

Under-actuated 시스템에서의 이미지 서보잉을 위한 깊이 추정 기법

Depth Estimation for Image-based Visual Servoing of an Under-actuated System

이 대 원*, 김 진 호, 김 현 진
(Daewon Lee¹, Jinho Kim¹, and H. Jin Kim¹)
¹Seoul National University

Abstract: A simple and accurate depth estimation algorithm for an IBVS (Image-Based Visual Servoing) is presented. Specifically, this algorithm is useful for under-actuated systems such as visual-guided quadrotor UAVs (Unmanned Aerial Vehicles). Since the image of a marker changes with changing pitch and roll angles of quadrotor, it is difficult to estimate depth. The proposed algorithm compensates a shape of the marker, so that the system acquire more accurate depth information without complicated processes. Also, the roll and pitch channels are decoupled so that the IBVS algorithm can be used in an under-actuated quadrotor system.

Keywords: IBVS (Imaged-Based Visual Servoing), depth estimation, under-actuated system, UAV (Unmanned Aerial Vehicle)

I. 서론

본 논문에서는 무인기, 쿼드콥터 헬리콥터와 같은 under-actuated 시스템에서의 이미지 기반 비주얼 서보잉 (IBVS: Image-Based Visual Servo)을 위한 깊이 추정 알고리즘을 다룬다. 이 알고리즘은 쿼드콥터의 피치각과 롤각이 변함에 따라 함께 변하는 영상의 형상을 보정해준다. 이를 통해 보정된 영상 정보를 입력받음으로써 표식에 대한 쿼드콥터의 깊이를 추정하는 알고리즘을 제공하는데 이 논문의 목적이 있다.

최근 무인 항공기(UAV: Unmanned Aerial Vehicle)는 다양한 임무가 가능하여 주목받고 있다. 특히, 영상 센서를 통한 영상처리 과정은 무인항공기가 능동적으로 임무를 수행하는데 중요한 요소가 되고 있다[1]. 이 중에서 영상을 입력받아 제어를 하는 데 있어서, 영상의 상대 깊이를 고려하지 않은 채 임무를 수행할 경우에는 3차원 공간상에서 오차 요인으로 작용하게 된다. 이러한 오차 요인을 줄이기 위해서 많은 연구가 활발히 진행되어 왔다.

대표적인 비주얼 서보잉 기법은 위치 기반 비주얼 서보잉(PBVS: Position-Based Visual Servoing)와 이미지 기반 비주얼 서보잉(IBVS: Image-Based Visual Servoing)로 나뉜다

[2]. PBVS는 카메라 보정 오차에 대한 상태 추정의 민감도가 단점이라 할 수 있으며, 카메라에 대한 타겟 포즈의 재구성을 요한다. 이는 카테시안 프레임 안에서의 상태 추정 문제를 발생시키며[3-5], 또한 깊이 추정 계산과정이 오래 걸린다[2]. 쿼드콥터의 IMU (Inertial Measurement Unit) 샘플링 시간은 보통 200Hz지만, 카메라의 영상정보 처리 시간은 최대 30Hz밖에 되지 않는다. 이는 무인항공기를 안정화 시키는데 충분하지 않기 때문에 바로 무인기 제어에 적용하기 어렵다. 반면에 IBVS는 이미지 공간상의 이미지 특이점을 바로 사용하기 때문에 카메라 상태 추정을 필요로 하지 않게 되고, 이에 따라서 카메라 보정 오차에 대한 강건성은 증가한다. 또한, 3차원으로 재구성하는 것을 필요치 않기 때문에 계산 부담이 PBVS보다 적다는 장점이 있다 [6,7]. 깊이 추정의 문제를 극복하기 위해서는 부분적인 포즈 추정, 적응제어, quasi-Newton 기법을 사용한 영상 자코비안 추정 등과 같은 여러 가지 접근법들이 연구되어왔다 [8-11]. 그리고 임무별로 모드를 다르게 해서 제어하는 hybrid control 연구가 수행되어왔다[12]. 하지만 깊이를 추정하는 데 있어서는 여전히 복잡하고, under-actuated 시스템에 적용하기 어렵기 때문에, 위에서 언급한 바와 같이 깊이를 추정하는 시간이 비교적 적게 걸리고, 쿼드콥터 시스템에 적용가능한 IBVS의 깊이 추정 방법을 제안하고자 한다.

