



영상기반 물체추적에 의한 소형 쿼드콥터의 자세추정 성능향상

Performance Enhancement of the Attitude Estimation using Small Quadrotor by Vision-based Marker Tracking

강석영 · 채종완 · 진태석[†]
Seokyeong Kang, Jongwhan Choi and Taeseok Jin[†]

동서대학교 메카트로닉스공학과
Department of Mechatronics Engineering, Dongseo University

요 약

소형 및 저가형 CCD 카메라의 성능은 소형 쿼드콥터의 정밀 추적기능을 구현하는데 있어서 충분한 성능을 갖추고 있지 못하는데 본 연구에서는 덜 정확한 GPS 보다 CCD 카메라를 이용한 보행자와 같은 대상물의 상공에서 강건한 호버링을 유지시키기 위한 방법을 제시하였다. 기존의 연구 대상이었던 고정된 물체가 아닌 보행자를 타겟으로 이용한 UAV의 절대 위치를 추정하는 방법을 제시하였다. 이는 UAV가 산악이나 사람들이 붐비는 공공지역에서 이동할 때 UAV의 절대위치를 인식할 수 있는 방법이 없을 경우 UAV 주변에서 움직이는 물체의 정보를 활용하여 UAV의 절대위치를 보정하는 방법으로 매우 유용하다. 연구를 위해서 보행자의 위치를 알고 있는 것으로 가정하나 실제적인 상황 속에서는 영상매칭을 통하여 그 정보를 수신하는 것으로 해석한다. 본 연구를 위하여 UAV의 위치 추정 불확실성을 정량적으로 나타내었으며, 좌표계 변환을 통한 영상기반의 기하학적 구속 식을 유도하여, 칼만 필터를 적용하여 로봇의 위치를 보정하여 위치 추정 불확실성을 줄일 수 있음을 보였다.

키워드 : 쿼드콥터, 위성항법장치, 카메라, 자세추정, 시뮬레이션

Abstract

The accuracy of small and low cost CCD camera is insufficient to provide data for precisely tracking unmanned aerial vehicles(UAVs). This study shows how UAV can hover on a human targeted tracking object by using CCD camera rather than imprecise GPS data.

To realize this, UAVs need to recognize their attitude and position in known environment as well as unknown environment. Moreover, it is necessary for their localization to occur naturally. It is desirable for an UAV to estimate of his attitude by environment recognition for UAV hovering, as one of the best important problems. In this paper, we describe a method for the attitude of an UAV using image information of a marker on the floor. This method combines the observed position from GPS sensors and the estimated attitude from the images captured by a fixed camera to estimate an UAV. Using the a priori known path of an UAV in the world coordinates and a perspective camera model, we derive the geometric constraint equations which represent the relation between image frame coordinates for a marker on the floor and the estimated UAV's attitude. Since the equations are based on the estimated position, the measurement error may exist all the time. The proposed method utilizes the error between the observed and estimated image coordinates to localize the UAV. The Kalman filter scheme is applied for this method, its performance is verified by the image processing results and the experiment.

Key Words : Quadcopter, CCD camera, GPS, Attitude estimation, Template matching.

Received: Mar. 22, 2015

Revised : Apr. 5, 2015

Accepted: Sep. 28, 2015

[†]Corresponding author

jints@dongseo.ac.kr

본 논문은 2015년도 동서대학교 학술연구 조성비 및 한국연구재단 일반연구자지원사업(No. 2010-0021054)에서 지원하여 연구하였음.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서 론

최근 UAV (Unmanned Aerial Vehicle)의 소형화 및 센서의 고성능화가 진행되면서 물류서비스, 재난 구호, 감시 임무, 엔터테인먼트 등과 같은 다양한 응용분야로 연구와 제품화가 진행되고 있다. 그리고 소형 쿼드콥터의 수직 이동 특성과 공중 정지 특성을 가지고 있기 때문에 실내 비행이 가능하고 자율 비행이 가능하다는 점에서 사람의 출입이 어려운 위험 지역에 비행이나 감시가 가능하게 되었다. 하지만 실내주행에 있어서 소형 쿼드콥터를 일정한 높이와 자세를 유지하는 방법이 중요하다.

