

## 실내 환경에서의 능동카메라 기반 쿼드콥터의 호버링 제어

### Onboard Active Vision Based Hovering Control for Quadcopter in Indoor Environments

진태석\*

Tae-Seok Jin\*

#### 〈Abstract〉

In this paper, we describe the design and performance of UAV system toward compact and fully autonomous quadrotors, where they can complete logistics application, rescue work, inspection tour and remote sensing without external assistance systems like ground station computers, high-performance wireless communication devices or motion capture system.

we propose high-speed hovering flight height control method based on state feedback control with image information from active camera and multirate observer because we can get image of the information only every 30ms. Finally, we show the advantages of proposed method by simulations and experiments.

*Keywords : Quadcopter, UAV, Image Processing, Feature extraction.*

---

\* 교신저자, 정회원, 동서대학교 메카트로닉스공학과 교수  
부산대학교 졸업(공학박사)  
47011 부산광역시 사상구 주례로47

\*\* Corresponding Author, Professor Dept. of Mechatronics  
Ph.D Dongseo University  
E-mail : jints@dongseo.ac.kr, 051-320-1541

## 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. 또한, 기체의 소형화로 비용을 절감하며 추락시의 위험을 줄일 수 있는 특징으로 인하여 소형 쿼드콥터 헬기와 관련된 하드웨어 및 소프트웨어 개발이 활발하게 이루어지고 있다. 따라서 수송 탐사, 감시, 구조 활동의 다양한 분야까지 응용분야를 갖추게 되었다[1-4].

이러한 활동을 수행하기 위해서는 쿼드콥터의 환경 모니터링과 자세 제어를 위한 센서의 탑재를 중요한 과제로 도출되고 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 영상획득을 기본으로 한 위치추정 기법에 관련 기초 연구를 수행하고자 한다. 영상센서를 UAV에 탑재하여 객체의 영상을 획득하고 그 획득한 영상을 기반으로 한 쿼드콥터의 위치제어를 구현 한 실험결과를 제시하고자 한다.

첫 번째는 외부의 정지 좌표계에 장착 된 모션 캡처 시스템을 이용하여 마킹 된 UAV를 수백 Hz로 촬영하고 각 UAV 제어 명령을 무선 신호로 전달하여 피드백 제어를 수행하는 방법이다[3-8]. 이 방법을 이용한 군집비행에 의한 성능평가 및 결과 등의 해외 연구가 이미 진행되고 있는 실정

이다. 그러한 방법은 모션캡처 시스템의 가시범위 외(10m<sup>2</sup> 정도)에서는 UAV을 제어 할 수 없다는 문제점도 제기되었다.

두 번째는 비행기체 자체에 장착된 카메라를 이용하여 자기 위치 추정하는 방법이다. 이 방법은 예전부터 육상 이동로봇의 위치제어 알고리즘 측면에서 연구가 되고 있었지만 최근 계산기의 소형화, 고성능화를 배경으로 소형 UAV를 이용한 하드웨어 구현과 실용적 연구결과[9-11], 상업 분야 [12]로 응용분야가 점점 증가하고 있다. 또한 최근에는 화상 처리 분야 연구의 발전으로 PTAM로 대표되는 고속 VSLAM (Visual SLAM) 알고리즘이 제안 및 공개되고 있고 그러한 알고리즘이 UAV에 구현 한 최근의 연구[3] 결과도 나오고 있다.

본 연구에서는 메인 로터의 직경이 수 10 [cm] 소형 쿼드콥터를 이용한 자율 비행 제어 연구를 실시하고 있다. 특히 소형 헬기는 외부 풍향의 영향으로 야외 비행이 어렵기 때문에 실내에서 비행 실험을 실시하고 있으며 쿼드콥터의 페이로드를 고려하여 내부에 설치된 영상센터 모듈을 이용한 비주얼 서버에 따른 자율 비행 제어를 달성하고 있다.

## 2. 자율 비행제어 시스템

### 2.1 시스템 구성

본 연구에서 실험을 위한 쿼드콥터는 소형 카메라, 영상전송을 위한 무선 송신기, 수동 조작 컨트롤러, PC, DA/AD 변환기, 신호 변환 회로로 구성하였다(Fig. 1). 또한 비행제어를 위한 1대의 헬기와 기체에 탑재한 소형카메라 1대와 외부에서 비행관측을 통한 모니터링 및 보정을 실현하기 위하여 외부용 카메라 2대를 각각 사용한다.