다음 장에서는 영상 정보 기반 제어의 기본적인 이해를 돕기 위해 핀홀 카메라 모델을 설명한 후, 쿼드콥터와 같은 under-actuated 시스템에 적용 가능한 적응 이미지 기반 비주얼 서보잉 기법과 시뮬레이션 결과를 기술한다. 마지막으로 본 연구에 대한 결론을 제시한다.

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수: 2011. 8. 3., 수정: 2011. 11. 10., 채택확정: 2011. 12. 15.

이대원, 김진호, 김현진: 서울대학교 기계항공공학부

(dwsh001@snu.ac.kr/netkimjh@snu.ac.kr/hjinkim@snu.ac.kr)

※ 본 연구는 지식경제부 및 한국산업기술평가관리원의 산업융합 원천기술개발사업(정보통신)[10039988]과 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(No. 2011-0003656)의 일환으로 수행하였음.

II. 쿼드로터에 적용 가능한 적응 비주얼 서보잉 깊이 추정 방법

1. 핀홀 카메라 모델

영상 정보를 기반으로 한 제어 법칙을 유도하기 위해서는 3차원의 좌표계를 2차원 이미지 평면으로 투영시키는 카메라 기하학을 이해해야 한다. 이 논문에서는 다음 그림 1과 같은 핀홀(pinhole) 카메라 모델을 고려한다.

여기서 I 를 3차원 공간으로 정의하고, C 를 카메라 좌표계 공간, S 를 이미지 좌표계 공간으로 정의한다. 그리고 I 상에서의 관성좌표계 축을 $[X_I, Y_I, Z_I]^T$, C 상에서 원점이 O_{cam} 인 위치벡터를 $[X_{cam}, Y_{cam}, Z_{cam}]^T$ 라 정의한다. 그리고 이미지 좌표계 S 상에서의 원점이 O_s 인 좌표축을 $[U_{image}, V_{image}]$ 라고 정의한다. 여기서 O_s 는 카메라 좌표계의 z -축이 이미지 평면을 가로지르는 점으로 잡는다. 또한, O_{cam} 과 O_s 상의 거리 f 를 카메라의 초점거리라고 정의한다. 카메라의 초점거리 f 는 카메라의 고유 특성값이며, 측정오차가 0.3% (1~2 pixel)로 매우 작다. 따라서 f 의 오차와 비례하는 깊이값의 오차 또한 0.3% 이내로 매우 작다. 최종적으로 카메라 좌표계 공간 상의 점 $P = [x_c, y_c, z_c]^T \in C$ 는 이미지 평면상의 점 $p = [u, v]^T \in S$ 로 변환되며, 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$p = \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = \frac{f}{z_c} \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \end{bmatrix} \quad (1)$$

2. Under-Actuated 시스템을 위한 이미지 기반 비주얼 서보잉

고전적인 IBVS 제어 기법은 x, y, z 위치 상태와 롤각 ϕ , 피치각 θ , 요각 ψ 자세 상태, 총 6가지 기준값에 의해 구동되며, fully-actuated 시스템에만 적용 가능했다[13]. 그러나 본 논문에서 다루어질 쿼드로터는 under-actuated 시스템이며, 6개의 상태변수를 독립적으로 제어할 수가 없다. 따라서 IBVS 제어 기법을 직접 쿼드로터와 같은 under-actuated 시스템에 적용하는 것에는 많은 어려움이 따른다. 가장 기본적인 예로써 IBVS에서 x -축 속도 기준값을 양의 값으로 설정하고, 동시에 피치각은 음의 각속도로 설정한다