이러한 비행기체의 호버링을 일정하게 유지시키기 위한 방법으로 원격의 작업자가 직접으로 제어하는 방법을 채용하고 있으나 눈으로 추적이 어려운 먼 거리에 있는 경우는 주변의 마커를 이용한 자세 및 위치 제어를 수행하는 방법을 취하고 있다. 그 중에서도 소형 쿼드콥터의 대부분은 시각센서를 이용한 피드백을 이용하고 있다. 육상 로봇과 달리 이동 바퀴의 오도메트리 정보를 바탕으로 자기위치추정을 할 수 없는 문제점을 갖고 있기 때문에 이러한 문제점을 극복하기 위한 방법으로 본 연구에서는 영상기반의 마커인식을 기본으로 한 자세추정 기법에 관련 기초 연구를 수행하고자 한다. 본 연구에서는 영상센서를 UAV에 탑재하여 마커의 영상을 획득하고 그 획득한 마커의 영상을 기반으로 한 쿼드콥터의 자세제어를 구현 한 실험결과를 제시하였고³⁾ 지면의 마커 인식하기 위한 영상센서의 결합으로 보다 효율적인 OpenCV의 오픈소스를 기반으로 제어하는 기법을 제안하였다^{4,5,6)}.

2. 쿼드콥터 구성

본 연구에서 적용된 쿼드콥터는 그림 1과 같이 구성하였고 자세제어 및 추적 기능을 수행하기 위해서 구동부, 센서부, 제어부로 세분화하였다.

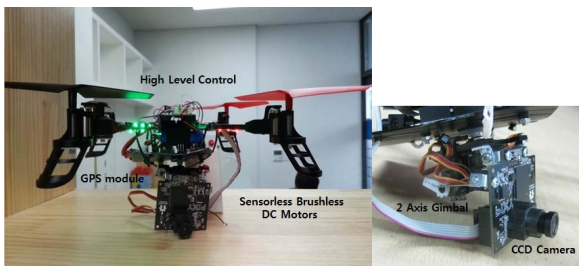


그림 1. 쿼드콥터 기체

Fig. 1. Body of Quadcopter

1) 비행기체 : 메인보드(MCU)와 모터, 수신기 등을 고정하는 프레임이 쿼드콥터의 기본 베이스이다. 기체의 중심과 각 모터사이의 거리는 45cm이다. 쿼드콥터는 4개의 프로펠러를 가지므로 4개의 BLDC 모터를 사용 하였으며 이를 구동하기 위하여 4개의 Electronic Speed Controller(ECS)변속기를 사용하였다. 쿼드콥터의 동작원리는 기본 베이스가 되는 쿼드콥터의 로터(회전날개) 네 개를 이용해서 공중에 뜨고 추진한다.

각 로터는 연직 아래를 향해 있으며, 두 개는 시계 방향으로, 나머지 두 개는 반시계 방향으로 회전한다. 이들 로터의 회전 속도를 조절함으로써 쿼드콥터의 움직임을 제어할 수 있다. 쿼드콥터는 네 개의 로터의 상대적인 속도를 조절함으로써 기체의 자세와 움직임을 제어한다. 이러한 제어에는 롤(Roll), 피치(Pitch), 요우(Yaw)가 있다. 기체의 앞(진행 방향)과 나란하며 기체의 무게중심을 지나는 기체의 회전을 롤이

라 하고, 이 축과 수직인 축에 대한 기체의 회전을 피치라고 한다. 즉, 기체가 전후좌우로 기울어지도록 자세를 제어하기 위해서는 높이고자 하는 쪽의 로터의 출력을 다른 로터보다 강하게 한다. 기체를 세로로 관통하는 축에 대한 기체의 회전을 유우라 하며, 이는 회전 방향이 반대인 두 쌍의 로터의 출력을 다르게 함으로써 조종할 수 있다. 만약 네 개의 로터가 정확히 같은 출력을 낸다면, 기체의 세로축을 중심으로 요우 힘의 합력은 0이 되어 기체는 평형을 유지하게 된다.

2) 영상센서 : 영상센서로는 Pixy社의 CMUcam5를 사용하였다. CMUcam의 작은 비디오 카메라와 직렬 인터페이스와 마이크로 컨트롤러로 구성되어 있다. CMOS카메라로부터 받은 정보를 영상처리 하여 물체를 검출할 수 있다.

3) 제어부 : 비행기체 자세제어를 위한 인식 및 추정에 대한 접근은 영상센서를 기반으로 한 영상데이터와 그에 따른 기구학적 위치계산과 추정기법 중심으로 제시하였다. 따라서 쿼드콥터의 안정적인 자세 제어를 위해 그림 2과 같은 PID제어 기법을 사용하여 자동 조종 제어를 설계하였다. PID제어기는 원하는 입력과 출력 사이의 오차에 근거하여 시스템의 출력이 원하는 입력에 추정하는 제어의 방식중 하나이다. PID 제어기의 출력 신호는 오차에 비례하는 항과 오차의 적분항, 미분항의 합으로 구성된다. PID제어기에서 P는 비례제어이고 I는 적분제어, D는 미분제어이다. PI제어기는 상대적 안정도를 개선하고 동시에 정상상태오차를 개선하지만 상승시간이 증가하는 단점이 있으나 본 제작에서는 PID 제어기에서 도출한 값을 MCU에 넣어 그 값에 대한 지시에 따라 쿼드콥터를 제어하도록 하였다.

