 이용하면 관성항법장치로 보행자의 위치를 측정하는 방법을 똑같이 적용할 수 있다는 점에 착안한 보행자 위치 추적 방법이다. 스마트폰이기 때문에 발이나 발목 기준이 아닌 손이나 주머니를 기준으로 위치를 계산한다. 관성항법장치 뿐만 아니라 스마트폰을 사용하는 보행자의 특성을 반영했기 때문에 기존 방법들과 비교해도 정확도가 떨어지지 않는다.

다중 관성항법장치를 활용한 이족보행 로봇의 위치 추적 방법[8]은 다수의 관성항법장치를 로봇의 각 관절에 부착해 로봇의 링크 자세정보와 관절정보를 함께 활용하여 총 7단계의 순서로 관절의 위치 계산 시 시간에 따른 오차누적 현상을 줄여 위치 측정의 정확도를 높인 방법이다. 로봇은 각 관절이 독립적으로 움직이고 링크 자세 및 관절 정보가 존재하기 때문에 다수의 관성항법장치를 활용할 수 있다. 그러나 보행자나 보행 로봇을 제외하고는 다수의 관성항법장치를 활용하기가 쉽지 않으며 활용하더라도 같은 효과를 기대할 수 없다.

조종 입력 신호와 드론 위치 간 관계 모델 식별을 이용한 위치 측정 및 제어 방법[9]은 드론의 입력 신호인 롤과 피치를 조작 변수로 두고 x축과 y축 위치를 제어 변수로 취급하여 고정된 롤 또는 피치 신호를 주었을 때 나타나는 x축 또는 y축 위치와의 관계 모델을 구하여 드론의 위치 측정 및 제어를 구현한 방법이다. 고정 입력 신호를 주면 거의 동일한 움직임을 보이는 드론의 특성을 이용했다. 그러나 입력 신호만을 활용했기 때문에 드론의 기종이나 하드웨어 스펙이 변경되었을 때 같은 입력에 대한 드론의 위치가 변화하기 때문에 새로운 관계 모델을 구해야 한다.

기존 보행자나 로봇의 위치 측정 기법들을 살펴보면 각 환경의 특성을 반영하여 정확도를 높였기 때문에 다른 환경에는 적용하기 힘들고 적용하더라도 좋은 효과를 기대하기 힘들다. 따라서 본 논문에서는 관성항법장치가 드론에 사용되면서 발생한 문제를 개선하고 드론의 특성을 반영하여 관성항법장치 기반 위치 측정의 정확도를 높이고자 한다.

3. 관성항법장치 기반의 드론의 실내 위치 측정

3.1 일반적인 드론의 위치 측정

드론 시스템에서는 관성항법장치가 지속적으로 가속도와 자이로 데이터를 측정한다. 측정 주기는 1ms이며 위치 계산 주기는 100ms이다. 매우 짧은 시간동안의 위치를 계산할 경우 적분오차도 커지며 드리프트로 인해 측정된 값의 신뢰성도 떨어지기 때문에 위치 계산 주기를 100ms로 설정한다.

일정시간동안 이동한 거리를 알기 위해서 필요한 가속도는 선형가속도인데 관성항법장치로 측정된 데이터에는 중력가속도가 포함되어 있으므로 중력가속도를 제거하여 선형가속도를 구한다. 위치 계산이 100ms마다 이루어지기 때문에 위치 계산에는 직전 계산이 끝난 후부터 현재 계산까지의 시간동안 측정된 가속도들의 평균값을 사용한다. 즉 일정시간동안 등가속도 운동을 한 것으로 처리한다. 고주파 성분을 제거하고 유효한 가속도 측정을 위해 저역 필터(low pass filter)만 적용한다[10].

그림 1은 안정적인 호버링 상태에서 드론의 가속도와 위치 정보를 나타낸다. 공중에서 수평 자세 제어를 위해 빠르게 움직이면서 발생하는 기체 진동으로 인해 가속도 측정값이 -300~300 범위로 불규칙적이다. 한 번씩 측정 오차가 크게 발생하여 시간이 지날수록 속도와 위치의 오차가 누적된다. 초 단위의 일정 시간동안 가속도들의 평균값은 한 자리 또는 두 자리로 0에 근접한다.

