



Study on the UAV Hovering using a Mouse-based Optical Flow Sensor

Gi-Weon Kim*, Jin-Young Yang

School of IT Convergence, Chodang University

ABSTRACT

UAV are widely used in such affected areas of lifesaving, delivery and aerial photography. The most important thing in the function of unmanned aircraft equipped is to ensure stability. As the accident rate of a drone reaches 100 times that of general aircraft, the operation at the low altitude has caused the collisions with a number of structures. Therefore, studies for ensuring the safety of an unmanned aircraft, have become an important field. In this paper, the touch on measures to ensure the safety of the unmanned aircraft is covered. The most basic is implementation of reliable hovering in safety. Hovering has a method of using a GPS signal. However, hovering cannot be available when the GPS signal is lost or it has a room flight. In this paper, a possible stable hovering manner based on the optical flow is suggested. Therefore, the operation was tested, using the setting program, after an optical flow sensor is set to flight control board APM2.5. Then, the actual travel distance of the unmanned aircraft was calculated by implementing an algorithm for correcting the error in moving distance corresponding the altitude. Finally, using the calculated X and the Y coordinate value, it corrected the position of the unmanned aircraft. Position correction is adjusted by using the Roll and Pitch values. As a result, stable hovering in capable unmanned aircraft was implemented even if it was impossible to use the GSP signal under indoor flight.

© 2015 KKITS All rights reserved

KEYWORDS : Optical flow, Hoverings, Optical flow sensor, UAV, ADNS sensor

ARTICLE INFO: Received 11 August 2015, Revised 8 October 2015, Accepted 8 October 2015.

*Corresponding author is with the Department of Smart Unmanned Aviation at Chodang University, 419, Muan-eup, Muan-gun, Jeollanam-do, 534-701, KOREA.
E-mail address: kwkim@edu.ac.kr

1. 서 론

전미가전협회(CEA)는 2015년 세계 무인항공기(UAV, Unmanned Aerial Vehicle) 시장 규모가 지

난해보다 55% 증가한 1억3000만 달러(40만대)에 달할 것으로 전망했다[1]. 이러한 무인항공기는 재난지역 인명 구조, 배달, 항공사진 촬영 등에 널리 쓰이고 있으며 예능 프로그램이나 방송 취재에 무인항공기를 이용하는 일이 점차 많아지고 있다. 국내에서는 농약을 살포하거나 병충해를 감시하는 등 환경 분야에 널리 활용되고 있다. 무인항공기가 갖추어야 하는 기능 중에 가장 중요한 것은 안정성을 보장하는 것이다. 무인항공기가 미래 산업으로 주목받으면서 안정성에 대한 염려가 커지고 있다. 무인항공기의 사고율이 일반 항공기에 비해 100배에 달하는 데다 낮은 고도에서 운행돼 건물 등 많은 구조물들과 충돌하기 때문이다. 현재 국내에서 운영되고 있는 방제용 무인항공기의 사고율이 45%에 달하고 있다. 미 연방항공청(FAA)은 2020년 최대 7,500대에 달하는 무인항공기가 운항될 것으로 판단하고 있어 [2], 무인항공기의 안정성 확보에 대한 연구는 더욱 더 중요한 분야가 되고 있다.

본 논문에서는 무인항공기의 안전성을 확보하기 위한 방안에 대해 다룬다. 안전성 확보 방안 중에서 가장 기본적인 내용이 안정적인 호버링의 구현이다. 무인항공기에서 호버링은 자이로 센서를 이용하여 XYZ 축이 수평이 되도록 각 날개를 자동적으로 조절해 주거나 GPS 신호를 이용하는 방법이 있다. 그러나 강한 바람과 같은 악천후인 경우 또는 GPS 신호가 끊어지는 경우에 안정적인 호버링을 유지하기는 어렵다. 또한 무인항공기가 실내 비행을 하는 경우 GPS 신호를 사용할 수 없기 때문에 호버링이 불가능해 진다. 본 논문에서는 유틸리티 플로우를 사용하여 무인항공기의 안정적인 호버링을 보장하는 추가적인 방법을 제안하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 무인항공기와 안정적인 비행을 위한 센서들에 대한

이론적 배경을 소개한다. 3장에서는 무인항공기의 안정적인 정지 비행을 위한 유틸리티 플로우 적용 방법을 제시하며, 마지막으로 결론을 기술한다.