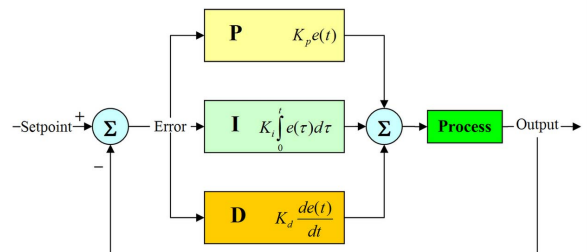


그림 2. PID제어기의 구조

Fig. 2. The structure of the PID controller

3. 영상정보에 의한 무인기위치추정

3.1 템플릿 매칭

마커 인식 및 추정을 위한 실험으로는 그림 3과 같이 지면에 놓인 특정패턴의 마커를 이용하여 비행기체의 위치 및 자세를 추정할 수 있도록 하였다.

제안된 마커의 형태는 흰색과 검정색으로 상호 반복적 대칭구조로 구성하였다. 이러한 마커의 형상을 사각형의 흰색과 검정패턴으로 구성한 것은 실내환경 환경에서의 기하학상의 왜곡에 대해서도 강인하며 카메라를 보정하기위해서 최소

한의 격자구조가 될 수 있다. 만일 마커의 형상이 회전하거나 크기가 변할지라도 회색 분포도와 투영특성은 변하지 않기 때문이다.

마커의 위치정보는 사전에 주어지지 않으며 쿼드콥터는 해당 패턴의 형태를 인식하여 현재의 위치와 자세를 추정하기 위하여 템플릿 매칭기법을 이용하여 비행기체의 자세를 보정하도록 하였다.

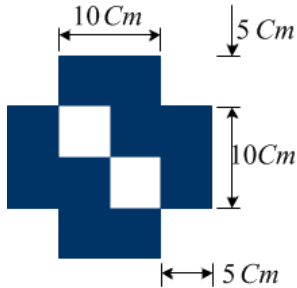


그림 3. 비행기체 인식용 마커 패턴
Fig. 3. Marker pattern used by Quadcopter

본 논문에서는 비행기체가 정해진 경로를 따라가도록 미리 정해진 마커 인식하기 위해서 템플릿 매칭 방법에 의해서 지면의 마커를 추적하도록 하였다. 적용한 적응 템플릿 매칭 방법은 Bayesian Decision 방법[7]에 기반을 둔 것으로서 로봇의 자세 및 위치인식 위해서 사용된다. 인식 방법으로써 임의의 흰색 패턴, template $g(m,n)$, 을 기준 영상 $f(i,j)$ 과 매칭시켜는 거리함수 d 는 다음과 같이 정의 할 수 있다.

$$d = \int_G (f-g)^2 \text{ or } \max_G |f-g| \quad (1)$$

이 값의 최소값이 두 영상이 가장 잘 매칭되었음을 보여주게 된다. 이산신호의 경우로는 위식은 다음과 같이 표현되기도 한다.

$$M(i,j) = \sum_m \sum_n f(i+m, j+n) \cdot g(m,n) \quad (2)$$

여기서 $M(i,j)$ 의 최대값이 가장 잘 매칭되었음을 보여주는 것이다. 이 때 마커를 포함하는 카메라 영상의 전체영역, G 를 적분하는 경우에 대해서만 상호연관성(cross-correlation)이 고려된다.

1단계 : 유사성(Similarity) 찾기

바닥면의 인식마커에 대한 템플릿 매칭을 수행하기 위해 OpenCV 함수중 cvMatchTemplate() 이란 함수를 이용하여 A와 B의 상관계수 맵(Coefficient Map)을 구할 수 있다. 이 함수의 Key point 는 A 이미지 전체를 탐색하면서 B 이미지와의 유사성(Similarity) 정도를 구하는 것이다. 유사성을 구하는 방법에는 아래 식과 같은 유클리디안(Euclidean)법 등을

이용하여 구하였다.

2단계 : 최대값(Maximum value) 찾기

1단계에서 구한 상관계수 맵에서 최대의 유사성을 갖는 값(Maximum value)을 찾아 사각형으로 표시하면 가장 유사한 물체를 찾게 하였다. 본 실험에서 적용한 OpenCV 에서는 최대최소값을 찾으려 하기위한 cvMinMaxLoc() 함수를 이용하여 수행하였다. 본 함수를 이용함으로써 프로젝트 개발시 시간을 단축시킬 수 있었다.