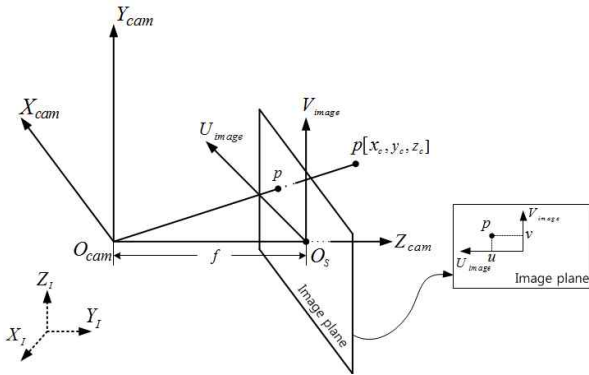


그림 1. 핀홀 카메라 모델의 기하학과 좌표계.

Fig. 1. Geometry and coordinate frames for a pinhole camera model.

고 가정해본다. 이와 같은 기준값은 쿼드로터가 동시에 수행할 수 없다. 이러한 이유로 커플링에 의한 복잡성을 피하기 위해서는 $\dot{\phi}$ 와 $\dot{\theta}$ 기준값은 IBVS 시스템과 분리(decouple)되어야 한다.

이를 위해 새로운 가상의 좌표계 V 를 정의한다. V 에 따른 위치와 요각 ψ 은 카메라 좌표계 C 와 동일하도록 하고, V 의 z -축은 관성 좌표계의 z -축과 나란하도록 한다. 이러한 가상 좌표계에서 쿼드로터가 ϕ 와 θ 에 0이 아닌 값의 자세를 취한다고 가정한다면, 특이점의 형상이 변형되어 보이며, 이로 인하여 깊이 추정에 어려움이 따르게 된다. 따라서 다음의 과정을 통하여 $\phi=0, \theta=0$ 일 때 보이는 이미지로 보상시킨 후, 동체 좌표계의 중심으로부터 가상 이미지를 구성하고, 카메라와 이미지 특이점 사이의 깊이를 추정하도록 한다.

P_i^r 은 롤각과 피치각이 보상된 가상의 카메라 좌표계에서 정의된 i -번째 특이 좌표, p_i^r 은 P_i^r 을 보상된 가상의 카메라 좌표계 상의 이미지 평면에 투영시킨 이미지 특이점으로 정의한다. 그러면 이제 실제 카메라 좌표계와는 같지만 롤각과 피치각이 0°로 보상된 가상의 카메라 좌표계를 고려한다. 이 보상된 가상의 카메라 좌표계로부터 i -번째 특이점 P_i^r 와 이를 이미지 평면에 투영시킨 이미지 특이점 p_i^r 은 다음 식들을 통하여 유도된다.

$$P_i^r = R(1, \phi)R(2, \theta)P_i \quad (2)$$

$$p_i^r = \frac{f}{z_c^r} \begin{bmatrix} x_c^r \\ y_c^r \end{bmatrix} = f \begin{bmatrix} u_i \cos \theta + f \sin \theta \\ -u_i \cos \phi \sin \theta + v_i \sin \phi + f \cos \phi \cos \theta \\ u_i \sin \phi \sin \theta + v_i \cos \phi - f \sin \phi \cos \theta \\ -u_i \cos \phi \sin \theta + v_i \sin \phi + f \cos \phi \cos \theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_i^r \\ v_i^r \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\text{여기서 } R(1, \phi) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 \cos \phi & -\sin \phi \\ 0 \sin \phi & \cos \phi \end{bmatrix}$$

$$R(2, \theta) = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 \sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \theta & 0 \cos \theta \end{bmatrix}$$