2. 무인항공기 이론적 배경

2.1 무인항공기 시스템 구조

무인항공기는 조종사가 직접 탑승하지 않는 항공기를 통칭한다. 무인항공기 시스템은 조종사가 직접 탑승하지 않고 원거리에서 무선으로 원격 조정하거나, 사전에 입력된 프로그램에 따라 또는 비행체 스스로 주위 환경을 인식·판단하여 자율비행이 가능한 무인 항공기 시스템을 통칭하여 정의하고 있다[3,4]. 무인항공기 시스템은 크게 지상 관제부와 무인항공기로 구성된다. 지상 관제부에서는 송신기 또는 스마트폰으로 제어 신호를 전송하며 카메라가 촬영한 영상을 실시간으로 OSD(On Screen Display) 또는 고글을 통해 FPV(First Person View) 형태로 확인할 수 있다.

무인항공기의 수평 자세제어와 비행을 위해 기체는 다양한 센서로 구성되어 있는데, <그림 1>에서와 같이 주로 가속도, 자이로, 지자기, 기압 센서를 사용한다. 가속도 센서는 이동할 때의 가속도를 측정함과 동시에 제자리에서 기울어졌을 때의 각도를 검출하는 데 사용한다. 자이로 센서는 센서가 기울어졌을 때의 속도, 즉 각속도를 검출하는데 사용한다. 그러나 이 두 센서만을 사용할 경우 Yaw축으로의 회전은 검출하지 못한다. 따라서 이를 검출하기 위해 지자기 센서를 사용한다. 기압센서는 기체의 고도를 유지하기 위해 사용하며, 기체의 현 위치를 파악해 ground station이나 back home 등의 기능을 제공하기 위해 GPS 모듈이 사용된다[5].

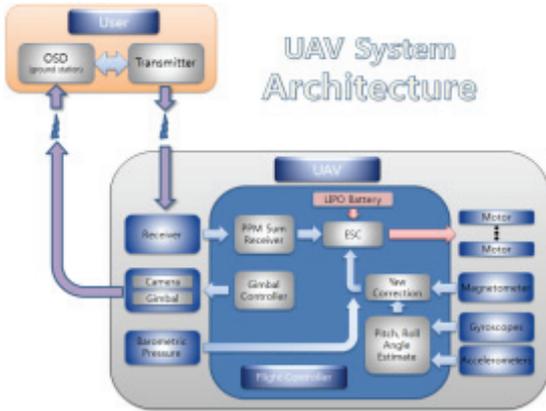


그림 1. UAV 시스템 구조
Figure 1. structure of UAV system

2.2 무인항공기 센서

무인항공기의 자율 비행이나 안정적인 정지 비행을 위해서 센서를 사용한다. 한 예로 비행을 하는 동안에 나타나는 장애물을 인식하기 위해서는 물체와의 거리를 감지하는 센서가 필요한데, 레이더 및 라이다와 같은 센서는 너무 크고 무겁기 때문에 소형의 무인항공기에 사용하기에는 부적합하다[6]. 따라서 무인항공기에 적합한 크기와 무게를 갖는 센서들을 사용해야 한다. 무인항공기에서 주로 사용하는 센서들은 다음의 <표 1>과 같다. 이 중에서 GPS는 무인항공기의 정지비행이 가능하도록 도와주는 센서로 외부 환경 변화에 대처하여 항상 동일한 위치에 무인항공기가 비행 할 수 있도록 해준다. 이는 무인항공기의 가장 기본적인 조종 기능으로 이로 인해 초보자도 쉽게 무인항공기를 조종할 수 있게 된다. 그러나 GPS 신호를 포착하기 전에 이륙하는 경우나, 장애물에 가려지든가 실내 비행을 하는 경우 GPS 신호를 사용할 수 없게 되는데 이 경우 안정적인 호버링이 불가능 하게 된다. 또한 현재의 GPS 오차 범위가 수십 m에 달하고 있어 정밀한 정지 비행을 어렵게 하고 있다.