PC 제어용 및 영상처리용 카메라는 제어용 PC와 통신하도록 하였고, 화상처리용 PC가 무선 네트워크 연결되어있다. 제어용 PC는 AD 변환기를 통해 수동 조작 컨트롤러가 연결시켰다. 또한 DA 컨버터 · 신호 변환 회로를 통해 무선 송신기가 연결되어있다.

이미지 처리 PC에는 두 개의 카메라가 연결된 이미지 처리를 한다. 제어용 PC와 화상 처리 PC는 UDP 통신을 통해 상호정보를 교환 할 수 있다. 수동 조작 컨트롤러는 쿼드콥터의 자세 상태를 보정하기 위해 사용하도록 하였다.

유도 비행 제어를 위하여 시스템 전체에 대한 신호처리에 대한 기법을 설명하도록 한다. 우선 제어용 PC는 이전 시간에 획득 및 저장된 쿼드콥터의 위치정보로부터 특징점 추출과 이미지에서 위치 및 크기를 추정하고, 각각의 이미지 처리 PC로 전송한다. 이미지 처리 PC 카메라에서 캡처된 이미지에 대해 이미지 처리를 이미지 색상 및 사이즈의 특징량을 계산하고 결과를 제어용 PC에 전송한다. 제어용 PC는 이미지 처리 PC에서 정보를 바탕으로 쿼드콥터의 위치를 계산한다. 위치 정보로부터 제어 입력을 결정하고, DA 변환기, 신호 변환 회로 및 무선 송신기를 통해 쿼드콥터로 제어 신호를 전송하게 된다.

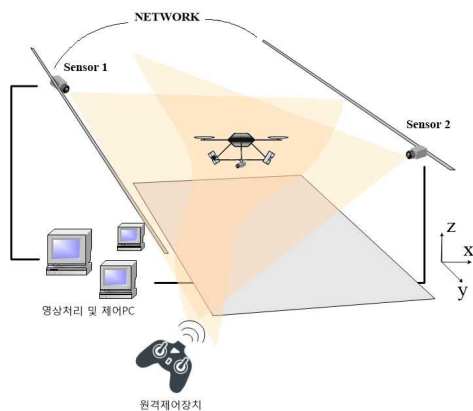


Fig.1. Structure of system and environment.

## 2.2 특징점 추출 알고리즘

환경인식과 특징점 추출에 이용되는 매개 변수는 색상 정보 HSV 표색계라는 매개 변수를 이용한다. HSV 표색계는 인간의 눈과 가장 비슷한 색상인식 모델로서 환경인식을 위한 특징점 추출에 매우 효과적이라 판단된다. HSV는 색을 색상 (Hue : 색조), 채도 (Saturation : 채도), 명도 (Value : 밝기)의 3 개의 수치로 나타내는 표색계이다. 이 세 가지 척도로 색상을 표현하면 그 색이 어떤 색인지 감각으로 알기 쉽다는 특징이 있다. 이미지 처리는 색상에 따라 이미지의 영역을 분리 추출 할 때 사용된다.

본 연구에서는 주로 HSV 표색계의 색상 값을 이용하여 특징점을 검출한다. 색상 값은 조명 변화에 강건한 매개 변수이며, 색의 색조를 나타내고 있다. 쿼드콥터에 설치된 1대의 카메라에서 입력된 색상 값을 조사한 결과, 빨강색의 출현 빈도가 낮기 때문에 실내 환경을 빨강색으로 설정하였다.

환경의 객체인식을 위한 알고리즘의 흐름을 정리 한 것을 Fig. 2에 나타내었다. 또한 특징점 검출을 위한 이미지의 변환 개략도를 그림 3에 나타내었다. 논 연구에서 수행된 특징점 검출은 각

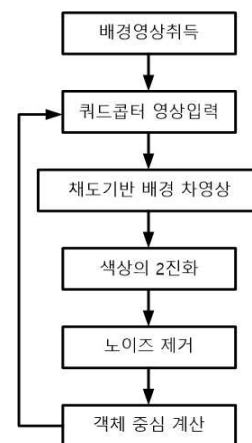


Fig. 2 Feature point extraction algorithms.