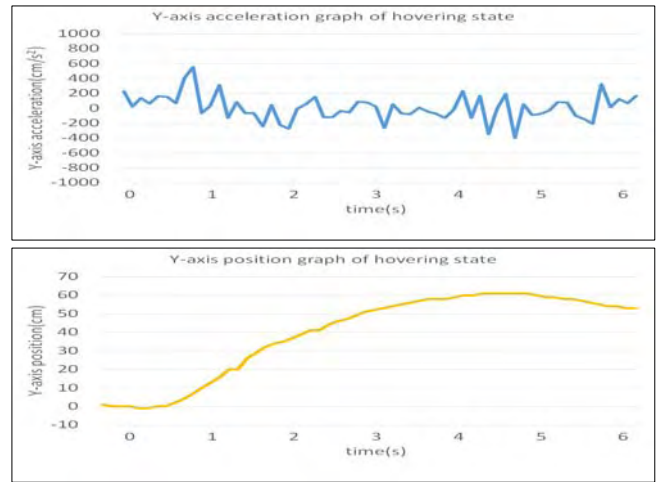


그림 1. 일반적인 호버링 상태에서 Y축 가속도와 위치

그림 2는 드론에 고정 피치 신호를 줘서 전진 비행할 때 드론의 가속도와 위치 정보를 나타낸다. 측정된 가속도가 대부분 비행 방향과 일치하지만 중간 중간 반대 방향의 가속도 값들이 측정된다. 실제 드론의 속도는 증가하는데 반대 방향의 가속도 값이 측정되는 비정상적인 현상이다. 이런 현상은 주로 측정 데이터 샘플링 후에 발생한다. 가속도 그래프에서 동그라미로 표시한 것은 정지를 위해 기체가 순간적으로 기울어졌을 때 큰 가속도 값이 측정됐음을 의미한다.

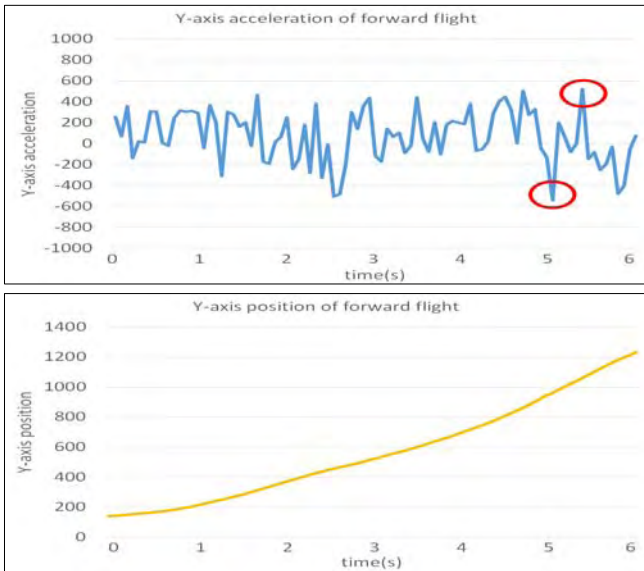


그림 2. 일반적인 전진 비행에서 Y축 가속도와 위치

이러한 측정 오차들로 인해 호버링 상태에서 속도가 0에 근접하지 않아 측정 위치가 계속 변하게 된다. 또 비정상적인 측정값들이 위치 계산에 사용되면서 드론의 정상적인 위치 측정이 불가능하다.

3.2 드론의 특성을 반영한 위치 측정

위치 측정에서 발생하는 문제들을 해결하기 위해서 먼저 드론의 시동 후 이륙 전에 프로펠러 회전으로 인한 약간의 기체 진동으로 발생하는 오차와 드리프트를 제거하기 위해 데드밴드를 적용시킨다. 이륙 전 상태에서 측정되는 가속도 값의 최소치와 최대치를 이용하여 측정 범위를 포함하는 영역을 데드밴드 범위로 설정한다.

드론의 호버링 상태와 이동 상태의 구분은 드론이 이동할 때 기체가 기울어진다는 특성을 이용하여 피치나 롤 신호와 현재 기울어진 각도 그리고 최근 10개 가속도 데이터의 평균으로 판단한다. 호버링 상태에서 발생하는 측정 오차를 해결하기 위해서 정상적인 측정 데이터와 비정상적인 측정 데이터를 구분할 수 있는 윈도우를 적용시킨다. 호버링 상태에서는 바람과 같은 외적 요인으로 인한 드론의 흐름 현상을 고려하더라도 측정되는 가속도가 정상적이라고 판단되는 상한선과 하한선을 넘지 못하기 때문이다.

그림 3은 데드밴드와 윈도우를 적용한 후 호버링 상태에서 드론의 가속도와 위치 정보를 나타낸다. 작은 가속도 값들이 측정되며 시간에 따른 속도나 위치의 오차가 거의 없다. 드론의 이동 중 데이터 샘플링 후에 한 번씩 발생하는 반대 방향의 가속도 값이 측정되는 문제는 반대 방향의 가속도가 측정되면 해당 데이터를 제거하여 위치 계산에 사용되지 않도록 처리한다. 드론이 이동 상태일 때 고정 신호를 주기 때문에 속도는 증가하거나 유지되는데, 반대 방향으로 큰 가속도 값이 측정될 수 없기 때문이다.