GPS의 대안으로 옵티컬 플로우 센서를 사용할 수 있다. 옵티컬 플로우 센서는 광학 흐름을 측정하는 센서로 일반적으로 광학 마우스에 사용되고 있다.

표 1. UAV 센서
Table 1. UAV sensors

센서	기능	제품
자이로	회전각속도를 알려주는 센서로서 드론의 좌우 균형을 잡아줌	MPU6050 
기압	기압을 측정하는 센서로 일정 고도를 유지 하게 해줌	BMP085 
지자기	YAW축의 절대 각도를 감지해 기체 방향을 유지	HMC5883L 
가속도	현재의 가속도를 알려주는 센서로 지평과 하늘의 수평을 찾아 자세를 유지	MPU6050 
GPS	위성에서 보내는 신호를 수신해 현재 위치를 계산하는 수신기	3DRobotics 
Optical Flow	화소 밝기의 변화량을 측정하는 센서로 정지 비행에 사용 가능	ADNS3080 

2.3 옵티컬 플로우

옵티컬 플로우는 카메라 또는 물체가 이동을 할 때 영상내의 각 화소들의 밝기 변화를 의미한다.

이것은 3차원 공간에서 이동하는 물체의 움직임을 카메라를 통해 화소들의 위치 변화에 대한 속도를 2차원으로 표현한 것으로 영상의 이동 속도를 나타내게 된다. 옵티컬 플로우는 추출 범위에 따라 밀집 옵티컬 플로우(dense optical flow)와 희소 옵티컬 플로우(sparse optical flow)로 구분한다. 영상 내부의 모든 픽셀에 대하여 옵티컬 플로우를 구하는 것을 밀집 옵티컬 플로우라고 하며, 픽셀 일부만을 추적하는 방식을 희소 옵티컬 플로우라고 한다. 응용 분야에서는 주로 연산량이 적은 희소 옵티컬 플로우 방법을 사용하고 있다[7,8].

루카스-카나데(Lucas-Kanade) 방법은 가장 일반적으로 사용하는 희소 옵티컬 플로우 방법으로, 연속된 프레임 $I(t)$, $I(t+1)$ 에서 동일한 픽셀 p 를 찾아 p 의 이동 거리를 구하는 것이다. 이는 다음의 3가지 가정에 기초를 두고 계산한다.

가. 밝기 항상성(brightness consistency)

어떤 객체상의 픽셀 값은 프레임이 바뀌어도 그 값이 변하지 않는다. 따라서 이웃한 프레임에서 동일한 값을 갖는 픽셀이 동일한 픽셀일 가능성이 높다.

나. 시간 지속성(temporal persistence)

작은 움직임이라고도 하는데, 이웃한 프레임에서 픽셀의 이동은 크지 않다는 것을 의미한다. 따라서 픽셀 p 는 이전 프레임의 위치를 크게 벗어나지 않는 곳에 위치한다.

다. 공간 일관성(spatial coherence)

공간적으로 서로 인접한 픽셀들은 동일한 객체에 속할 가능성이 높고, 동일한 움직임을 갖는다. 이 가정을 통해 옵티컬 플로우 계산 시 발생하는 어퍼처 문제(aperture problem)를 해결한다.

그러나 실세계에서 객체의 움직임은 종종 크고 불규칙적인 움직임이 발생하기 때문에 앞의 3가지 가정을 위배하는 경우가 있다. 이 문제를 해결하기 위해 실제 루카스-카나데 방식을 적용할 때는 영상 피라미드를 사용한다. 이는 영상처리 윈도우를 피라미드 형태로 구성하고 작은 윈도우로부터 점진적으로 큰 윈도우로 확장하면서 처리하는 방식이다.