본 논문에서는 ϕ, θ 값들이 큰 값을 가지는 공격적인 기동에 대하여서는 다루지 않기로 한다. 따라서 일반적인 비행 상태에서 UAV의 롤각과 피치각은 90°에 이를 수 없으므로, 식 (3)의 분모인 3개의 항은 0이 되지 않으며, 깊이 정보는 식 (3)에서 필요하지 않게 된다. 일반적으로 쿼드로터가 과격한 기동을 하지 않는 경우, 롤각과 피치각은 각각 $\pm 10^\circ$ 이내이며, 본 시뮬레이션에서 사용한 이미지 평면의 크기는 1280×1280 pixel 이다. 즉, u 값과 v 값은 ± 640 pixel 이내이다. 이와 같은 조건 하에서 식 (3)의 분모는 0이 되지 않는다. 또한 본 논문에서 다루는 카메라 좌표계와 동체 좌표계의 불일치로 인한 offset의 보정이 필요하다. 동체 좌표계 상에서 카메라 좌표계의 원점을 통하여 쿼드로터의 위치를 알 수 있으며, 쿼드로터의 비행을 관성 좌표계의 3

차원 상에서 설명이 가능하다.

다음으로 이미지 좌표계에 정의된 표식의 길이 L_s 를 계산하기 위해서 또 다른 특이점 j 의 이미지 평면상 좌표 p_j^v 를 계산해 본다. 그러면 이미지 좌표계에서의 두 특이점 간의 거리 L_s 를 알 수 있다. 또한 카메라 좌표계에서 정의된 표식의 길이 L_c 는 이미 알고 있는 값이다. 이를 통하여, 카메라에서 이미지 특이점까지의 깊이는 식 (4)와 같이 간단하게 계산되어 진다.

$$z_c = \frac{L_c f}{L_s} \quad (4)$$

지금까지의 과정을 통하여 식 (3)에서 이미지 특이점 p_i^v 과 추정 깊이 z_c 로부터 삼차원 목표 좌표 P_i^r 이 유도될 수 있다. 이 방법의 정확도는 이미지 평면 크기에 대한 이미지 표식 크기의 비율에 의해 결정되는데, 여기서 표식의 크기를 너무 작지 않은 크기로 사용한다면 깊이 추정의 정확도는 신뢰할 수 있을 것이다.

다음으로 가상 좌표계 상에서 정의된 i -번째 특이점의 좌표 P_i^r 를 구하기 위해, 쿼드로터 동체 좌표계의 원점에서 카메라 좌표계의 원점까지 오프셋 $[\delta_x, \delta_y, \delta_z]^T$ 이 있다고 가정한다. 그러면 오프셋의 회전에 의해 야기된 거리를 보상하기 위해 옮겨진 또 다른 가상의 카메라 좌표계를 고려해야 한다. 이 또 다른 가상의 카메라 좌표계에서 정의된 i -번째 특이 좌표를 P_i^s 라고 표시한다면, 아래 식 (5)의 관계가 성립된다.

$$P_i^s = P_i^r + R(1, \phi)R(2, \theta)[\delta_x, \delta_y, \delta_z]^T \quad (5)$$

그러면 롤, 피치 각에 의한 회전이 보상된 가상 좌표계와 가상 카메라 좌표계 간의 유일한 차이는 카메라의 위치 오프셋이다. 결과적으로 가상 좌표계 상에서 정의된 i -번째 특이점 P_i^s 의 이미지 특이점 p_i^v 는 다음과 같이 유도된다.

$$P_i^v = P_i^s - [\delta_x, \delta_y, \delta_z]^T \quad (6)$$

$$p_i^v = \frac{f}{Z_{ci}^v} \begin{bmatrix} x_{ci}^v \\ y_{ci}^v \end{bmatrix} \quad (7)$$

여기에서 p_i^v 는 P_i^v 에 상응하는 이미지 평면 상의 이미지 특이점 좌표이다. 지금까지 설명된 알고리즘을 정리하여 나타내면 다음과 같다.