각의 특징점의 중심 위치를 계산하고 특징 마커의 중심 위치를 계산하여 다음 프레임에서 마커 탐색 영역의 중심 위치로 함으로써 특징점을 검출을 수행하게 된다. 본 실험은 영상 프레임 속도 30[fps]에서 실시하였다.

쿼터콥터를 실험 환경에 설치하기 전에 배경 이미지를 사전에 취득한다. 배경 이미지는 실험 시작 먼저 취득하고 그 이미지를 실험환경의 배경 이미지로 사용하게 된다. 그 다음 쿼터콥터를 실험 환경에 비행 실험을 시작하게 된다. 이 때, 카메라는 이미지를 얻을 때마다 영상의 중심 위치를 계산하게 된다.

### 2.2.1 채도에 의한 차영상

취득 이미지와 배경 이미지를 HSV 표색계의 채도 정보에서 배경 차영상을 수행한다. 채도는 색의 채도와 부피를 나타내는 파라미터이다. 채도를 이용한 배경 차분 배경에 특징점과 비슷한 색상을 가진 영역을 특징정보로 오인하는 것을 보완하기 위해 실시한다. 취득 이미지와 배경 이미지의 특징점 탐색 영역에서 각 화소의 채도의 차이를 구한다. 그 차이가 사전에 설정 한 배경 차등 임계값 이상의 화소 만의 정보를 유지하고 다른 화소는 특징점가 아니라고 결정하게 된다. 그림 3에서 나타난 차영상 방법에 따른 이미지 처리의 개략도이다.

### 2.2.2 색상의 이진화

특징점으로 하는 입력 색상에 대한 이진화를 수행한다. 우선 채도를 이용한 배경 차분을 마치고 정보가 유지되는 화소에 대해서 색상의 이진화를 수행하고 특징점 탐색 영역의 다른 픽셀은 모두 검은 색으로 변환한다. 사전에 특징점의 색상이 취할 수 있는 범위를 결정 해 둔다. 그 범위의 색상을 갖는 화소를 특징점으로 인식한다. 특징

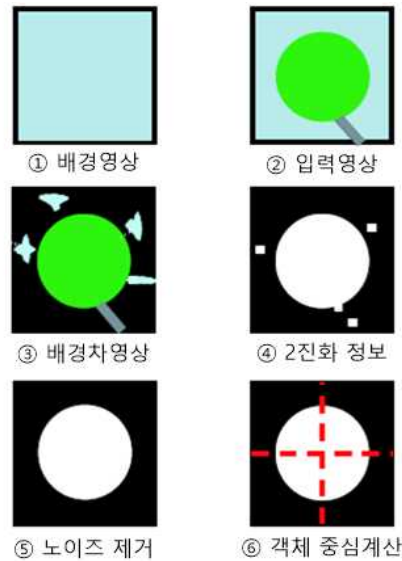


Fig. 3 Process of feature image processing.

마크로 인식 된 픽셀은 흰색 다른 픽셀을 검정한 다. Fig. 3의 ④가 이진화 후의 이미지 개략도이다. 이때, 이진화 수행 후 약간의 노이즈가 남아 있게 되는 데 정확한 특징점의 위치 검출을 할 수 없기 때문에 노이즈 제거가 필요하다.

### 2.2.3 노이즈 제거

이진화에 의해서 발생되는 노이즈를 제거한다. 본 실험에서는 특징 마크로 인식되고 있는 픽셀을 빨강색으로 하고 있기 때문에 약간 붉은색 노이즈가 포함되게 된다. 이것을 제거하기 위해 클로징이라는 노이즈 제거 방법을 사용 하였다. 클로징은 우선 붉은 화소를 팽창시켜 백색 노이즈를 축소한 다음 붉은 화소를 원래 크기로 수축하는 방법이다.

### 2.2.4 중심 계산

노이즈 제거를 거쳐 남은 붉은색 픽셀을 포함 하는 사각형 바운딩으로 표시되는 특징 마크로 인식하고, 붉은색 화소 이미지는 2차 모멘트를 계산 하여 특징점의 중심 위치를 구하게 된다.

