

# 드론과 지상 로봇의 비전 기반 협업 시스템을 위한 기준 마커 검출

백종환, 김상훈\*

\*국립한경대학교 전기전자제어공학과

e-mail: kimsh@hknu.ac.kr

## Fiducial Marker Detection for Vision-based Collaborating System of Drone and Ground Vehicle

Jong-Hwan Beck, Sang-Hoon Kim\*

\*Dept of Electrical, Electronic and Control Engineering,

Hankyong National University

### 요 약

드론이라고도 불리는 소형 무인기는 비전 시스템을 대부분 갖추고 있어 비전을 응용한 기술이 적합한 플랫폼이며 특히 랜드 마크 기반 위치 추적 방법은 드론과 지상 로봇과 같은 다른 플랫폼 간의 협업을 위한 효율적인 방법 중 하나이다. 본 논문에서는 드론과 지상 로봇의 협업 시스템을 위하여 기준 마커를 검출하는 연구에 대하여 서술한다. 기준 마커 중 하나인 ArUco는 바코드보다 간단한 내부 코드를 가지고 있다. 기준 마커의 카메라 캘리브레이션을 통하여 카메라와 마커의 자세 추정이 가능하다. 성능 평가 실험을 통하여 형태가 간단한 마커, AprilTags, ArUco 간 성능 비교를 하였고 92%의 정확도를 얻어내었으며 ArUco의 적합한 이진화 알고리즘을 제시하였다.

### 1. 서론

드론(drone)이라고도 불리는 소형 무인기(UAV: Unmanned Aerial Vehicles)들은 감시나 구조, 공중 촬영 등과 같은 분야에 응용할 수 있는 이점이 있어 무인 지상 로봇(UGV: Unmanned Ground Vehicles)를 잇는 차세대 모바일 로봇 플랫폼으로 불리고 있다. 현재 연구 분야에서는 로봇 자체의 연구뿐만 아니라 사람-로봇간의 제어 방식을 로봇-로봇간의 제어 방식으로 바꾸려는 시도들이 이루어지고 있다. 즉, 무인기에 있어서는 UAV-UAV[1], UAV-UGV[2] 처럼 다른 플랫폼과의 연동에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. (그림 1)과 같이 UAV와 UGV의 결합을 통하여 이점을 살리는 연구 또한 진행되었다[3].



(그림 1) UGV-UAV의 협업

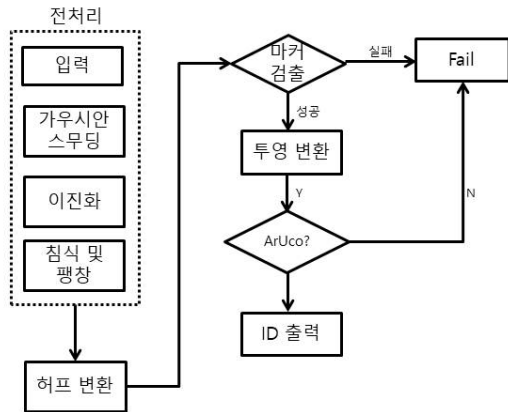
다른 플랫폼과의 협업에 있어서 UAV의 자율 호버링과 자율 착륙 등과 같은 기술은 무인기의 위치 추적 및 추정 연구가 선행되어야 할 것이다. 기준 UAV의 위치 추적 연

구들은 주로 대형 헬리콥터나 고중량의 기체에서 이루어졌다[4][5]. 드론에서는 고효율 브러시리스 DC모터와 대용량 배터리의 발전으로 인해 전자 제어기, 자세 감지 센서 등의 저가화와 소형화에 힘입어 GPS 신호를 통한 위치 추정이 강건한 성능을 보여주기 때문에 다수의 드론 연구들은 GPS를 이용한 기체 위치 추적이 선택되고 있다. 이는 GPS 신호를 수신하지 못하는 빌딩 숲이나 실내에서 드론의 위치 추정 성능을 약화시킨다. 또한 지자기 센서를 이용하는 드론의 자세제어 시스템이 많은 전자기기를 사용하는 현대 실내공간에서 많은 영향을 받게 되는 단점이 존재하게 된다. 이러한 단점을 극복하기 위한 효율적인 대안 방법으로 드론과 무인 지상로봇 간의 협업을 위하여 랜드 마크로서 사각형 마커를 사용하는 비전 아키텍처를 많이 제시하고 있다[6] 특히, 많은 연구들이 랜드 마크를 자동 착륙과 같은 무인기 위치 제어 포인트로 사용하고 있다.