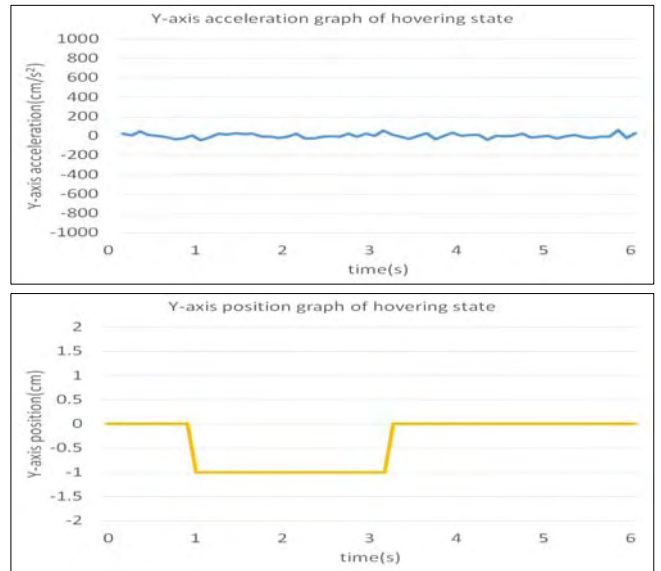


그림 3. 특성 반영 후 호버링 상태에서 Y축 가속도와 위치

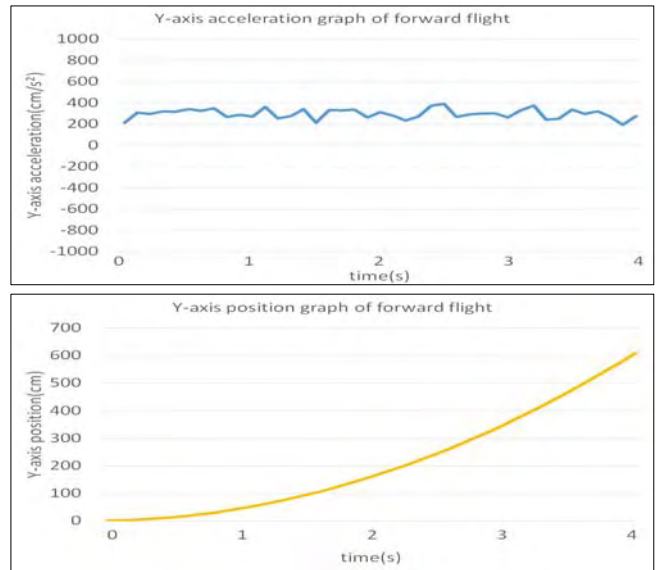


그림 4. 특성 반영 후 전진 비행에서 Y축 가속도와 위치

그림 4는 반대 방향의 가속도 데이터 제거 처리 적용 후 전진 비행 상태에서 가속도와 위치 정보들을 나타낸다. 고정 피치 신호를 줘서 비슷한 가속도 값들이 측정되며 측정 위치가 포물선 형태로 나타난다. 순간적인 기체의 기울어짐으로 발생하는 문제는 기체가 기울어지는 순간을 판단하기 위해 관성항법장치의 자이로 센서로 측정된 각속도와 피치, 롤 신호를 이용한다. 기울어짐으로 인한 측정값이 신호가 들어온 뒤에 발생하고 기체가 기울면서 순간적으로 각속도가 크게 측정되기 때문이다. 기체가 기울어진 순간을 기준으로 최근 데이터들을 필터링하여 기울어짐으로 발생한 측정값을 처리한다. 가속도 그래프를 확인해보면 피치 신호를 받은 직후 비정상적인 측정값들이 나타나지 않는다.

4. 실험 결과

실험에 사용된 드론 기체는 ㈜무지개연구소의 제품 올인원 스마트 드론 메인보드 블루비(BLUEBEE)[11] 기반의 쿼드콥터이다. 실험은 실내 비행장에서 진행하였고 전진과 후진을 위한 피치 신호는 1600과 1400으로 고정했다. 드론의 위치 측정 실험은 이륙 → 호버링 → 5m 전진 → 호버링 → 5m 후진 → 호버링 → 착륙의 순서로 진행하였다.

그림 5는 드론의 특성을 반영한 관성항법장치 기반 위치 측정 실험의 결과다. 호버링 상태일 때는 드론의 속도나 위치의 변화가 거의 없는 것을 확인할 수 있다. 전진과 후진, 정지를 위해 반대방향의 신호를 주었을 때 가속도와 위치가 드론의 움직임에 맞게 나타났다. 오차의 계산은 이륙지점과 착륙지점에 표식을 남겨 두 지점의 실제 거리와 측정 위치의 비교를 통해 수행했다. 3m, 5m, 8m, 10m의 위치 측정 실험을 각각 5번씩 수행하였으며 약 10%의 평균오차를 확인하였다.