알고리즘: 가상 이미지 특이점과 깊이의 계산

- 1: $[p_i^v]$ 식 (3)을 이용하여 카메라 프레임 회전 보상
- 2: $[z_c]$ 식 (4)을 이용하여 p_i^v 로부터 깊이 계산
- 3: $[P_i^r]$ 식 (2)와 (4)을 이용하여 계산
- 4: $[P_i^s]$ 식 (5)을 이용하여 오프셋 회전 보상
- 5: $[P_i^v]$ 식 (6)를 이용하여 오프셋 위치 보상
- 6: $[p_i^v]$ 식 (7)을 이용하여 가상 이미지 계산

이렇게 제안된 알고리즘의 가장 큰 장점은 특이점의 깊이를 복잡한 깊이 추정 알고리즘 없이도 간단하고 정확하게 얻어낼 수 있다는 것이다. 또한 롤축과 피치축은 분리(decouple)되므로, IBVS 알고리즘은 자유도의 제한이 있는 under-actuated 쿼드로터 시스템에 적용될 수 있다.

III. 시뮬레이션 및 결과

본 시뮬레이션에서는 그림 2와 같은 나선형 궤적을 비행할 때, 표식을 이미지 평면에 투영되는 마커를 가지고 깊이를 추정한다. 먼저 이미지 평면에 투영된 표식을 쿼드로터의 롤각과 피치각이 각각 0° , 0° 인 상태로 보상시킨다. 그리고 이 보상된 표식을 이용하여 깊이를 추정하며 이를 실제 깊이와 비교해 본다. 여기서 사용된 실제 표식의 가로, 세로 길이는 각각 0.3m이며, 카메라의 초점거리 f 는 600픽셀이다.

관성좌표계에서 표식의 가운데 지점을 원점으로 하면, 쿼드로터의 초기 위치 및 자세정보는 [쿼드로터의 x, y, z

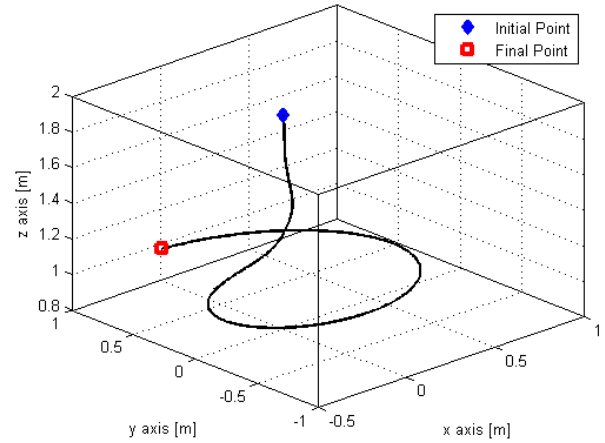


그림 2. 쿼드로터 나선형 비행 궤적.

Fig. 2. Spiral trajectory of the quadrotor.

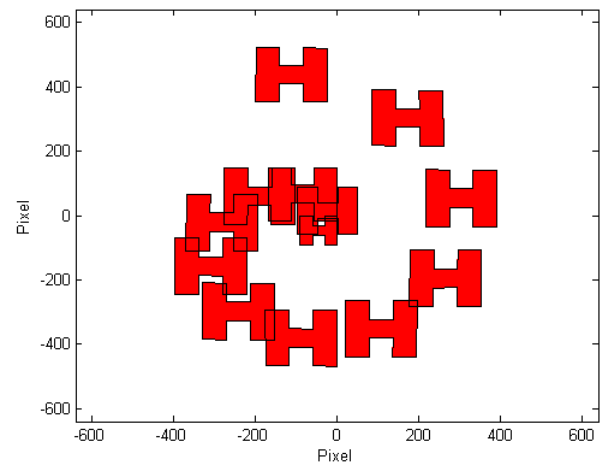


그림 3. 쿼드로터가 나선형 궤적을 비행할 때에 이미지 평면에 투영되는 실제 표식의 변화.

Fig. 3. Image history of the target feature in the image plane when the quadrotor follows a spiral trajectory.