3. 옵티컬 플로우 기반 UAV 호버링

본 논문에서는 광학 마우스에 사용되는 옵티컬 플로우 센서를 비행제어기(flight controller)에 장착하여 UAV의 움직임을 추정하고, 추정된 결과를 바탕으로 안정적인 호버링이 가능한 무인항공기를 제작 방법을 제안한다. 검출된 옵티컬 플로우를 이용하면 화면상의 물체의 운동패턴을 알 수 있게 된다. 즉, 2차원의 옵티컬 플로우 이미지를 이용하여 3차원 공간에서의 물체의 움직임을 추정할 수 있게 된다.

3.1 비행제어기와 센서의 물리적 연결

논문에서 사용한 옵티컬 플로우 센서는 <그림 2>에서 보여지는 ADNS-3080 센서이다. 이 센서는 I2C 통신 프로토콜을 사용하여 3.3V로 비행제어보드와 연결되는데 18×18 픽셀 이미지 배열 단위로 옵티컬 플로우 특징을 측정한다. 최대 6400fps 속도로 특징을 추출하며, 24 MHz의 클럭 사이클로 실행된다. 센서는 광학 흐름을 계산하고, X 및 Y 방향에 걸쳐 총 옵티컬 플로우를 나타내는 두 가지 값 δpx 및 δpy 를 출력하는데, 최대 128 픽셀의 옵티컬 플로우 출력값들이 버퍼에 임시 저장된다[9,10].

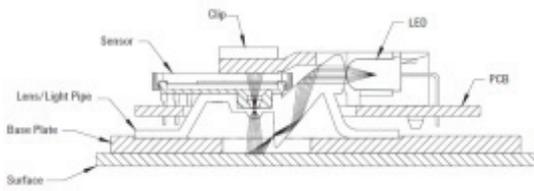


그림 2. Optical Flow Sensor와 렌즈
Figure 2. Optical Flow Sensor and Lens

본 논문에서는 비행제어보드로 APM2.5를 사용하였는데, 비행제어보드 APM2.5와 옵티컬 플로우 센서의 SPI TTL 시리얼 통신을 위해 <그림 3>과 같이 VCC, GND, MISO, MOSI, SCLK 와 NCS 핀을 연결한다.

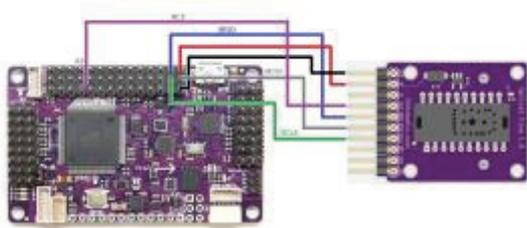


그림 3. 비행제어보드와 센서의 연결
Figure 3. Connecting flight control board and sensor

일반적으로 비행제어보드와 주변 센서들은 3.3V를 사용한다. 옵티컬 플로우 센서도 3.3V를 사용하므로 사용 전원을 맞게 조정해 주어야 한다. 이를 위해 비행제어 보드가 옵티컬 플로우 센서 값의 입력으로 사용하는 MISO 핀이 3.3V에 연결되도록 APM2.5 보드 뒤쪽의 5V MISOLVL 접퍼를 끊은 뒤 보드 뒤에 위치하고 있는 3V3 패드에 납땜으로 연결을 해 준다. 이렇게 함으로써 옵티컬 플로우 센서가 정상 동작하게 되며, 또한 MPU6050의 자이로와 가속도 센서의 오동작을 방지할 수 있게 된다.

3.2 옵티컬 플로우 센서의 설정

옵티컬 플로우 센서가 동작하는지 테스트를 위해 옵티컬 플로우 아두이노 프로그램을 다운받아 실행한다. 그 과정은 다음과 같다.

1. Ardupilot 다운로드 사이트에서 OpticalFlow test sketch / APM2 hex 파일을 다운로드 한다. 그 후 Mission Planner의 INITIAL SETUP > Install Firmware > Load custom firmware link를 사용하여 APM2에 업로드 시킨다.
2. Serial Monitor 또는 AP Mission Planner Terminal과 APM을 연결한다.