본 논문에서는 비전 기반의 드론과 지상로봇의 협업 시스템을 위하여 저비용 카메라와 생산성이 용이한 기준 마커를 이용한 마커 검출에 대한 연구를 소개한다. 기준 마커는 관심 객체의 위치와 방향을 정확히 계산할 수 있도록 고안된 마커 주로 증강 현실(Augmented Reality)을 구현할 때 많이 쓰이는 마커이다. 기준 마커는 바코드와 유사하지만 바코드는 제품에 대한 정보를 제공하도록 설계되었으나 기준 마커는 공간 정보를 제공할 목적으로 설계되었다. 또한 기준 마커는 단순한 기하학적 모양을 사용하

므로 다양한 환경에서 쉽게 검출할 수 있는 장점이 있다. 실험에서는 특정 환경에서 드론으로부터 촬영한 영상의 몇 장을 토대로 ArUco marker의 성능평가가 이루어졌다.

## 2. 기준 마커 검출 알고리즘



(그림 2) 비전 기반 마커 인식 흐름도

기준 마커의 검출은 (그림 2)와 같이 이루어진다. 전처리 과정은 잡음과 특징점 추출 성능 향상을 위하여 사용한다. 가우시안 스무딩은 디지털 이미지를 부드럽게 만들 때 사용한다. 가우시안 분포 함수에서 표준편차  $\sigma$ 가 클수록 더 큰 스무딩 효과를 가진다. RGB 이미지는 가우시안 스무딩을 거쳐 그레이스케일 이미지가 된다. 이진화 알고리즘은 실험을 통하여 Otsu의 알고리즘을 선택하였다.

전처리 후 이미지에서 사각형 객체를 검출하기 위하여 허프 변환(Hough Transformation)을 사용하여 관심 영역을 추출하여 와핑 등의 투영 변환을 통하여 마커를 추출해낸다. 직선 검출을 위해서는 극좌표계를 사용한다.

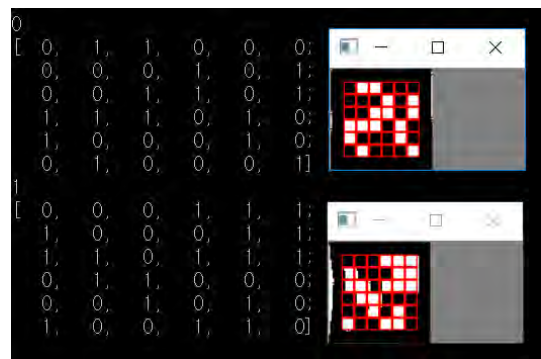
$$\rho = x \sin \theta + y \cos \theta \quad (1)$$

$\rho$ 는 원점에서 직선까지의 거리이고,  $\theta$ 는 직선에서 원점에 수직으로 그어진 수선과 y축 사이의 각도이다. 이러한 직선의 방정식을 사용하면 유한한 범위의  $\rho$ 와  $\theta$ 값을 이용하여 평면 위의 직선을 표현할 수 있다.

### 2. 1. 기준 마커

기준 마커는 일정한 포맷으로 만들어진 인공적인 랜덤마크로, 마커의 4개의 코너를 구하여 카메라 자세 추정을 할 수 있다. 이 정보를 바탕으로 마커의 자세를 추정하여 마커 위에 가상의 사물을 띄워 증강 현실을 구현해내는 도구이다[7]. 기준 마커 ArUco marker는 기준 마커 중 한 가지로  $n \times n$  크기의 2차원 비트 패턴과 이를 둘러싸고 있는 검은색의 테두리 영역으로 구성되어 있다. 마커 내부 코드를 가지며 ArUco Library에는 마커의 갯수 및 마커 크기 별로 딕셔너리가 저장되어 있다. 마커의 회전에 대비

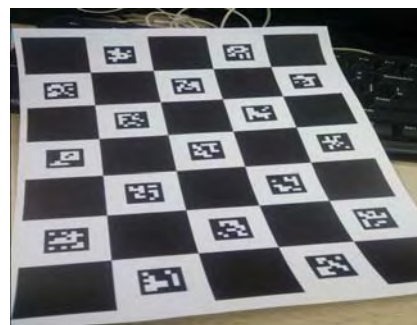
하여 하나의 마커 ID에 대해 4개의 해밍 코드가 저장되며 마커 크기별로 1000개의 배열을 선언해두고 있다.