좌표] = [0m, 0m, 2m] 이다. 그리고 최종 위치는 = [-0.02m, 0.95m, 1m] 이다. 쿼드로터가 나선형 궤적을 비행할 때에 이미지 평면에 투영되는 실제 표식의 변화는 그림 3과 같다. 하지만 실제 롤각과 피치각의 측정오차와 쿼드로터의 진동으로 인한 오차를 고려한다면, 그림 4와 6과 같은 롤각과 피치각을 얻을 수 있다. 따라서 이를 제안된 알고리즘에 적용하여 카메라 프레임 회전을 보상시키면, 그 결과는 다음 그림 5와 같이 얻을 수 있다.

여기서 이미지 평면은 픽셀 단위로써 정수값을 가진다. 그러므로 보상시킨 표식을 이미지 평면에 투영시킬 때에도 좌표값을 정수로 변환하여 투영시켰으며, 불확실성과 노이즈에 의한 오차를 ±3픽셀 이내로 가정하여 적용 시켰다. 다음으로 이미지 평면에 투영된 표식의 정보를 가지고 제안

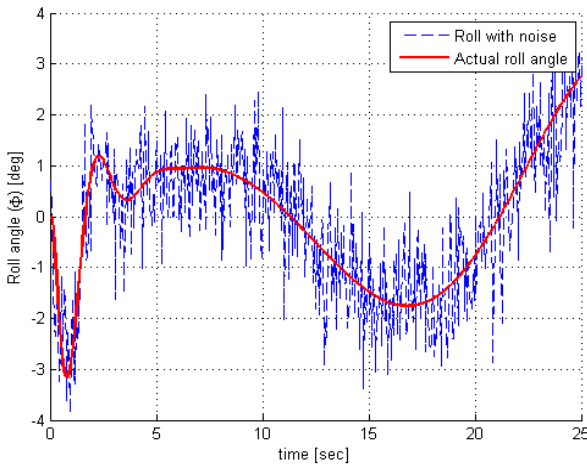


그림 4. 실제 롤각과 측정오차 및 쿼드로터의 진동으로 인한 오차를 고려한 롤각.

Fig. 4. Roll angle with the error induced by quadrotor's vibration and its true values.

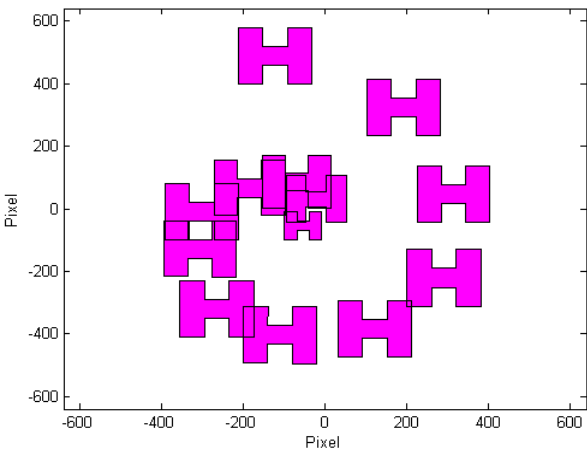


그림 5. 측정오차와 쿼드로터의 진동으로 인한 오차를 고려하였을 때, 카메라 프레임을 회전 보상시켜 이미지 평면에 투영시킨 표식의 변화.

Fig. 5. Image history of compensated target feature in the image plane when consider with the error induced by quadrotor's vibration and its true values.

된 알고리즘으로 깊이를 추정한다.

본 시뮬레이션에서는 실제 표식의 가로 길이 0.3m와 카메라의 초점거리 600픽셀로 설정하였다. 따라서 깊이를 구하는 식 (4)는 다음 식 (8)과 같이 된다.

$$z_c = \frac{L_c f}{L_s} = \frac{0.3 \cdot 600}{L_s} \quad (8)$$

결과적으로 실제 깊이와 제안된 알고리즘으로 추정된 깊이 그래프를 그림 7에서 확인할 수 있다. 이 그래프에서 실제 깊이와 제안된 알고리즘을 사용해서 추정된 깊이의 차이는 0.05m 이내의 값을 보였다.