### 3. 능동 영상시스템

#### 3.1 실험환경

본 실험에서 적용된 카메라는 USB 통신 기반의 무선카메라 RC-12(Fig. 4)를 사용하였다. 해상도 320 x 240 [pixel]의 8 bit 컬러 스케일 이미지를 최대 30 [fps] 프레임의 처리속도가 가능한 CMOS 카메라이다. 무선카메라는 수신기 AT-2620AVS (Fig. 4) 사이에서 무선 통신을 수행함으로써 이미지를 수신하게 된다. AT-2620AVS 비디오 입출력 등으로 이용되는 콤포지트 단자를 통해서 탑재된 카메라용 PC에 출력하게 된다. 제어용 PC와 UDP 통신 그림 4와 같은 형태로 구성하였다.

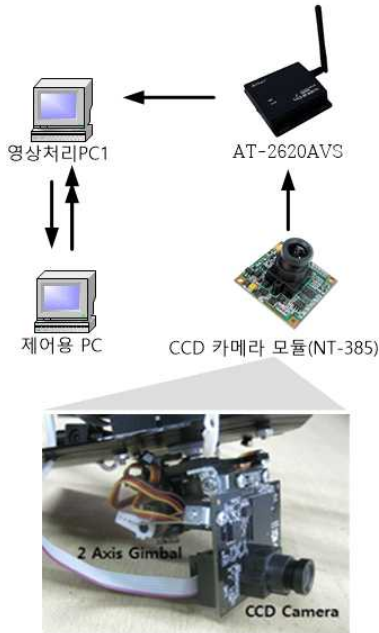


Fig. 4. Camera system with two-axis gimbal.

#### 3.2 탑재 카메라와 실 환경 매핑

본 실험에서 외부 카메라의 모니터링에 의해 매 시간별로 쿼드콥터의 3차원 위치 (x, y, z)

와 자세  $\theta$ (yaw축)을 구하게 된다.

x축의 양의 방향을 정면( $\theta=0$ )으로 했을 때, 중심위치, (x, y)로부터 음의 y방향으로 5 [cm]의 거리에 위치한 기체의 바로 밑부분에 카메라를 장착하였다(Fig. 5). 따라서, 실제 환경에서 특정한 자세  $\theta$ 에 대한 장착 카메라의 3 차원 위치  $(x_0, y_0, z_0)$ 는 식(1)~(3)과 같이 구할 수 있다. 쿼드콥터는 수평 안정화 장치에 의해 거의 수평으로 유지되게 하였기 때문에 장착 카메라에서 취득하는 이미지는 실제 환경에서  $(x_0, y_0, 0)$ 을 중심으로 투영되게 하였다.

$$x_0 = x - 0.05\sin\theta \tag{1}$$

$$y_0 = y - 0.05\cos\theta \tag{2}$$

$$z_0 = z \tag{3}$$

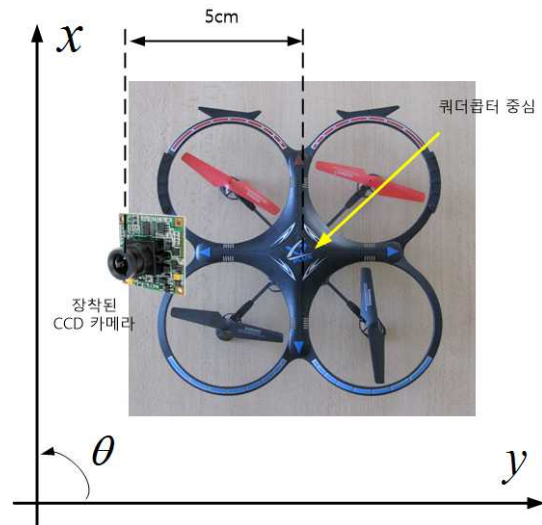


Fig. 5. Coordinate position of mounted camera and quadcopter.

이때, 쿼드콥터의 비행 높이 z가 높아짐에 따라서 투영 이미지의 스케일은 비례적으로 작아지게 된다. 따라서 장착 카메라의 높이  $z_0$ 를 알면 이미지의 스케일 *ScaleImage*를 아래와 같이 실험적 계산을 통하여 결정할 수 있었다.

$$Scale Image = 400.00z_0 + 640.00 \quad (4)$$

기체의 자세가  $\theta$ 의 값일 때 이미지는  $\theta$ 로 기울어져 있는 것을 확인할 수 있으므로 이미지 내의 임의의  $(X, Y)$ 위치로 표시되는 실제 환경상의 좌표  $(X_w, Y_w)$ 는 카메라의 3 차원 위치  $(x_0, y_0)$ 를 이용하여 (5) ~ (6)과 같이 구할 수 있다.

$$X_w = (X - 160) / Scale Image + x_0, \quad (5)$$

$$Y_w = (Y - 120) / Scale Image + y_0 \quad (6)$$

#### 4. 실험

본 실험에서 설계 및 제작한 쿼드콥터의 제원을 표 1에 나타내었다. 장착된 카메라 센서에서 얻은 이미지 특징점 대응 관계의 시각화를 그림 6에 나타내었다.