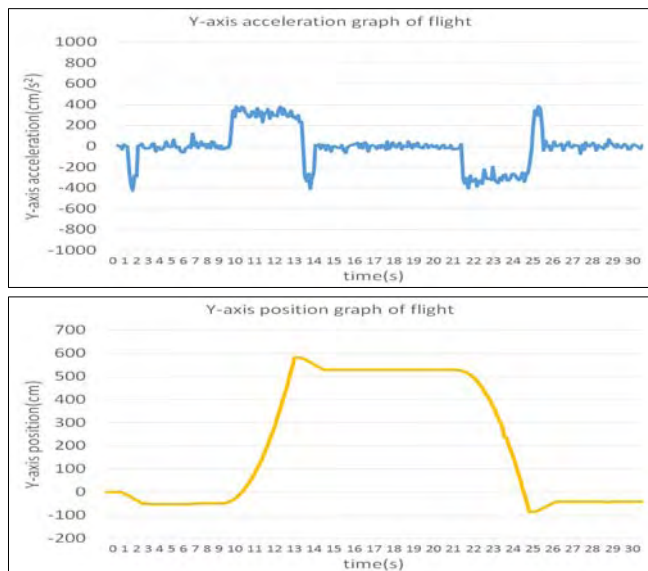


그림 5. 5m 전진 및 후진 비행에서 Y축 가속도와 위치

5. 결론

본 논문에서는 실내에서 드론의 위치 측정을 위해 관성항법장치가 드론 시스템에 사용되면서 발생한 문제들을 확인하고 이러한 문제들을 개선한 위치 측정 방법을 제시하였다. 실험 결과 약 10%의 평균오차로 드론의 위치가 측정되었다. 위치 측정의 정확도가 기존 보행자나 로봇에서 사용하는 측정 방법의 정확도와 비슷하며 관성항법장치만으로도 실내에서 드론의 측위가 가능함을 보였다. 향후 연구로는 특성을 반영한 방법 개선을 통한 오차 감소와 드론이 이동 후 정지할 때의 미흡한 위치 계산 방법을 개선하여 시간에 따른 누적 오차를 줄이고자 한다.

※ 본 논문은 중소기업청에서 지원하는 2017년도 산학협력 기술개발사업(No. C0442107)의 연구수행으로 인한

결과물임을 밝힙니다.

참고문헌

- [1] Lucas Vago Santana, "Outdoor Waypoint Navigation with the AR.Drone Quadrotor," Proc. of 2015 International Conference on Unmanned Aircraft Systems, pp. 303-311, 2015
- [2] K. S. Kim, "An indoor position localization system for quadrotor position control," Proc. of 2013 Conference on Information and Control Systems, pp. 438-439, 2013
- [3] J. M. Lee, "Realization of Drone Position Control Using Motion Capture System," Proc. of 2013 Conference on Information and Control Systems, pp. 85-86, 2015
- [4] J. H. Kim, "Hovering and Autonomous Flight Control of Quad-rotor in Indoor Environments," Proc. of 2014 Conference on Information and Control Systems, pp. 482-485, 2014
- [5] J. C. Choi, "Implementation of Indoor Positioning System using IMU sensors," Proc. of 2016 Conference on The Korean Institute of Communications and Information Sciences, pp. 1476-1477, 2016
- [6] I. N. Lee, "A study of the precise position recognition algorithm throught the IMU sensor compensation," Proc. of 2014 Conference on Information and Control Systems, pp. 145-148, 2014
- [7] Yasmine Fahmy, "Android Smartphone Usage as a Pedestrian Tracking System," Proc. of 2016 28th International Conference on Microelectronics, pp. 173-176, 2016
- [8] S. Y. Jo, "Position-Tracking for a Biped Walking Robot using Multi-IMUs," Proc. of 2015 Conference on Institute of Control, Robotics and Systems, pp. 340-341, 2015
- [9] Luis Orozco, "Design and Implementation of a Control of Position System for the Quadricopter AR. Drone 2.0 by Parrot," Proc. of 2016 International Conference on Automatica, pp. 1-6, 2016
- [10] Miao Cai, "Design and modeling of reconfigurable MEMS low pass filter," Proc. of 2006 8th International Conference on Solid-State and Integrated Circuit Technology, pp. 563-565, 2006
- [11] All-in-one smart drone BLUEBEE [online]. Available : <http://www.rgblab.kr/>