그림 4. Optical flow 설정 프로그램
Figure 4. Optical flow setup program

3. 센서가 APM에서 잘 동작하는지 알기 위해 'c' 를 타이핑한다.
4. 'm' 을 타이핑하고 카메라를 앞 뒤로 이동하며 x, y 값의 변화를 확인한다. 변하지 않는다면 렌즈를 좌, 우로 돌려서 포커스를 조정한다.

옵티컬 플로우 센서에 장착된 렌즈의 초점이 정확히 맞춰져 있는지 확인하기 위해 센서에서 직접 이미지를 획득해 간단한 뷰어인 Python에서 디스플레이 할 수 있다. 이를 위해 Python 공식 사이트에서 PySerial IDE를 설치하고 옵티컬 플로우 테스트 아두이노 프로그램인 ADNSImageGrabber 프로

그램을 다운받아 실행한다. 만약 렌즈의 초점이 정확히 맞춰져 있지 않았으면 앞에서 기술한 OpticalFlow test sketch / APM2 프로그램을 이용하여 4번 과정을 반복하여 초점을 조정한다.

3.3 평균 이동값의 계산

옵티컬 플로우 센서는 지표면 물체의 X 및 Y 방향의 평균 이동값을 반환한다. 물체가 한 픽셀을 이동하는 경우 값 1을 이동한 값으로 계산하는 것이 아니라 이보다 큰 값(예 5)을 이동한 것으로 계산한다. 이를 스케일러(scaler)라고 하는데 픽셀당 이동값을 5로 계산하는 경우 스케일러는 5가 된다.

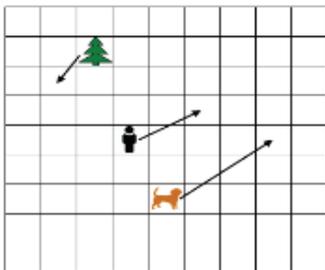


그림 5. 스케일러에 따른 평균 이동값
Figure 5. average moving value corresponding to the scaler

<그림 5>에서 스케일러를 5라고 하면, 지표면 물체의 평균 이동값은 다음과 같이 계산된다.

$$- \text{평균 이동값 } x = ((-5) + 10 + 15) / 3 = 6.6$$

$$y = (5 + (-5) + (-10)) / 3 = -3.3$$

3.4 안정적인 호버링을 위한 위치 보정

옵티컬 플로우 센서가 반환한 평균 이동값 무인항공기가 이동한 실제 거리로 변환시키기 위해, 고도를 고려할 필요가 있다. 무인항공기가 고도를 다

르게 하여 같은 방향으로 같은 거리를 이동한 경우, 낮은 고도의 무인항공기가 더 멀리 이동하는 것처럼 보인다. <그림 6>과 같이 두 대의 무인항공기가 하나는 낮은 고도에서, 다른 하나는 높은 고도에서 동일 방향으로 같은 거리 10cm를 이동하는 경우, 낮은 고도의 무인항공기에서 보이는 물체는 필드 전체를 이동하게 되는데, 높은 고도의 무인항공기에서 보이는 물체는 보이는 필드의 1/2만을 이동하게 된다. 따라서 낮은 고도의 무인항공기가 더 멀리 이동하는 것처럼 보인다. 이는 낮은 고도의 무인항공기가 더 많은 픽셀을 이동하기 때문이다. 그 결과로 더 큰 옵티컬 플로우 센서값을 반환하게 된다. 이처럼 고도에 따라서 실제 이동 거리의 오차가 발생하기 때문에 무인항공기의 비행 고도를 고려하여 실제 이동거리를 계산할 필요가 있다.