Table 1. Basic Specification

Quadcopter total weight	400g
Quadcopter length(max)	320mm
Flight duration	10min
Power supply	24W
Consumption power	1.5W



Fig. 6. Captured Image and Feature Points.



(a) many red feature points (b) few red feature points

Fig. 7. Captured images in the environment.

Table 2. Repeatability Performance

	No visual feedback	Many Feature Points	Few Feature Points
$se_n=1$	0.0%	96.7%	85.2%
$se_0=1$	0.0%	25.6%	4.8%
Success number	0	9	4
Trials	10	10	10
Success rate	0.0%	90.0%	40.0%

앞에서 언급 한 쿼드콥터를 이용하여 자율 모드에서의 특징점 마크를 주시한 상태에서 호버링 성능을 평가하였다.

3차원 공간의 실내(0.6m x 0.6m) 영역을 만들고 벽면에는 붉은색 정보를 가진 박스를 마련했다. 한 이미지는 붉은색 특징점이 명확히 존재하는 환경으로 붉은 박스를 겹쳐놓은 경우와 다른 하나는 붉은색 특징점이 적은 환경으로 책장에 꽂혀 있는 서적의 색상으로 인식할 수 있도록 했다. 실제로 쿼드콥터의 호버링 도중에 카메라 센서에서 캡처한 이미지를 그림 7에 나타내었다. 각각의 환경에서 특징점 검출 수를 평균하면 왼쪽은 76개, 오른쪽은 24개의 특징 마크가 검출되었다.

다음은 자율 비행모드의 호버링 상태에 들어가기 전에 일정한 고도를 유지하기까지 수동모드로 조종하여 기체를 유도 한 후 30초 자율비행모드 상태를 유지했다. 그 때 해당 영역에서 지속적인

호버링이 유지되면 성공으로 간주하였고, 그렇지 않은 경우는 실패로 처리하여 각각 10회씩의 실험을 반복하였다.

쿼터콥터의 자기 위치 추정은 제어기 및 CPU의 성능에 따라 영상 및 제어성능의 차이를 보여주었는데, 앞에서 제시한 2개의 환경과 자율비행 모드에 들어간 순간에 얻은 이미지 2장에서의 특징점 대응 관계를 이용하여 계산한 결과를 표 2에서 제시하였다. 여기서 두 환경의 대응 관계 계산에 성공한 사건을 ( $se_n=1$ ), 자율비행모드에 들어간 순간에 획득한 이미지에 대한 성공한 사건을 ( $se_0=1$ )로 나타내었다. 그 실험 결과에 따른 쿼터콥터의 호버링 위치를 그림 8에 나타내었다.

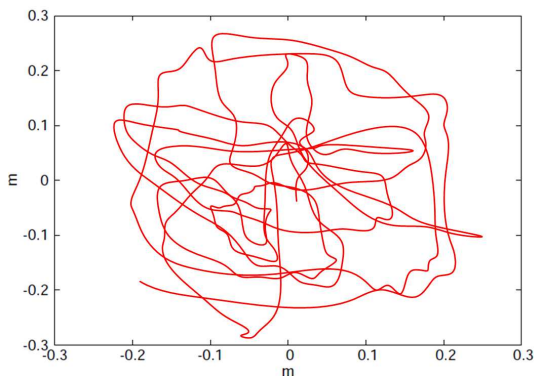


Fig. 8. Self Estimated Position.

표 2에서 제시한 실험 결과로부터 특징점 정보가 많은 환경에서는 거의 확실하게 안정된 수평 피드백 제어가 이루어지고 있는 반면, 특징점의 적은 환경에서는 성공률이 절반 정도인 것을 알 수 있었다. 이러한 원인은 후자의 경우는 특징점이 많은 환경에서 자율비행모드로 들어간 순간에 얻은 이미지의 대응 관계의 계산 성공률이 매우 낮아 추정 오차를 보정하는 효과가 거의 없었고 자기 위치 추정 오차가 시간경과에 따라 증가함으로써 그러한 현상이 발생된다는 것을 알 수 있었다.