3.2 마커인식 특성

주변환경에 존재하는 다른 영상들과 혼란을 야기하는 환경에서 마커를 인식하기 위해서 약간의 왜곡(회전, 스케일 등)에서도 변함없는 특성을 보여야 한다. 기하학적인 왜곡에서 불변성은 마커의 형상과 회색 패턴과 연관이 있고 광학적 왜곡에서의 불변성은 영상처리가 된 영상의 크기와 형태와도 연관성이 있다. 따라서 마커의 형태와 회색패턴은 인식과 추적을 강건하게 하는데 중요한 요소가 된다.

아래 그림 4는 기하학적 왜곡 환경에서의 마커 특성을 보여주고 있다. 적용된 사각 패턴은 실내 환경에서 자주 보이는 원형 기둥과 다각형 등의 대부분의 패턴과 같이 쉽게 섞이지 않는다. 모든 패턴들은 휴(Hough)변환 기법을 사용하여 인식이 가능하기 때문에 사각 패턴은 TM(template matching)에 의한 연산을 할 때 원형, 다각형 패턴들을 구별하는 것 보다 노이즈와 교합(occlusion)에 대해서 더 강인함을 실험 히스토그램을 통해서 알 수 있다.

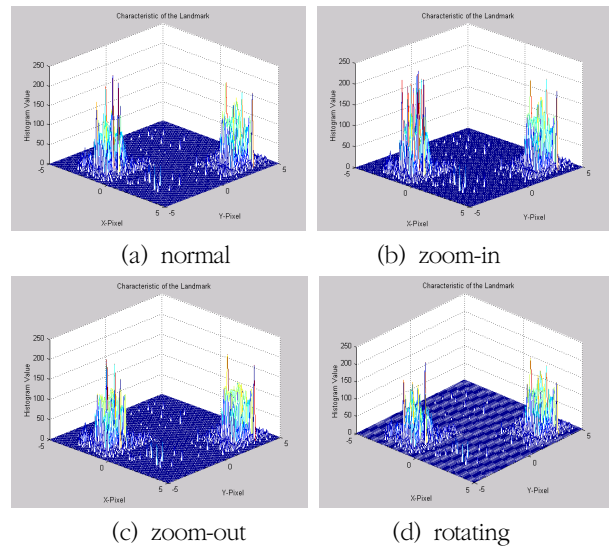


그림 4. 기하학적 변화에 따른 마커 히스토그램

Fig. 4. Global histograms of the landmark under the geometrical variations

4. 쿼드콥터의 자세추정 구속식

4.1 영상기반 위치 구속식

호버링 상태의 쿼드콥터는 일정시간 경과후 외란에 의한 자세 및 위치에 대한 오차의 누적으로 인하여 경로를 벗어나게 되는데 이러한 자기 위치를 보정하고자 할 때, 위치 추정의 정도를 높이고 비행의 기동성을 높이기 위하여 비행하면서 호버링 자세를 일정하게 유지하게 된다. 이때 호버링중의 비행기체의 경로는 영상 좌표계에서 선형의 식으로 표시되며 현재 쿼드콥터의 추정 위치를 이용하여 좌표계 변환을 통해 기하학적 구속식(geometric constraint equation)으로 적용하였다.

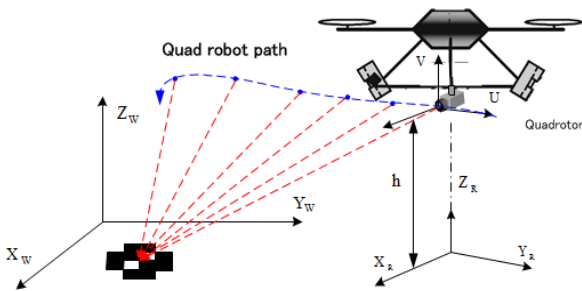


그림 5. 운동물체, 비행기체좌표계, 영상좌표계

Fig. 5. Coordinate systems for a moving object and a mobile robot

그림 5에서 보는 바와 같이 쿼드콥터는 CCD 카메라를 장착하고 있고, 카메라는 쿼드콥터 하단에 광축(optical axis)이 쿼드콥터의 X_R 축과 일직선에 놓이도록 설치되어 있다. 카메라의 기하학적인 모델은 흔히 사용하는 핀-홀(pin-hole) 모델 [7]을 사용하였다. 여기서, (x_w, y_w, z_w) 는 기준좌표계, (x_r, y_r, z_r) 는 비행기체 좌표계, (u, v) 는 영상좌표계를 각각 나타낸다[7,8].