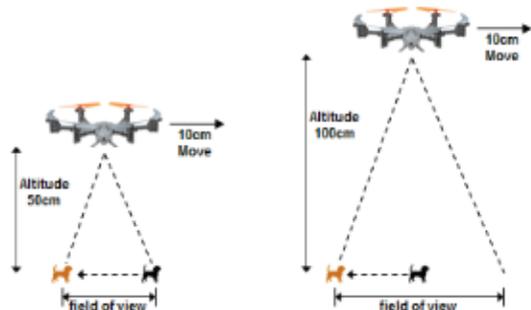


그림 6. 고도에 따른 이동거리
Figure 6. moving distance with the altitude

본 논문에서는 센서 반환값을 이용해 무인항공기의 실제 이동 거리를 계산하기 위하여 다음의 알고리즘을 사용하였다.

```

Hovering_function(float return_value)
{
    float distance_moved;
    float in_sensor_moved;
    float slope;

    in_sensor_moved = ((return_value * altitude) /
    
```

```

        (resolution * scalar);
slope = tan(field of view/2.0);
distance_moved = in_sensor_moved * slope;
    
```

UAV control by adjusting the value of roll and pitch values for the hovering;

}

알고리즘에서 기술한 바와 같이 옵티컬 플로우 센서가 반환한 평균 이동값을 넘겨 받아 우선 센서상의 이동값을 계산한다. 그 후 무인항공기의 고도를 알 수 있는 경사도를 계산한 후 최종적으로 실제 이동거리인 distance-moved 값을 구한다. X, Y 축의 실제 이동 거리가 구해지면 Roll 값과 Pitch 값을 보정하여 이동한 만큼 반대방향으로 무인항공기를 비행시켜 원 위치로 호버링 비행을 하게 한다.

3.5 호버링 실험

본 논문에서는 무인항공기의 호버링 실험 데이터로 알고리즘에 의해 계산된 X, Y 좌표값을 사용하였다. 매 1초마다 X, Y 좌표값을 획득하여 총 1분간 무인항공기의 위치 좌표를 그래프로 나타내었다. 실험은 비교적 바람이 많이 일지 않는 실내 환경에서 시행하였다.

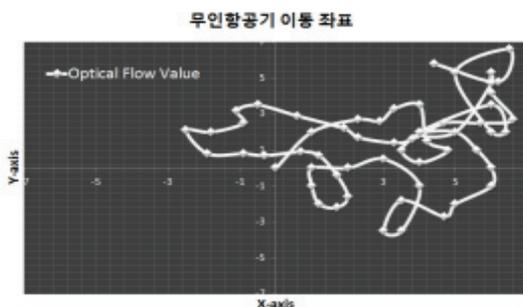


그림 7. 무인항공기 위치 좌표
Figure 7. position coordinates of UAV

<그림 7>에서 보는 바와 같이 이륙 지점에서 6m 내외에서 호버링을 하는 안정적인 비행을 보였다. 만약 PID 파라미터들의 게인 값들을 올바르게 설정한다면 보다 안정적인 호버링을 할 수 있을 것으로 보인다.

4. 결 론

본 논문에서는 옵티컬 플로우를 기반으로 안정적인 호버링이 가능한 비행제어 방법을 제안하였다. 옵티컬 플로우 센서를 비행제어보드 APM2.5에 장착하고 설정 프로그램을 사용하여 동작 여부를 테스트 하였다. 그 후 고도에 따른 이동 거리 오차를 해결하는 알고리즘을 구현하여 무인항공기의 실제적인 이동거리를 계산하였다. 최종적으로 산출된 X, Y 좌표값을 이용하여 무인항공기의 위치를 보정하였다. 위치 보정에는 Roll과 Pitch 값을 이용하여 위치를 보정하였다. 이의 결과로 실내 비행과 같이 GSP 신호를 사용할 수 없게 되는 경우에도 안정적인 호버링이 가능하게 하였다.

References

- [1] <http://www.ce.org/Blog/Articles/2014/December/Is-This-the-Year-Drones-Took-Off.aspx>
- [2] <http://www.markey.senate.gov/news/press-releases/sen-markey-and-rep-welch-introduce-legislation-to-ensure-transparency-privacy-for-drone-use>
- [3] G-W. kim, and J-Y. Yang, *A design and implementation of UAV control environment using ardupilot*, Journal of The Korea Knowledge Information Technology Society. Vol. 9, No. 6. pp. 797-804, 2014.
- [4] G-W. kim, J-Y. Yang, and S-H. Kim, *Flight control of UAV using kinect sensor*, Journal