(그림 3) ArUco marker 비트 행렬 변환

(그림 4)와 같이 ArUco marker 비트 패턴을 비트 행렬로 변환 후 Circular shift 연산을 통하여 바이트 리스트로 바꾼다. 바꾼 바이트 리스트와 딕셔너리를 비교하여 마커 ID를 일치시키고, 하나의 ID에 회전에 대한 4개의 바이트 리스트가 저장되어 있는 딕셔너리와 몇 번째가 일치하는지 여부를 확인한 후 회전각도를 알아내고 회전시키는 방법을 사용한다.

### 2. 2. 카메라 캘리브레이션



(그림 4) 캘리브레이션을 위한 ChArUco 보드

상기에도 기술했듯이, 기준 마커를 이용하면 카메라의 자세 추정이 가능하다. 카메라 캘리브레이션은 카메라 고유의 매개 변수를 얻는 과정이며 흔히 알려진 방법으로는 체스판 패턴의 영상을 다각도에서 찍어 카메라의 내장 함수 및 왜곡 계수를 알아내는 방법이다. ArUco 모듈을 이용하면 기준 마커의 모서리를 기준으로 보정을 수행할 수 있기 때문에 기존 체스판 패턴보다 훨씬 다양하고 적은 이미지로도 정확한 카메라 자세 추정이 가능해진다. 카메라의 자세와 드론의 자세 사이에는 결국  $\nabla d$  ( $\nabla d$ : 드론 몸체와 카메라 렌즈 사이의 거리)만큼의 거리만 존재하기 때문에 카메라 자세 추정을 통해 드론의 현재 위치 또한 추정 할 수 있게 된다.

### 2. 3. 로봇 협업 시스템

기준 마커 인식을 통하여 카메라와 마커의 자세 추정이 되면, 드론과 지상 로봇의 상대 거리 또한 알 수 있다[8]. 기하적 성질에 의하여, 드론과 지상 로봇의 상대 거리가 최소인 지점은 마커의 중심 위에 카메라 렌즈가 수직 방향을 이루고 있을 때이다. 저자의 기존 연구[3]에서 템플릿 매칭과 거리 센서의 융합으로 도킹을 시도했다. 기준 마커 인식의 강건함은 지상 로봇의 수직 방향에 드론이 위치하게 함으로써 개선된 도킹 시스템을 만들 수 있을 것이다.

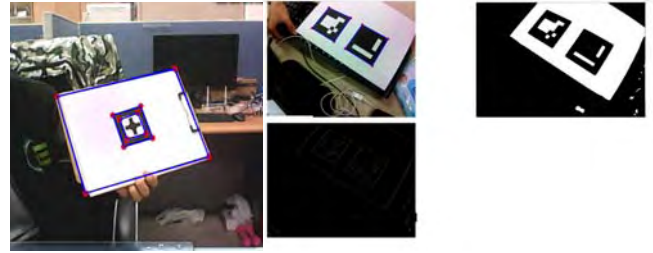
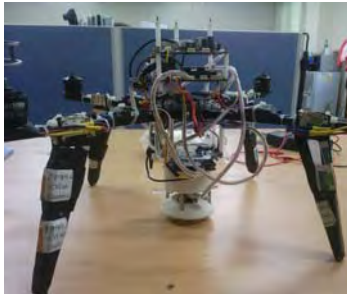


그림 6 성능 평가 실험 (a) 십자가형 (b)ArUco

### 3. 실험

실험을 위하여 기존 연구에서 사용되었던 도킹 가능한 드론을 사용하였다[3]. 본 드론의 카메라는 드론 하부 중심에 위치하며 렌즈가 수직 방향으로 향하고 있다.



(그림 5) 실험 플랫폼

본 논문에서 제안한 협업 시스템을 위한 기준 마커 검출의 성능을 실험하기 위하여 표 1과 같은 임베디드 보드 환경에서 OpenCV 3.1.로 구현하였다.

<표 1> 실험 환경

분류	내용
Board	Odroid XU4
RAM	8GB
OS	Ubuntu 16.0.2
Library	OpenCV 3.1., ArUco Module
Image	640 * 480

실험 영상은 도킹 가능한 드론이 지상 1.5m, 2.0m에서 호버링을 통하여 찍은 30개의 영상을 입력으로 하고, 성능 평가는 정확도(Accuracy)를 이용하였다. 정확도는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (2)$$

TP, TN, FP, FN은 각각 참 긍정(True positive), 참 부정(true negative), 거짓 긍정(false positive), 거짓 부정(false negative)의 총 수를 의미한다. 실험 영상에 대하여 성능 비교를 위하여 기존 연구에서 사용했던 간단한 십자가형 마커와 기준 마커의 다른 종류인 AprilTags와 비교하였다.