보행자는 기준좌표계의 $X_w - Y_w$ 평면에서 쿼드콥터의 카메라 높이와 같지 않은 일정한 높이로 식 (3)과 같은 경로를 가진다고 가정한다.

$$f(x_w, y_w) = 0, \quad z_w = z_0 (\neq h) \quad (3)$$

보행자의 경로는 기준 좌표계로 부터 쿼드콥터 좌표계로 식 (4)로 변환되어 진다.

$$\begin{bmatrix} x_r \\ y_r \\ z_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \hat{\theta}_r & \sin \hat{\theta}_r & 0 \\ -\sin \hat{\theta}_r & \cos \hat{\theta}_r & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_w - \hat{x}_r \\ y_w - \hat{y}_r \\ z_w \end{bmatrix} \quad (4)$$

여기서, $(\hat{x}_r, \hat{y}_r, \hat{\theta}_r)$ 는 현재 쿼드콥터의 추정 위치이다.

이 점은 다시 쿼드콥터 좌표계에서 식 (5)와 같이 원근투

영(Perspective projection) 변환에 의해 영상 좌표계로 변환되어 진다[9,10].

$$\begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda \frac{y_r}{x_r} \\ \lambda \frac{z_r - h}{x_r} \end{bmatrix} \quad (5)$$

여기서, h 는 지면에서 쿼드콥터에 장착된 카메라의 높이이고, λ 는 초점거리(focal length), $z = [u \ v]^T$ 는 보행자의 영상좌표이다.

위와 같은 변환을 통하면 현재의 쿼드콥터 위치에서 보행자를 관측했을 때 식(6)과 같은 기하학적인 구속식(geometric constraint equation)을 얻을 수 있다.

$$f(z, \hat{x}) = 0 \quad (6)$$

여기서, $\hat{x} = [\hat{x}_r \ \hat{y}_r \ \hat{\theta}_r]^T$ 는 쿼드콥터의 추정 위치이다.

4.2 칼만 필터에 의한 위치 보정

현재 쿼드콥터의 위치 추정치를 기준으로 계산한 운동물체의 예측 영상좌표들은 실제 관측되는 것과는 차이를 보인다. 이 오차를 이용하면 쿼드콥터의 실제 위치를 역으로 구할 수 있다. 입력 정보, 즉 물체의 영상좌표는 처리과정 가운데 잡음을 포함하고 있으며, 쿼드콥터의 위치 추정자세에도 불확실한 성분이 존재하므로 이에 대해 강인하게 상태를 추정하는 관측기로 칼만 필터를 사용하였다. 물체의 영상좌표와 쿼드콥터의 위치사이에 생기는 구속 식을 선형화하고 칼만 필터링 기법을 적용하여 쿼드콥터의 위치를 추정하였다.

i 번째 측정벡터 즉, 보행자의 영상좌표, \hat{z}_i 는 다음과 같은 평균과 분산을 가지는 잡음을 포함한다고 가정한다.

$$\hat{z}_i = z_i + \nu_i \quad (7)$$

여기서, $E[\nu_i] = 0$ 그리고 $E[\nu_i \nu_i^T] = S$ 이다.

비선형인 구속 식을 측정벡터 \hat{z}_i 와 쿼드콥터의 위치 추정치 \hat{x}_{i-1} 근처에서 Taylor 급수 전개를 하고 비선형 항인 2차 이상의 고차 항들을 무시하면 선형 근사식이 식 (8)과 같이 얻어진다.

$$f(z_i, x) = 0 \approx f(\hat{z}_i, \hat{x}_{i-1}) + \frac{\partial f}{\partial z}(z_i - \hat{z}_i) \quad (8)$$

여기서, $\frac{\partial f}{\partial z}$ 와 $\frac{\partial f}{\partial x}$ 는 $(\hat{z}_i, \hat{x}_{i-1})$ 에서 추정된 미분값.

식 (8)은 다시 표현하면 식 (9)와 같이 행렬식으로 정리되어 진다[8].

$$y_i = M_i x + u_i \tag{9}$$

여기서, $y_i = -f(\hat{z}_i, \hat{x}_{i-1}) + \frac{\partial f}{\partial x} \hat{x}_{i-1}$, $M_i = \frac{\partial f}{\partial x}$, 그리고 $u_i = \frac{\partial f}{\partial z}(z_i - \hat{z}_i)$ 이다.

y_i 는 새로운 측정벡터가 되며, M_i 는 관측벡터와 쿼드콥터 위치를 선형적으로 결합시켜 주며 u_i 는 측정벡터의 선형화 된 오차가 되며 다음과 같은 평균과 분산을 가진다[6].

$$E[u_i] = 0 \tag{10}$$

$$E[u_i u_i^T] = W_i = \frac{\partial f}{\partial z} S_i \frac{\partial f^T}{\partial z} \tag{11}$$

y_i 와 M_i 는 이미 주어진 값이며 u_i 의 평균과 공분산을 알고 있다면 측정벡터가 주어질 때 칼만필터를 적용하여 x 의 최적 추정치와 갱신된 분산을 구할 수 있다. 칼만필터는 새로운 측정벡터 $\{y_i\}$ 의 선형결합으로 expected error squared norm, $E[(\hat{x} - x)^T(\hat{x} - x)]$ 를 최소화하는 추정치 \hat{x} 를 제공해 준다. 이 때 새로운 추정치와 오차의 공분산 행렬은 다음과 같이 반복적으로 구할 수 있다[11,12].