- of The Korea Knowledge Information Technology Society. Vol. 7, No. 6. pp. 225-233, 2012.
- [5] Gao Yun-hong, Zhao Ding, and Li Yi-bo, *Small UAV sensor fault detection and signal reconstruction*, Proceedings of 2013 International Conference on / 2013 Dec Mechatronic Sciences, Electric Engineering and Computer (MEC), pp. 3055-3058, 2013.
- [6] Jensen, A. M, Wildmann, N, YangQuan Chen, and Voos, H, *In-situ unmanned aerial vehicle (UAV) sensor calibration to improve automatic image orthorectification*, International Conference of Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), pp. 596 - 599, 2010.
- [7] Ben Moshe, Shvalb, Baadani, and Nagar, *Indoor positioning and navigation for micro UAV drones*, Proceedings of Electrical&Electronics Engineers in Israel, pp. 1-5, 2012.
- [8] Piskorski, S, Lacassagne, L, Bouaziz, S, and Etienne, D, *Customizing CPU instructions for embedded vision systems*, International Workshop on Computer Architecture for Machine Perception and Sensing, pp. 59-64, 2007.
- [9] Chun, D, and Stol, K, *Vehicle motion estimation using low-cost optical flow and sensor fusion*, International Conference of Mechatronics and Machine Vision in Practice(M2VIP), pp. 507-512, 2012.
- [10] L. Muratet, S, and J. Meyer, *A biomimetic relative navigation system using optical flow for a rotary-wing UAV in urban environment*. In International Session on Robotics, Paris, May. 2004.

[11] Optical Flow Sensors

<http://copter.ardupilot.com/wiki/common-optionals-hardware/common-optical-flow-sensors/>

마우스 기반 옵티컬 플로우 센서를 이용한 무인항공기의 호버링 연구

김기원, 양진영

초당대학교 IT융합학부 스마트무인항공전공

요 약

무인항공기는 재난지역 인명 구조, 배달, 항공사진 촬영 등에 널리 쓰이고 있다. 무인항공기가 갖추어야 하는 기능 중에 가장 중요한 것은 안정성을 보장하는 것이다. 드론의 사고율이 일반 항공기에 비해 100배에 달하는 데다 낮은 고도에서 운행돼 건물 등 많은 구조물들과 충돌하기 때문이다. 따라서 무인항공기의 안정성 확보에 대한 연구는 중요한 분야가 되고 있다. 본 논문에서는 무인항공기의 안전성을 확보하기 위한 방안에 대해 다룬다. 안전성 확보의 가장 기본은 안정적인 호버링의 구현이다. 호버링은 GPS 신호를 이용하는 방법이 있다. 그러나 GPS 신호가 끊어지거나 실내 비행을 하는 경우 GPS 신호를 사용할 수 없기 때문에 호버링이 불가능해진다. 본 논문에서는 옵티컬 플로우를 기반으로 안정적인 호버링이 가능한 방법을 제안하고자 한다. 이를 위해 옵티컬 플로우 센서를 비행제어보드 APM2.5에 장착하고 설정 프로그램을 사용하여 동작 여부를 테스트 하였다. 그 후 고도에 따른 이동 거리 오차를 해결하는 알고리즘을 구현하여 무인항공기의 실제적인 이동거리를 계산하였다. 최종적으로 산출된 X, Y 좌표값을 이용하여 무인항공기의 위치를 보정하였다. 위치 보정에는 Roll과 Pitch 값을 이용하여 위치를 보정하였다. 이의 결과로 실내 비행과 같이 GPS 신호를 사용할 수 없게 되는 경우에도 안정적인 호버링이 가능한 무인항공기를 구현하였다.



Giweon Kim is an associate professor in the Department of Smart Unmanned Aviation at Chodang University, Korea. His current research interests are UAV system and robot software. He is a life member of the KKITS.

E-mail address: kwkim@cdu.ac.kr



JinYoung Yang is an associate professor in the Department of Smart Unmanned Aviation at Chodang University, Korea. His current research interests are UAV system and traffic control. He is a life member of the KKITS.

E-mail address: jyyang@cdu.ac.kr