실제 실험에서는 VICON [14]을 통하여 위치 정보를 얻으며, 오차는 0.1mm 이내이다. 따라서 실제값에 가까우며, 이 값을 이용한 자세 측정값, 롤, 피치 각들도 실제 값에 가깝다. 따라서 이를 이용하여 본 논문에서 제안된 알고리즘을 확인할 계획이다.

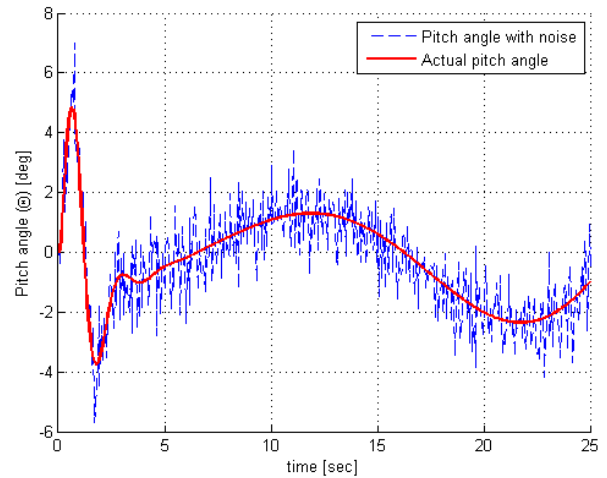


그림 6. 실제 피치각과 측정오차 및 쿼드로터 진동으로 인한 오차를 고려한 피치각.

Fig. 6. Pitch angle with the error induced by quadrotor's vibration and its true values.

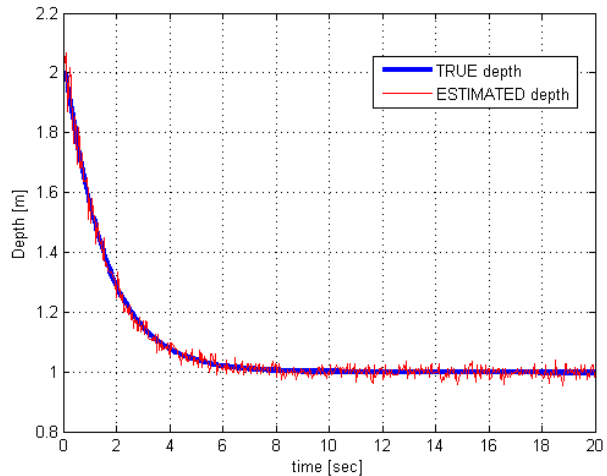


그림 7. 실제 깊이와 제안된 알고리즘으로 추정된 깊이.

Fig. 7. True depth and estimated depth using proposed algorithm.

IV. 결론

최근 주목받는 무인항공기 시스템의 능동적인 임무 수행을 위해서, 영상 정보를 기반으로 제어하는 능력을 갖추기 위한 다양한 연구가 진행되고 있다. 이러한 영상정보의 활용에 있어서 무인항공기는 3차원 상에서 임무를 수행하기 때문에 지면과의 거리(깊이) 오차를 보완하는 것은 매우 중요하다.

본 연구에서는 쿼드로터와 같은 under-actuated 시스템에 적용 가능하도록 IBVS의 깊이 추정방법을 제안하였다. 이러한 기법을 통하여 제안된 알고리즘은 쿼드로터의 자세가 변하게 될 경우 이미지 평면에 투영된 표식을 쿼드로터의 자세가 변하기 전과 같은 상태로 회전 보상하며, 이 회전 보상된 표식과 실제로 알고 있는 표식의 정보를 가지고 쿼드로터로부터 표식까지의 거리(깊이)를 추정한다.

시뮬레이션 시에는 실제 물각과 피치각의 측정오차와 쿼드로터의 진동으로 인한 오차를 고려함과 동시에 보상시킨 표식을 이미지 평면에 투영시킬 때에 좌표값을 정수로 고려하고, 불확실성과 노이즈에 의한 오차를 ± 3 픽셀 이내로 가정하여 시뮬레이션을 수행하였다. 그 결과, 실제 깊이와 추정된 깊이의 차이는 0.05m 이내의 값을 보였다. 따라서 제안된 알고리즘은 under-actuated 시스템에 실시간 적용 가능하며, 정확하게 깊이를 추정할 수 있음을 확인하였다.