$$\hat{x}_i = \hat{x}_{i-1} + K_i(y_i - M_i \hat{x}_{i-1}) \tag{12}$$

$$K_i = P_{i-1} M_i^T (M_i P_{i-1} M_i^T + W_i)^{-1} \tag{13}$$

$$P_i = (I - K_i M_i) P_{i-1} \tag{14}$$

여기서, K_i 는 칼만 이득이고 P_i 는 i 번째 측정벡터에 의해 갱신된 추정 오차의 공분산 행렬이며, \hat{x}_i 는 i 번째 측정벡터에 의해 갱신된 쿼드콥터의 위치 추정치이다. 초기 쿼드콥터 위치의 추정치와 분산, \hat{x}_0 와 P_0 는 쿼드콥터 비행모델로부터 구할 수 있으며, 영상에 잡힌 n 개의 보행자의 화상좌표에 대하여 반복적으로 계산한 최종적인 쿼드콥터 위치의 추정치와 분산은 각각 \hat{x}_n 와 P_n 이 된다.

5. 실험결과

본 실험을 통해서 영상평면의 개수, 즉, 비행기체에서 캡처한 마커 영상을 기반으로 자세제어 성능을 알아보기로 한다.

다음 그림 6은 호버링 중의 비행기체에서 캡처한 동일한 마커에 대한 서로 다른 이미지를 보여주고 있다. 연속적인 두 이미지를 사용하여 카메라의 위치와 방향을 식 (2)~(4)를 이용함으로써 구할 수 있게 된다. 쿼드콥터가 마커를 찾게

되면 비행기체는 연속적으로 영상을 캡처하게 된다. 이 실험에서는 여섯개의 다른 지점에서 CCD카메라가 캡처한 영상을 그림 6의 (a)에서 (f)까지 나타낸 것이다. 비행기체는 최초의 마커를 발견하고 해당 위치를 파악한 후 마커의 기준점과의 TM을 이용하여 위치를 파악하게 된다. 그림 6에서와 같이 마커의 내부 사각모서리의 네 곳을 취하게 되고 마커의 크기를 결정하고 비행기체의 자세를 보정하게 된다.