이러한 문제의 개선하기 위해서는 대응 관계의 계산을 촬상 프레임 기반으로 할 것이 아니라 보다 많은 특징점 기반으로하는 방법을 적용할 필요가 있다. 즉, 일반적인 하드웨어적인 스펙과 성능을 향상시킴으로 영상정보 처리능력을 향상시키거나 환경의 특징점과 영상정보의 제한된 계산 자원과 저장 용량에서 해결 할 수 있다.

## 5. 결론

본 연구에서는 쿼터콥터의 비행제어를 위한 소형 온보드 프로세서와 직경 30cm 크기의 쿼터콥터 기체의 설계 및 제작에서 구현한 하드웨어 및 소프트웨어의 개요와 지상의 제어장치를 중심으로 원격통신과 환경의 특징점 마크를 인식에 따른 호버링에 대한 실험결과와 성능평가를 제시하였다. 이러한 성능 측정 실험을 통해 환경 모니터링이나 보안지역감시 및 경비 등 실용적인 응용에 적용이 가능할 것으로 판단된다. 그리고, 자연 환경의 특징점을 기반으로 한 호버링을 강건하게 수행할 수 있는 제어 알고리즘의 개선과 시스템의 지능화부분을 고도화함으로써 외부의 도움을 받지 않고 스스로 판단 및 비행이 가능하기 위한 다중 센서기반의 피드백제어 기법에 대한 연구가 추가적으로 필요하다고 판단된다.

## 사 사

본 논문은 2016년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2016R1D1A1B04932124).

## 참고문헌

- [1] E.H. Sun, T.H. Luat, D.Y. KIm, and Y.T. KIm, "A Study on the Image-based Automatic Flight Control of Mini Drone," Korea Institute of Intelligent Systems, vol. 25, no. 6, pp. 536-541, (2015).
- [2] D. Mellinger and V. Kumar, "Minimum snap trajectory generation and control for quadrotors," in IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 2520-2525, (2011).
- [3] Mark W. Mueller and Raaello D'Andrea "Critical subsystem failure mitigation in an indoor UAV testbed," in IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, October, (2012).
- [4] M. Hehn and R. D'Andrea, "A Flying inverted pendulum," in Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, (2011).
- [5] P. Bouard, A. Aswani, and C. Tomlin, "Learningbased model predictive control on a quadrotor: Onboard implementation and experimental results," IEEE International Conference in Robotics and Automation (ICRA), pp. 279 - 284, (2012).
- [6] J.O. Park, J.H. Sul, S.C.Kim, and Y.D. Lim, "Flight Attitude Control of using a Fuzzy Controller," Korea Institute of Intelligent Systems, vol. 13, no. 1, pp. 91-96, (2003).
- [7] D.R. Kim, D.M. Kim, and J.Y. Suk, "Vision Processing for Precision Autonomous Landing Approach of an Unmanned Helicopter," Journal of Institute of Control, Robotics and Systems, vol.15, no.1, pp. 54-60, (2009).
- [8] H.J. Han, T.S. Jin, "Dynamic Modeling based Flight Control of Hexa-Rotor Helicopter System," Korea Institute of Intelligent Systems, vol. 25, no. 4, pp. 398-404, (2015).
- [9] M.G. Yoo, and S.K. Hong, "Target Tracking Control of a Quadrotor UAV using Vision Sensor," Journal of the Korean Society for Aeronautical and Space Sciences, vol.40, no.2, pp. 118-128, (2012)
- [10] D.Y. Yun, and S.H. Kim, "A Design of Fire Monitoring System Based On Unmaned Helicopter and Sensor Network," Korea Institute of Intelligent Systems, vol. 17, no. 2, pp. 173-178, (2007).
- [11] S.Y. Kang, and T.S. Jin, "Performance Enhancement of the Attitude Estimation using Small Quadrotor by Vision-based Marker Tracking," Korea Institute of Intelligent Systems, vol. 25, no. 10, pp. 445-450, (2015).
- [12] "AR-Drone" <http://ardrone.parrot.com/parrot-ardrone/select-siteh>

---

(접수:2017.01.06. 수정: 2017.02.07. 게재확정: 2017.02.20.)