참고문헌

- [1] S. H. Lee and Y. D. Kim, "Position estimation for UAV guidance using stereo vision," *KSAS Spring Conference (in Korean)*, pp. 354-358, Apr. 2008.
- [2] S. Hutchinson, G. D. Hager, and P. I. Corke, "A tutorial on visual servo control," *IEEE Transaction on Robotics and Automation*, vol. 12, no. 5, pp. 651-670, 1996.
- [3] S. Soatto and P. Perona, "Structure-independent visual motion control on the essential manifold," in *Proc. IFAC Symposium on Robot Control*, pp. 869-876, 1994.
- [4] Y. Ma, J. Koseck'a, and S. Sastry, "Linear differential algorithm for motion recovery: a geometric approach," *International Journal of Computer Vision*, vol. 36, no. 1, pp. 71-89, 2002.
- [5] T. Fitzgibbons and E. Nebot, "Application of vision in simultaneous localization and mapping," *Intelligent Autonomous Systems*, vol. 36, no. 1, pp. 71-89, 2000.
- [6] T. Hamel and R. Mahony, "Visual servoing of an under-actuated dynamic rigid-body system: an image-based approach," *IEEE Transaction on Robotic and Automation*, vol. 18, no. 2, pp. 187-198, Apr. 2002.
- [7] A. De Luca, G. Oriolo, and P. R. Giordano, "On-line estimation of feature depth for image-based visual servoing scheme," *Proc. of the 2007 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 2823-2828, 2007.
- [8] E. Malis, F. Chaumette, and S. Boudet, "2-1/2-d visual

servoing," *IEEE Transaction on Robotic and Automation*, vol. 15, pp. 238-250, Apr. 1999.

- [9] N. Papanikolopoulos, P. Khosla, and T. Kanade, "Adaptive robot visual tracking," *Proc. of the 1991 American Control Conference*, pp. 962-967, 1991.
- [10] K. Hosada and M. Asada, "Versatile visual servoing without knowledge of true jacobian," *Proc. of the IEEE/RSJ International Conference Intelligent Robots and Systems*, pp. 186-193, 1994.
- [11] J. A. Piepmeyer, "A dynamic quasi-newton method for model independent visual servoing," *Ph.D. dissertation, Georgia Inst. Technology*, July 1999.
- [12] E. Altug, J. P. Ostrowski, and C. J. Taylor, "Control of a quadrotor helicopter using visual feedback," *Proc. of the 2002 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, vol. 1, pp. 72-77, 2002.
- [13] A. Astolfi, L. Hsu, M. Netto, and R. Ortega, "Two solutions to the adaptive visual servoing problem," *IEEE Transactions on Robotics*, vol. 18, no. 3, pp. 387-392, June 2002.
- [14] Vicon Company, Vicon Motion Capture Systems, Available at <http://www.vicon.com/>, 2011.



이 대 원

2005년 서울대학교 기계항공공학 학사. 2005년~현재 서울대학교 대학원 기계항공공학부 통합과정 재학 중. 관심분야는 비선형 제어와 무인기의 이미지 기반 제어.



김 진 호

2011년 충남대학교 항공우주공학 학사. 2011년~현재 서울대학교 기계항공공학부 석사과정 재학 중. 관심분야는 무인기의 이미지 기반 제어와 SLAM, 지능제어.



김 현 진

1995년 KAIST 기계공학 학사, 1999년과 2001년 University of California, Berkeley 기계공학 석사, 박사. 2002년~2004년 University of California, Berkeley EECS 박사 후 연구원 및 강사. 2004년~현재 서울대학교 기계항공공학부 조교수, 부교수. 관심분야는 이동 로봇 플래닝 및 지능 제어 알고리즘.