<표 2> 성능 평가 비교

측정 기준	십자가형	April Tags	ArUco (a)	ArUco (o)
정확도	84.55%	90.21%	92.92%	93.94%
수행시간	431ms	301ms	151ms	131ms

성능 평가 결과 기준 마커인 ArUco의 정확도는 세 가지 마커 중에 가장 뛰어난 약 92%의 정확도를 보였으며, 수행 시간 역시 ArUco가 가장 빠른 것으로 나타났다. 십자가형은 내부 코드가 없지만 피라미드 템플릿 매칭을 사용하는 알고리즘 때문에 수행 시간에 영향이 있으며 ArUco의 Dictionary 비교 방식이 강건한 성능을 보여주는 것으로 생각된다.

부가적으로, ArUco의 이진화 방법에서 적응형 이진화(Adaptive Thresholding) 방법 (a)은 기존 연구들에서 많이 구현한 방법이었으나 Otsu 방법으로 이진화한 결과 (o) 정확도와 수행시간의 성능 개선 효과를 보였다.

### 4. 결론

본 논문에서는 드론과 지상 로봇의 협업을 위한 기준 마커의 인식에 관하여 소개하였다. 기준 마커는 내부 코드를 가지지만 바코드보다 개선된 성능을 보이며, 간단한 형태의 마커보다는 효율적인 카메라 자세 추정 성능을 보인다. 성능평가 실험을 통하여 기준 마커의 성능이 기존 연구보다 개선됨을 보였으며 다른 기준 마커보다 ArUco 마커의 성능이 뛰어난을 확인하였다. 추후 연구를 통하여 UAV의 카메라와 ArUco 마커를 이용하면 지상 로봇들 간의 협업 시스템의 개발도 검토해볼 수 있다. 기준 마커를 통하여 마커의 자세 추정과 ID 구별을 한 번에 할 수 있기 때문에 마커에 대하여 UAV가 중개인 역할을 하며 서로 다른 플랫폼을 자율 이동시키는 연구를 진행해 볼 계획이다.

### 감사의 글

이 논문은 2017년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단 기초연구사업의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2015R1D1A1A01057518).

## 참고문헌

- [1] Koohifar, F., Kumbhar, A., & Guvenc, I. (2017). Receding Horizon Multi-UAV Cooperative Tracking of Moving RF Source. *IEEE Communications Letters*, 21(6), 1433-1436.
- [2] Ghamry, K. A., Dong, Y., Kamel, M. A., & Zhang, Y. (2016, June). Real-time autonomous take-off, tracking and landing of UAV on a moving UGV platform. In *Control and Automation (MED), 2016 24th Mediterranean Conference on* (pp. 1236-1241). IEEE.
- [3] 백종환, 박희수, 오세령, 신지훈, & 김상훈. (2017). 영상 객체 검출을 이용한 드론과 지상로봇의 센서 융합 도킹 시스템. *정보처리학회논문지. 소프트웨어 및 데이터 공학*, 6(4), 217-222.
- [4] Klas Nordberg, Patrick Doherty, et al., Vision for a UAV helicopter, *Proc. of IROS Workshop on Aerial Robotics*, pp. 1-6, Lausanne, 2002.
- [5] Mcgee T., Zuwhan Kim, Xiao X. et al., Vision-based road-following using a small autonomous aircraft, *Proc. of IEEE Conf. Aerospace*, pp. 3006 - 3015, Montana, Mar. 2004.
- [6] Hood, S., Benson, K., Hamod, P., Madison, D., O’Kane, J. M., & Rekleitis, I. (2017, June). Bird’s eye view: Cooperative exploration by UGV and UAV. In *Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), 2017 International Conference on* (pp. 247-255). IEEE.
- [7] Garrido-Jurado, S., Muñoz-Salinas, R., Madrid-Cuevas, F. J., & Marín-Jiménez, M. J. (2014). Automatic generation and detection of highly reliable fiducial markers under occlusion. *Pattern Recognition*, 47(6), 2280-2292.
- [8] Kobayashi, H. (2017, March). SETTLE code-A 2D code for 6-dof localization and its implementation on Android smartphone. In *Industrial Technology (ICIT), 2017 IEEE International Conference on* (pp. 1472-1477). IEEE.