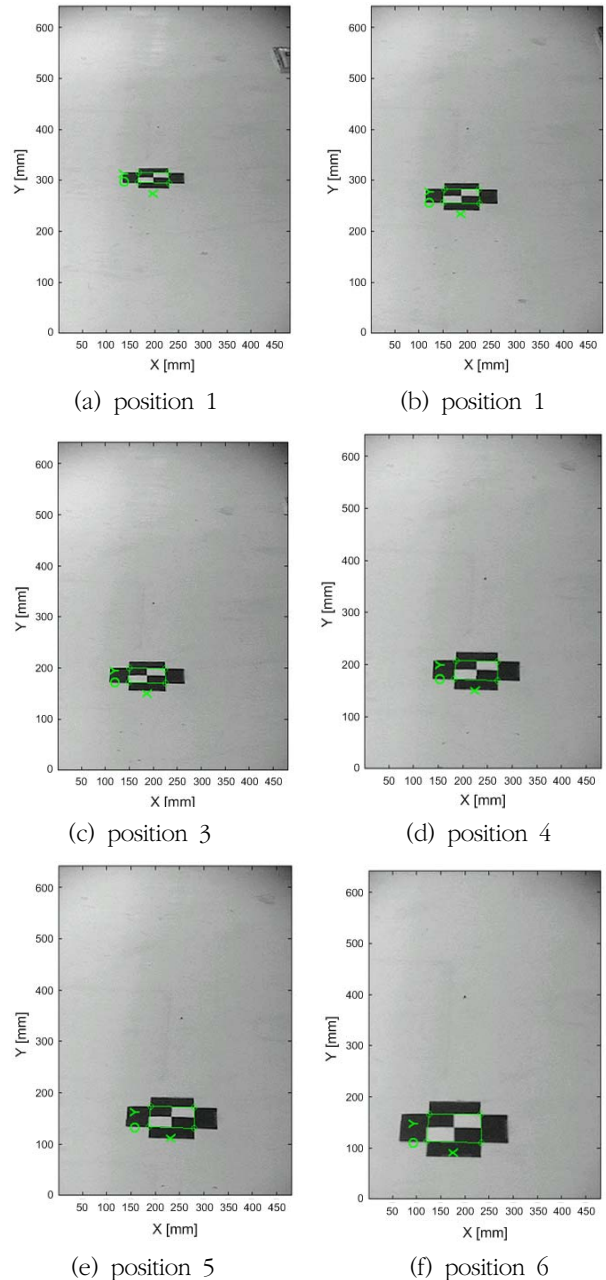


그림 6. 비행기체에서 캡처된 마커의 상태

Fig. 6. Marker locations detected by the camera

본 실험에서 비행기체가 마커의 원점으로 접근하면서 임의의 위치점에서 6개의 영상을 캡처하게 되고 기준 영상과의

매칭을 통하여 이동로봇의 위치와 방향을 결정하게 된다. 6개의 마커 이미지에 대해서 비행기체가 이동하면서 캡처한 영상을 카메라를 기준으로 한 마커의 상대 위치, 즉, 외부 파라미터들은 그림 7과 같이 3D의 형태로 나타내었다. 그리고 표식점에 대한 쿼드콥터의 위치와 방향은 그림 8과 같이 3D 형태로 나타내었다. 모든 카메라 위치는 정점으로 표현되었으며 방위각은 적색 피라미드 형태로 표현하여 주행 환경 내에서 로봇의 위치와 방위각을 알 수 있게 하였다.

비행기체가 바닥면 마커를 찾아서 인식하는데 있어서 비행기체와의 거리는 2~8m 에서 존재하며 비행시 이미지 영상내에 들어오게 하였다. 따라서 비행기체에서 인식한 마커와 기준 영상간의 매칭을 통한 특징점을 추출하는데 있어서 노이즈 특성으로서 평균은 0, 표준 편차가 0.5 픽셀로써 추정되었다. 비행기체에서 마커까지의 상대거리를 측정하기 위해서 우선 실험의 환경에서 고정된 마커 위치로부터 거리를 측정하였다. 앞 절에서 미리 정의된 마커정보는 좌표계의 기준점이 비행기체의 기준점, 즉, y축은 비행기체의 전방향, x축은 y축에 대하여 수직방향으로 향하도록 하였다.

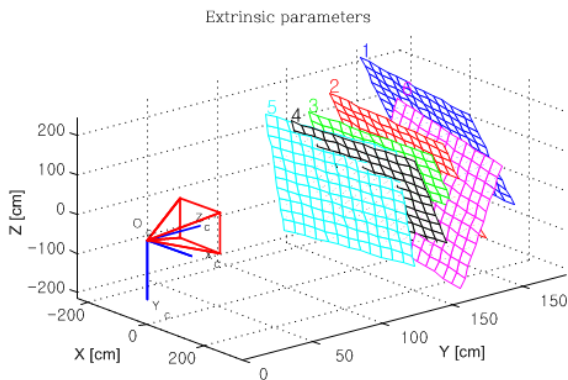


그림 7. 카메라에 대한 마커의 상대위치

Fig. 7. Relative positions of the marker w.r.t the camera

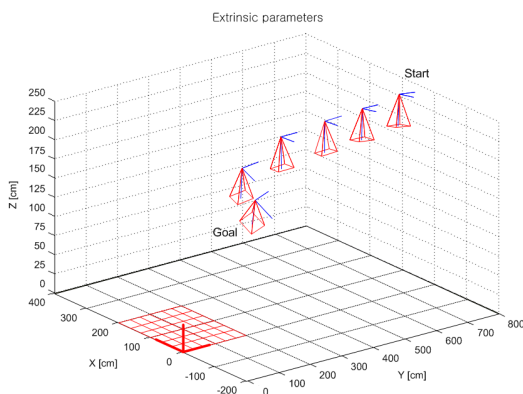


그림 8. 마커에 대한 쿼드콥터의 상대위치와 방향

Fig. 8. Quadcopter's relative position and orientation

6. 결론

본 논문에서는 헥사콥터의 호버링 상태에서 보행자를 추적하기 위한 추정 방법으로 보행자의 절대 위치를 추정해 내는 방법을 제시하였다. 불확실성 타원(uncertainty ellipsoid)을 이용하여 쿼드콥터의 위치 추정 불확실성을 정량적으로 나타내었으며, 좌표계 변환을 통한 영상기반의 기하학적 구속식과 칼만 필터를 적용하여 쿼드콥터의 위치를 보정할 수 있음을 보였다.

제시한 방법을 검증하기 위한 방법으로 먼저 일정한 경로로 움직이는 보행자이 무인기에 탑재된 카메라의 영상에 원근 투영되어 물체의 영상좌표와 현재 쿼드콥터의 추정 위치 사이에 생기는 구속 식을 유도하였다. 이는 쿼드콥터의 추정 위치를 기준으로 계산하였기 때문에 인간의 예측 영상좌표들은 실제 관측되는 것들과는 차이를 보인다. 이 오차를 이용하여 쿼드콥터의 실제 위치를 역으로 구해 냈다. 보행자의 영상좌표는 처리과정에 잡음을 포함하고 있으며 쿼드콥터의 위치 추정 자체에도 불확실한 성분이 존재하므로 이에 대해 강인하게 상태를 추정하는 칼만 필터를 사용하였다. 시뮬레이션 결과 쿼드콥터의 위치 추정의 정확성은 보행자의 이동 경로에 영향을 받는 것을 알 수 있었다.

References

- [1] Vedran Sikiric, *Control of Quadcopter*, Master of Science Thesis, pp160, 2008.
- [2] K. J. Åström and T. Häglund, *PID Controllers: Theory, Design, and Tuning*, Instrument Society of America, 1995.
- [3] D. P. Atherton and S. Majhi, "Limitations of PID controllers," *Proceeding of the American Control Conference*, Vol. 6, pp. 3843-3847, June 1999.
- [4] D.H.Yu, J.H. Park, J.H. Ryu, and K.T. Chong, "Attitude Control of Quad-rotor by Improving the Reliability of Multi-Sensor System," *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers A*, vol. 39, no. 5, pp. 517~526, 2015.
- [5] M.G. Yoo, S.K. Hong, "Target Tracking Control of a Quadrotor UAV using Vision Sensor," *Journal of the Korean Society for Aeronautical & Space Sciences*, vol.40, no.2, pp. 118-128, 2012
- [6] Eun-Hyeon Ha "Kalman filtering in position control using a vision sensor," *International Conference on Control Automation and Systems (ICCAS)*, pp. 1252-1254, 2010.
- [7] Grabe, Volker, H. H. Bulthoff, and Paolo Robuffo Giordano. "Onboard velocity estimation and

closed-loop control of a quadrotor UAV based on optical flow." *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, IEEE, 2012.

- [8] Y.K Kim, O.S. Kwon, Y.W Cho and K.S. Seo, "Genetic Programming based Illumination Robust and Non-parametric Multi-colors Detection Model," *Korea Institute of Intelligent Systems*, vol. 20, no. 6, pp. 780-785, 2010.
- [9] Fahimi, Farbod, and Karansingh Thakur. "An alternative closed-loop vision-based control approach for Unmanned Aircraft Systems with application to a quadrotor." *IEEE International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*. 2013.
- [10] Deng, Haibo, Xiaoguang Zhao, and Z. G. How. "A vision-based ground target tracking system for a small-scale autonomous helicopter." *Fifth International Conference on, IEEE Image and Graphics (ICIG'09)*, 2009.
- [11] Yang, Shaowu, Sebastian A. Scherer, and Andreas Zell. "An onboard monocular vision system for autonomous takeoff, hovering and landing of a micro aerial vehicle." *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, vol. 69, no.4 pp.499-515, 2013.
- [12] Bouabdallah S, Murrieri P, Siegwart R "Design and control of an indoor micro quadrotor," *Proceedings of the 2004 IEEE international conference on robotics & automation*, pp. 4393-4398, 2004.
- [13] Altug E, Ostrowski JP, Mahony R. "Control of a quadrotor helicopter using visual feedback," *Proceedings of the IEEE international conference on robotics and automation, Washington*, pp. 72-7, 2002.
- [14] Smith, R. & Cheeseman, P. "On the Representation of Spatial Uncertainty," *The International Journal of Robotics Research*, Vol. 5, No. 4, pp. 56-68, 1986.

저 자 소 개



강석영(Seokyoung Kang)

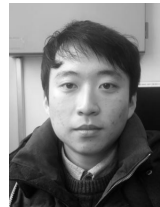
2010년 : 동서대학교 메카트로닉스공학과 입학

2010년~현재 : 동서대학교 메카트로닉스공학과 재학

관심분야 : Multi-rotor control, Sensor Application

Phone : +82-51-320-1778

E-mail : kaseye@naver.com



채종완(Jongwhan Choi)

2010년 : 동서대학교 메카트로닉스공학과 입학

2010년~현재 : 동서대학교 메카트로닉스공학과 재학

관심분야 : Multi-rotor control, Sensor Application

Phone : +82-51-320-1778

E-mail : cjw1930@gmail.com



진태석(Taeseok Jin)

1998년 : 진주산업대학교 전자공학과 공학과

2000년 : 부산대학교 대학원 전자공학과 공학석사

2003년 : 부산대학교 대학원 전자공학과 공학박사

2007년~현재 : 한국지능시스템학회 이사

관심분야 : Sensor Fusion, Mobile Robot, Intelligent System

Phone : +82-51-320-1541

E-mail : jints@dongseo.ac.kr